

Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ



**«АКТУАЛЬНІ НАПРЯМИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА:
ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ КОНСТРУКЦІЙ НА
ОСНОВІ КОНВЕРГЕНЦІЇ СУЧАСНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ»**
(24-25 вересня 2020 р.)

**МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-
ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Харків, 2020

УДК 669.71+УДК 621.791+УДК 621.74.01+УДК 621.785+УДК 669.141.24+ УДК 621.791+ УДК 669.295.669.76+ УДК 621.762.2+ УДК 669.017.3+ УДК 621.22 + УДК 669.018.8+621.78+ УДК 621.791.75.04+УДК 621.17+УДК 378.147+УДК 378.315+УДК 378.14 +УДК 372.881.111. 1

Актуальні напрями матеріалознавства: збільшення ресурсу конструкцій на основі конвергенції сучасних технологій обробки матеріалів. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Харків : ХНАДУ, 2020. – 140 с.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Глушкова Д.Б. – професор, д.т.н., ХНАДУ

Калініна Н.Є. - проф., д.т.н., ДНУ ім. О. Гончара,

Лебедєв В.О., д.т.н., проф., ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

Дощечкіна І.В. – професор, к.т.н., ХНАДУ

Лалазарова Н.О. – доцент, к.т.н., ХНАДУ

Зміст

Вступ.....	5
Калініна Н.Є., Калінін В.Т., Носова Т.В., Мамчур С.І., Давидюк А.В., Серженко І.О. ЗМІНА СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ В РЕЗУЛЬТАТІ МОДИФІКУВАННЯ.....	6
Лебедев В.А., Лой С.А. ПРОЧНОСТЬ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И УСТАНОВОК ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ОТРЫВ.....	10
Присяжнюк П.М., Сем'яник І.М. ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ Fe-Mn-Si-C, ЛЕГОВАНИХ VC.....	13
Глушкова Д.Б., Воронков А.И., Калинина А.Е., Калинин В.Т. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОКРЫТИЙ НИТРИДОВ ТИТАНА И ХРОМА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ.....	20
Дошечкіна І.В., Терещенко Д.С. ШВИДКІСНА ЗНЕМЦІНОВАЛЬНА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ХОЛОДНОКАТАНОЇ ТОНКОЛИСТОВОЇ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ.....	27
Лебедев В.А. ВЛИЯНИЯ ПРИНУДИТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ НА РАЗМЕРЫ КРИСТАЛЛИТОВ.....	35
Багров В.А., Плужніков Д.О. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЧАВУНУ.....	38
Грузін Н.В. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ПРЕСОВАНИХ ТРУБ ІЗ СПЛАВУ ТИТАНУ.....	44
Терновий Ю.Ф., Лічконенко Н.В. РОЗРАХУНОК ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИ ОТРИМАННІ МІКРОГРАНУЛ ГАЗОВИМ РОЗПИЛЮВАННЯМ.....	52
Лебедев В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЙ РАЗМЕРОВ КРИСТАЛЛИТОВ И СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ ТВЁРДОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА.....	57
Скобло Т.С., Романюк С. П., Белкин Е.Л., Романченко В.Н. РАЗРАБОТКА НОВОГО ПОДХОДА МИКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЙ.....	60
Аврунин Г.А., Глушкова Д. Б., Самородов В.Б., Пелипенко Е.С., Рыжков Ю. В., Шевченко Д. Н., Мороз И. И., Степанюк А.И. К ВЫБОРУ МАТЕРИАЛОВ РАБОЧИХ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЗВЕНЬЕВ ОБЪЁМНЫХ ГИДРОМАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНОЙ ИНДУСТРИИ.....	68
Багров В.А., Плужніков Д.О. ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cr-Mn-Mo-Ti НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА.....	82
Лоскутова Т.В., Хижняк В.Г., Погребова І.С., Смокович І.Я., Кузьменко Т.М. ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СПЛАВУ ВТ6 З КОМПЛЕКСНИМИ ПОКРИТТЯМИ НА ОСНОВІ ХРОМУ ТА АЛЮМІНІЮ.....	87
Князєв С. А. ЗМІЦНЕННЯ НОЖІВ ЗІ СТАЛІ 20Х13 ШЛЯХОМ БОРУВАННЯ З ПАСТ.....	90
Котов М.М. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ЗЛИТКІВ ФЕРОТИТАНУ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕШВ, НА ЇХНЮ ЗДАТНІСТЬ ПОДРІБНЮВАТИСЯ.....	94
Погрібний М.А., Реброва О.М., Федоренко Г.А., Гололобова О.М., Реброва А.О., Чепурко В.М. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗОНИ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ В НАПЛАВКАХ (ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ) ІЗ ВИСОКОХРОМИСТИХ НЕРЖАВКИХ СТАЛЕЙ.....	98
Волков О.О. АЛЬТЕРНАТИВНЕ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНІ ВИРОБІВ ІЗ СТАЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРТЯ.....	101
Лалазарова Н.О., Орлов М.С. ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРВМІСНОЇ ЗОР ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ОБРОБЛЮВАНІСТІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ.....	104

Саснко Н.В. СТОРИТЕЛЛІНГ У НАВЧАННІ ІНОЗЕМНИХ МОВ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ.....	108
Гріччина А.В. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИКЛАДАННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ЯК ІНОЗЕМНОЇ У ТЕХНІЧНИХ ЗВО ТА ЇХ ЗАПРОВАДЖЕННЯ У ХНАДУ.....	113
Новікова Є.Б. СТВОРЕННЯ ВЛАСНИХ ІНТЕРАКТИВНИХ РОБОЧИХ КНИЖОК ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАТФОРМИ <i>LIVEWORKSHEETS</i>	119
Ponikarovska S.V. ACCOMPLISHING COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF PERSONALITY THROUGH EDUCATIONAL PROCESS.....	122
Фандєєва А.Є. ДЕЯКІ АСПЕКТИ ПРОФЕСІЙНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МОВНОЇ ПІДГОТОВКИ В ТЕХНІЧНИХ ЗВО.....	126
Чевичелова О.О. ВИКОРИСТАННЯ АВТЕНТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ ІНШОМОВНОЇ АУДИТИВНОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ СТУДЕНТІВ.....	131
Voronova Ye.M. LEARNING A FOREIGN LANGUAGE THROUGH SPEAKING.....	136

Вступ

24-25 вересня 2020 року на кафедрі технології металів та матеріалознавства відбулася Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні напрями матеріалознавства: збільшення ресурсу конструкцій на основі конвергенції сучасних технологій обробки матеріалів», яка була організована і проведена Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом, ТОВ НВП «Укрінтех», ДП «Завод ім. В.А. Малишева», АТ ХМЗ «Світло Шахтаря», Лодзинським технологічним університетом. Мета проведення заходу – обмін новітніми розробками в галузі матеріалознавства та налагодження зв'язків з вищими навчальними закладами, промисловими підприємствами, компаніями України та зарубіжних країн з пріоритетних напрямів виробництва.

На конференції розглядалися наступні питання: сучасні методи підвищення довговічності (методи поверхневого зміцнення - наплавлення та напилювання покриттів, модифікування, борування, термофрикційне зміцнення та ін.); структуроутворення та методи термічної обробки; матеріалознавство у зварювальному виробництві; конструкційні та неметалеві матеріали. Вирішення цих питань направлене на підвищення надійності та довговічності виробів.

Обмін думками з питань, пов'язаних з вдосконалення методів поверхневої та термічної обробки виробів, вирішенням проблем підвищення довговічності учасниками конференції є корисним і актуальним.

ЗМІНА СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ В РЕЗУЛЬТАТІ МОДИФІКУВАННЯ

Калініна Н.Є., д.т.н., проф., ДНУ ім. О. Гончара, Калінін В.Т., д.т.н., проф., НМетАУ,
Носова Т.В., к.т.н., доц., ДНУ ім. О. Гончара, Мамчур С.І., к.т.н., доц., ДНУ ім. О. Гончара,
Давидюк А.В., к.т.н., ДНУ ім. О. Гончара, Серженко І.О., аспірант, НМетАУ

Анотація. Вивчено вплив модифікування дисперсними композиціями на зеренну структуру та механічні властивості промислових алюмінієвих сплавів. Алюмінієві сплави АЛ4, 1560, 2219, 1420 модифікували дисперсним порошком В₄С розміром часток до 200 нм. Розрахована кількість модифікатора для введення у розплав. Вивчено фізико-хімічні властивості дисперсного В₄С. Проведені плавки сплавів АЛ4, 1570, 2219, 1420 у вихідному стані та з обробкою розплавів В₄С. Встановлено залежності розміру частинок та кількості модифікатора на механічні властивості сплавів. Встановлено механізм взаємодії модифікатора з алюмінієвим розплавом під час кристалізації. У промислових експериментах встановлено найбільш ефективний розмір часток В₄С для підвищення σ_6 сплаву 2219 зі 115 до 260 МПа у литому стані. Визначено оптимальний вміст В₄С (0,10%) для підвищення σ_6 алюмінієвих сплавів.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, структура, механічні властивості, дисперсний модифікатор.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ

Калініна Н.Е., д.т.н., проф., ДНУ ім. О. Гончара, Калинин В.Т., д.т.н., проф., НМетАУ, Носова
Т.В., к.т.н., доц., ДНУ ім. О. Гончара, Мамчур С.И., к.т.н., доц., ДНУ ім. О. Гончара,
Давидюк А.В., к.т.н., ДНУ ім. О. Гончара, Серженко И.О., аспирант, НМетАУ

Аннотация. Изучено влияние модифицирования дисперсными композициями на зеренную структуру и механические свойства промышленных алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы АЛ4, 1560, 2219, 1420 модифицировали дисперсным порошком В₄С размером частиц до 200 нм. Рассчитано количество модификатора для ввода в расплав. Изучены физико-химические свойства дисперсного В₄С. Проведены плавки сплавов АЛ4, 1560, 2219, 1420 в исходном состоянии и с обработкой расплавов В₄С. Установлены зависимости размера частиц и количества модификатора на механические свойства сплавов. Установлен механизм взаимодействия модификатора с алюминиевым расплавом при кристаллизации. В промышленных экспериментах установлено наиболее эффективный размер частиц В₄С для повышения σ_6 сплава 2219 со 115 до 260 МПа в литом состоянии. Определено оптимальное содержание В₄С (0,10%) для повышения σ_6 алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, структура, механические свойства, дисперсный модификатор.

CHANGE IN THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS AS A RESULT OF MODIFICATION

Kalinina N., Doctor of Technical Sciences, Prof., Oles Honchar DNU, Kalinin V., Doctor of Technical Sciences, Prof., NMetAU, Nosova T., PhD., Associate Professor, Oles Honchar DNU, Mamchur S., PhD., Associate Professor, Oles Honchar DNU, Daviduk A., PhD, Oles Honchar DNU, Sergenko I., graduate student, NMetAU

Anotation. The effect of modifying dispersed compositions on the grain structure and mechanical properties of industrial aluminum alloys is studied. Aluminum alloys AL4, 1560, 2219, 1420 were modified with dispersed i powder В₄С with a particle size of up to 200 nm. Calculated the amount of modifier to enter into the melt. The physicochemical properties of dispersed В₄С were studied. The melting of alloys AL4, 1570, 2219, 1420 in the initial state and with the processing of В₄С melts was carried out. The dependences of the particle size and amount of the modifier on the mechanical properties of the alloys are established. The

mechanism of interaction of the modifier with the aluminum melt during crystallization is established. In industrial experiments, the most effective particle size of B₄C was found to increase the σ_s of the 2219 alloy from 115 to 260 MPa in the cast state. The optimal B₄C content (0,10%) was determined to increase the σ_s of aluminum alloys.

Key words: aluminum alloy, structure, mechanical properties, disperse modifier.

Вступ

Створення дисперсних матеріалів безпосередньо пов'язано з розробкою і застосуванням нанотехнологій. На установках плазмохімічного синтезу можна отримувати широкий спектр нанодисперсних сполук, а саме: карбіди, нітриди, карбонітриди, силіциди різних елементів (Si, Al, Ti, V, Mo, W та ін.), а також нанодисперсні порошки чистих металів [1-3].

У вітчизняній ракетно-космічній техніці широко застосовують нержавіючі сталі, ливарні і деформовані алюмінієві та магнієві сплави, ливарні нікелеві сплави. Для деталей ракетно-космічної техніки (РКТ) можуть бути корисні перспективні напрямки з обробки наномодифікаторами сплавів різних систем легування.

Аналіз публікацій

Модифікування дисперсними композиціями різних сплавів широко досліджувалося у книгах Большакова В.І., Кузіна О.А., Сабурова В.П., статтях та наукових роботах багатьох видатних вчених матеріалознавців. Дослідження модифікування дисперсними композиціями алюмінієвих сплавів є продовженням робіт, пов'язаних з даною тематикою.

Постановка задачі

Встановити вплив модифікування дисперсними композиціями на зеренну структуру та механічні властивості алюмінієвих сплавів.

Методика досліджень і аналіз отриманих результатів

Матеріалом дослідження є алюмінієві сплави АЛ4, 1560, 2219, 1420. Запропоновано модифікування алюмінієвих сплавів дисперсним порошком В₄С розміром часток до 200 нм. Дисперсний В₄С отримано методом плазмохімічного синтезу. Проведені дослідно-промислові плавки алюмінієвих сплавів. Досліджено структуру та механічні властивості сплавів у литому та деформованому стані.

З урахуванням принципу про кристаліграфічну і розмірну відповідність ізоморфності кристалічних решіток алюмінію і тугоплавких сполук [7, 8] встановили, що модифікаторами алюмінієвих сплавів можуть бути карбіди кремнію, ніобію і танталу, а також карбіди і нітриди титану, цирконію, гафнію і ванадію. Як ефективний модифікатор ливарних алюмінієвих сплавів запропоновано нанодисперсний порошок В₄С розміром часток до 200 нм [5], який отримано методом високотемпературного плазмохімічного синтезу [4].

Дія нерозчинних додатків, ізоморфних до алюмінію, аналогічність впливу розчинних елементів дотримується лише тоді, коли кількість нерозчинного додатку перевищує кількість кристалів, що утворилися довільно за тих самих умов [3, 5]. Таким чином, зі збільшенням кількості нерозчинного додатку, зокрема частинок карбіду кремнію, розмір зерна спочатку зменшується, а потім буде постійним.

Механізм впливу дисперсних частинок силіциду магнію на формування структури доевтектичних алюмінієвих сплавів під час кристалізації полягає в тому, що основна їх маса виштовхується фронтом кристалізації в рідку фазу і бере участь у подрібненні структурних складових сплаву. Частинки карбіду кремнію сприяють також дисперсному зміцненню сплаву, так як дисперсні фази є додатковими бар'єрами для переміщення дислокацій, а отже, підвищують характеристики міцності ливарних алюмінієвих сплавів.

На механічні властивості алюмінієвих сплавів суттєво впливають розміри частинок зміцнювальної фази. Промислові експерименти з застосуванням дисперсних частинок В₄С у широкому діапазоні розмірів 0,075...0,100; 10...20; 30...40; 50...60 і 90...100 мкм виявили, що зі зменшенням розмірів частинок карбіду кремнію до 100 нм межа міцності сплаву 2219 зростає з 115 до 260 МПа (рис. 1).

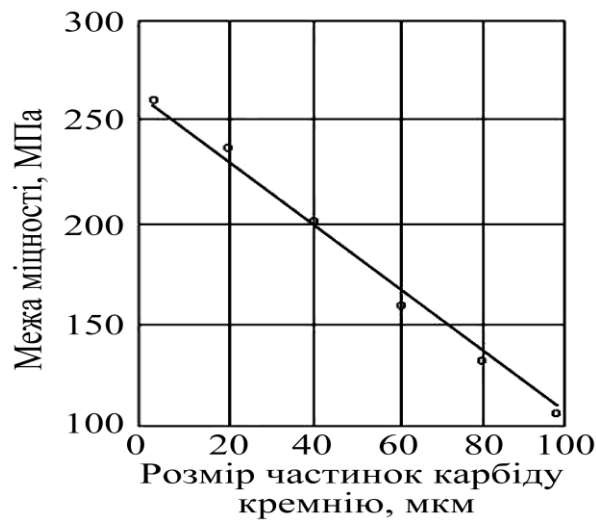


Рисунок 1 – Вплив розмірів частинок V_4C на міцність сплаву 2219

Для визначення оптимальної кількості модифікатора карбіду кремнію виконали промислові плавки та випробування зразків, що пройшли термічну обробку за режимом Т6 (гартування і штучне старіння).

Для комп'ютерної обробки даних складу сплавів і вмісту модифікаторів використали програму Microsoft Excel. Аналіз результатів засвідчив, що модифікування частинками карбіду кремнію в кількості 0,1 мас. % максимально підвищує пластичність (δ) сплаву 2219 за одночасного збільшення межі міцності (σ_B) і межі текучості (σ_T).

Подальше збільшення кількості модифікатора SiC від 0,10 до 0,25% в сплаві 2219 суттєво не впливає на механічні властивості, а за вмісту більше 0,25% SiC незначно знижується параметр σ_B . Незначне зниження межі плинності сплаву 2219 спостерігали під час введення більше 0,1 мас. % модифікатора V_4C .

Таким чином, механічні характеристики ливарного алюмінієвого сплаву 2219 значно підвищуються з введенням у розплав 0,1 мас. % нанодисперсних частинок карбіду кремнію. Якість ливарних алюмінієвих сплавів під час модифікування залежить від багатьох чинників: природи дисперсної фази, температури розплаву, режимів його перемішування під час введення частинок. Під час вивчення впливу температури на ступінь засвоєння тугоплавких частинок V_4C встановлено, що за певної для даного розплаву температури спостерігається максимум засвоєння частинок. Характерною особливістю результатів досліджень, виконаних з різними тугоплавкими композиціями в алюмінієвих сплавах, є досягнення максимуму засвоєння частинок за нижнього значення температури розплавів.

Висновки

Вивчено фізико-хімічні властивості дисперсного модифікатора - карбіду кремнію V_4C . Проведено промислові плавки сплавів АЛ4, 1560, 2219, 1420 у вихідному стані та з обробкою розплавів порошковим модифікатором. Встановлено механізм взаємодії дисперсного модифікатора з алюмінієвим розплавом під час кристалізації. В результаті дослідження досягнуто значне подібнення зеренної структури модифікованих сплавів. Встановлено залежності розміру часток та кількості модифікатора на механічні властивості алюмінієвих сплавів.

Література

1. Большаков В.І., Куцова В.З., Котова Т.В. Наноматеріали і нанотехнології. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2016. – 220 с.
2. Калініна Н.Є., Никифорчин Г.М., Калінін О.В. та ін. Структура, властивості та використання конструкційних наноматеріалів: Монографія – Львів: Простір. – 2017. – 304 с.
3. Сутугин А.Г. Кинетика образования малых частиц при объемной конденсации. Физикохимия нанодисперсных систем: Сб. тр. Ин-та металлургии им. А.А. Байкова. – М.: Наука, 1987. – С. 15-21.

4. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов. Черепанов А.А. и др. – Новосибирск: Наука. – 1995. – 344 с.
5. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів: Підручник – Львів: Афіша, 2002. – 304 с.
6. Алюміній та сплави на його основі. В.З. Куцова, Н.Е. Погребна, Т.С. Хохлова та ін. – Дніпропетровськ: Пороги. 2004. – 136 с.
7. Костин В.А., Григоренко Г.М., Жуков В.В. Модифицирование структуры сварных швов высокопрочных низколегированных сталей наночастицами тугоплавких металлов. Строительство, материаловедение, машиностроение, 2016. – вып. 89. – С. 93-98.
8. Сабуров В.П., Еремин Е.Н., Черепанов А.А., Миннеланов Г.Н. Модифицирование сталей и сплавов дисперсными инокуляторами. – Омск: ОмГТУ. – 2002. – 257 с.
9. Young- Domd K., Zin-Hyoung L. The effect of grain refining and oxide inclusion on the fluidity of AL-4,5Cu-0,6Mn and A356 alloys. Mater. Sci. and Eng. – 2003. - №12. – P. 372-376.

ПРОЧНОСТЬ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И УСТАНОВОК ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ОТРЫВ

Лебедев В.А., д.т.н., проф., ИЭС им. Е.А. Патона НАН Украины
Лой С.А., доц.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Аннотация. Рассматриваются вопросы связанные с надёжностью плазменных покрытий газотурбинных двигателей и установок для обеспечения надёжности их функционирования. Уделено внимание прочностим покрытий, которые исследуются с использованием испытаний на отрыв напылённого слоя (слоёв). Для этого вида испытаний разработана специальная установка. Показано, что стойкость напыления в условиях вибраций существенно снижается.

Ключевые слова: плазменное напыление, установка, прочность, исследования на отрыв слоя, прочность при вибрациях.

МІЦНІСТЬ ПОКРИТТІВ ПРИ ПЛАЗМОВОМУ НАПИЛЕННІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ І УСТАНОВОК ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ НА ВІДРИВ

Лебедев В.О., д.т.н., проф., ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
Лой С.А., доц.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Анотация. Розглядаються питання пов'язані з надійністю плазмових покриттів газотурбінних двигунів і установок для забезпечення надійності їх функціонування. Приділено увагу міцності покриттів, які досліджується з використанням випробувань на відрив напиляним шару (шарів). Для цього виду випробувань розроблена спеціальна установка. Показано, що стійкість напилення в умовах вібрацій істотно знижується.

Ключові слова: плазмового напилення, установка, міцність, дослідження на відрив шару, міцність при вібраціях.

STRENGTH OF COATINGS AT PLASMA SPRAYING OF WORKING BODIES OF GAS TURBINE ENGINES AND PLANTS PURPOSE TESTS

Lebedev V.A, Doctor of Technical Sciences, Prof.,
Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine
Loy S.A., Assoc. Prof., National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov

Abstract. The issues related to the reliability of plasma coatings of gas turbine engines and installations to ensure the reliability of their operation are considered. Attention is paid to the strength of the coatings, which is investigated using tests for detachment of the sprayed layer (s). A special installation has been developed for this type of testing. It is shown that the resistance of the spraying under vibration conditions is significantly reduced.

Key words: plasma spraying, installation, strength, layer separation studies, vibration strength.

Одними их основных в настоящее время и в обозримом будущем будут технологии упрочнения и восстановления узлов и деталей, среди которых электродуговая наплавка и различные виды напыления.

Во многих случаях восстанавливаемые или упрочняемые узлы и детали работают в условиях повышенных температур, давлений, вибраций, т.е. в экстремальных условиях. Это в полной мере относится к рабочим органам газотурбинных двигателей и установок, надёжное функционирование которых невозможно без обеспечения качественной обработки (за-

щиты или восстановления) поверхности.

Достаточно распространёнными способами восстановления и упрочнения узлов и деталей газотурбинных двигателей и установок является плазменное напыление, которое может быть реализовано как в контролируемой атмосфере, так и в нормальной среде с применением различного состава напыляемых материалов, режимов, различных по конструкции установок и др. При этом можно отметить, что одной из основных задач которые решаются при выборе алгоритма напыления является получение прочного напылённого слоя или нескольких слоёв, которые могут эффективно работать в указанных выше экстремальных условиях [1].

Одной из основных характеристик покрытия является прочность на отрыв [2].

Сравнительное испытание покрытия на отрыв для ряда образцов выполнялось методом вытягивания штифтов на специально разработанной установке. Установка проста и эффективна при проведении сравнительных испытаний и имеет современный вентильный электропривод с регулятором скорости вытягивания штифтов, который обеспечивает точность позиционирования штифта, что важно при определении точности получения результатов испытаний на любом этапе движения. Разработка современного вентильного электропривода с высоким уровнем быстродействия выполнена в Украине [3]. Важной особенностью работы установки является возможность создания на ней вибрационных нагрузок с регулируемыми параметрами, что соответствует реальным условиям эксплуатации. Электропривод установки позволяет получать импульсы частотой до 50...60 Гц с регулируемым шагом движения.

Прочность сцепления определяется как частица отделения разрушающей нагрузки на площадь торцевой поверхности в виде следующего выражения

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

где σ - прочность сцепления с основой; P - растягивающая сила; F - площадь поперечного сечения исследуемого образца.

В таблице 1 для примера приведены результаты исследований прочности на отрыв покрытий из бронзы с различным легированием и различными способами растягивающих воздействий. Использовался режим отрыва с установлением соответствующей программы системы управления вентильным электродвигателем с частотой порядка 25 Гц и шагом воздействия 0,1 мм.

Следует отметить, что в таблице 1 разрушающая нагрузка показана как предельное значение растягивающей силы P в момент отрыва напыленного слоя от основы. Результат усреднялся по трём измерениям и может быть использован как критерий, учитывающий как статические так и частично динамические аспекты прочности. Заметим, что измерение растягивающего усилия производилось двумя способами: с применением пружинного динамометра и с применением тензометрических датчиков с электронной обработкой сигнала.

Таблица 1 - Результаты исследований прочности покрытий

№	Материал покрытия	Толщина покрытия, мм	Площадь покрытия, мм	Разрушающая нагрузка, кН		Прочность сцепления МПа	
				Обычная	Импульсная	При обычном движении	При импульсном движении
1	БрОФ 10-7	1.4	48.3	1.5	1.2	31.0	24.8
2	БрА 10	1.1	48.3	1.8	1.4	37.3	28.9
3	БрОФ 8.5-3	1.2	48.3	1.0	0.8	20.7	16.6
4	БрОФ 10-1	1.2	48.3	1.6	1.3	33.1	26.9
5	ПГ-10К-01	0,8	48,3	2,5	2,2	51,8	45,5

Тенденции снижения величины сцепления напылённого слоя с основой при импульсном воздействии прослеживаются и для других типов покрытий и зачастую бывают столь значимыми, что обязательно должны учитываться при выборе материалов для плазменного напыления, так как импульсные и пульсирующие нагрузки характерны для эксплуатации рабочих органов газотурбинных двигателей и установок. Важным является то, что с ростом прочности сцепления напылённого слоя снижается относительные величины разрушающего усилия при импульсном воздействии. Это необходимо учитывать при выборе напыляемых материалов и установке режимов плазменного напыления.

Полагаем, что величину разрушающей нагрузки можно использовать в виде критерия предельного состояния наплавленного слоя, учитывающего как статические, так и динамические аспекты прочности.

Литература

1. Лашенко Г. И. Плазменное упрочнение и напыление. Киев : *Екотехнологія*, 2003. 64 с.
2. Лебедев В.А., Лой С.А., Ермолаев, Г.В., Матвиенко М.В. Напряженное состояние напыленного покрытия при испытаниях на отрыв. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2014. №12. С. 8-12.
3. Лебедев В.А. Электроприводы в современном механизированном и автоматизированном оборудовании для дуговой сварки. *Электротехнические и компьютерные системы*. 2013. № 11 (87). С. 7 – 16.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ Fe-Mn-Si-C, ЛЕГОВАНИХ VC

Присяжнюк П.М., к. т., н., доц., Сем'яник І.М., аспірант, ІФНТУНГ

Анотація. У даній роботі досліджувалися покриття системи Fe-Mn-Si-V-C, нанесені з використанням наплавлення порошковим стрічкою (FCAW). Термодинамічні дослідження системи Fe-Mn-Si-V-C були виконані з використанням методики CALPHAD. Дослідження мікроструктури проводили методами оптичної мікроскопії (ОМ), скануючої електронної мікроскопії (SEM), енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDS) та рентгенівського фазового аналізу.

Ключові слова: наплавлення, карбід ванадію, зносостійкість, високолегована сталь, деформаційне зміцнення.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Fe-Mn-Si-C, ЛЕГИРОВАННЫХ VC

Присяжнюк П.М., к. т., н., доц., Семьяник И.М., аспирант, ИФНТУНГ

Аннотация. В настоящей работе исследовались покрытия системы Fe-Mn-Si-V-C, нанесенные с использованием наплавки порошковой лентой (FCAW). Термодинамические исследования системы Fe-Mn-Si-V-C были выполнены с использованием методики CALPHAD. Исследование микроструктуры выполняли с помощью оптической микроскопии (ОМ), сканирующей электронной микроскопии (SEM), энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS) и рентгенофазового анализа.

Ключевые слова: наплавка, карбид ванадия, порошковая лента, высоколегированная сталь, деформационное упрочнение.

REGULARITIES OF THE FORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE Fe-Mn-Si-C-BASED HARDFACING ALLOY WITH VC ADDITIONS

Prysyazhnyuk P.M., PhD, associate professor, Semyanyk I.M, graduate student, IFNTUNG

Abstract. In the present study the coatings of the Fe-Mn-Si-V-C system, deposited using hardfacing by flux-cored arc welding (FCAW) were investigated. Thermodynamic study of the Fe-Mn-Si-V-C alloying system were carried out using CALPHAD approach. Microstructure investigations were performed using optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) and X-ray diffraction analysis.

Key words: hardfacing, vanadium carbide, wear resistance, flux-cored wire, high-alloyed steel, deformation hardening.

Вступ

Використання високомарганцевої сталі у чистому вигляді, як матеріалу для зносостійкого наплавлення раціонально для умов роботи, які передбачають високий рівень динамічних та (або) питомих навантажень, при яких інші види зношування виражені слабо. Це зумовлено тим, що високомарганцеві сталі характеризуються низькою стійкістю за умов безударного стирання у середовищах абразивних мас, матеріалів із волокнистою будовою (біомаси) та ін. Одним із найбільш ефективних шляхів для підвищення зносостійкості високомарганцевої сталі за умов абразивного зношування є її легування карбідоутворюючими елементами, такими як Cr, Ti, Nb, V, Mo та ін., а також їх комбінацій із розрахунку на утворення у структурі тугоплавких карбідів із високою мікротвердістю. Однак, розширення системи легування високомарганцевої сталі за рахунок введення карбідоутворюючих елементів у деяких випадках може призвести до повної або часткової втрати сталлю здатності

до деформаційного зміцнення через ряд причин, основними із яких є: значне розчинення Mn у карбідній фазі; розчинення металевго компоненту карбідів в аустеніті; стабілізація цементиту та виділення його на ранніх стадіях охолодження у твердій фазі; утворення інтерметалідних сполук Mn або стабілізація його нижчих карбідів типу M_7C_3 , $M_{23}C_6$ та ін.; формування крихких структур евтектичного типу або формування жорсткого карбідного каркасу.

Таким чином, обґрунтований вибір виду та кількості карбідоутворюючих елементів для легування високомарганцевої сталі повинен здійснюватися на основі урахування його впливу на ширину та характер областей фазової рівноваги (насамперед аустенітної), поряд із встановленням морфології, характерної для карбідних фаз при їх виділенні із розплаву та із твердого розчину.

Аналіз публікацій

Використання сплавів на основі Fe, зміцнених карбідними фазами V є досить широко поширеною практикою для підвищення абразивної зносостійкості поверхневих шарів методами електродугового наплавлення. Авторами [1] було проведено дослідження впливу добавок V на структуру та зносостійкість покриттів на основі заевтектичних чавунів системи Fe-Mn-Si-Cr-C, які наносили електродуговим наплавленням порошковими стрічками, які містили суміш ферохрому, феромарганцю та ферокремнію. Результати показали, що додавання ванадію у кількості лише 3 мас. % призводить до значного (практично на порядок) подрібнення карбідних фаз та підвищення зносостійкості за умов тертя по абразивному прошарку практично у три рази. Такий характер зміни структури та властивостей автори пов'язують із модифікуючою дією карбіду ванадію, який виділяється на ранніх стадіях кристалізації та виконує роль центрів для росту карбідів M_7C_3 . Легування доевтектичних сплавів системи Fe-Cr-C карбідом ванадію проведено у роботі [2]. Покриття наносили методом електродугового нанесення покриттів неплавким електродом попередньо спресованих заготовок, що складались із сумішею порошків металічних V та Cr, а також їх карбідів. Максимальний вміст V у покритті становив 2,4 мас. %. Результати дослідження структури отриманих сплавів показують, що їх основною структурною складовою є пластинчаста евтектика ферит (α) + $M_{23}C_6$, у міжзеренному просторі якої містяться дисперсні включення V_4C_3 із волокнистою будовою. Результати диференційного термічного аналізу сплавів для наплавлення показали, що різниця між температурою кристалізації карбідної фази та евтектики є незначними (~ 50 °C). Це вказує на те, що практично весь V_4C_3 , який міститься у системі кристалізується у складі евтектики із феритом. Таким чином, сплавів легованих ванадієм складається із двох евтектик: $\alpha + M_{23}C_6$ та $\alpha + M_{23}C_6$. Підвищення вмісту V від 0 до 2,4 призводить до суттєвого підвищення твердості (від 46 до 53 HRC) та абразивної зносостійкості (практично у 2 рази). У роботі [3] наведено результати досліджень по вивченню впливу легування V (у кількості до 4 мас. %) на структуру та властивості заевтектичних сплавів системи Fe-Cr-C, нанесених електродуговим наплавленням порошковими стрічками. Результати досліджень показали, підвищення вмісту V у сплавах веде як до зменшення розмірів зерен так і до зміни їх морфології (по мірі збільшення кількості V огранена форма зерен переходить у сферичну). Крім того, спостерігається зниження стабільності аустенітної фази та збільшується кількість мартенситу у структурі. Таким чином, за даними авторів при підвищенні вмісту V від 0 до 4 мас. % структура сплавів переходить із аустеніто-карбідної (M_7C_3) у мартенситно-карбідну (M_7C_3). Такі зміни супроводжуються підвищенням твердості (від 53 до 56 HRC) та абразивної зносостійкості практично у два рази.

Отже, у переважній більшості випадків легування сплавів для зносостійкого наплавлення V проводиться із метою модифікування структури, головним чином первинних карбідів хрому M_7C_3 . При цьому використання карбідів ванадію як самостійної фази для зміцнення сплавів на основі заліза залишається недостатньо вивченим, тому потребує додаткових теоретичних та експериментальних досліджень.

Мета та завдання дослідження

Метою досліджень було розроблення матеріалів для наплавлення із високою зносо- та ударостійкістю на основі системи Fe-Mn-Si-V-C. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- проведення термодинамічного аналізу системи Fe-Mn-Si-V-C у концентраційних інтервалах, які відповідають складам електродугових покриттів;
- визначення фазового складу структури та деяких властивостей покриттів системи Fe-Mn-Si-V-C.

Матеріали та методика досліджень

Матеріали для наплавлення системи Fe-Mn-Si-V-C виготовляли у вигляді однозамкової порошкової стрічки, заповненої сумішшю порошоків феросилікомарганцю (МНС17 ГОСТ 4756-91 – 75), графіту (К-354 ГОСТ 7885-86 – 2 мас. %), фтористого кальцію та рутилу. Підбір компонентів відповідав наступному компонентному складу покриття, мас. %: Mn – 19, Si – 4, С – 1,5, Fe – решта. Для вивчення впливу карбіду ванадію на структуру та властивості покриттів його додавали у вигляді порошку VC (ТУ 6-09-03-5-75) у кількості до 20 об. %. Електродугове наплавлення проводили ручним способом на підкладку із сталі Ст.3 на зворотній полярності при режимах: струм – 160-170 А, напруга 30-32 В. Термодинамічний аналіз проводили за методикою CALPHAD із використанням термодинамічних функцій усіх можливих фаз у системі наведених у [4]. Структуру покриттів досліджували методом скануючої електронної мікроскопії (SEM) у режимі вторинних електронів. Рентгенівський фазовий аналіз проводили із використанням дифрактометра ДРОН-3М у фільтрованому Cu K α випромінюванні. Твердість покриттів визначали за методом Роквелла (шкала С) у деформованому та недеформованому стані. Деформацію поверхневого шару проводили твердосплавною кулькою із використанням пресу Брінелля при навантаженні ~ 10 кН. Зносостійкість визначали за умов тертя по незакріпленому абразиву за стандартною методикою ГОСТ 23.208 – 79. Як еталон використовували серійні електроди на основі високомарганцевої сталі Lastek 22 (Бельгія).

Результати та їх обговорення

Оцінку фазового складу покриттів системи легування Fe-Mn-Si-V-C проводили на основі її аналізу квазібінарного січення по лінії (Fe, Mn, Si, C) – VC. Для перевірки коректності, термодинамічних параметрів, вибраних для розрахунку проводилось порівняння розрахованих ліній фазової рівноваги, отриманих для ізотермічного січення системи Fe-V-C при 1273 К із результатами експериментів наведених у роботі [5]. Результати (рис.1) показують, що, зокрема, для багатого залізом кута ізотермічного січення експериментальні точки, які показують розчинність VC в аустеніті відповідають розрахованій лінії, що обмежує аустенітну область зі сторони двофазової області A+VC. Це створює передумови для розширення концентраційного та температурного інтервалів визначення областей фазової рівноваги. Як видно із побудованого ізотермічного січення при взаємодії V із C утворюються три карбідні фази: VC, V₃C₂ та V₂C, серед яких у рівновазі із аустенітом існує лише фаза із ГЦК ґраткою близька до монокарбіду ванадію VC_x. Для V характерна висока розчинність як у цементиті так і у фериті, що призводить до існування широких концентраційних областей фазової рівноваги: VC+M₃C+C_{гр}, A+VC+M₃C та Ф+M₃C. При високих концентраціях V та низькому вмісті C у системі Fe-V-C утворюються інтерметалідні фази, склад яких, залежно від вмісту V відповідає формулам Fe₈V₈(Fe,V)₈ та (Fe,V)₁₀V₄(Fe,V)₁₆.

Квазібінарне січення системи Fe-Mn-Si-V-C по лінії (Fe, Mn, Si, C) – відноситься до евтектичного типу. Евтектична концентрація становить близько 1.5 % VC та припадає на температуру ~ 1500 К до 2600 К (рис. 2).

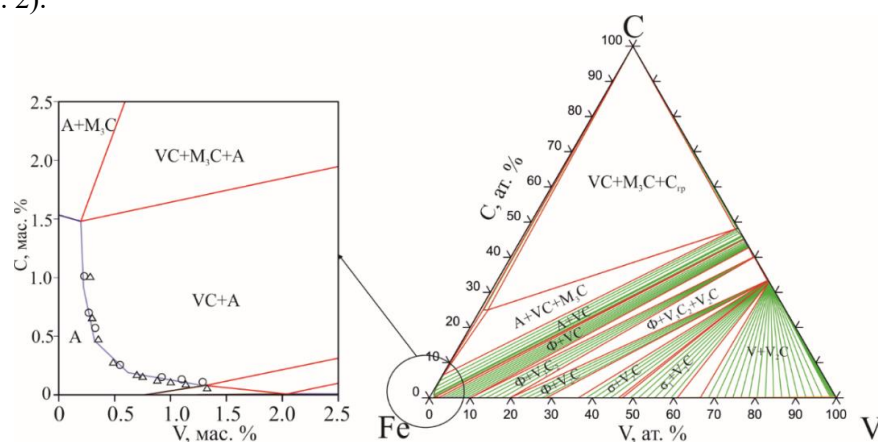


Рисунок 1 – Розраховане ізотермічне січення системи Fe – V – C при 1273 К (точками показано експериментальні дані роботи [5])

Після завершення кристалізації утворюється двофазова область A+VC, ширина температурного діапазону існування якої суттєво звужується при підвищенні вмісту карбідної фази. Подальше зниження температури призводить до стабілізації цементитної фази, яка існує у рівновазі із аустенітом та VC у широкому діапазоні температур.

Аналіз температурних залежностей рівноважної концентрації аустенітної та карбідної фази (рис. 3) показує, що між ними має місце достатньо висока взаємна розчинність, яка спричинена перерозподілом V та Mn. Вміст Mn у VC у процесі охолодження в присутності рідкої фази та у двофазовій області A+VC зростає та досягає максимального значення (~ 3.8 %) на межі із трифазовою областю, у якій проходить виділення цементиту. Вміст V в аустеніті має найвище значення у момент його кристалізації із розплаву (~0.45 %), яке при подальшому охолодженні у двофазовій області (A+VC) зменшується до ~0.1 – 0.15 мас. %.

Таким чином, характер розташування областей фазової рівноваги для системи високомарганцева кремніста сталь – VC показує, що отримання у вказаній системі двофазових аустеніто-карбідних сплавів ускладнене через підвищення стабільності цементитної та феритної фаз, особливо при високих концентраціях карбідної фази.

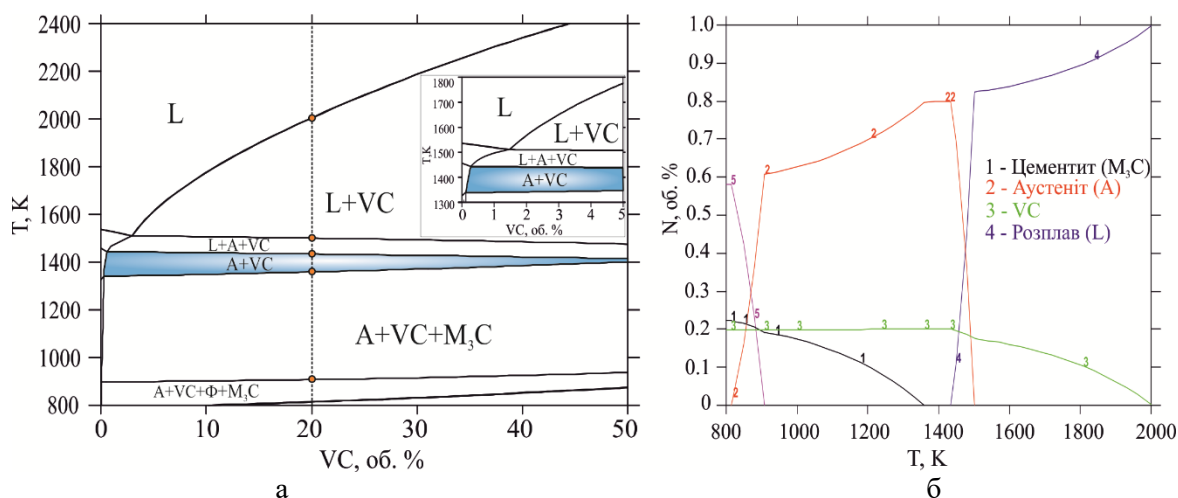


Рисунок 2 – Політермічне січення системи Fe-Mn-Si-V-C по лінії Fe75.5-Mn19-Si4-C1.5 – VC (а) та температурна залежність рівноважної кількості фаз для сплаву із вмістом 20 об. % VC (б)

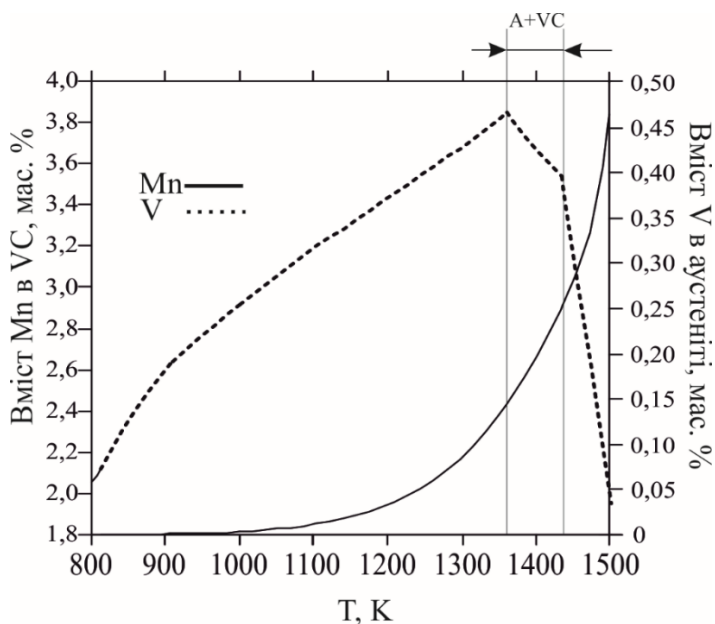


Рисунок 3 – Температурні залежності рівноважної розчинності Mn у VC та V в аустеніті

Результати аналізу мікроструктури (рис. 4) показують, що карбідна фаза виділяється у вигляді дисперсних включень без виразної геометрії, які розташовані у центральних областях аустеніт-

них дендритів та у вигляді тонкого прошарку по їх границях. Різниця у морфологічних особливостях карбідної фази спричинена їх кристалізацією на різних етапах затвердіння: спочатку із розплаву кристалізується VC, який виконує роль центрів для кристалізації аустенітної фази та у результаті розташовується у центральних областях зерен, а далі у трифазовій (A+L+VC) та двофазовій (A+VC) областях відбувається виділення карбідної фази по границях зерен внаслідок зниження розчинності V в аустеніті. Така структура також характерна для покриттів, отриманих при лазерному нанесенні феросплавних сумішей із високим вмістом V [6].

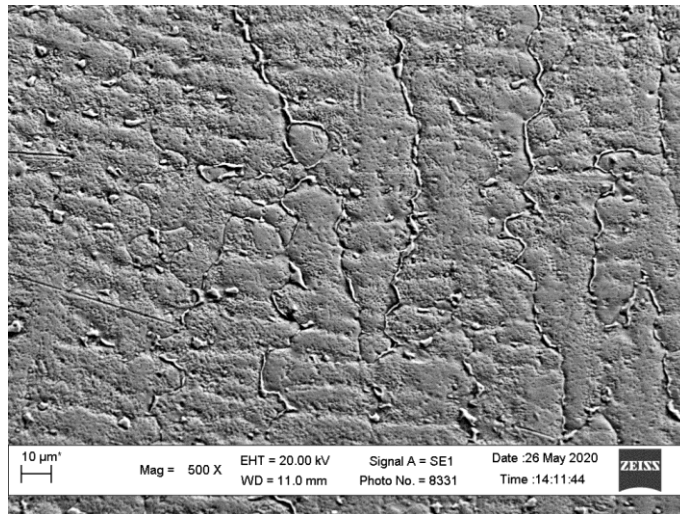


Рисунок 4 – Мікроструктура електродугового покриття системи високомарганцева кремниста сталь – VC (вміст VC у початковій шихті ~ 15 % об.)

Аналіз дифрактограми покриття (рис.5) показує, що основними є дві фази із ГЦК ґраткою (просторова група Fm – 3m (225)), а саме VC_x та γ-Fe (аустеніту). Параметр ґратки VC (4.257), збільшений на 0.087 порівняно із карбідом ванадію формульного складу VC_{0.88} [7]. Таке збільшення параметрів ґратки викликане у першу чергу розчиненням Mn у VC. Параметр ґратки аустеніту (3.567) є близьким до параметру ґратки марганцевого аустеніту сталі Гадфільда. Крім цього, у структурі присутній незначні сліди фериту та цементиту, які ймовірно викликані впливом матеріалу основи.

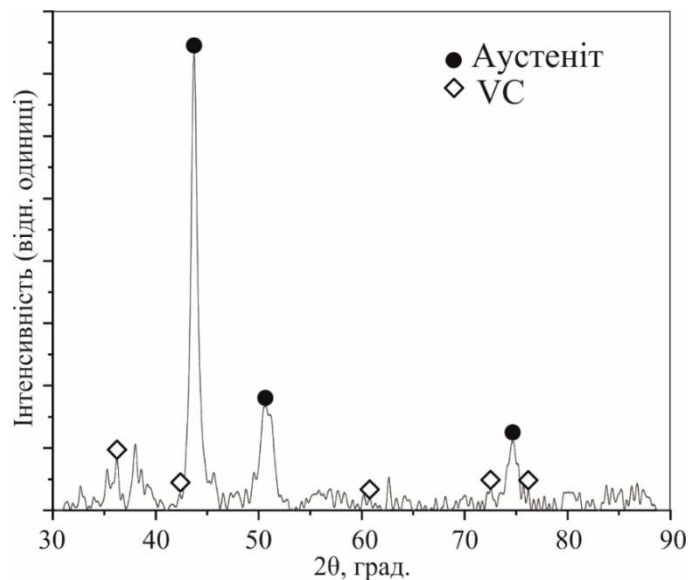


Рисунок 5 – Дифрактограма електродугового покриття системи високомарганцева кремниста сталь – VC (вміст VC у початковій шихті ~ 15 % об.)

Результати визначення твердості покриттів після нанесення та після пластичної деформації (рис. 6) показують, що при додаванні VC у кількості від 5 до 15 об. % твердість недеформованих покриттів зростає.

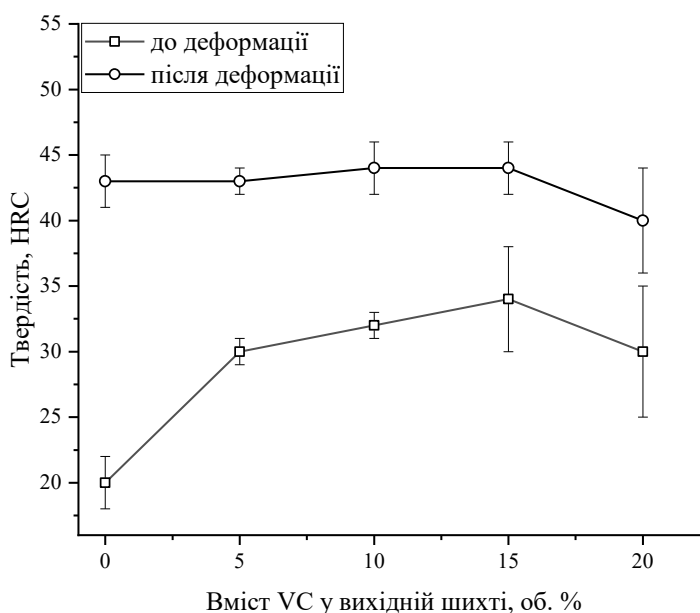


Рисунок 6 – Залежність твердості покриттів системи високомарганцева кремниста сталь – VC, залежно від вмісту карбідної фази

Особливо інтенсивним є ріст твердості на початковій стадії (до 5 об. %), що, ймовірно, зумовлено впливом твдорозчинного зміцнення V в аустеніті. Підвищення вмісту VC понад 15 % об. призводить до зменшення її значень та збільшення їх розкиду через значне погіршення технологічних властивостей процесу наплавлення, яке зумовлене утворенням значної кількості пор та розбризкуванням наплавленого металу.

Висновки

За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що псевдобінарна система високомарганцева сталь – VC відноситься до евтектичного типу із вмістом VC в евтектиці ~ 2 об. % та максимальною розчинністю VC в аустеніті ~ 0,2 об. %. На діаграмі існує достатньо широка двофазова область Аустеніт + VC, яка за умов швидкого охолодження, властивого для електродугового наплавлення зберігається у структурі. За результатами рентгенофазового та електронномікроскопічного аналізу було встановлено, що покриття складаються із двох основних фаз: карбіду ванадію із формульним складом VC_{0.88} та марганцевого аустеніту, легovanого кремнієм. Вимірювання твердості покриттів із різним вмістом VC у деформованому та недеформованому стані показують, що оптимальна концентрація VC у вихідній шихті становить ≤ 15 об. %. При підвищенні вмісту VC у вказаних межах наявність карбідної фази практично не впливає на здатність покриттів до деформаційного зміцнення, при цьому твердість у недеформованому стані зростає пропорційно до вмісту VC. Зносостійкість, отриманих покриттів за умов тертя по незакріпленому абразиву є вищою порівняно із серійними електродами на основі високомарганцевої сталі (Lastec 22) в 1,8 – 2 рази. Таке поєднання властивостей дозволяє рекомендувати розроблені покриття для умов роботи, де ударні або циклічні стискаючі навантаження супроводжуються стиранням робочих поверхонь, наприклад для зміцнення поверхонь деталей для переробки деревної біомаси (пуансони брикетувальних пресів для виготовлення паливних брикетів із деревної або ін. біомаси, ножі та контрножі рубильних машин для тирсоплити).

Література

1. Qi, X., Jia, Z., Yang, Q., & Yang, Y. Effects of vanadium additive on structure property and tribological performance of high chromium cast iron hardfacing metal. *Surface and Coatings Technology*, 2011, no. 205(23-24), pp. 5510-5514.
2. Lai, H. H., Hsieh, C. C., Lin, C. M., & Wu, W. Effects of vanadium content on the microstructure and dry sand abrasive wear of a eutectic Cr-Fe-C hardfacing alloy. *Metals and Materials International*, 2016, no. 22(1), pp. 101-107.
3. Jiang, M., Li, Z. X., Wang, Y. J., Shi, Y. W., Jiang, J. M., & Li, X. B. Effect of vanadium on microstructures and properties of Fe–Cr–C self-shielded metal cored hardfacing alloys. *Science and Technology of Welding and Joining*, 2008, no. 13(2), pp. 114–117
4. Shihab, T., Prysyzhnyuk, P., Semyanyk, I., Anrusyshyn, R., Ivanov, O., & Troshchuk, L. Thermodynamic Approach to the Development and Selection of Hardfacing Materials in Energy Industry. *Management Systems in Production Engineering*, 2020, no. 28(2), pp. 84-89.
5. Byeong-Joo, L., & Dong Nyung, L. A thermodynamic study on the FeMnC system. *Calphad*, 1989, no. 13(4), pp. 355–365.
6. Leunda, J., Soriano, C., Sanz, C., & Navas, V. G. Laser cladding of vanadium-carbide tool steels for die repair. *Physics Procedia*, 2011, no. 12, pp. 345-352.
7. Kurlov, A. S., & Gusev, A. I. Effect of nonstoichiometry on the lattice constant of cubic vanadium carbide VC y. *Physics of the Solid State*, 2017. no. 59(8), pp. 1520-1525.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОКРЫТИЙ НИТРИДОВ ТИТАНА И ХРОМА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ

Глушкова Д.Б., д.т.н. проф., Воронков А.И., д.т.н. проф., Калинина Н.Е., д.т.н. проф., ДНУ им. О. Гончара, Калинин В.Т., д.т.н. проф., НМетАУ

Аннотация. Методом структуры анализа исследованы фазовый состав, текстура и напряженное состояние в покрытиях на основе систем Ti-N, Cr-N, Ti-Cr-N, полученных методом плазменного осаждения. В выявленных фазах (TiN, Cr₂N) обнаружена текстура и значительные сжимающие напряжения, достигающие ~ 3 ГПа. Обсуждены факторы, влияющие на уровень остаточных напряжений, предложена модель формирования напряженного состояния в покрытиях нитрида титана и хрома.

Ключевые слова: нитриды титана, нитриды хрома, рентгеновская дифрактометрия, покрытия, остаточные напряжения, текстура, фаз. состав.

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ І ФАЗОВОГО СКЛАДУ ПОКРИТТІВ НІТРИДУ ТИТАНУ І ХРОМУ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ОСАДЖЕННЯ

Глушкова Д.Б., д.т.н. проф., Воронков О.І., д.т.н. проф., Калініна А.Є., д.т.н. проф., ДНУ ім. О. Гончара, Калінін В.Т., д.т.н. проф., НМетАУ

Анотація. Методом структури аналізу досліджено фазовий склад, текстуру і напружений стан в покриттях на основі систем Ti-N, Cr-N, Ti-Cr-N, отриманих методом плазмового осадження. У всіх виявлених фазах (TiN, Cr₂N) виявлено текстуру і великі стискаючі напруження, що досягають значення ~ 3 ГПа. Обговорено чинники, що впливають на рівень залишкових напружень, і запропоновано модель формування напруженого стану.

Ключові слова: нітрид титану, нітрид хрому, рентгенівська дифрактометрия, покриття, залишкові напруги, текстура, фаз. склад.

SPECIFIC FEATURES OF THE STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF COATINGS OF TITANIUM AND CHROMIUM NITRIDES OBTAINED BY ION-PLASMA DEPOSITION

Hlushkova D., Doctor of Technical Sciences, Prof., KhNAHU, Voronkov A., Doctor of Technical Sciences, Prof., KhNAHU, Kalinina N., Doctor of Technical Sciences, Prof., Oles Honchar DNU, Kalinin V., Doctor of Technical Sciences, Prof., NMetAU

Abstract. Phase composition, texture, and stress state in coatings based on Ti-N, Cr-N, and Ti-Cr-N systems obtained by ion-plasma sputtering method are studied using an X-ray diffractometry. Texture and high compressive stresses up to ~ 3 GPa are revealed in all observed phases (TiN, Cr₂N). Factors governing the residual-stresses' level are discussed, and a model of stress-state formation is proposed.

Key words: titanium nitrides, chromium nitrides, X-ray diffractometry, coatings, residual stresses, texture, phases composition.

Введение

При знакопеременных нагрузках, трении и коррозионных процессах разрушение деталей начинается с поверхности. Одним из способов повышения долговечности изделий в узлах трения деталей машин, повышения износо- и термостойкости является управление структурой и свойствами поверхностных слоев. Широкое применение в машиностроении нашёл способ модифицирования поверхности с помощью высокоэффективных и технологичных методов ионно-плазменного осаждения упрочняющих покрытий [1]. Метод ионно-плазменного осаждения в вакууме или атмосфере реакционного вещества отличается высокой скоростью нанесения покры-

тий и хорошей адгезией с подложкой. Для покрытий характерно возникновение значительных остаточных напряжений, величина и знак которых зависят от технологических режимов получения [1]. Возникающие напряжения могут приводить к ухудшению эксплуатационных характеристик изделия: прочности, износостойкости, термостойкости и приводить к образованию трещин [2]. Перспективными покрытиями для штампового инструмента, а также в узлах трения являются покрытия на основе нитридов переходных металлов [3]. Однако систематические исследования напряжённого состояния для покрытий сложного химического состава, формирующихся в неравновесных условиях и связанных с самоорганизацией диссипативных структур, в настоящее время отсутствуют. Это усложняет оптимизацию технологии получения покрытий с заданными структурой и свойствами [4].

Методика исследования

Покрытия нитридов титана и хрома толщиной 1,5-3,5 мкм наносили вакуумно-дуговым способом с использованием установки «Булат-3Т» на подложки из стали 20. Метод включает два основных этапа. На 1-м этапе происходили очистка и активизация поверхности подложки бомбардировкой ионами осаждаемого материала при потенциале смещения 1400 В. Радиационный нагрев подложки не превышал 500°C. На 2-м этапе производили осаждение покрытия.

Покрытия получались путем распыления катодов на основе титана и хрома высокой чистоты в среде очищенного азота при давлении, поддерживаемом равным 0,3 Па. Потенциал смещения и ионный ток составляли 200 В и 1,5 А при осаждении титана и 150 В и 0,8 А при осаждении хрома. Толщина покрытий изменялась путем увеличения времени осаждения от 5 до 15 мин. Покрытие системы Ti-Cr-N получалось путем одновременного распыления мишеней титана и хрома при потенциале смещения 150 В.

Объектами рентгеноструктурных исследований служили системы «пленка на подложке». Съёмки производились в излучении медного анода с монохроматизацией в дифрагированном пучке. Для идентификации структуры и выявления текстуры выполняли съёмки в интервале углов 2θ от 20° до 150°. Исследование остаточных деформаций в покрытиях выполняли с использованием $\sin^2\psi$ - метода путем прецизионного измерения межплоскостных расстояний при проведении многократных наклонных съёмок. С увеличением угла наклона ψ толщина информативного слоя естественно уменьшается. Для изучения фазового состава и оценки напряжений в тонком поверхностном слое покрытия толщиной $\leq 0,5$ мкм производилась съёмка в скользящей геометрии при угле скольжения $\alpha \approx 3^\circ$. При построении $\sin^2\psi$ - графиков в скользящей схеме дифракции определяли для каждого i -го отражения угол наклона равный $\psi_i = \alpha + \alpha_i$.

Результаты эксперимента Остаточные напряжения в покрытиях TiN

На рис. 1 представлено смещение дифракционных линий нитрида титана TiN при различных углах ψ , что указывает на наличие внутренних напряжений.

Анализ дифрактограмм покрытий системы TiN на подложке показал, что на них выявляются линии, соответствующие фазе TiN (структурный тип NaCl) и линии α -фазы (феррита), соответствующие отражению от подложки. При этом отражения от α -фазы присутствуют при всех значениях ψ . Отсюда следует, что в формировании дифракционной картины участвует вся толщина покрытия.

Дифракционные линии TiN типа (hhh) оказываются намного интенсивнее остальных отражений по сравнению с табличными данными, что свидетельствует о текстурировании TiN. Выявляется текстура аксиального типа с осью (111) перпендикулярной плоскости подложки, и углом рассеяния текстуры $\Delta\rho \geq 15^\circ$.

Анализ напряжённого состояния проводился по отражениям (333) TiN и (222) α -фазы (рис. 1). С увеличением угла ψ от 0 до 50° интенсивность линии (333) TiN увеличивается, а линия (222) α -фазы ослабляется. Кроме того, линия (333) TiN заметно смещается в сторону больших углов, в то время как положение линии (222) α -фазы практически не изменяется. Это означает, что в плоскости пленки действуют сжимающие напряжения, а в подложке напряжения рентгенографически не выявляются.

По данным рисунка определяли положения дифракционных линий и в соответствии с формулами находили период решетки.

Построенные по результатам обработки графики дифракционных профилей $\alpha_\psi - \sin^2\psi$ - представлены на рис. 2.

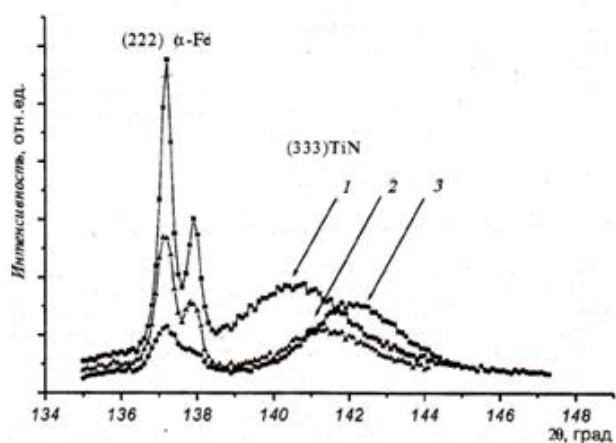


Рисунок 1 - Изменение вида участка дифрактограммы при наклонных съемках образца с покрытием TiN толщиной 1,9 мкм: 1 - $\psi = 0^\circ$, 2 - $\psi = 30^\circ$, 3 - $\psi = 50^\circ$

Следует отметить, что графики являются симметричными относительно наклона образца в сторону $\psi > 0$ и $\psi < 0$. Экспериментальные точки не описываются строго линейной зависимостью. Отклонение от линейной зависимости (кривая 1) превышает погрешность определения периода решетки, которая составляет $\pm 3 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$. Однако, аппроксимируя графики прямыми, можно оценить среднюю по толщине покрытия деформацию ε в соответствии с соотношениями:

$$\alpha_\psi = \alpha_0 \frac{1 + \nu}{E} \sigma_\varphi \sin^2 \psi + a_{\perp\psi}, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{a_{\psi=90^\circ} - a_{\psi=0^\circ}}{a_0} = \frac{a_{\parallel} - a_{\perp}}{a_0}, \quad (2)$$

где a_{\perp} - значение периода решетки в направлении нормали к отражающим плоскостям ($\psi = 0^\circ$); a_{\parallel} - значение периода решетки в плоскости пленки ($\psi = 90^\circ$); a_0 - значение периода решетки в ненапряженном состоянии; σ_φ - компонента нормальных напряжений в плоскости покрытия; ν - коэффициент Пуассона; E - модуль Юнга.

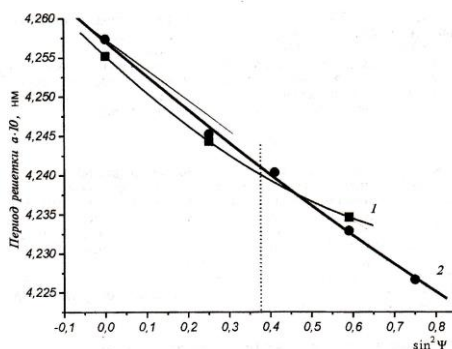


Рисунок 2 - График зависимости периода решетки от $\sin^2\psi$ для (333) TiN: 1-толщина покрытия 1,9 мкм, 2 - толщина покрытия 3,2 мкм

Средние значения деформаций ε составляют -0,82 % для образца толщиной 1,9 мкм и -0,98% для образца толщиной 3,2 мкм.

Линия 2 на графике описывает однородные в пределах всего отражающего слоя сжима-

ющие напряжения. Для расчета макронапряжений необходимо знание коэффициента Пуассона ν и модуля нормальной упругости E . Данные об этих параметрах для TiN в литературе противоречивы. При значениях $\nu = 0,23$ и $E = 429$ ГПа [5] были получены следующие значения макронапряжений в TiN-фазе: $\sigma = -3,1$ ГПа для покрытия толщиной 1,9 мкм; $\sigma = -3,4$ ГПа для покрытия толщиной 3,2 мкм.

Из $\sin^2\psi$ -графиков в предположении изотропного симметричного плосконапряженного состояния можно определить период решетки a_0 . Он определяется при значении ψ_0 , соответствующем недеформированному сечению эллипсоида деформаций:

$$\sin^2 \psi_0 = \frac{2\nu}{1+\nu}. \quad (3)$$

Как видно из рис. 2, значение a_0 в покрытиях разной толщины оказывается почти одинаковым для образцов, полученных в равноценных условиях, и равным $a_0 = 4,2415 \text{ \AA}$. Значение a_0 отличается от значения периода решетки TiN стехиометрического состава, равного $4,243 \text{ \AA}$ [6], но совпадает с данными работы [7]. Для TiN, как для фазы внедрения, характерна широкая область гомогенности. Как показывают оценки, полученное в данной работе значение a_0 свидетельствует, что отклонение от стехиометрического состава в покрытиях TiN не превосходит $\pm 10\%$ ат. азота.

Исследование с покрытиями на основе системы Cr-N

На дифрактограммах от покрытий на основе Cr-N выявлены интенсивные линии фазы Cr₂N с гексагональной решеткой, слабые линии хрома с (ОЦК-решеткой) и линии α -фазы (от подложки). Значительная интенсивность линий типа (h00) фазы Cr₂N свидетельствует о наличии текстуры аксиального типа с плоскостями (h00), расположенными преимущественно параллельно поверхности покрытия. Угол рассеяния текстуры составляет $\Delta \rho \sim 20^\circ$.

Наличие указанной текстуры подтверждается результатами съемки в скользящей геометрии, когда эти плоскости оказываются приблизительно перпендикулярными плоскости поверхности и выходят из отражающего положения.

В результате съемок установлено, что на стальной подложке первоначально формируется тонкий подслей хрома, а на нем образуется покрытие Cr₂N.

Для измерения макродеформаций и определения периодов решетки в фазе Cr₂N были выбраны отражения (411) и (223), расположенные в интервале углов дифракции 2θ 110-125°. Для указанных отражений построены зависимости $d_{\psi} - \sin^2\psi$, которые представлены на рис. 3. Из рис. 3 следует, что все значения межплоскостных расстояний Cr₂N в более тонком образце выше. Аналогичный вид имеют $\sin^2\psi$ -графики для дифракционной линии (223).

Средний уровень сжимающих макродеформаций в образцах находится в пределах от -1,3% до -1,0%. В тонком поверхностном слое величина остаточных деформаций по результатам съемок в скользящей геометрии совпадает с приведенными значениями. Периоды кристаллической решетки Cr₂N, рассчитанные по значениям межплоскостных расстояний $d_{(411)}$ и $d_{(223)}$ в недеформированном сечении, образца толщиной 3,0 мкм составляют $a_0 = 2,776 \text{ \AA}$ и $c_0 = 4,447 \text{ \AA}$. При оценке полагали, что $\nu = 0,23$, как и для CrN [10]. Значения периода решетки для тонкого образца оказываются выше: $a_0 = 2,783 \text{ \AA}$ и $c_0 = 4,471 \text{ \AA}$. Все полученные значения периодов решетки находятся в пределах области гомогенности фазы Cr₂N [8, 9].

В образце Ti-Cr-N толщиной 1,6 мкм в пределах отражающего слоя выявляется сложный фазовый состав. На дифрактограмме присутствуют линии, принадлежащие фазам TiN и Cr₂N, линии прослойки хрома, а также подложки. Анализ соотношения интенсивности дифракционных линий свидетельствует о том, что в покрытии Ti-Cr-N текстура проявляется слабее, чем в однофазных пленках.

Линии выявляемых фаз, как и в случае однофазных пленок, смещены в сторону меньших углов, что давало основания предполагать о наличии в покрытии сжимающих остаточных напряжений. Оценка макродеформаций и напряжений в нитриде титана выполнена $\sin^2\psi$ -способом по линии (422) с наибольшим углом 2θ из выявляемых отражений.

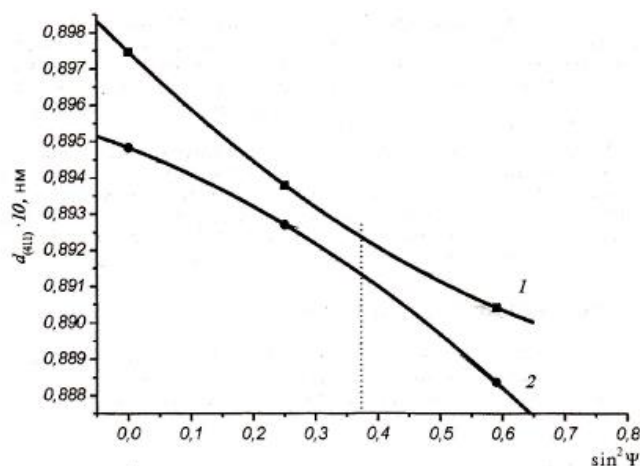


Рисунок 3 - d_{ψ} - $\sin^2 \psi$ - график для (411) Cr_2N : 1 - толщина покрытия 1,3 мкм, 2 - толщина покрытия 3,0 мкм

Обсуждение результатов

Фазовый состав исследованных образцов характеризуется присутствием фаз TiN или Cr_2N . Фазы Ti_2N и CrN не выявляются. Это можно объяснить следующим образом. Согласно диаграммам фазового равновесия систем Ti-N и Cr-N [12, 13], фазы Cr_2N и TiN формируются по перитектической реакции. В квазиравновесных условиях вакуумной конденсации по механизму «пар-кристалл» [10] они могут образовываться в результате газоперитектической реакции вблизи поверхности подложки. Фазы CrN и Ti_2N могут получаться при соответствующих температурах и временах осаждения по перитектоидным реакциям в твердом состоянии с участием уже сформировавшихся ранее твердых нитридов Cr_2N и TiN . При использованных нами условиях получения покрытий образование CrN и Ti_2N подавлено кинетическим фактором.

При одновременном испарении титана и хрома в атмосфере азота основной фазой в покрытии является TiN . Титан взаимодействует с азотом из-за его более высокого сродства с азотом, чем у хрома. Так, свободная энергия реакции образования TiN ($-\Delta G$) в 2,6 раза выше, чем у Cr_2N , а константа скорости реакции выше примерно в 1,5 раза [11].

Особенностью структурного состояния рентгенографически исследованных покрытий является наличие значительных сжимающих напряжений и текстуры, закономерно связанных с режимами осаждения. Подобные результаты, наблюдавшиеся ранее при исследовании пленок, осажденных из потоков энергетических частиц, широко описывались различными авторами [3-5]. При этом анализировалось влияние отдельных факторов организации структуры покрытий, таких, как «атомная поковка» (пининг) [3, 4], «уплотнение» [12], «столкновение кристаллитов» [13]. Однако к настоящему времени не существует обоснованного объяснения причин формирования аномально высоких деформаций, которые зачастую превышают 1%, что существенно выше привычного предела упругости образцов металлургического происхождения.

Полученные в работе сведения о фазовом составе, структуре, субструктуре, текстуре и напряженном состоянии покрытий различной толщины дают основания рассматривать процесс формирования пленок с позиций эволюции структуры и её самоорганизации в рамках необратимого многопараметрического термодинамического процесса. Основная идея такого подхода заключается в том, что если в ходе формирования покрытия система «растущая пленка на подложке» испытывает спектр энергетических воздействий, то в ней развивается ряд направлений диссипации энергии и откликов самой системы, таких, чтобы суммарная энергия Гиббса системы «пленка-подложка» была минимальной. При этом «пленка» может быть гетерофазной и неоднородной изначально или становится такой в ходе развития системы. В многоуровневой по структуре системе (макро-, микро- и субмикро-структурный уровни) диссипация подводимой и локально накапливаемой энергии также должна происходить многоуровнево и не-однородно по объему. С позиций теории упругости это вызывает формирование остаточных деформаций, локализованных на уровне макро-, микро- и субмикро-структуры. Знак величина и распределение напряжений при этом должны находиться во взаимосвязи со структурным и текстурированным состоянием.

Микронапряжения в плавках уравниваются в пределах отдельных зерен, но имеют об-

щую ориентировку главных направлений в каждом зерне, обусловленную, например, ориентированным влиянием дальнедействующей части полей смещений вокруг дефектов.

При формировании покрытий из потоков низкоэнергетичных частиц наблюдалось образование радиационных дефектов типа дислокационных петель внедрения [14]. Петли должны располагаться в плотноупакованных плоскостях, ориентировка которых по отношению к поверхности образца связана с преимущественной ориентацией кристаллитов. Дефекты такого типа приводят к смещению дифракционных линий [15]. Таким образом, значения напряжений, определяемые по смещению дифракционных линий из $\sin^2\psi$ - графиков, являются суммой усредненных по отражающему объёму напряжений первого и второго рода:

$$\sigma_{\text{ост}}^{\sin^2\psi} = \sigma_I + \sigma_{II}^{\text{оп}} \quad (4)$$

Приводимые в работах [16] различия в уровне напряжений по рентгенографическим данным и по прогибу подложки можно объяснить действием суммы напряжений, не только σ_I , измеряемого по прогибу. Деформация достигает своего максимального предела и имеет одинаковый знак, при этом вычисляемые напряжения будут аномально высокими.

В свою очередь, остаточные макронапряжения, выявляемые в покрытиях, можно представить как сумму термических напряжений $\sigma_I^{\text{терм}}$, обусловленных различием коэффициентов термического расширения пленки и подложки, и структурных $\sigma_I^{\text{стр}}$, обусловленных неоднородным изменением удельного объема. Такое изменение может происходить в результате кристаллизации аморфной фазы, атомного пиннинга или отжига структурных дефектов. Таким образом:

$$\sigma_{\text{ост}}^{\sin^2\psi} = \sigma_I^{\text{терм}} + \sigma_I^{\text{стр}} + \sigma_{II}^{\text{оп}}. \quad (5)$$

При оценке остаточных напряжений термического происхождения в пленках TiN, осажденных на стальные подложки при температуре $\leq 500^\circ\text{C}$, получены значения сжимающих напряжений, не превышающих 1 ГПа, что существенно ниже измеренных в данной работе $\sigma_{\text{ост}}^{\sin^2\psi} = 3$ ГПа. Очевидно, что решающий вклад в величину измеренных остаточных напряжений в покрытиях вносят структурные напряжения $\sigma_I^{\text{стр}}$, обусловленные структурными изменениями.

Как видно из рис. 2-4, в отличие от классического $\sin^2\psi$ - способа, наблюдается нелинейный характер $\sin^2\psi$ - графиков. Отклонение от линейной зависимости, как отмечалось выше, заметно превышает погрешность измерений. Линейная зависимость наблюдается только для образца TiN толщиной 3,2 мкм (линия 2 на рис. 2), что свидетельствует об однородности напряжений и состава по глубине информативного слоя. Как известно, искривление $\sin^2\psi$ - графиков может быть вызвано рядом причин: наклоном главных осей напряжений к поверхности образца, неоднородностью по глубине пленки уровня напряжений или состава, влиянием текстурированности образца. Всесторонний анализ экспериментальных результатов свидетельствует, что в данном случае нелинейный характер $\sin^2\psi$ - графиков обусловлен, в первую очередь, неоднородным по толщине напряженным состоянием.

Различный ход зависимостей возможен, если вклад σ_I и $\sigma_{II}^{\text{оп}}$ в $\sigma_{\text{ост}}$ изменяется в зависимости от толщины покрытия, его структурного состояния и степени совершенства текстуры. Так, увеличение толщины покрытия TiN от 1,9 до 3,2 мкм, сопровождающееся уменьшением угла рассеяния текстуры на 25%, вызывает повышение суммарных $\sigma_{\text{ост}}$ и усиление выпуклости кривых. При этом оцененная по уширению дифракционных линий с кратными индексами плотность дислокаций в стенках увеличивается от $9 \cdot 10^{10}$ до $25 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, а плотность хаотично распределенных дислокаций уменьшается от $2,8 \cdot 10^{12}$ до $1,6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Это, по-видимому, связано с радиационным отжигом дефектов структуры, сформированной на начальных стадиях роста покрытия. Накопление в текстурированных пленках таких вторичных дефектов, как дислокационные петли внедрения малого диаметра, создающих дальнедействующие поля искажений [16], должно приводить к формированию $\sigma_{II}^{\text{оп}}$.

Выводы

Полученные в настоящей работе результаты исследования структуры и напряжённого состояния дают основания для построения модели формирования ионно-плазменных конденсатов, учитывающей конкретные параметры осаждения и косвенные данные. В основе модели лежит предположение о том, что структура слоев сформированных на начальных стадиях роста покрытия эволюциони-

рует в процессе осаждения более существенно, чем в условиях термического осаждения.

Напряжения, образующиеся в результате уплотнения (сжатия) и кристаллизации (растяжения), уравниваются между покрытием и подложкой и являются напряжениями первого рода σ_1 . После кристаллизации наблюдается текстура, поскольку процесс роста кристаллографически ориентированных зерен является энергетически более выгодным, чем рост высокодисперсного поликристалла с хаотичной ориентировкой кристаллитов. Кристаллизация и образование текстуры в покрытиях частично снимают остаточные макронапряжения, но не полностью, так как верхние слои покрытия непрерывно уплотняются в результате бомбардировки. При толщине покрытий более 1,5-2,0 мкм внутренние слои плёнки испытывают радиационно стимулированный отжиг.

Дальнейший рост покрытия может приводить к изменению вклада этих составляющих в общий уровень остаточных напряжений, что должно проявляться в изменении вида $\sin^2\psi$ -графика и соотношения между деформацией в плоскости плёнки и по нормали к ней.

Таким образом развитие структуры плёнок, субструктуры зёрен и их преимущественной ориентировки, а также напряжённого состояния взаимосвязаны и определяются конкретными технологическими параметрами нанесения покрытия.

Литература

1. Погадаев Л.И. Исследование плазменнонапыленных покрытий. Проблемы машиностроения и надёжности машин. – 2003. - №3. – С. 29-31.
2. Тушинский Л.И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов. – Новосибирск: Наука, 1990. – 306 с.
3. C.B. Carter, D.B. Williams. Transmission Electron Microscopy: Diffraction, Imaging, and Spectrometry. Springer, IP, 2016.
4. M. Lee. X-Ray Diffraction for Materials Research: From Fundamentals to Applications, CRC Press, Hardback, 2016.
5. Hlushkova D.B., Hrinchenko O.D., Kostina L.L., Cholodov A.P. The choice of material for strengthening of leading edges of working blades of steam turbines, Problems of Atomic Science and Tehnology, 2018, 113(1), p.181-188.
6. А.П. Шпак, О.В. Соболев, Ю.А. Куницкий. Закономерности формирования фазово-структурного состояния конденсатов, полученных ионным. Успехи физики металлов. — 2008. — Т. 9, № 3. — С. 357-370.
7. В.В. Кудинов Плазменные покрытия. М.: Наука, 2007. – 184 с.
8. А. П. Шпак, Ю.А. Куницкий, З.А. Самойленко, *Самоорганизация структуры в материалах различной природы* (Киев: Академперіодика: 2002).
9. Д.С. Крикун Production and restoration of Heavy-Duty Machine bearing inserts by the ion-plasma method. Сб. праць мьжн. Наук-практ. Конф. Студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодь та науково-технічний прогрес», Київ, 2013, с. 38-41.
10. J.M. ZuoJohn, C.H. Spence. Advanced Transmission Electron Microscopy. Springer, NY, 2017.
11. Миркин Л.И. *Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов: Справочник* (Москва: Машиностроение: 1999).
12. J.I. Goldstein, D.E. Newbury, J.R. Michael, N.W.M. Ritchie, J. Henry J. Scott, D.C. Joy. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, Springer, NY, 2017.
13. Kalinina N.E., Hlushkova D.B., Hrinchenko O.D., Nosova T.V., Reznikov A.A. Hardening of leading edges of turbine blades by electrospark alloying, Problems of Atomic Science and Tehnology, 2019, 120(2), p.151-154.
14. D. Su. Advanced electron microscopy characterization of nanomaterials for catalysis, V. 2 (2), 2017, P. 70-83.
15. Кривоглаз М. А. *Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами* (Москва: Наука: 2000).
16. Hlushkova D.B., Ryzhkov Y.V., Kostina L.L., Demchenko S.V. Increase of wear resistance of the critical parts of hydraulic hammer by means of ion-plasma treatment, Problems of Atomic Science and Tehnology, 2018, 113(1), p.208-211.

ШВИДКІСНА ЗНЕМЦІНЮВАЛЬНА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ХОЛОДНОКАТАНОЇ ТОНКОЛИСТОВОЇ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Дощечкіна І.В., к.т.н., проф., Терещенко Д.С., аспірант, ХНАДУ

Анотація. Розроблена і досліджена швидкісна знеміцнювальна обробка холоднокатаної тонколистової сталі 08кп з використанням контактної нагріву та охолодження. Установлені оптимальні температурно - часові параметри процесів рекристалізаційного відпалу та подальшого перестарування для запобігання природного старіння при тривалому вилежуванні або транспортуванні сталі. Розроблена технологія термічної обробки холоднокатаного листа забезпечує комплекс властивостей, які відповідають підвищеним вимогам споживача для виготовлення двошарових згорнуто паяних трубок малого діаметра, які експлуатуються під великим тиском. Трубки із стрічкових заготовок, що були оброблені за рекомендованою технологією, успішно пройшли 100 % контроль якості в умовах виробництва.

Ключові слова: тонкий лист, холоднокатана сталь 08кп, швидкісний контактний нагрів, рекристалізаційний відпал, перестарування, природне старіння, структура, міцність, технологічна пластичність, холодна пластична деформація.

СКОРОСТНАЯ РАЗУПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ХОЛОДНОКАТАНОЙ ТОНКОЛИСТОВОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Дощечкіна І.В., к.т.н., проф., Терещенко Д.С., аспірант, ХНАДУ

Аннотация. Исследована скоростная разупрочняющая обработка холоднокатаной тонколистовой стали 08кп с использованием контактного нагрева и охлаждения. Установлены оптимальные температурно - временные параметры процессов рекристаллизационного отжига и последующего перестарування для предотвращения деформационного старения Разработана технология термической обработки обеспечивает комплекс свойств, которые соответствуют регламентированной документации потребителя для изготовления двухслойных свернуто паяных трубок малого диаметра, которые эксплуатируются под большим давлением Трубки, обработанные по рекомендуемой технологии, успешно прошли 100% контроль качества в условиях производства.

Ключевые слова: тонкий лист, холоднокатаная сталь 08кп, скоростной контактний нагрів, рекристалізаційний отжиг, перестарување, деформационное старение, структура, прочность, технологическая пластичность

SPEED RELIABLE HEAT TREATMENT OF COLD-ROLLED THIN-SHEET LOW-CARBON STEEL

Doschekhina I.V., PhD, Associate Professor, Tereshchenko D.S., graduate student, KhNAHU

Annotation. High-speed softening treatment of cold-rolled thin sheet steel has been investigated 08kp using contact heating and cooling. Optimal temperature - temporary process parameters recrystallization annealing and subsequent re-aging to prevent strain aging The developed technology of heat treatment provides a set of properties that correspond to the regulated documentation of the consumer for the manufacture of two-layer coiled brazed small-diameter tubes that are operated under high pressure Tubes, processed according to the recommended technology, have successfully passed 100% control in production conditions.

Keywords: thin sheet, cold rolled steel 08kp, high-speed contact heating, recrystallization annealing, over-aging, strain aging, structure, strength, technological plasticity

Вступ

У виробництві різних видів металопродукції значне місце займає тонколистовий прокат, який завдяки своїм технологічним і експлуатаційним властивостям, а також економічним показникам дуже

широко використовується в різних галузях народного господарства для виготовлення металокопункцій і деталей, зварних труб і гнутих профілів методами холодного деформування.

Питання особливості виробництва і покращення якості цього виду металопродукції знаходяться під постійною увагою як виробників, так і споживачів. Вирішення цієї важливої проблеми передбачає розробку нових сталей, створення більш досконалого виду обладнання, впровадження нових прогресивних технологій обробки для підвищення як технологічних, так і службових характеристик.

В останні часи все ширше використовуються нові типи сталей (ДФМС, ІФ, TRIP-сталі, та інші) підвищеної міцності і достатньо пластичних без погіршення здатності до холодного деформування. Такі сталі, безумовно, необхідні для елементів силових каркасів машин. Для металопродукції, що потребує забезпечення високого рівня технологічності матеріалу для складних процесів холодного деформування при виготовленні, і не підлягає значним навантаженням при експлуатації, як і раніше, широко застосовують листові низьковуглецеві сталі.

З листового прокату сталей 08кп, 08Ю товщиною 0,5 - 0,8 мм виготовляють двошарові згорнуто паяні трубки для гідравлічних систем дорожньо-будівельних та сільськогосподарських машин, автомобілів, приборів, а також для багатьох агрегатів побутового використання. Технологія виробництва таких трубок вимагає різних видів складної холодної пластичної деформації (розтягування, розбортовування, загинання, обтиснення, сплющування з перекриттям кромки) для здійснення процесів формозміни і тому сталь повинна мати високу пластичність [1]

В той же час до двошарових згорнуто паяних трубок ставляться вимоги вібронестійкості, надійності при знакозмінних навантаженнях, здатності витримувати значний внутрішній тиск, точності геометрії, високої якості внутрішньої і зовнішньої поверхні

З урахуванням технологічних і експлуатаційних особливостей виробів в роботі вирішувалося актуальні питання забезпечення холоднокатаній сталі 08кп високої технологічної пластичності при достатній міцності та запобігання її природного старіння.

На вітчизняних металургійних комбінатах традиційним способом термічної обробки тонколистового холоднокатаного прокату сталей 08кп і 08Ю, призначених для виготовлення виробів методами холодної деформації, є рекристалізаційний відпал рулонів в садочних ковпакових печах [2,3]. Мета відпалу - отримання однорідного зерна, відновлення пластичності, забезпечення необхідної деформованості при холодній обробці металу тиском.

Однак ковпаковий спосіб знеміцнення сталі має ряд специфічних недоліків: дуже тривалий процес, значні витрати електроенергії, нерівномірність нагріву рулонів і неоднорідність структури та властивостей по довжині і ширині листа, погана якість поверхні.

Ефективною і продуктивною є для технологія швидкісної безперервної термічної обробки в протяжних агрегатах, яка об'єднує в єдиному процесі рекристалізаційний відпал та перестарювання з метою знеміцнення холоднокатаної сталі, забезпечення стабільності властивостей і запобігання природного старіння після швидкісного відпалу. Така обробка потребує всього до 20 хвилин на різних агрегатах [4,5] і таке різке скорочення часу висуває певні вимоги. Рекомендується застосовувати низьковуглецеві сталі (0,05-0,06% С), які менше схильні до деформаційного старіння після прискореного нагріву і охолодження при відпалі. Досить неоднозначні відомості стосовно температурно-часових режимів відпалу і перестарювання різних сталей.

Треба зазначити, що відпал в ковпакових печах не забезпечує потрібний рівень властивостей згідно регламентованої документації споживача ($\sigma_b = 340-350$ МПа, $\sigma_{0,2} = 300-320$ МПа, δ не менше 33 %) для виготовлення тонколистових заготовок зі сталі 08кп для двошарових згорнуто паяних трубок гідравлічних систем, які експлуатуються в умовах значного робочого тиску від 300 до 450 кгс/см². У зв'язку з цим питання розробки нових методів обробки для вирішення питання поєднання суперечливих вимог підвищення технологічної пластичності холоднокатаної сталі при одночасному збільшенні міцності і покращенні якості листа є на часі актуальним і має безумовне практичне значення.

Мета і постановка завдання

Мета роботи – забезпечити холоднокатаній тонкій смузі зі сталі 08 кп достатню міцність при підвищенні технологічної пластичності для бездефектного виготовлення двошарових згорнуто паяних трубок малого діаметра.

Для реалізації мети вирішувалися наступні завдання: дослідження і визначення оптимальних температурно-часових параметрів швидкісного контактного рекристалізаційного відпалу і наступно-

го перестарювання тонких стрічкових заготовок для отримання заданого комплексу експлуатаційних властивостей та упередження природного старіння.

Матеріал і методика досліджень

Дослідженню підлягала холоднокатана маловуглецева листовая сталь 08 кп товщиною 0,6 мм серійної плавки на металургійному комбінаті. У вихідному стані після прокатки із 60 % обтиснення сталь мала текстуровану структуру із середнім розміром феритного зерна 50-60 мкм і наступними властивостями: $\sigma_b = 810$ МПа, $\sigma_{0,2} = 640$ МПа, $\delta \sim 2$ %.

Холоднокатані стрічки піддавали швидкісному рекристалізаційному відпалу при температурах 650 - 720 °С з видержкою 5, 10 та 15 с на установці з теплообмінними контактними барабанами. Стрічка з рулону, надходить у піч, в середині якої послідовно обгинає два нагрітих барабана і в результаті контакту з їх поверхнями відпалюється. На виході з печі стрічка надходить на водоохолоджувальні ролики, а потім змотується у рулон. Температура нагріву поверхні барабанів була в межах від 640 до 800 °С. Швидкість нагріву і охолодження (100- 80 °С/с відповідно) стрічки визначалася швидкістю протягування її в установці. Охолодження проводили до кімнатної температури.

Після відпалу проводили дресування металевих стрічок – прокатку з обтисненням 1,5%. Як відомо після дресування сталь має кращі витяжні властивості та якість поверхні стрічок.

З метою попередження деформаційного старіння відпалену сталь піддавали перестарюванню при температурі 400 °С. Час перістарювання варіювався від 2 с до 2 хв.

Наші попередні дослідження свідчать про недоцільність підвищення температури та більш тривалої видержки.

Ефективність відпалу та перестарювання оцінювали по мікроструктурі сталі і її механічним властивостям як безпосередньо після термічної обробки, так і після природного старіння протягом 30 діб.

Дослідження макроструктури проводили за допомогою металографічного мікроскопа UIT MicroMet – I-102 BD та електронного мікроскопів РЕМ-106.

Механічні властивості визначали після випробування на розтяг за стандартними методиками

Для підрахунку розміру зерен і визначення дисперсії в їх розподілі за величиною використана спеціальна комп'ютерна програма.

Основні результати досліджень

Як показали дослідження швидкісний відпал при 650 °С з видержкою 5 с майже повністю ліквідує текстуру деформованої сталі, але зерно фериту залишається великим – середній розмір 40 - 45 мкм зерен (рис. 1, а), якій відповідає 6 номеру шкали оцінювання розмірів зерен. Після видержки 10 с в поряд із зернами розміром 35 мкм з'являються дрібні зерна, що є наслідком початку рекристалізації (рис. 1, б). При збільшенні часу видержки до 15 с фіксується відчутне здрібнення зерна до 25 - 30 мкм. Однак зберігається різнозернистість - фіксуються зерна розміром до 10 мкм (рис. 1, в).

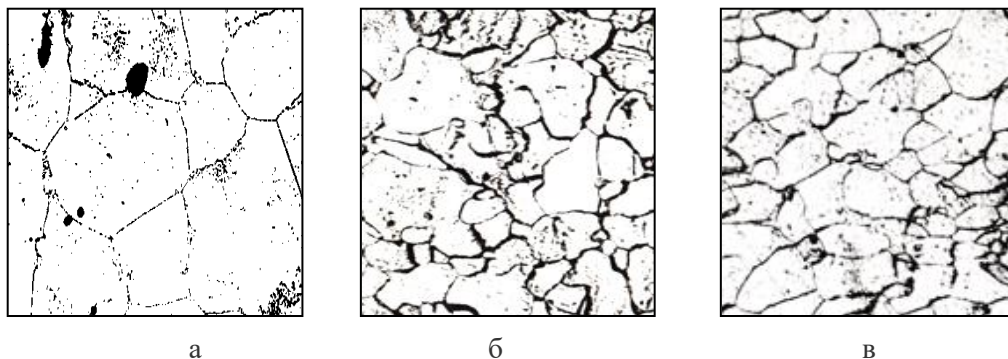
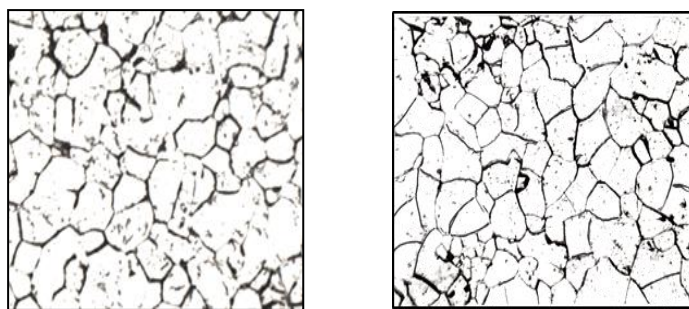


Рисунок 1 - Мікроструктура сталі 08кп після відпалу при 650 °С із видержкою:
а – 5 с; б – 10 с; в – 15 с; х 500

Відпал при температурі 700 °С з видержкою 5 с забезпечує подрібнення зерна до 23 - 25 мкм при певній неоднорідності мікроструктури за розмірами зерен (рис.2 а). Збільшення часу витримки до

15 с підвищує ступінь однорідності структури при подальшому здрібненні зерна до 18-20 мкм, що відповідає 8 номеру шкали (рис. 2, а і б).



а

б

Рисунок 2 - Мікроструктура сталі 08кп після відпалу при 700 °С із видержкою: а – 5 с ; б – 15 с ; х 500

При підвищенні температури до 720 °С з видержкою 15 с більшість зерен мають розмір 11-12 мкм, але існують зерна значно більших розмірів (рис. 3).

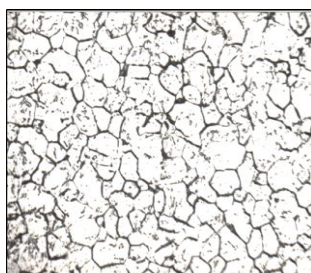


Рисунок 3 - Мікроструктура сталі 08кп після відпалу при 720 °С із видержкою: а –15 с ; б – 15 с ; х 500

Розмір зерна має значний вплив на деформівність сталі. Занадто дрібне зерно фериту зміцнює сталь, а велике призводить до зниження ударної в'язкості та окрихчення сталі. В обох випадках має місце утруднення деформування сталі.

Як свідчать літературні джерела [4,6,7] найкращим як з точки зору комплексу для обробки сталі тиском в холодному стані, так і якості поверхні є розмір зерна 7- 8 номеру.

Показники механічних властивостей, згідно з мікроструктурними дослідженнями, свідчать, що оптимальним режимом рекристалізаційного відпалу є нагрів при 700 °С із витримкою 15 с. При цьому дуже суттєво зростає пластичність (відносне подовження збільшується з 14 до 30%) і значно знижуються показники міцності (рис .4). Підвищувати температуру недоцільно як з точки зору пластичності, так і міцності талі.

При відпалу в умовах дуже швидкого нагріву і охолодження α -твердий розчин пересичений надлишковою кількістю вуглецю та азоту, які не встигають виділитися, і метал знаходиться у нерівноважному стані. З часом при вилежуванні, транспортуванні до споживача або подальших переділах прокату коли процес протікає повільно, ферит буде позбуватися від зайвої кількості цих елементів за рахунок виділення карбідів та нітридів (рис. 5) . Відбувається деформаційне старіння сталі і, як наслідок, погіршується здатність її до деформування.

Як показали дослідження після вилежування на протязі 5 діб рекристалізованого при 700 °с з видержкою 15 с сталевого листа його відносне подовження δ зменшилося з 30 % до 28 %, а характеристики міцності значно підвищилися. По завершенню місяця пластичність δ впала до 14%, показники міцності збільшилися не суттєво (рис. 6).

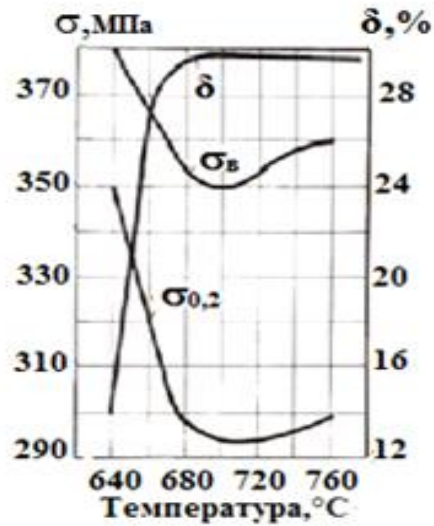


Рисунок 4 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 700 °С з видержкою 15 с та вилежування протягом доби

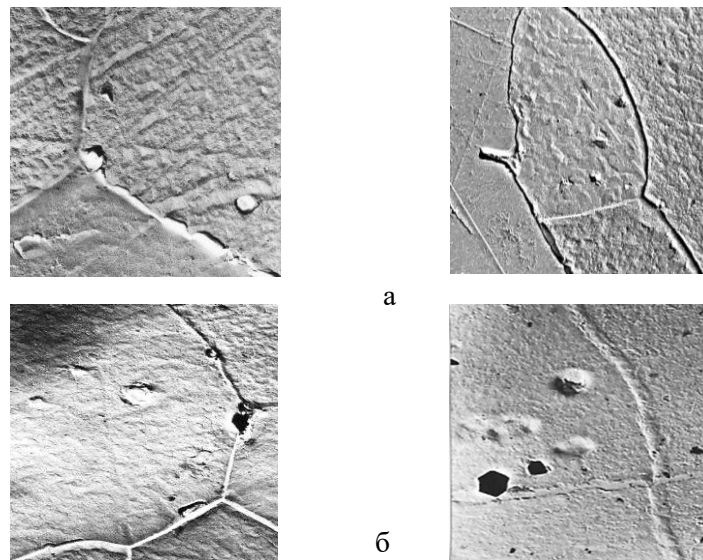


Рисунок 5 - Мікроструктура сталі 08кп після рекристалізаційного відпалу при 700 °С (видержка 15 с) та деформаційного старіння протягом 5 діб (а) і місяця (б); x10000

Як показали дослідження після вилежування на протязі 5 діб рекристалізованого при 700 °С з видержкою 15 с сталевого листа його відносне подовження δ зменшилося з 30 % до 28 %, а характеристики міцності значно підвищилися. По завершенню місяця пластичність δ впала до 14%, показники міцності збільшилися не суттєво (рис. 6).

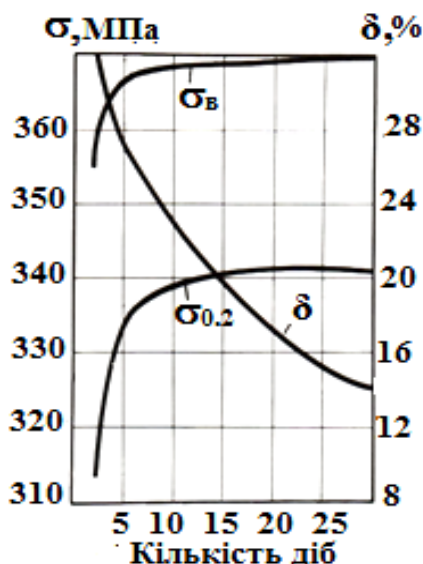


Рисунок 6 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 700°C з видержкою 15 с та вилежування протягом місяця

У рекристалізованого при 750 °С з видержкою 15с листа після вилежування на протязі місяця відносне подовження δ зменшилося від 30 % до 8 %, а характеристики міцності, особливо границя текучості дуже суттєво (рис. 7)

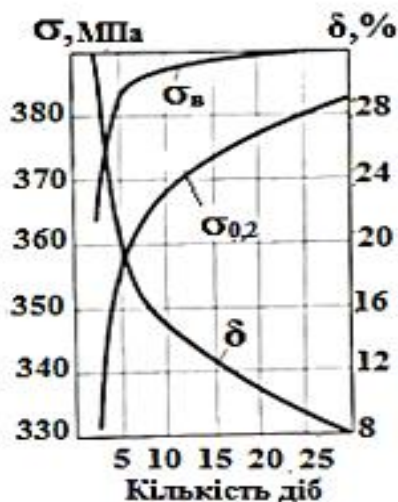


Рисунок 7 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 750 °С з видержкою 15 с вилежування протягом місяця

Як свідчать дослідження ефект старіння проявляється тим сильніше, чим більше час видержки при температурі відпалу і чим вище ця температура. Це зумовлено більш повним розчиненням вуглецю в α -фазі зі збільшенням температурно - часових параметрів відпалу.

Щоб запобігти ефекту старіння і отримати стабільні механічні властивості сталь після рекристалізаційного відпалу піддавали подальшій термообробці – перестарюванню.

Перестарювання при 400 °С з видержкою 30 с забезпечує пластичність на рівні 31%. Після п'яти діб вилежування пластичність зменшується до 30 % при незмінних показниках міцності. По закінченню 30 діб пластичність відпаленої сталі знижується до 26%, характеристики міцності мають тенденцію до підвищення (рис. 8).

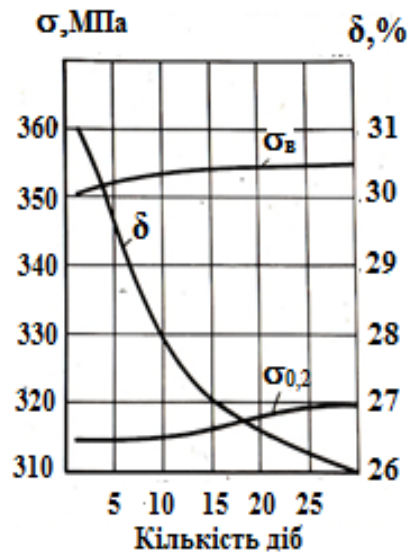


Рисунок 8 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 700 °С, (видержка 15 с), перестарювання (видержка 30 с) та природного старіння

Зі збільшенням часу видержки при перестарюванні до 2 хвилин відчутний ефект його позитивного впливу на стабілізацію процесів природного старіння (рис. 9). Так після 5 діб вилежування пластичність знизилася всього від 34,5 до 33,5 %, тимчасовий опір майже не змінився , а границя текучості збільшилася з 315 до 323 МПа. Після подальшого вилежування на протязі місяця механічні характеристики залишилися незмінними Таку стабілізацію механічних властивостей з плином часу, можна пояснити повним очищення твердого розчину від надлишкового вмісту вуглецю та шкідливих домішок і забезпеченням рівноважного стану структури.

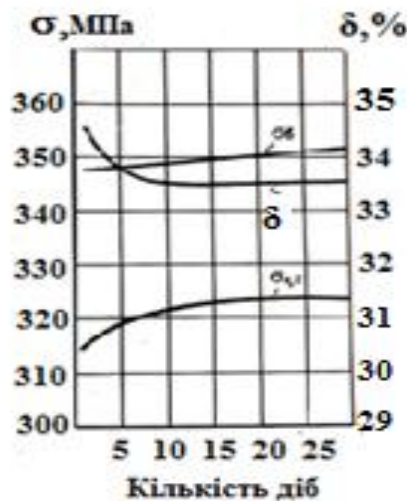


Рисунок 9 - Механічні властивості сталі 08кп після відпалу при 700 °С, (видержка 15 с), перестарювання (видержка 2 хв) та природного старіння

Стрічки, оброблені за двостадійним режимом термічної обробки, були порізані на смуги шириною для виготовлення двошарових згорнуто паяних трубок діаметром 8 мм, із перекриттям від 1,0 до 1,2 мм для спаювання.

При проходженні 100 % контролю спаяних трубок відзначена їх задовільна якість як за властивостями, так і за станом поверхні.

Висновки

1. Найкращим режимом контактного швидкісного ($100\text{ }^{\circ}\text{C/s}$) рекристалізаційного відпалу є нагрів до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ з видержкою 12 с, який забезпечує холоднокатаній тонколистовій сталі 08кп комплекс властивостей ($\sigma_{\text{в}} = 350\text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 295\text{ МПа}$, $\delta = 30\%$), що відповідає згідно ГОСТ 9045-93 категорії ВГ, тобто здатності сталі до холодного складного деформування.

2. Подальше деформаційне старіння протягом місяця відпаленої за швидкісним режимом сталі 08 кп призводить до різкого падіння пластичності (δ в 2,5 рази) і підвищення міцності. .

3. Двоступенева знеміцнювальна швидкісна термічна обробка, що складається з рекристалізаційного відпалу при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ з видержкою 12 с і подальшого перестарювання при $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 2 хв, підвищує як міцність, так і пластичність ($\sigma_{\text{в}} = \sim 350\text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 310\text{-}320\text{ МПа}$, $\delta = 33,5\%$) холоднокатаної сталі 08кп і запобігає її старінню при вилежуванні протягом одного місяця. Отримані властивості відповідають регламентованим вимогам споживача до заготовок, призначених для виготовлення двошарових згорнуто паяних трубок, що експлуатуються в умовах підвищеного тиску.

4. Згорнуто паяні двошарові трубки малого діаметру, що були виготовлені із сталевих смуг, оброблених за розробленими режимами, успішно пройшли контроль якості в умовах виробництва як за показниками властивостей, тмк і за якістю поверхні.

Література

1. Прудникова О. Р., Щербаков Э. Д., Лапин В.П. Выбор стали и технологии производства при изготовлении тонкостенных электросварных труб и изделий из них. Литьё и металлургия. 2011. № 3 (51). С. 216 – 221.

2. Конспект лекцій з дисципліни "Вступ до спеціальності. Розділ «Обробка металів тиском»" / С.В. Єршов. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 92 с

3. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства: Учебное пособие, – Москва: Наука. СПб: Наука, 2005, 540 с.

4. Гладченкова Ю. С. Управление структурой и свойствами проката из низкоуглеродистых и низколегированных сталей для получения изделий методами штамповки: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.01. Москва, 2016. 147 с.

5. Гусева С. С., Гурено В. Д, Зварковский Ю. Д. Непрерывная термическая обработка автолистовой стали. Москва: Металлургия, 1979. 224 с.

6. Матюк В. Ф. Влияние технологии производства листового проката низкоуглеродистых качественных сталей на их структурное состояние и взаимосвязь между механическими и магнитными свойствами (обзор) Неразрушающий контроль и диагностика. 2011, № 1. С. 3 – 31.

7. Уваров В. В., Носова Е. А. Структура и свойства листовых сталей для холодной штамповки: Учебное пособие. Под общ. ред. Гречникова Ф. В. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2003. 74 с.

ВЛИЯНИЯ ПРИНУДИТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ НА РАЗМЕРЫ КРИСТАЛЛИТОВ

Лебедев В.А., д.т.н., проф., ИЭС им. Е.А. Патона НАН Украины

Аннотация. Рассматриваются возможности технических средств современного уровня для повышения эффективности электродуговой наплавки плавящимся электродом. Одной из таких возможностей является наплавка с колебаниями наплавляемого изделия. Разработан колебатель с возможностями получения колебаний жидкого металла. Кроме всего прочего такой способ позволяет влиять на кристаллическую структуру металла с получением улучшенных технико-технологических свойств.

Ключевые слова: электродуговая наплавка, колебатель изделия, структура наплавленного слоя, кристаллиты.

ВПЛИВУ ПРИМУСОВИХ КОЛИВАНЬ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ НА РОЗМІРИ КРИСТАЛІТІВ

Лебедев В.О., д.т.н., проф., ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

Анотація. Розглядаються можливості технічних засобів сучасного рівня для підвищення ефективності електродугової наплавки плавким електродом. Однією з таких можливостей є наплавка з коливаннями наплавляемого виробу. Розроблений коливатель з можливостями отримання коливань рідкого металу. Крім усього іншого, такий спосіб дозволяє впливати на кристалічну структуру металу з отриманням поліпшених техніко-технологічних властивостей.

Ключові слова: електродугова наплавка, коливатель виробу, структура наплавленого шару, кристаліти.

INFLUENCE OF FORCED VIBRATIONS OF THE WELDING BATH ON THE SIZE OF CRYSTALLITE

Lebedev V.A., Doctor of Technical Sciences, Prof.,
Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine

Abstract Possibilities of the modern technical level to improve the efficiency of consumable electrode arc surfacing are considered. One of such possibilities is cladding with oscillations of the welded product. An oscillator with the possibility of obtaining vibrations of liquid metal has been developed. Among other things, this method allows you to influence the crystal structure of the metal to obtain improved technical and technological properties.

Keywords: electric arc surfacing, product oscillator, structure of the deposited layer, crystallites.

Восстановление изношенных узлов и деталей различных видов технических средств, а также придание этим средствам улучшенных эксплуатационных свойств ещё на стадии их изготовления и подготовке к работе позволяет существенно повысить срок их активной работы и снизить затраты на ремонтные работы. Особенно актуальны эти работы в металлургии, сельскохозяйственных почвообрабатывающих машинах, горнодобывающей техники и многое другое.

Электродуговая наплавка – одна из самых эффективных технологий выполнения восстанавливающей и упрочняющих технологий, как по качеству полученного слоя, так и по затратам.

Одним из наиболее эффективных способов электродуговой восстанавливающей или упрочняющей наплавки стальных технологических изделий, в частности штампового инструмента, рабочих органов землеобрабатывающей техники является разрабатываемый в ИЭС им. Е.О. Патона способ наплавки с управляемыми принудительными колебаниями изделия. Для

изучения и опытно промышленной эксплуатации наплавки с этим способом была разработана установка с применением современных быстродействующих электроприводов на базе шаговых электродвигателей для механизмов возвратно – колебательных движений наплавляемых изделий [1]. Установка комплектуется источником сварочного тока и механизмом подачи электродной проволоки. Циклом наплавки и режимами процесса управляет специально разработанный блок на основе компьютеризованных технических средств. Важно отметить, что в комплекте установки могут быть применены источники сварочного тока любых конструкций с необходимыми для механизированного сварочного оборудования характеристиками, а также самые разнообразные конструкции механизмов подачи электродных проволок как сплошного сечения, так и порошковых самозащитных проволок.

Установка для наплавки позволяет управлять параметрами дугового процесса и параметрами колебаний (частота, амплитуда). Процесс наплавки с колебаниями изделия, а равно и ванны жидкого (расплавленного) металла позволяет получить наплавленный слой с улучшенными физико-механическими свойствами, обеспечивая при этом более высокую производительность в сравнение с известными (традиционными) способами наплавки.

Известно, что структура сварного шва или наплавленного валика, а также зоны термического влияния в значительной степени определяют эксплуатационные характеристики наплавляемого изделия [2]. При этом размеры кристаллитов в существенной степени определяют твёрдость, износостойкость наплавленного слоя.

Основное влияние внешних поперечных колебаний сварочной ванны на микроструктуру наплавленного металла и металла зоны термического влияния обуславливает формирование определенных условий для увеличения степени диспергирования микроструктуры наплавленного металла и, как следствие, повышение механических свойств наплавленного валика, в частности твердости. Проведенный комплекс исследований показывает, что изменение в размере кристаллита наплавленного металла заметно уже при амплитуде 0,0005 м и частоте 3 Гц, но с увеличением частоты или амплитуды показатели твердости наплавленного металла не всегда увеличиваются, а при действии определенных причин даже уменьшаются.

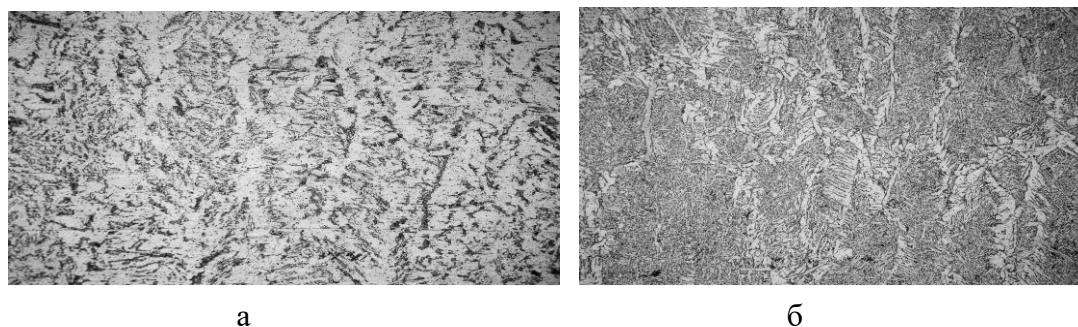


Рисунок 1 - Микроструктуры наплавленных валиков: а - традиционным способом; б - с колебаниями наплавляемого изделия

На фотографиях рис.1 для примера и сравнения представлены микрошлифы наплавки стали традиционным способом и способом с поперечными относительно направления наплавки колебаниями. Микроструктура на рис.1 имеет классическую феррито – перлитную структуру с достаточно широкими литыми кристаллитами. В микроструктуре на рис.1б наблюдается игольчатый феррит в центре литых кристаллитов, которые сопровождаются выделением МАК-фазы, что также способствует увеличению твёрдости и ударной вязкости. Следует отметить, что отмеченная наплавка производилась как сплошными электродными проволоками типа Св08Г2С в углекислом газе так и порошковыми самозащитными проволоками типа ПП-АН различных модификаций

Таким образом, можно предположить, что увеличение степени диспергирования микроструктуры не является единственным средством воздействия посредством колебаний сварочной ванны на формирование структуры наплавленного металла и его полезных свойств. Одной из вероятных причин, которая в определенных условиях превалирует над изменением размера кристаллита является формирование полезных составляющих микроструктуры, в частности игольчатого феррита, что обуславливает необходимость дальнейшего исследования влияния на

микроструктуру колебаний сварочной ванны не только как фактор ее диспергирования, но и как фактор влияния на формирование в ее структуре определенных составляющих [3].

Изучение влияния колебаний и параметров дугового процесса на размер кристаллита основывается как на микроструктурах наплавленных валиков в том числе и зоны термического влияния так и созданной регрессионной модели.

Рассмотренная технология наплавки и разработанное оборудования с применением современных технических средств испытана в полном объеме при восстанавливающей наплавке матриц штампового инструмента и режущей части плугов с эффектом практически двукратного увеличения срока службы изделий.

Наплавка с применением управляемых колебаний с использованием уже разработанного колебателя может быть применена для упрочняющей и восстанавливающей наплавки узлов и деталей массой порядка 10...20 кг.

Следует заключить, что разработка автоматизированного комплекса для наплавки с применением разработанной конструкции колебателя изделий должна включать в свой состав механизм шагового перемещения изделия для получения сплошного слоя наплавки. При этом расчёт шага перемещения должен учитывать увеличение этого шага как следствия колебаний ванны жидкого металла. Последнее обеспечивает 20-30% увеличение производительности наплавки в сравнение с существующими конструкциями наплавочных установок.

Одним из эффективных направлений дальнейшего повышения влияний импульсных воздействий на ванну жидкого металла являются применений комбинированных импульсных воздействий таких, например, когда колебания ванны жидкого металла сочетаются с импульсной подачей электродной проволоки или импульсными алгоритмами работы источника сварочного тока. При этом весьма важной остаётся выбор очерёдности тех или иных импульсных воздействий. Эти работы уже начаты и мы ожидаем существенных результатов в этом направлении исследований.

Литература

1. Лебедев В.А., Новиков С.В. Колебатель изделия для автоматической наплавки. *Технічні науки та технології*. Чернігів. №2. 2020. С.11-21.
2. Морозов, В. П. Анализ условий формирования измельченной структуры при кристаллизации металла сварочной ванны с наложением внешних периодических возмущений. Морозов В. П. Известия Высших Учебных Заведений. Машиностроение. – 2006, № 8. – С. 41 – 54.
3. Лебедев В.А., Яровицын А.В., Новиков С.В. Способы формирования игольчатого феррита в металле наплавленного валика. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. Вип.32, 2016. С.113-117.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЧАВУНУ

Багров В.А., к.т.н, доц., Плужніков Д.О., ст. гр. МС-51-20, ХНАДУ

Анотація. Розроблені електроди для холодного зварювання чавуну на дроті Св-08А з окисним покриттям, що містять окиснювачі, шлакоутворювальні й стабілізуючі елементи мармур, гематит, кварцовий пісок, оксид хрому, алюмінієвий порошок, слюду й соду.

Ключові слова: зварювання, чавун, окисне покриття, багат шарове наплавлення.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЧУГУНА

Багров В.А., к.т.н, доц., Плужников Д.А., ст. гр. МС-51-20, ХНАДУ

Аннотация. Разработаны электроды для холодной сварки чугуна на проволоке Св-08А с окислительным покрытием, содержащим окислители, шлакообразующие и стабилизирующие элементы мрамор, гематит, кварцевый песок, оксид хрома, алюминиевый порошок, слюду и соду.

Ключевые слова: сварка, чугун, окислительное покрытие, многослойная наплавка.

IMPROVEMENT OF QUALITY OF WELDED COMPOUNDS OF CAST IRON

Bagrov V. A., KSci, Sl., Pluzhnikov D.A., gr. MS-51-20, HNAHU

Abstract. Electrodes are developed for cold welding of pig-iron on wire Св-08А with the oxidising covering containing oxidizers, slag forming and stabilising elements marble, hematite, quartz sand, oxide chrome, an aluminium powder, mica and soda.

Keywords: Welding, pig-iron, oxidising covering, multilayered covering.

Вступ

У чавунних виливках на різних стадіях обробки виявляються різні дефекти. Крім того, знижена міцність і висока крихкість сірих чавунів приводять в окремих випадках до поломки в процесі експлуатації виготовлених з них деталей, а це у свою чергу приводить до виходу з ладу або простою встаткування [1].

Для усунення дефектів у чавунних виливках і при ремонті деталей, які вийшли з ладу, широко застосовують зварювальні процеси.

Метою даної роботи є створення електродів для холодного зварювання чавуну на стрижнях із дроту Св-08А і покриттям, що містить кисневмісний компонент – гематит, та відрізняються від електродів марки СЧС поліпшеними зварювально-технологічними властивостями й високою якістю наплавленого металу за рахунок зміни жужільної й легуючої системи покриття.

Аналіз публікацій та мета досліджень

Заслужують на увагу роботи, проведені П.С. Елістратовим, по розробці електродів типу СЧС на дроті Св-08 з покриттям окисного виду. В умовах високотемпературної фази зварювальної дуги вуглець є самим активним розкислювачем. Окиснений вуглець у вигляді газу віддаляється зі зварювальної ванни. Більша товщина покриття й високі значення зварювального струму, застосованого при зварюванні електродами СЧС, не дозволили встановити оптимальні межі технологічності електродів [1].

Методи і матеріали дослідження

Для досліджень використовувалися металеві електроди для ручного дугового зварювання, що виготовляються способом обпресування. Стрижні електродів виготовляли зі сталевого зварювального дроту марки Св-08А за ДСТ 2246 діаметром 3 і 4 мм.

Застосовувалося покриття електродів кислого виду. У якості розкислювача металу шва застосовувався алюмінієвий порошок марки ПАП-1 за ДСТ 4135. У якості окисного компонента застосовували гематит (Fe_2O_3) за ДСТ 4418.

Коефіцієнт ваги покриття електродів становив 0,45...0,47 при товщині покриття на сторону 0,8 мм електродів діаметром 3 мм, і 1 мм - електродів діаметром 4 мм. Виготовляли 5 варіантів електродів. Для порівняння виготовляли електроди СЧС.

Зварювання й наплавлення зразків для випробування твердості й хімічного складу металу шва й наплавленого металу, а також зварювально-технологічних властивостей електродів, відповідно до вимог ДЕРЖСТАНДАРТ 9466, виконували як на змінному, так і постійному струмі прямій і зворотної полярності. У якості джерел живлення застосовували зварювальний трансформатор ТД-502.В3 і випрямляч ВДУ-504. Сила струму для електродів діаметром 3 мм становила 100...120 А, а для електродів діаметром 4 мм – 160...180 А.

Для виготовлення зварних зразків використовували пластини із чавуну марки СЧ 21 за ДСТ 1412 товщиною 30 мм. Підготовка крайок під зварювання стикових з'єднань відповідала ДЕРЖСТАНДАРТ 9466. Твердість металу шва й наплавленого металу вимірювали на приладі ТК-2 (по шкалі 3), мікротвердість заміряли на приладі ПМТ-3, при навантаженні 100 г. Проби для хімічного аналізу наплавленого металу відбирали із трьох верхніх шарів восьмишарового наплавлення відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 7122.

Результати досліджень

Загальний характер мікроструктури зварних швів оцінювали за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8М на поперечних мікрошліфах розміром 15x25x30 мм, протравлених в 5 %-вом спиртовому розчині азотної кислоти.

Основним завданням при розробці електродів ТМО з'явилася максимальне видалення вуглецю з металу шва за рахунок його окиснення киснем газової й жужильної фази дуги.

Для дослідження ступеня вигорання вуглецю з металу шва було зроблено багатошарове наплавлення висотою 20 мм досліджуваними електродами на механічно оброблену поверхню пластини із сірого чавуну марки СЧ 21 і зроблений хімічний аналіз металу шва по глибині із кроком 1 мм від верху наплавленого металу до основного металу.

Отримані результати показують, що в металі, наплавленому розробленими електродами зі збільшенням відстані від основного металу, зміст вуглецю в металі шва різко зменшується й досягає мінімально необхідних значень на висоті 6-7 мм. Це відповідає другому проходу при зварюванні електродами діаметром 4 мм. При цьому також спостерігається зниження змісту легуючих елементів Si, Mn, а також шкідливих домішок P і S.

При зварюванні електродами марки СЧС зниження змісту вуглецю в металі шва менш інтенсивне й рівень вуглецю нижче 0,12 % досягається на висоті більш 10 мм, що відповідає третьому проходу. Аналогічне зниження й інших елементів.

Отримані результати підтверджують припущення про більш повне обезвуглецування металу шва складом покриття електродів ТЧО, що дає можливість проведення подальших досліджень.

Графічно результати проведених досліджень представлені на рис.1.

З метою дослідження впливу змісту вуглецю в наплавленому металі на твердість досліджували залежність твердості наплавленого металу від висоти шва. Виміри робили на шліфах тришарового наплавлення в семи крапках із кроком в 1 мм (рис. 2).

Результати вимірів твердості наведені в табл.1.

Як видно з табл. 1 твердість наплавленого металу зменшується по висоті шва. Максимальна твердість металу шва в зоні сплавки (точка № 2).

Як видно з табл. 1 твердість наплавленого металу зменшується по висоті шва. Максимальна твердість металу шва в зоні сплавки (точка № 2).

В електродів ТМО твердість металу в зоні сплавки значно нижче, чим в електродів СЧС, що дозволяє механічно обробляти зварені шви.

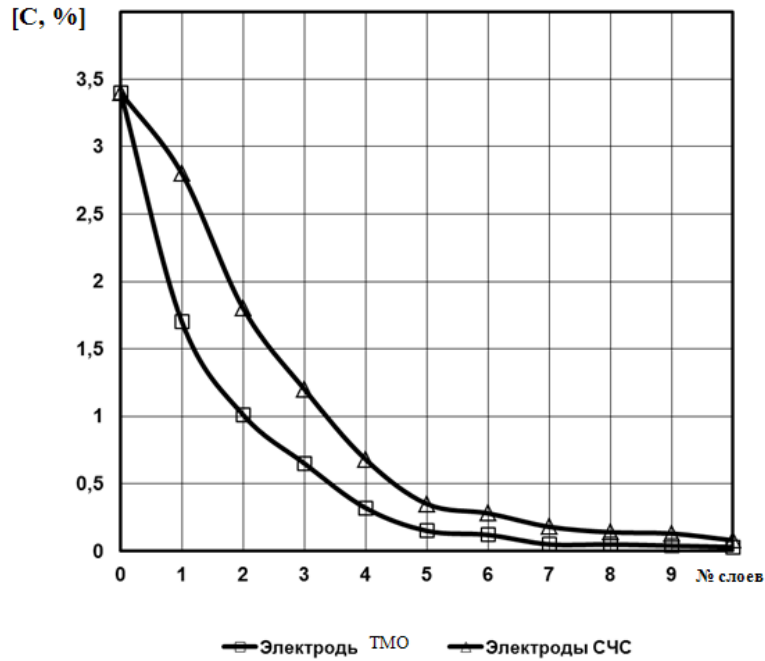


Рисунок 1 - Залежність вмісту вуглецю в металі від висоти шва

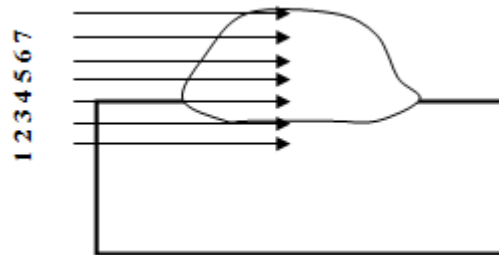


Рисунок 2 - Схема виміру твердості наплавленого металу

Таблица 1 - Твердість наплавленого металу, HRC

Варіант електрода	Номера точок (знизу вгору через 1 мм)						
	1	2	3	4	5	6	7
СЧС	18	55	48	46	42	35	20
ТМО	18	43	38	30	20	17	16

Вивчення макроструктури зварених зразків при наплавленні від 1 до 5 шарів (рис. 3) показало, що лінія сплавної чавун-сталь плавна без явних дефектів і несплошностей. Наплавлений метал у всіх зразках щільний, без тріщин і зашлаковок.

На нетравленому шліфі (рис. 4) видний плавний перехід від основного металу (сірий чавун СЧ 21) до наплавлення. Кількість структурно вільного графіту поступово зменшується в міру видалення від основного металу в повній відповідності зі ступенем обезвуглецювання чавуну киснем покриття.

Ширина зони термічного впливу, виявлена після металографічного травлення (рис. 5), становить 0,3-0,35 мм.

Структура основного металу – пластинчастий графіт, матриця – сорбітообразний і тонкопластинчатий перліт з незначною кількістю фериту.

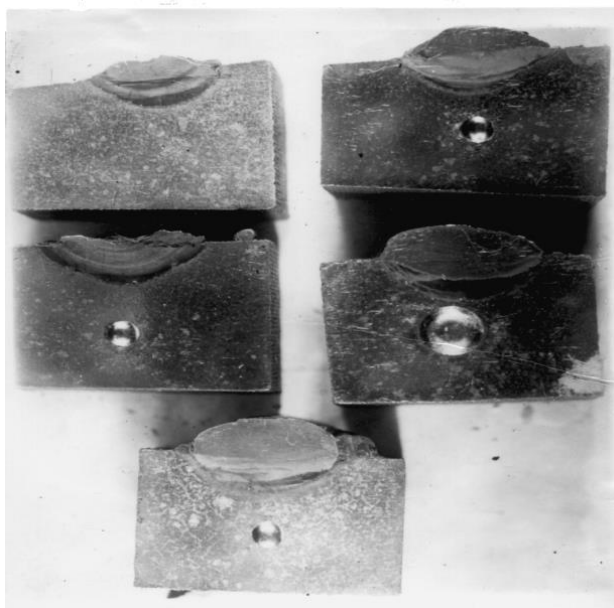


Рисунок 3 - Макроструктура зварених швів

У зоні термічного впливу – троостосорбіт і графіт відпалу, $H_{\mu} = 297-420$ ($HRC = 29-43$). Спостерігаються також голки цементиту й ледебуриту (твердість голок $H_{\mu} = 742$, $HRC = 61$). Ширина ділянки з наявністю голчастої структури 0,1-0,2 мм.

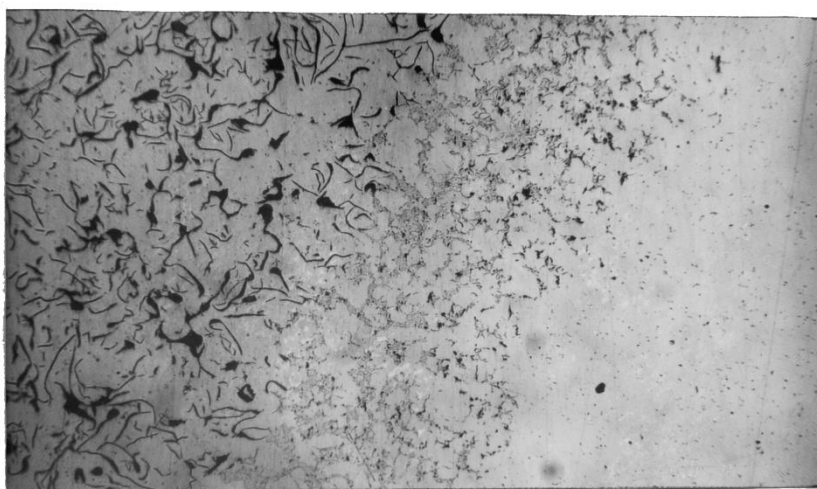


Рисунок 4 - Зона сплавлення чавун-сталь, x 100, нетравлене

Структура наплавленого металу в області, що безпосередньо прилягає до основного, являє собою крупні зерна троостосорбіту твердістю $H_{\mu} = 420$ ($HRC = 43$). Потім троостосорбіт $H_{\mu} = 322-420$ ($HRC = 32-43$) зі світлими ділянками троостомартенситу $H_{\mu} = 464$ ($HRC = 46$).

У міру видалення – троостосорбіт і дрібні включення фериту $H_{\mu} = 254-350$ ($HRC = 23-35$).

Поблизу поверхні – структура типова для литої маловуглецевої сталі ($H_{\mu} = 170-254$).

Вплив режимів зварювання на хімічний склад металу шва.

Результати хімічного аналізу тришарових наплавлень чавунних пластин СЧ 21, виконаних електродами ТМО діаметром 4 мм на струмах 140, 160 і 180 А на зворотній полярності представлені рис. 6, 7.

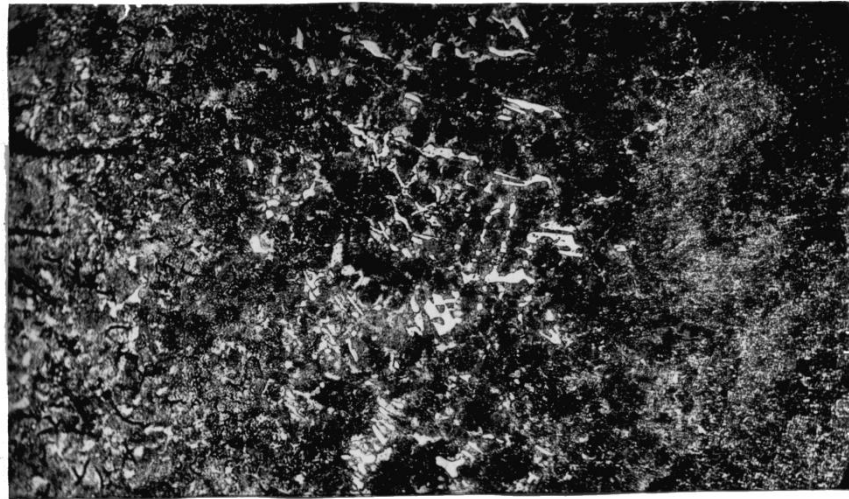


Рисунок 5 - Мікроструктура зони сплавлення чавун-сталь, х 450

Як видно з результатів досліджень зі збільшенням сили струму при зварюванні на прямій і зворотної полярності ступінь науглецювання металу шва збільшується, що пояснюється збільшенням проплавлення основного металу – чавуну. Залежно від кількості швів зміст вуглецю у шві зменшується, що пояснюється розведенням металу попередніх швів наплавленим електродним металом. Аналогічні залежності спостерігаються для Mn і Si.

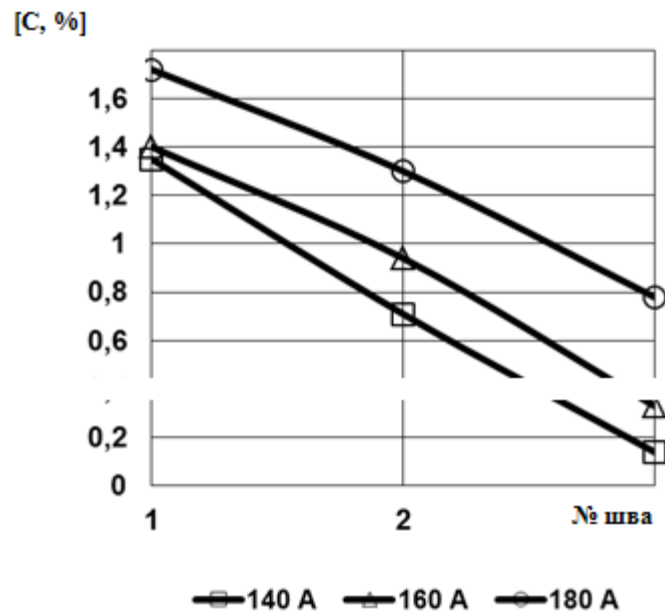


Рисунок 6 - Залежність вмісту вуглецю в металі швів від сили струму при зварюванні на зворотної полярності

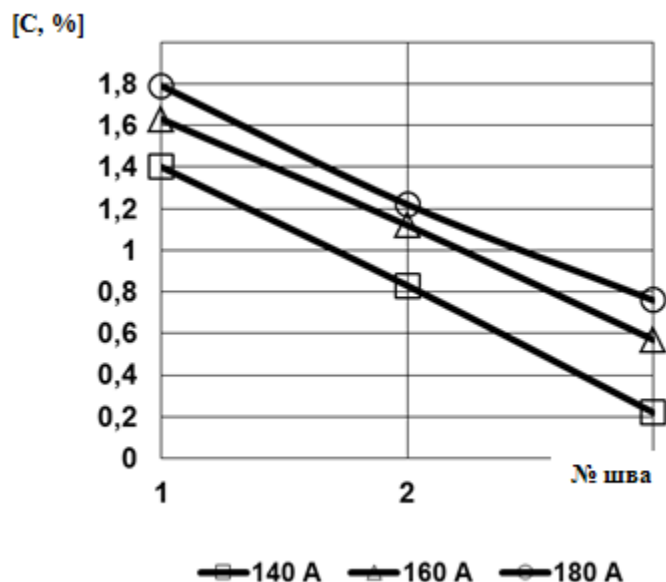


Рисунок 7 - Залежність вмісту вуглецю в металі швів від сили струму при зварюванні на прямої полярності

Висновки

1. Розроблені електроди для холодного зварювання чавуну на дроті Св-08А с окисним покриттям.
2. Якість наплавленого металу високе, без пор і тріщин. Лінія сплавки сталь-чавун плавна, з поступовою зміною змісту вуглецю.
3. Твердість наплавленого металу змінюється по висоті наплавленого металу від НВ = 200 у верхніх шарах до HRC = 43 – поблизу зони сплавки. У зоні термовпливу відзначається підвищення твердості до HRC = 61. Ширина зони цементиту-ледебуриту рівна 0,1-0,2 мм.
4. Зі збільшенням сили струму при зварюванні на прямій і зворотної полярності ступінь науглецювання металу шва збільшується.
5. Розроблена технологія багатопарового холодного електродугового зварювання чавунних деталей і заварки дефектів у виливках.

Література

1. Иванов Б.Г., Журавицкий Ю.И., Левченков В.И. Сварка и резка чугуна. – М: Машиностроение, 1977. - 208 с.
2. Левченков В.И. Состояние и перспективы развития сварки чугуна (обзор). // Сварочное производство. - 1988. - №2. – С. 2-4.
3. А.С. 1031702 СССР, МПК В 23 К 35/365. Состав электродного покрытия / Н.А. Калинин, В.П. С.В. Кафтанов, К.К. Евдокимов и др., - Опубл. 30. 07. 83; Бюл. № 28.

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ПРЕСОВАНИХ ТРУБ ІЗ СПЛАВУ ТИТАНУ

Грузін Н.В., асистент, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Анотація. Титанові труби з сплаву Gr9 це труби відповідального призначення, які використовуються у гідросистемах сучасних літаків, тому до технології їх виготовлення пред'являють жорсткі вимоги. Запропоновано новий елемент технологічного процесу гартування у воду пресованих труб замість охолодження на повітрі. Оцінена можливість проведення гартування труб безпосередньо з пресу. Досліджено мікроструктуру та механічні властивості труб. Встановлено, що рівень властивостей, структура труб після пресування і гартування дозволяє проводити подальшу холодну пластичну деформацію труб прокаткою. Експеримент проведено у промислових умовах. Показана ефективність процесу гартування, що дозволяє поліпшити поверхню труб, зменшити кількість створення окалини та зменшити видатковий коефіцієнт металу. Після гартування труби прокатані на готовий розмір по існуючій технології і здані відповідно діючим стандартам.

Ключові слова: труби, сплави титану, пресування, гартування, структура, властивості.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЗАКАЛКИ ТРУБ ИЗ СПЛАВА ТИТАНА

Грузин Н.В., ассистент, ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. Титановые трубы из сплава Grade9 являются трубами ответственного назначения, которые используются в гидросистемах современных самолетов, поэтому к технологии их изготовления предъявляются жесткие требования. Предложен новый элемент технологического процесса закалка в воду пресованных труб вместо охлаждения на воздухе. Оценена возможность проведения закалки труб непосредственно из прессы. Исследованы микроструктура и механические свойства труб. Установлено, что уровень свойств, структура труб после прессования и закалки позволяет проводить дальнейшую холодную пластическую деформацию труб прокаткой. Эксперимент проведен в промышленных условиях. Показана эффективность процесса закалки, что позволяет улучшить поверхность труб, уменьшить количество образования окалины и уменьшить расходный коэффициент металла. После закалки трубы прокатаны на готовый размер по существующей технологии и сданы в соответствии с действующим стандартом.

Ключевые слова: трубы, сплавы титана, прессование, закалка, структура, свойства.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF QUENCHING PIPES MADE OF TITANIUM ALLOY

Hruzin N.V., assistant, State Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture"

Abstract. The purpose of the work is to determine the possibility of quenching pipes made of titanium alloys after pressing. To evaluate the level of properties and structure of pipes after quenching, which will ensure further cold rolling research Methods used metallographic methods research-optical microscopy, tensile testing of pipes to assess mechanical properties, Brinell and Rockwell hardness measurements. Results the structure and mechanical properties of pipes made Gr 9 and PT-1M titanium alloys after pressing and quenching in water were studied in comparison with air cooling. The possibility of quenching pipes after pressing is shown. The level of mechanical properties and type of structure allows for subsequent plastic deformation of pipes by cold rolling methods. After quenching, the tube should be thermally treated. **Scientific novelty** the influence of quenching after pressing on the structure and mechanical properties of pipes made of titanium alloys has been established. The possibility of quenching pipes after pressing is shown. **Practical significance** the Established possibility of the quenching process allowed in the technological process of manufacturing titanium pipes to improve the surface quality of pressed pipes, avoid the operation of turning and thereby reduce the consumption coefficient of the metal.

Key words: pipes, titanium alloy, pressing, quenching, structure, properties.

Вступ

Титанові сплави є основним конструкційним матеріалом, який має високу питому міцність, корозійну стійкість, технологічність при виготовленні виробів, зокрема труб. Труби з титану та його сплавів широко використовуються в аерокосмічній техніці і тому мають високі вимоги до їх якості. Виробники труб постійно удосконалюють технологію виробництва труб з титану [1, 2].

Традиційна технологія виготовлення труб включає: виплавку металу у вакуумі, ковку, або гарячу прокатку, пресування, серію холодних прокаток з проміжними відпалами. Після гарячого пресування при охолодженні на повітрі труби мають низьку якість поверхні, на поверхні створюється окалина, яку треба вилучити механічною обробкою або травленням. Введення додаткової операції призведе до збільшення витратного коефіцієнту металу. Тому можливість використовувати гартування з охолодженням у воду пресованих труб – представляє як науковий, так і практичний інтерес.

Матеріал та методика досліджень

Матеріалом для дослідження обрані сплави титану Gr 9, ПТ 1М. Хімічний склад яких наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Хімічний склад досліджуваних сплавів

Досліджувані сплави	Масова частка елементів, %											
	C	H	Fe	O	Al	V	N	Ti	Si	Zr	Інші домішки (кожен)	Інші домішки (всього)
Grade9	<0,05	<0,01 5	<0,25	<0,12	2,5 – 3,5	2,0 – 3,0	<0,02	осн.	-	-	<0,1	<0,4
ПТ-1М	≥0,07	-	≥0,2	≥0,12	0,2 - 0,7	-	≥0,04	осн.	≥0,1	≥0,3	<0,1	<0,3

Труби після пресування охолоджували на повітрі та у воді. Проводили порівняльні дослідження структури і механічних властивостей, а також послідовно прокатку труб до готового розміру.

Мікроструктуру досліджено на оптичному мікроскопі AXIOVERT 40. Механічні випробування виконано згідно ГОСТ 10006-80. Твердість зразків заміряли по Брінеллю і Роквеллу.

Результати досліджень

Сплав ПТ-1М. Після пресування при температурі 950⁰С в β - області труби охолоджували на повітрі і гартували у воду. Проводили порівняльні дослідження.

В результаті гартування із β - області в сплавах титану в залежності від вмісту легуючих елементів і домішок можуть утворюватися наступні метастабільні фази: α', α'', ω, β_n [3,4].

Дослідження структури виконано на зразках труб у поздовжньому напрямку по товщині стінки: на зовнішній поверхні, у середині та на внутрішній поверхні.

Структура зразків після охолодження на повітрі представлена на рис.1 (а, б, в).

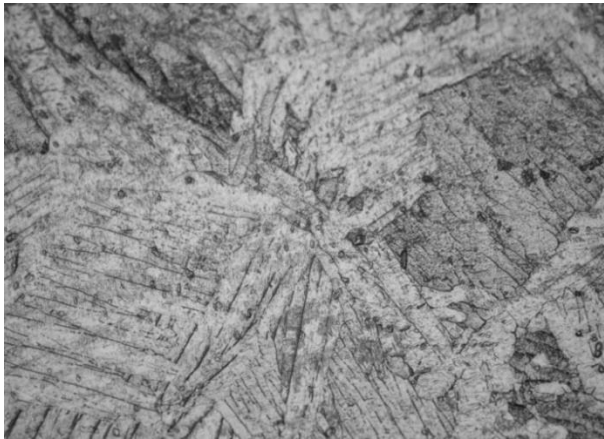


x100



x200

Рисунок 1а - Мікроструктура сплаву ПТ-1М після пресування і охолодження на повітрі (зовнішня поверхня)



x100



x200

Рисунок 1б - Мікроструктура сплаву ПТ-1М після пресування та охолодження на повітрі (середина стінки)



x100



x200

Рисунок 1в - Мікроструктура сплаву ПТ-1М після пресування та охолодження на повітрі (внутрішня поверхня)

Структура грубозерниста з крупними β -зернами з пластинами α -фази у середині. Структура неоднорідна по товщині стінки. У зовнішній поверхні зерно більш дрібне, частково зустрічаються ділянки деформованої, орієнтованої вздовж напрямку прокатки та частково ре-кристалізованої структури. Низька швидкість охолодження та висока температура і достатня ступень деформації приводе до розвитку процесів рекристалізації. Визначну роль відведено процесам правки, що припускає окремі дослідження.

У середині товщини стінки пластини β -фази більш грубі, спостерігаються оторочка зерен прошарками α -фази (рис. 1б) Середина стінки деформується у меншому степені ніж зовнішня. Спостерігаються лінії ковзання. Зерна також крупні. У середині пластини α -фази (рис. 1в). На внутрішній поверхні труби структура також крупнозерниста після перекристалізації і деформації.

Сплав ПТ-1М після гартування. Після гартування у структурі сплаву виникли нерівновісні мартенситні фази. Найбільша кількість α' -фази, яка сформувалася з β -фази в результаті бездифузійного мартенситного перетворення [4]. Оскільки сплав ПТ-1М мало легований β -стабілізаторами, то вірогідність створення других фаз- α'' , ω досить низька. α' -фаза представляє собою пересичений твердий розчин легуючих елементів у α -титану. Вона, як і α -фаза, має гексагональну решітку по аналогії з мартенситом у сталях. Мікроструктура труб голчата відображена на рис.2 а, б, в. В порівнянні з структурою після охолодження на повітрі.

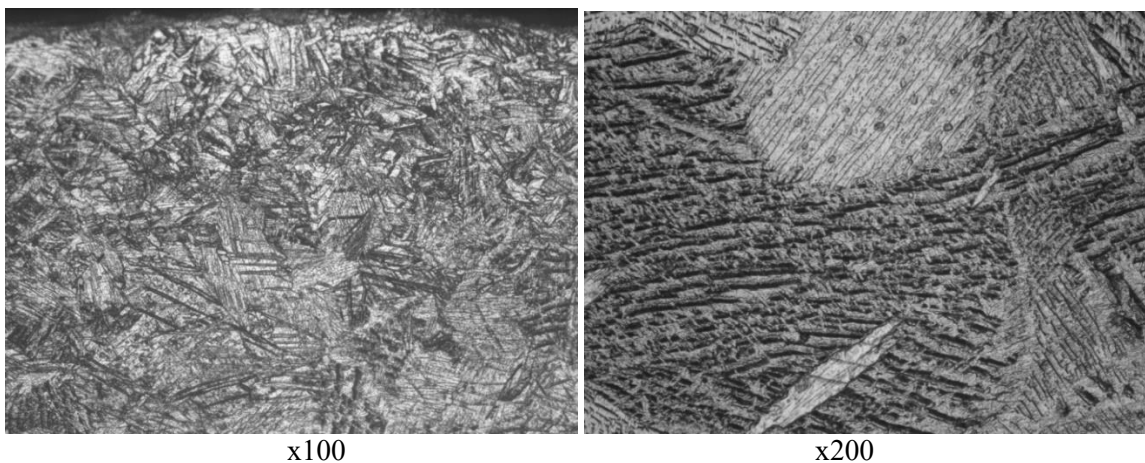


Рисунок 2а - Мікроструктура труб з сплаву ПТ-1М після пресування і охолодження у воді (зовнішня поверхня)

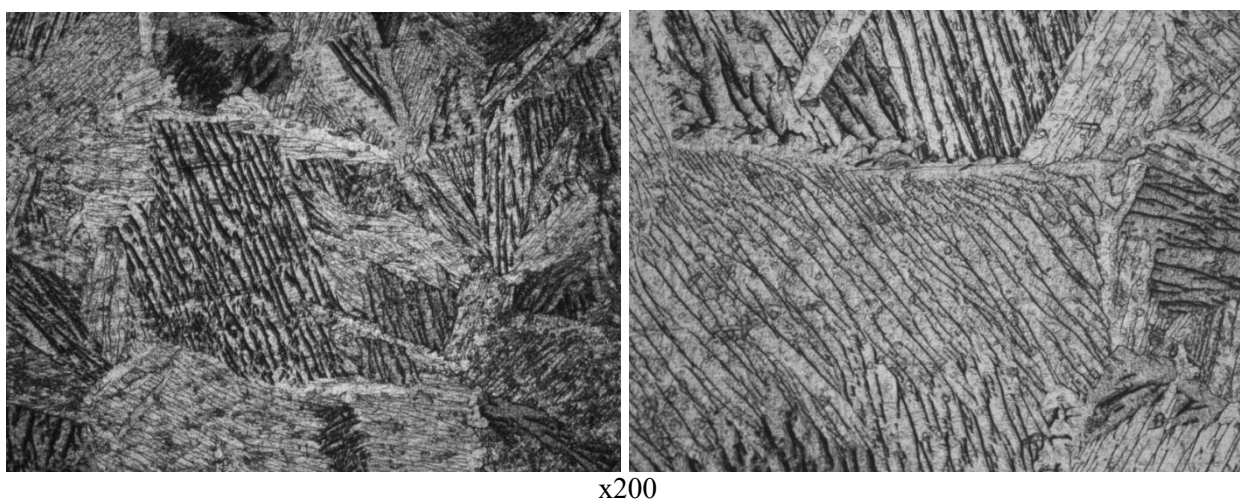


Рисунок 2б - Мікроструктура труби з сплаву ПТ-1М після пресування і охолодження у воді (середина стінки)

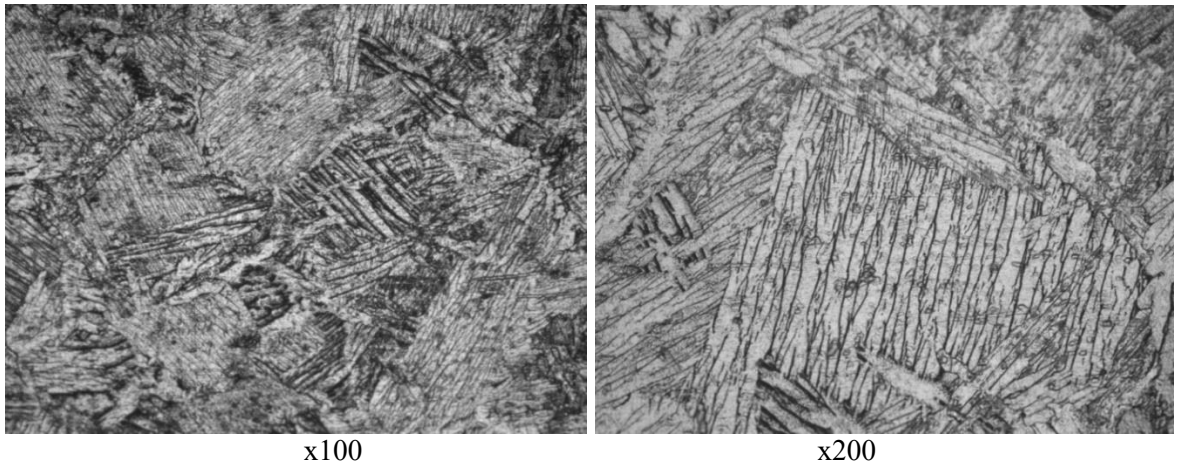


Рисунок 2в - Мікроструктура труби із сплаву ПТ-1М після пресування і охолодження у воді (внутрішня поверхня)

У порівнянні з структурою після охолодження на повітрі вона більш дрібнозерниста та більш тонкопластинчата. Спостерігається також неоднорідність по товщині стінки.

Дослідження рівня зміцнення показало, що після гартування метал зміцнився незначно. Твердість HRB у зразку охолодженому на повітрі складає 67-68 HRB (114-115HB). При охолодженні у воді 71-72 HRB (120-121HB). Механічні властивості після гартування та термічної обробки складають $\sigma_b=480-500$ МПа; $\sigma_{0,2}=420-460$ МПа; $\delta=22-28\%$.

Низьколеговані сплави титану практично не зміцнюються при термічній обробці. У досліджених зразках виникла крупнозерниста пластинчаста структура після охолодження у воді пресованих у β -області труб. Для подальшої холодної деформації слід перетворити структуру у дрібнозернисту глобулярну шляхом рекристалізації. Орієнтовний режим термічної обробки: 650-700 °С 1 година.

Сплав Grade 9. Охолодження на повітрі. Після охолодження на повітрі структура труб із сплаву Grade 9 складається з α -пластин і β -фази. Вздовж напрямку деформації знаходяться крупні ділянки β -фази.

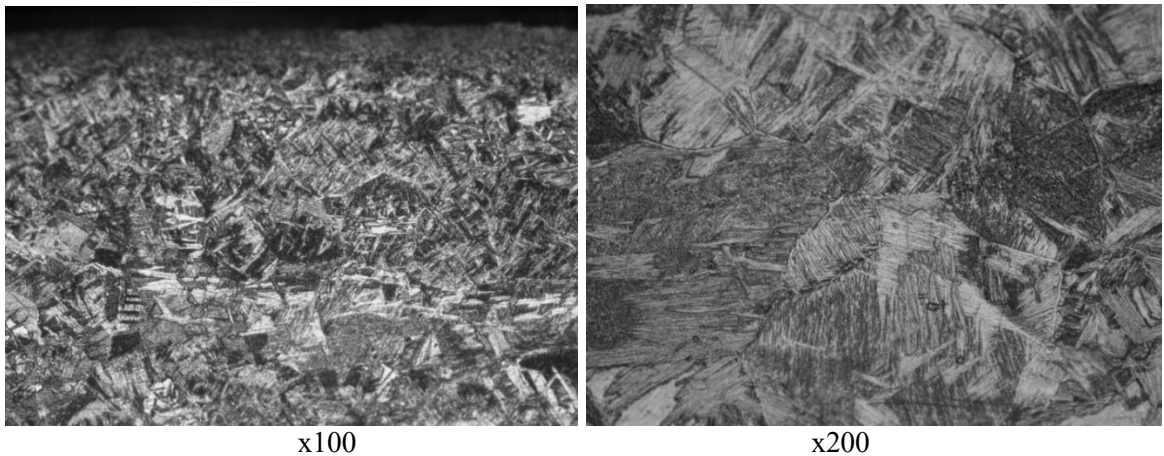
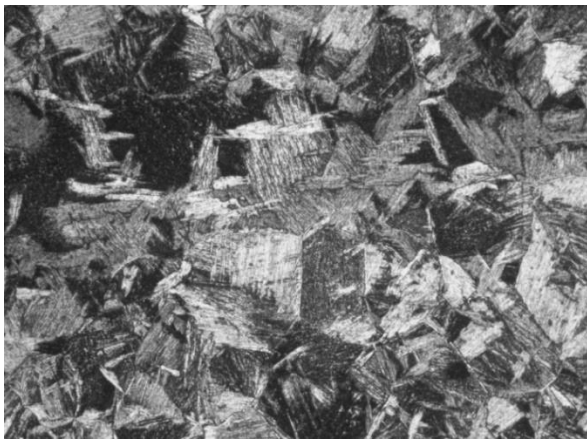


Рисунок 3а - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження на повітрі (зовнішня поверхня)



x100

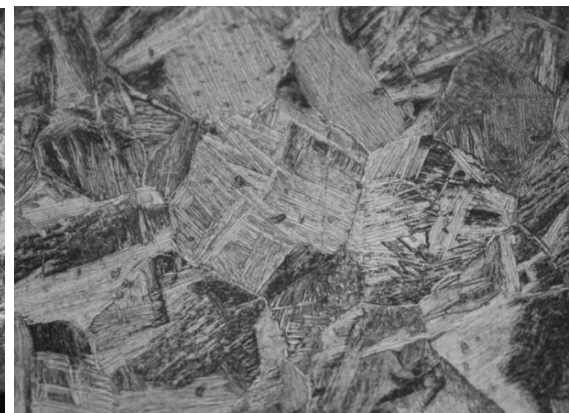


x200

Рисунок 3б - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження на повітрі (середина стінки)



x100



x200

Рисунок 3в - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження на повітрі (внутрішня поверхня)

Гартування пресованих труб з сплаву Grade 9. Після гартування в структурі присутні мартенситні фази α' , α'' і ω , що представляють собою пересичений твердий розчин легуючих елементів в α -титані з гексагональною α' чи ромбічною α'' решіткою [3]. Поряд з утвореними фазами, що мають голчасту структуру зберігається β -фаза, що залишається, в середині якої формується ω -фаза мартенситного типу, яка когерентно зв'язана з матричною β -фазою і має гексагональну спотворену решітку. Присутність ω -фази збільшує твердість і різко знижує пластичність. Її кількість незначна, тому не спостерігається різке зниження пластичності.

Гартування приведе до формування більш тонкодисперсної полосчастої структури. На рис. 4 а, б, в приведено мікроструктуру труб з сплаву Grade 9 після пресування і охолодження у воді.

У деяких трубах на зовнішній поверхні зустрічається альфований шар (рис. 3а), який нерівномірно протягується вздовж поверхні. Його величина складає 0.15...0.30мм. Він потребує видалення.

По товщині стінки структура зберігається неоднорідною.

Гартування приведе до формування більш тонкодисперсної полосчастої структури.

Твердість збільшується з 212 НВ при охолодженні на повітрі до 223 - 230 НВ після гартування у воді.

Після гартування проведена термічна обробка у вигляді рекристалізаційного відпалу при температурі 660 – 650 °С. При цьому механічні властивості труб складають: $\sigma_b=560-600$ МПа; $\sigma_{0,2}=500-530$ МПа; $\delta=20-25\%$.

Рівень властивостей і структура труб після гартування і послідувочого рекристалізаційного відпалу дозволяє проводити послідувочу холодну деформацію.

У промислових умовах труби з сплавів титану пройшли гартування і послідувочу термічну обробку та подальшу холодну деформацію з проміжними термічними обробками. Рівень властивостей

готових труб відповідає вимогам технічної документації. Всі труби пройшли здавальний контроль і показали відповідність вимогам нормативної документації.

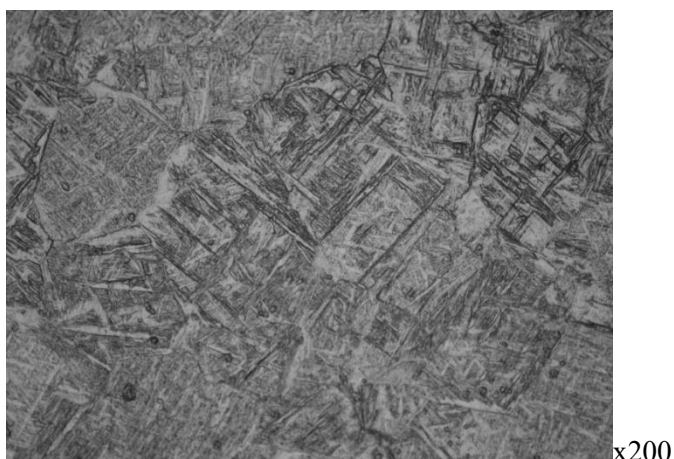


Рисунок 4а - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження у воді (внутрішня поверхня)

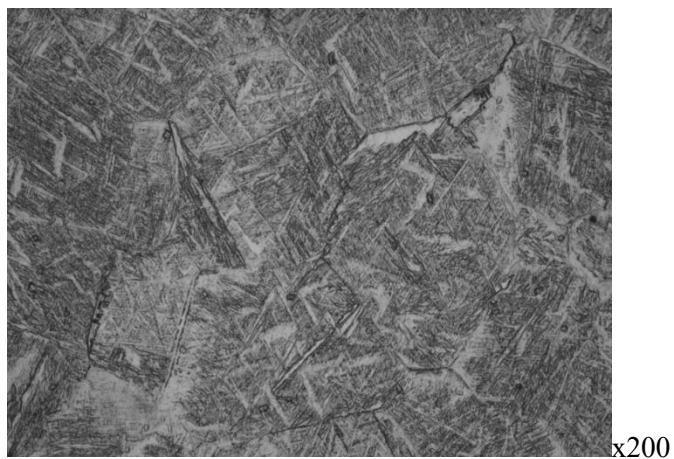


Рисунок 4б - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження у воді (середина стінки)

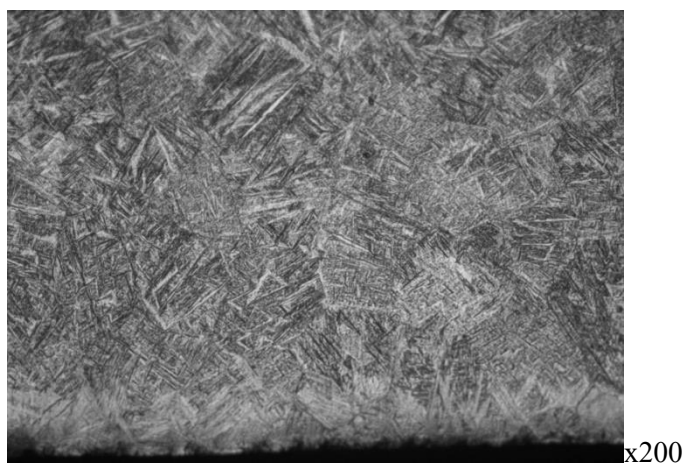


Рисунок 4в - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження у воді (внутрішня поверхня)

Таким чином, встановлена можливість гартування у воду труб із сплавів титану після пресування. Це можливо включати до технологічних інструкцій при виготовленні пресованих труб. Однак, перед холодною прокаткою при подальшому виготовленні труб обов'язково треба проводити термічну обробку у вигляді рекристалізаційного відпалу.

Висновки

1. Виконано порівняльні дослідження структури та властивостей пресованих труб із сплавів титану ПТ-1М та Grade 9 після охолодження на повітрі та гартування у воді.
2. Доведено можливість гартування у воду труб із сплавів титану ПТ-1М та сплаву Gr9 після пресування.
3. Після гартування труби повинні пройти термічну обробку. Термічна обробка – рекристалізаційний відпал при температурі 600-650⁰С 1,0 годину у вакуумі.
4. З використанням гартування прокатані промислові партії труб. Рівень якості труб відповідає вимогам нормативної документації.
5. Проведення гартування пресованих труб покращує якість поверхні, виключає механічну обробку поверхні (обточування), знижує витратний коефіцієнт металу.

Література

1. Современное состояние производства и применение труб из титановых сплавов в атомной энергетике и судостроении. А.С. Орыщенко [и др.] Титан.— 2018.— № 3.— С. 21–32.
2. Boyer R. R. An overview on the use of titanium in the aerospace industry. *Materials Science and Engineering A*. — 1996. — Vol. 213, № 1–2. — P. 103–114.
3. Деформация и термическая обработка труб из титановых сплавов: учебное пособие. А.Г. Илларионов, Я.И. Космацкий, Е.А. Горностаева, Ф.В. Водолазский; Мин-во науки и высшего образования РФ, Урал. федерал. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та.
4. Ильин А. А., Колачев Б. А., Полькин И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. - М.: ВИЛС–МАТИ, 2009. — 520 с.

РОЗРАХУНОК ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИ ОТРИМАННІ МІКРОГРАНУЛ ГАЗОВИМ РОЗПИЛЮВАННЯМ

Терновий Ю.Ф., д.т.н., проф., Лічконенко Н.В., старший викладач
Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету

Анотація. Наведено різні методики розрахунків швидкостей охолодження при газовому розпиленні металевих розплавів. Показано, що розрахунок швидкості охолодження при кристалізації залежить від розміру мікрогранул і присутності сателітів на їх поверхні.

Ключові слова: газове розпилення, мікрогранула, теплообмін, кристалізація, сателіт, швидкість охолодження, число Біо, траєкторія.

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МИКРОГРАНУЛАМ ГАЗОВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Терновой Ю.Ф., д.т.н., проф., Личконенко Н.В., старший преподаватель
Инженерный учебно-научный институт Запорожского национального университета

Аннотация. Приведены различные методики расчетов скоростей охлаждения при газовом распылении металлических расплавов. Показано, что расчет скорости охлаждения при кристаллизации зависит от размера частиц и присутствия сателлитов на их поверхности.

Ключевые слова: газовое распыление, микрогранула, теплообмен, кристаллизация, сателлит, скорость охлаждения, число Био, траектория.

CALCULATION OF COOLING RATE WHEN PRODUCING MICROGRANULES BY GAS SPRAYING

Ternovyi Yurii, Doct. of Technical Sciences, Prof., Lichkonenko Natalia, Senior Teacher
Engineering Institute of Zaporizhzhia National University

Annotation. Various methods for calculating the cooling rates during gas sputtering of metal melts are presented. It is shown that the calculation of the cooling rate during crystallization depends on the size of particles and the presence of satellites on their surface.

Key words: gas atomization, microgranule, heat transfer, crystallization, satellite, cooling rate, Bio number, trajectory.

Вступ

Інженерні розрахунки процесів отримання мікрогранул при газовому розпилюванні передбачають визначення наступних параметрів: фракційного складу, координати (треку) і швидкості частинки, що відповідають початку і закінчення процесу її кристалізації; змінення температури і швидкості руху краплі в часі, коефіцієнта теплопередачі в залежності від розміру гранул, швидкості охолодження, а також тривалості процесів охолодження і кристалізації [1].

Процес отримання порошків (гранул) пов'язаний з диспергуванням струменя розплаву. Теоретичний аналіз механізму дроблення струменя представлений в роботах Волинського М.С., Лишевського А.С., Ничипоренко О.С. та ін. авторів [2-5].

Аналіз публікацій

Швидкість охолодження при кристалізації визначає і величину переохолодження розплаву, і швидкість кристалізації, і кінетичні параметри процесу (коефіцієнти розподілу елементів перед фронтом кристалізації і коефіцієнти дифузії в твердому і рідкому станах). Тому дуже важливо правильно оцінювати і вимірювати швидкість охолодження при кристалізації, як один з основних технологічних

факторів, що визначає фазовий склад, структуру і властивості частинок сплаву [6].

Оцінку умов кристалізації і швидкості охолодження при утворенні гранул в процесах газового розпилювання виконували в багатьох роботах [6-11], хоча характеризувати процеси, які відбуваються в металогазовому факелі дуже важко через мінливість умов в часі і просторі, а також складність постановки експерименту.

Постановка завдання

Розрахувати швидкість охолодження частинок при газовому розпилюванні для коректного визначення габаритів камери розпилювання, що забезпечуватимуть повну кристалізацію сферичних частинок (мікрогранул) різних розмірів.

Основна частина досліджень

В роботі [5] реалізований підхід до розрахунку процесу охолодження крапель при розпилюванні розплаву при великій теплопровідності власне тіла частинки. При цьому критерій Біо (Bi) є важливою характеристикою процесу штучного теплообміну частинок розплаву з газом і характеризується відношенням термічного опору матеріалу частинки, що визначається її теплопровідністю і термічним опором конвективного перенесення навколишнього середовища:

$$Bi = \frac{\alpha_{вк} \cdot d_k}{\lambda_{Me}}, \quad (1)$$

де λ_{Me} – теплопровідність рідкого металу; $\alpha_{вк}$ – коефіцієнт тепловіддачі за рахунок вимушеної конвекції, $\alpha = Nu \cdot \lambda_r / d_k$, Nu – число Нуссельта, $Nu = 2 + 0,576Re^{0,5} \cdot Pr^{0,3}$; λ_r – теплопровідність газу-енергоносія; Re , Pr – число Рейнольдса і Прандтля відповідно.

При $Bi < 0,1$ тепла енергія краплі сконцентрована в «геометричній точці» і діаметр металеві краплі $d_k \leq 10^2$ мкм. Розмір вертикальної камери при розпилюванні частинок $d_k = 50$ мкм дорівнює 0,21 м, а швидкість охолодження розпилених гранул, яка становить до початку кристалізації порядку $7 \cdot 10^4$ К/с, однозначно пов'язана з дендритним параметром [12].

У разі коли $Bi > 0,1$ (для частинки металу $d_k > 100$ мкм) для наближеного вирішення задачі про тверднення кулі, що забезпечує точність в межах 15-20%, можна використовувати метод Ковнера [13], коли задача лінійної швидкості кристалізації крапель відрізняється граничними умовами і умовами охолодження, які змінюються в часі.

При цьому для розрахунку швидкості кристалізації приймаємо модель, де рідка частинка має форму кулі, розподіл температури по її тілу до початку кристалізації рівномірний і дорівнює температурі ліквідус, а розподіл температури в сферичній оболонці, що закристалізувалась, - стаціонарний. На межі цієї оболонки з розплавленим ядром ($r = \eta$) температура дорівнює температурі кристалізації T_k , а на поверхні частинки ($r = R$) теплообмін з газом відбувається за рахунок вимушеної конвекції і випромінювання.

Рішення рівняння теплопровідності в задачі Стефана [14]

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dT}{dr} = 0 \quad (2)$$

з граничними умовами:

$$T_i|_{r=R} = T_r ; \quad (3)$$

$$-\lambda \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=R} = \alpha_i \cdot [T_i(R) - T_r] + \varepsilon \cdot \sigma \cdot [T_i^4 - T_{cm}^4] \quad (4)$$

має вигляд

$$T_i(R) = T_k - \frac{R^2}{\lambda} \cdot \left\{ \alpha_i \cdot \left(\frac{1}{\eta_i} - \frac{1}{r} \right) \cdot [T_i(R) - T_2] + \varepsilon \cdot \sigma \cdot [T_i(R)^4 - T_{cm}^4] \right\}, \quad (5)$$

де T_k - температура кристалізації; T_2 - температура газу; ε - ступінь чорноти; σ - універсальна постійна Стефана; T_{cm} - температура стінки камери розпилення.

Рівняння (5) описує розподіл температури по товщині оболонки, яка вже є кристалічною, в залежності від радіуса r .

Підставляючи рівняння (5) в умову, справедливу на межі розділу «оболонка-розплав»

$$-\lambda \left. \frac{dT_i(r)}{dr} \right|_{r=\eta_i} = q \cdot \rho \cdot \frac{d\eta_i}{dt} \quad (6)$$

отримаємо диференціальне рівняння руху фронту кристалізації:

$$d\eta_i = \frac{R^2}{\eta_i^2 \cdot q \cdot \rho} \cdot \left\{ \alpha_i \cdot [T_i(R) - T_2] + \varepsilon \cdot \sigma \cdot [T_i(R)^4 - T_{cm}^4] \right\} dt_i, \quad (7)$$

де ρ - щільність розплаву; q - питома теплота кристалізації розплаву; t - час.

У рівнянні (7) невідомою величиною є значення температури поверхні мікрогранули в i -тий момент часу $T_i(R)$. Дану температуру визначимо з умови збереження теплового потоку:

$$\frac{4\pi\lambda[T_k - T_i(R)] \cdot \eta_i \cdot R}{\eta_i - R} = 4\pi R^2 \cdot \left\{ \alpha_i \cdot [T_i(R) - T_2] + \varepsilon \cdot \sigma \cdot [T_i(R)^4 - T_{cm}^4] \right\}, \quad (8)$$

яке відносно температури поверхні частинок $T_i(R)$ можна перетворити в рівняння четвертого ступеня:

$$T_i(R)^4 + A_i \cdot T_i(R) - B_i = 0, \quad (9)$$

$$\text{де } A_i = \frac{\alpha_i}{\varepsilon \cdot \sigma} + \frac{\eta_i \cdot \lambda}{R(\eta_i - R) \cdot \varepsilon \cdot \sigma}; \quad B_i = T_{cm}^4 + \frac{\alpha_i \cdot T_2}{\varepsilon \cdot \sigma} + \frac{\eta_i \cdot \lambda \cdot T_k}{R(\eta_i - R) \cdot \varepsilon \cdot \sigma}.$$

Рішення задач теплообміну до початку кристалізації і в процесі її виконували на прикладі нікелю для умов розпилення аргонном. Величину розраховували на кожному кроці інтегрування в залежності від миттєвих значень швидкості руху частинки.

Довжина вертикальних координат траєкторій, що забезпечують повну кристалізацію і швидкість охолодження, для різних розмірів частинок з використанням рівнянь руху представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Довжина траєкторій крапель, що закристалізувались, при розпилюванні нікелевого розплаву аргонном при $T_2 = 293$ К і перегріванні розплаву 100 К

Розмір частинки d_k , 10^{-6} м	100	200	400	800
Довжина траєкторії y , м	0,56	1,45	4,23	10,23
Швидкість охолодження $V_{охол}$, К/с	$2,5 \cdot 10^4$	$8,50 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$

Рішення нестационарної задачі Стефана дозволяє коректно розрахувати температурні поля в розпиленних мікрогранулах в будь-якій точці траєкторії при газовому розпилюванні, а також габарити камери розпилювання, що забезпечують повну кристалізацію в порівнянні з відомим підходом, що характеризує розпилену краплю як точковий об'єкт.

Однак на практиці в стандартних технологіях газового розпилення поряд з утворенням дрібних частинок, також має місце і утворення великих частинок ($d_k > 50-150$ мкм) з «привареними» до поверхні сателітами. Процес утворення частинок з сателітами реалізується за рахунок:

- більш швидкого охолодження дрібних частинок в газовому середовищі;
- більшій швидкості руху дрібних частинок в газовому середовищі, що призводить до зіткнення при тій же швидкості газу, при цьому частота зіткнень з урахуванням викривлення траєкторії дрібних частинок при їх наближенні до великих, описується залежністю [5]:

$$N_{1,2} = \frac{3}{2} E_{21} \cdot \beta_2 \frac{(d_1 + d_2)^2}{(d_1^3 + d_2^3)} \cdot (V_2 - V_1), \quad (10)$$

де E_{21} - коефіцієнт осадження малих частинок на велику ($E_{21} = 0,7-0,9$); β_2 - об'ємна концентрація малих частинок; V_1 і V_2 - швидкості частинок великої і дрібної фракції; d_1 і d_2 - їх розміри відповідно.

Розрахунки процесів теплообміну при утворенні частинок з сателітами вимагають уточнення - необхідно враховувати явище більш швидкого охолодження за рахунок впровадження в тіло гранули і прилипання до її поверхні більш холодних дрібних закристалізованих сателітів. Це призводить до того, що кристалізація великих часток з сателітами відбувається за більш короткий час і розмір камери розпилення може бути зменшений.

В такому випадку оцінку швидкості охолодження розплавів з високою температурою ліквідус пропонується виконувати за спрощеною методикою. З огляду на велику різницю температур розплаву і газу швидкість охолодження незалежно від температури зливу T_{Me} можна розраховувати з різниці температури ликвідус T_L і температури газу T_g . Так, для нікелевого сплаву з $T_L = 1350$ °C при $T_{Me} = 1500$ °C і $T_g = 50$ °C, відносна помилка визначення швидкості охолодження складе 12%, що цілком прийнятно для практичних розрахунків.

Швидкість охолодження визначається за формулою:

$$V_{охол} = \frac{T_{Me1} - T_{Me2}}{\Delta\tau} = \alpha \frac{(T_{Me1} - T_g) \cdot S}{c_{Me} \cdot m_{Me}}, \quad (11)$$

де S - площа поверхні частинки; m_m - маса частинки.

Коефіцієнт тепловіддачі може бути визначений по формулі $\alpha = Nu \cdot \lambda_r / d_k$.

Тоді кінцевий вид рівняння для швидкості охолодження:

$$V_{охол} = 6 \left(2 + \frac{0,276 V_g^{0,5} \cdot d_k^{0,5} \cdot \rho_g^{0,5} \cdot c_g^{0,3}}{v_g^{0,2} \cdot \lambda_g^{0,3}} \right) \cdot \frac{\lambda_g \cdot (T_L - T_1)}{c_{Me} \cdot \rho_{Me} \cdot d_k^2}. \quad (12)$$

З рівняння (12) видно, що $V_{охол} \propto 1 / d_k^{1,5}$. Найбільш важливим є коректний вибір швидкості газу. Виходячи з даних швидкісної кінозйомки [15] виходить, що досить великі частинки набувають швидкості не вище $0,1 V_g$. Пиловидна фракція прискорюється швидше, хоча і швидше втрачає теплову енергію. Прискорення, що набуває частка пропорційно d_k (при $Re > 10^3$). Швидкість охолодження, виходячи з формули (12) пропорційна рівнянню $(A / d_k^2) + (B / d_k^{1,5})$. Оцінка показує, що якщо до початку кристалізації велика частинка прискорилося до $0,1 V_g$, то і дрібна для своїх умов прискорилося приблизно на величину порядку V_g . Звідси можна вважати, що підвищення швидкості газу сприяє зіштовхуванню дрібних і великих частинок. Для гранул розміром 100-500 мкм в стандартних умовах розпилювання кількість дрібних частинок, що впроваджуються в тіло краплі через поверхню, складе не менше 10-30 штук, а сумарна маса сателітів щодо маси основної краплі - від 5 до 10%. Орієнтовні

розрахунки показують, що довжина вертикальних треків частинок в цьому випадку зменшується приблизно на 10%, що дає можливість зменшити габарити камери розпилювання.

Висновки

Розглянуто різні підходи до розрахунку процесу охолодження крапель при газовому розпилюванні розплаву. Показано, що для розрахунку габаритів камери розпилювання необхідно враховувати явище утворення на поверхні частинок сателітів і їх вплив на процес кристалізації частинок діаметром більше 100 мкм.

Рішення задачі дозволяє коректно розрахувати треки частинок і розміри при проектуванні установок розпилення, що забезпечують повну кристалізацію сферичних мікрогранул різних розмірів.

Література

1. Терновой Ю.Ф., Кудиевский С.С., Пашетнева Н.Н. Инженерные расчеты технологических процессов распыления расплавленных металлов. Запорожье, 2005. 149 с.
2. Вебер К. Распад струи жидкости. В кн.: Двигатели внутреннего сгорания. Т. 1. Москва, 1936. С. 23-27.
3. Вольнский М. С. О дроблении капель в потоке воздуха. *Докл. АН СССР*. 1948. № 3. С. 301-304.
4. Лышевский А.С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками. Москва, 1963. 179 с.
5. Ничипоренко О.С., Найда Ю.И., Медведовский А.Б. Распыленные металлические порошки. Киев, 1980. 240 с.
6. Дейнеко Л. Н., Романова Н. С., Кокашинская Г. В., Ушаков Ю. Н. Теплофизические особенности и методики оценки скоростей охлаждения гранулированных алюминиевых сплавов. *Строительство, материаловедение, машиностроение : Стародубовские чтения*. 2017. С. 73-78.
7. Гессингер Г. Х. Порошковая металлургия жаропрочных сплавов. Челябинск, 1988. 320 с.
8. Рудской А. И., Соколов Ю. А., Копаев В. Н. Определение теплофизических свойств материалов для моделирования процесса получения металлических гранул. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Металлургия*. 2014. № 3 (202). С. 170-179.
9. Ничипоренко, О. С. О теплообмене между частицами металла и газом. *Порошковая металлургия*. 1968. № 7. С. 3-5.
10. Путимцев Б. И. Влияние теплофизических свойств газов и металлических расплавов на свойства распыленных порошков. *Порошковая металлургия*. 1967. № 3. С. 1-7.
11. Найда Ю. И., Ничипоренко О. С., Медведовский А. В., Шульга Ю. В. Экспериментальные исследования критерия дробления расплавов. *Порошковая металлургия*. 1973. № 1. С. 1-5.
12. Мирошниченко И. С. Закалка из жидкого состояния. Москва, 1982. 168 с.
13. Ковнер С. С. Условие термического подобия в процессах промерзания и оттаивания. *Известия АН СССР*. 1943. Т. 3. С. 143-149.
14. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача. Москва, 2003. 784 с.
15. Терновой Ю. Ф., Баглюк Г. А., Кудиевский С. С. Теоретические основы процессов распыления металлических расплавов. Запорожье, 2008. 298 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЙ РАЗМЕРОВ КРИСТАЛЛИТОВ И СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ ТВЁРДОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Лебедев В.А., д.т.н., проф., ИЭС им. Патона Е.О. НАН Украины

Аннотация Отмечено, что применение способа электродуговой наплавки с управляемыми колебаниями изделия (ванны жидкого металла) обеспечивает ряд технико – технологических преимуществ, в том числе и в улучшении эксплуатационных характеристик наплавляемых узлов и деталей. Указанное улучшение возникает за счёт изменения структуры наплавленного слоя, в частности изменения размеров кристаллитов.

Ключевые слова: наплавка, колебания ванны, структура наплавленного металла, кристаллиты, размеры, влияние.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВІВ РОЗМІРІВ КРИСТАЛІТІВ І СТРУКТУРИ МЕТАЛУ НА ПОКАЗНИКИ ТВЕРДОСТІ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛУ

Лебедев В.О., д.т.н., проф., ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

Анотація Відзначено, що застосування способу електродугового наплавлення з керованими коливаннями виробу (ванни рідкого металу) забезпечує ряд техніко - технологічних переваг, в тому числі і в поліпшенні експлуатаційних характеристик наплавляються вузлів і деталей. Зазначене поліпшення виникає за рахунок зміни структури наплавленого шару, зокрема зміни розмірів кристалітів.

Ключові слова: наплавка, коливання ванни, структура наплавленого металу, кристаліти, розміри, вплив.

STUDY OF THE INFLUENCE OF CRYSTALLITE SIZE AND THE STRUCTURE OF METALL ON THE HARDNESS INDICATORS OF THE HARDENED METAL

Lebedev V.A, Doctor of Technical Sciences, Prof.,
Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine

Abstract It is noted that the use of the method of electric arc surfacing with controlled oscillations of the product (liquid metal bath) provides a number of technical and technological advantages, including improving the operational characteristics of the welded assemblies and parts. This improvement occurs due to a change in the structure of the deposited layer, in particular, a change in the size of crystallites.

Key words: surfacing, pool vibrations, structure of deposited metal, crystallites, size, influence.

Применение систем, обеспечивающих колебания наплавляемого изделия с управляемыми (заданными) параметрами обеспечивают ряд технико-технологических преимуществ такого способа наплавки в сравнение с известными и традиционно применяемыми способами.

Созданная в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины установка с управляемыми механизмами колебаний изделия (частота, амплитуда) за счёт программирования работы быстродействующих электроприводов с высокомоментными бесколлекторными электродвигателями, шаговыми и вентильными [1] Такая установка обеспечивает колебания изделий во время ведения дугового процесса с частотой порядка 10 Гц с определённым набором устанавливаемых амплитуд колебаний

Преимущества применения нового способа наплавки можно обобщить в виде нескольких позиций: увеличение производительности процесса на 20...30%; повышение качества наплавленного слоя (увеличение, износостойкости рабочей поверхности и её твёрдости). Последнее достигается, как за счёт изменения структуры металла шва, так и за счёт измельчения структуры наплавленного металла и металла околошовной зоны, где наблюдаются существенные изменения в размерах кристаллитов. В таблице 1 представлены усреднённые результаты измерений размеров кристаллов при анализе микроструктуры металла в зоне наплавленного валика, который выполнен на рекомендованных в технической литературе [2].

Таблица 1 - режимах при применении электродной проволоки Св08Г2С диаметром 1,2 мм
в углекислом газе

Колебания	Ширина кристаллитов, мкм	Коэффициент формы кристаллитов
Отсутствуют	97,5	6,8
Частота	70,0	4,56
Частота	52	3,12

Параметры кристаллитов при разных параметрах колебаний

В некоторых случаях (при больших амплитудах колебаний изделия, которые ведут к существенным изменениям вылета электродной проволоки) требовались подстройки режимов наплавки при которых процесс наплавки оставался устойчивым. (оценка визуальная и на основе осциллограмм тока и напряжения)

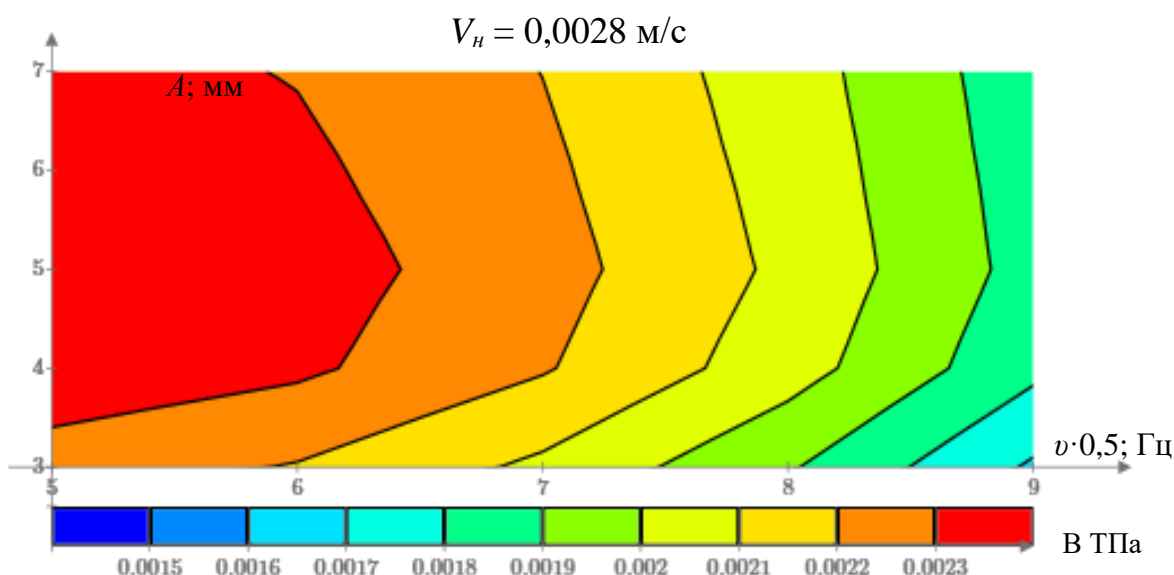


Рисунок 1 - Зависимость твёрдости V от амплитуды A и частоты колебаний

В данном материале использовались только поперечные относительно направления наплавки колебания изделия.

Показатели твёрдости были получены с помощью твёрдомера LECO M – 400 по методикам ДСТУ ISO 6507-1:2007 при нагрузке индентора на образец 1 кГ.

Представляет теоретический и практический интерес оценка влияния количественных характеристик кристаллитов наплавленного валика (слоя) на его эксплуатационные свойства. На рис.1 представлены в графическом виде результаты исследования твердости наплавленного слоя в зависимости от скорости ведения процесса, частоты и амплитуды колебаний изделия.

Из анализа формирования [3] твердости наплавленного (на рис.1 пример) металла и размера кристаллита выполненного, в том числе на основе обработки массива микрошлифов, следует, что на определенных технологических режимах наплавки увеличение жесткости не является результатом только роста степени диспергирования микроструктуры наплавленного металла. Так при наплавке с токами дугового процесса $I_n = 100$ А и $n = 125$ А и скоростями ведения процесса $V_n = 0,0028$, $V_n = 0,0039$ м / с и $V_n = 0,005$ м / с твердость увеличивается вместе с увеличением размера кристаллита. Такая же тенденция наблюдается при скоростях наплавки $V_n = 0,0028$ м / с и при токах наплавки =

175 А и $I_n = 200$ А. Этот факт свидетельствует о том, что основная составляющая фактора колебаний на заданных технологических режимах представляет собой формирование полезных структурных составляющих микроструктуры, которые улучшают микроструктуру в то время, как и составляющая фактора колебаний, способствует повышению степени диспергирования микроструктуры является неэффективной.

На режимах наплавочного процесса $I_n = 100$ А, $I_n = 125$ А, $I_n = 150$ А и $I_n = 175$ А при $V_n = 0,0072$ м / с, а также при $I_n = 200$ А при $V_n = 0,005$ м / с наблюдается доминирование той составляющей фактора колебаний, способствует измельчению микроструктуры. С уменьшением размера кристаллита увеличивается величина твёрдости. Наибольшее значение твердости формируется при минимальных значениях размеров кристаллита.

На режимах наплавки при $I_n = 150$ А и при $V_n = 0,0028$ м / с, а также при $V_n = 0,0039$ м / с; при $I_n = 200$ А и при $V_n = 0,0039$, $V_n = 0,0061$ и $V_n = 0,0072$ м / с Размер кристаллита формируется благодаря обоим составляющим формирования микроструктуры. Характерным показателем является то, что максимальные значения твердости не достигаются при минимальных значениях размера кристаллита.

При режимах наплавки $I_n = 150$ А и при $V_n = 0,005$ м / с, и при $I_n = 175$ А и при $V_n = 0,0061$ м / с Размер кристаллита при определенных амплитудно - частотных характеристиках формируется или благодаря увеличению степени диспергирования, или благодаря одновременного влияния двух факторов формирования. В случае воздействия двух факторов формирования максимальные значения твердости и соответствующего диспергирования микроструктуры не достигаются.

Очевидно, что фактор тока и скорости наплавки определяют характер влияния колебаний по формированию микроструктуры и её составляющей – массив кристаллитов с его влиянием на эксплуатационные характеристики наплавляемых узлов и деталей.

Из большого числа материалов исследования микроструктур наплавленных валиков при применении способа с управляемыми колебаниями изделий, а равно ванны жидкого металла следует важный вывод, что на характеристики твёрдости влияют два фактора:

- диспергирование кристаллитов;
- получение определённых (полезных) структур в металле.

Выбор режимов наплавки и колебаний изделия с получением максимального значения твёрдости является экспериментальной задачей.

Литература

1. Лебедев В.А., Новиков С.В. Колебатель изделия для автоматической наплавки. *Технічні науки та технології*. Чернігів. №2. 2020. С.11-21.
2. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. *Сварка в активных газах*. К.: Екотехнологія. 2007. — 192 с.
3. Лебедев В. А., Новиков С. В., Соломийчук Т. Г. Определение твёрдости наплавленного металла и металла зоны термического влияния (ЗТВ) при низкочастотных колебаниях сварочной ванны. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2019. – №2 – С. 54 – 61.

РАЗРАБОТКА НОВОГО ПОДХОДА МИКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЙ

Скобло Т.С., д.т.н., проф., Романюк С. П., к.т.н., докторант, Белкин Е.Л., инженер, Романченко В.Н., к.т.н., ХНТУСХ им. П. Василенко

Аннотация. В работе предложен новый подход к описанию структурообразования при исследованиях металлографических изображений с выявлением локальной неоднородности до- и после стендовых испытаний. Выполнен качественный и количественный анализ изображений наноструктурного многослойного покрытия ZrO_2/ZrN , нанесенного на режущий инструмент из стали X12. Сравнительно оценены и структурные изменения, возникающие в поверхностном слое в процессе трения.

Ключевые слова: многослойное покрытие, металлографическое изображение, режущий инструмент, неоднородность, трение.

РОЗРОБКА НОВОГО ПІДХОДУ МІКРОСКОПІЧНОГО АНАЛІЗУ СТРУКТУРИ ПОКРИТТІВ

Скобло Т.С., д.т.н., проф., Романюк С.П., к.т.н., докторант, Белкін Е.Л., інженер, Романченко В.М. к.т.н., ХНТУСГ ім. П. Василенка

Анотація. У роботі запропоновано новий підхід до опису структуроутворення при дослідженнях металографічних зображень з виявленням локальної неоднорідності до- та після стендових випробувань. Виконано якісний і кількісний аналіз зображень наноструктурного багатошарового покриття ZrO_2 / ZrN , нанесеного на ріжучий інструмент зі сталі X12. Зіставно оцінені і структурні зміни, що виникають в поверхневому шарі в процесі тертя.

Ключові слова: багатошарове покриття, металографічне зображення, ріжучий інструмент, неоднорідність, тертя.

DEVELOPMENT OF A NEW APPROACH TO MICROSCOPIC ANALYSIS OF THE COATING STRUCTURE

Skoblo T.S., Dr.T.Sc, professor, Romaniuk S.P., PhD, doctoral candidate, Belkin E.L., engineer, Romanchenko V.M, PhD, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture

Abstract. The paper proposes a new approach to the description of structure formation in the study of metallographic images with the identification of local inhomogeneity before and after tests. A qualitative and quantitative analysis of images of a nanostructured multilayer ZrO_2 / ZrN coatings deposited onto cutting tools made of X12 steel has been performed. Structural changes occurring in the surface layer during friction were comparatively assessed.

Key words: multilayer coating, metallographic image, cutting tool, heterogeneity, friction.

Введение

Для упаковки конфет используется металлизированная пленка, разрезание которой осуществляется режущим инструментом из высокоуглеродистой легированной стали X12 размером 26x25x195мм. В процессе эксплуатации ножей возникает потребность в постоянной заточке их режущих кромок, что приводит к постепенному уменьшению их размера и износу. Для предотвращения ускоренного разрушения режущего инструмента наносили упрочняющее покрытие.

В зависимости от качества исходного материала и параметров осаждения покрытия, могут проявляться дефекты в рабочем слое и изменяться свойства. Неоднородность структуры проявляется, как на макро – и микроуровне, так и в наноразмерных фазах.

Анализ публикаций

Оценку состояний металлических изделий можно осуществлять с помощью разрушающих методов [1] и с использованием новых подходов прогнозирования структурообразования. Для оценки структурных изменений авторы [2] использовали метод вычислительного моделирования процессов по коэффициенту теплоемкости. В работе [3] предложен программный продукт Visual Heat Treatment, который позволяет учитывать до пяти факторов. При оценке неоднородности макро- и микроструктуры в деталях из серого и высокохромистого чугунов [4] авторы применяют оптико-математический анализ с выявлением плотности дислокаций и дисперсности структуры. Однако, такие подходы целесообразно использовать для объемных, крупногабаритных деталей.

В проведенных ранее исследованиях структуры упрочняющих покрытий использовали методы оптической и электронной микроскопии с локальным микрорентгеноспектральным анализом и термоэлектронной эмиссией с оценкой распределения компонентов, а также их диффузией в зоны пограничных слоев [5]. Было установлено, что химический состав и стабильность структурных составляющих покрытия, а также их изменения в процессе эксплуатации, влияют на цветовые характеристики изображения [6].

Для количественной оценки распределения структурных составляющих предложен новый метод определения гетерогенной структурной неоднородности [7], который позволяет ее оценивать в наноструктурном покрытии по коэффициенту анизотропии. С помощью оптико-математического анализа установлено, что существенный вклад в неоднородность покрытия вносит наличие капельной составляющей на упрочненной поверхности [8]. При этом, остается актуальным анализ изображений наноструктурных многослойных покрытий с выявлением локальных участков с максимальной и минимальной неоднородностью.

Целью работы является разработка подхода к оценке локальной неоднородности структур покрытий на электроннометаллографических изображениях.

Методика исследований

В работе исследовали режущий инструмент, упрочненный наноструктурным многослойным покрытием ZrO_2 / ZrN . Осаждение такого покрытия осуществляли ионно-плазменным методом на модернизированной установке «Булат» с применением криволинейного фильтра.

Для качественной и количественной оценки локальной неоднородности на изображениях таких покрытий исследовали соотношения цветов пикселей (пикселей), расположенных друг за другом. Анализировали изменения, происходящие в структуре покрытий на разных этапах жизненного цикла изделий.

Для реализации данного процесса ввели разработанные абстрактные таблицы, которые отражали различные меньшие, равные, большие показатели (МРБ). Они существенно отличаются от используемых ранее таблиц Бозе [9], которые не зависят от порядка следования точек на изображениях. Принцип составления таблиц МРБ состоит в рассмотрении цветов последовательных точек и соотношении цветов между ними. Для трех точек может быть только 9 соотношений (табл. 1).

Таблица 1 – Таблица МРБ для трех последовательных точек на изображении структуры

Условие соотношения цветов точек		Номер случая (k)
1	2	
$c_2 < c_1$	$c_1 < c_3$	1
$c_2 = c_1$	$c_1 = c_3$	2
$c_2 > c_1$	$c_1 > c_3$	3
$c_2 < c_1$	$c_1 = c_3$	4
$c_2 > c_1$	$c_1 = c_3$	5
$c_2 = c_1$	$c_1 < c_3$	6
$c_2 = c_1$	$c_1 > c_3$	7
$c_2 < c_1$	$c_1 > c_3$	8
$c_2 > c_1$	$c_1 < c_3$	9

где c - цвет точек (пикселей).

Сканируя последовательно всю фотографию, одновременно вычисляли гистограмму случаев k значений для трех последовательных точек. Поделив каждое из 9 чисел (соответствующее определенному набору из 3 цветов, см. табл. 1) на общее число точек на фотографии, получили гистограмму МРБ. Гистограмма будет зависеть от того, в каком порядке происходит обход точек фотографии: по горизонтали, вертикали, левой или правой диагонали.

Полученные гистограммы дают представление о пиках, называемых в математике седловыми точками. В данном случае $K=8$ и $K=9$ соответствует пикам, представленным на рис. 1. Одновременно, условие $K=2$ (когда все три точки одинакового цвета) позволяет оценить уровень минимальной неоднородности на анализируемом изображении.



Рисунок 1 – Седловые точки в таблицах МРБ: а – для $K=8$; б – $K=9$

Аналогично трем последовательным точкам строили таблицу МРБ для четырех точек. Каждая строка предыдущей таблицы утраивается за счет появления 3 соотношений меньше, равно, больше для четырех последующих точек (табл. 2).

Таблица 2 – Таблица МРБ для 4 последовательных точек на изображении структуры

Условие соотношения цветов точек			Номер случая (k)
1	2	3	
1	2	3	4
$c2 < c1$	$c1 < c3$	$c3 < c4$	1
$c2 < c1$	$c1 < c3$	$c3 = c4$	2
$c2 < c1$	$c1 < c3$	$c3 > c4$	3
$c2 = c1$	$c1 = c3$	$c3 < c4$	4
$c2 = c1$	$c1 = c3$	$c3 = c4$	5
$c2 = c1$	$c1 = c3$	$c3 > c4$	6
$c2 > c1$	$c1 > c3$	$c3 < c4$	7
$c2 > c1$	$c1 > c3$	$c3 = c4$	8
$c2 > c1$	$c1 > c3$	$c3 > c4$	9
$c2 < c1$	$c1 = c3$	$c3 < c4$	10
$c2 < c1$	$c1 = c3$	$c3 = c4$	11
$c2 < c1$	$c1 = c3$	$c3 > c4$	12
$c2 > c1$	$c1 = c3$	$c3 < c4$	13
$c2 > c1$	$c1 = c3$	$c3 = c4$	14
$c2 > c1$	$c1 = c3$	$c3 > c4$	15
$c2 = c1$	$c1 < c3$	$c3 < c4$	16
$c2 = c1$	$c1 < c3$	$c3 = c4$	17
$c2 = c1$	$c1 < c3$	$c3 > c4$	18
1	2	3	4
$c2 = c1$	$c1 > c3$	$c3 < c4$	19
$c2 = c1$	$c1 > c3$	$c3 = c4$	20
$c2 = c1$	$c1 > c3$	$c3 > c4$	21
$c2 < c1$	$c1 > c3$	$c3 < c4$	22
$c2 < c1$	$c1 > c3$	$c3 = c4$	23
$c2 < c1$	$c1 > c3$	$c3 > c4$	24
$c2 > c1$	$c1 < c3$	$c3 < c4$	25
$c2 > c1$	$c1 < c3$	$c3 = c4$	26
$c2 > c1$	$c1 < c3$	$c3 > c4$	27

Если в табл. 2. заменить с4 на с1, то можно рассматривать вместо 4 точек в одном направлении (рис. 2, а) 3 точки по замкнутому контуру (рис. 2, б).

Аналогично строили таблицы МРБ для пяти последовательных точек в ячейке 3 на 3 пикселя. Каждая строка предыдущей табл.2. утраивается за счет появления 3 соотношений, которые меньше, равны или больше для пятой точки. Расчет таблиц МРБ для 5 точек проводили по абстрактным схемам (рис. 2).

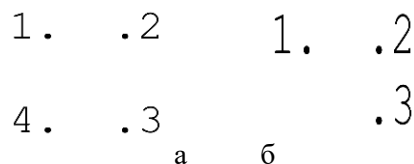


Рисунок 2 – Расположение 4 точек при расчете таблиц МРБ: а - в одном направлении, б - по замкнутому контуру

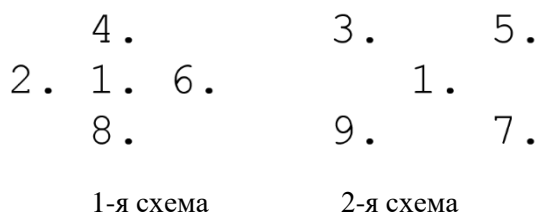


Рисунок 3 – Схемы расположения 5 точек при расчете таблиц МРБ в ячейке 3 на 3 пикселя

Результаты исследований

В качестве примера, с помощью разработанной методики оценивали локальную неоднородность наноструктурного многослойного покрытия ZrO_2/ZrN по соотношению цветов 3 последовательных точек (пикселей) с выявлением пиковых значений (табл.3) в процессе трения.

В результате проведенных исследований установили, что в новом покрытии формируется значительная неоднородность структуры с большим количеством пиковых значений - до 19,7 процентов в вертикальном и 15,8 % в горизонтальном направлениях (табл. 3, к = 8 и 9). Равномерное распределение компонентов в нанесенном покрытии не превышает 8,92% и соответствует условию $k = 2$ (см. табл. 3). На рис.4. проиллюстрировано цвет средней точки из трех, в которых выполняются условия таблицы МРБ. В левом верхнем углу представлено исходное изображение структуры, далее слева направо, а затем сверху вниз соотношение цветов от 1 до 9 (по данным табл. 3).

Таблица 3 – Результаты расчета гистограмм МРБ для многослойного покрытия

Соотношение цветов (номер случае К)									№ фото	Схема соотношения цветов
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
10.23	8.925	10.384	9.695	9.739	9.695	9.758	15.776	15.794	1 (рис.4,а)	по горизонтали
9.695	6.654	9.686	8.635	8.664	8.665	8.632	19.699	19.665		по вертикали
0.459	48.403	0.442	8.5	6.572	6.56	8.511	9.305	11.242	2 (рис.4,б)	по горизонтали
0.6	46.824	0.672	9.578	7.372	7.369	9.586	7.891	10.103		по вертикали
1.929	33.558	1.923	11.083	10.924	10.934	11.094	9.196	9.355	3	по горизонтали
2.41	28.534	2.45	11.138	10.983	10.993	11.126	11.107	11.256		по вертикали
3.861	47.31	3.854	9.922	9.559	9.571	9.943	2.808	3.167	4	по горизонтали
3.633	49.281	3.759	9.561	9.096	9.222	9.435	2.834	3.174		по вертикали

В процессе эксплуатации под воздействием внешних факторов наблюдается изменчивость структуры покрытия. Оно становится менее неоднородным с 6,65 до 46,82% (рис.4). В зоне трения

достигает 49,3%, а количество пиковых значений не превышает 3,17 %.

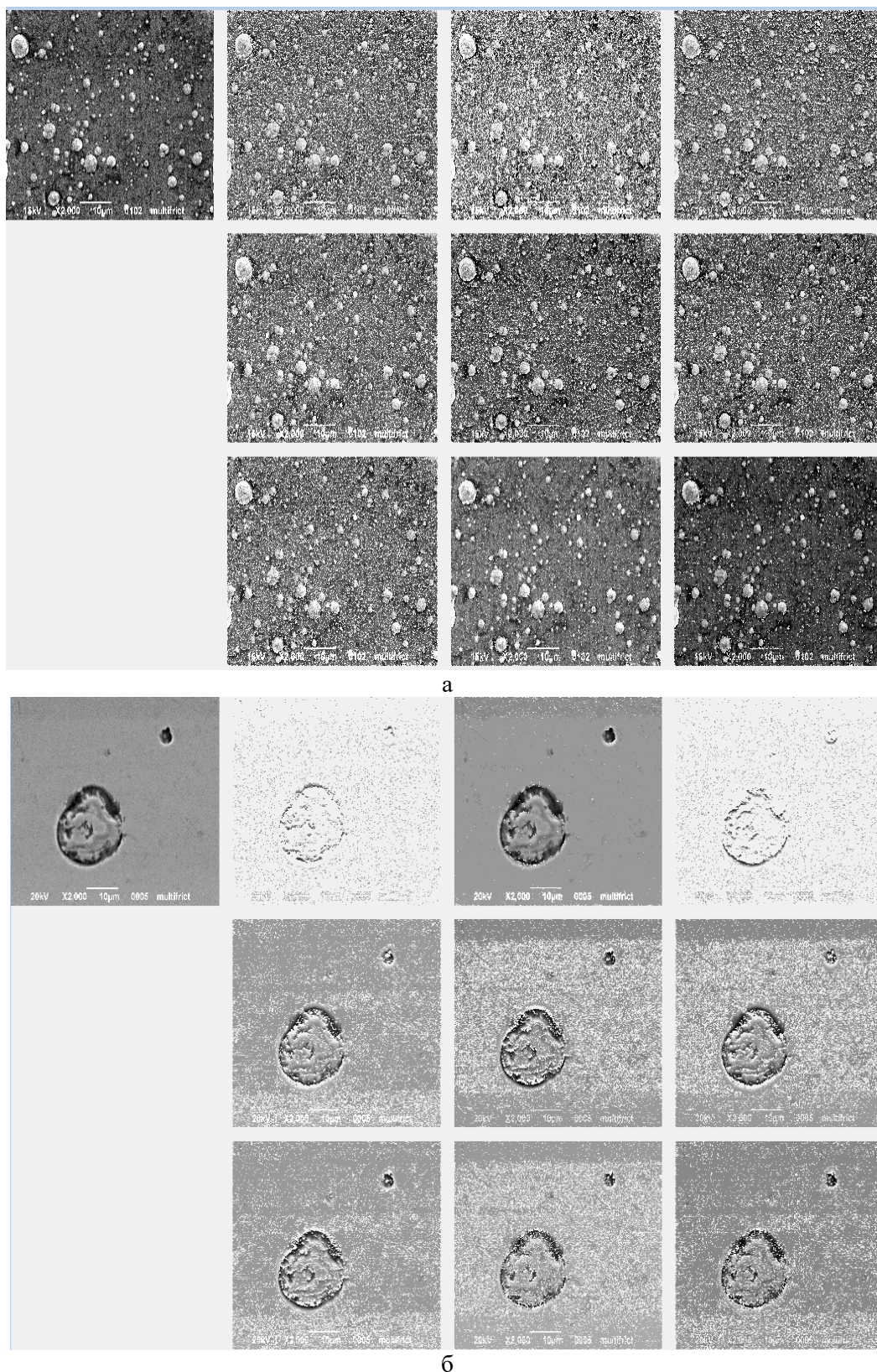


Рисунок 4 – Схематическое изображение соотношения цветов в вертикальном направлении, а - новое покрытие, б - после эксплуатации (капли на поверхности трения)

На изображении дорожки трения (рис.5) проанализировали изменение доли пиковых значений (%) и структурной неоднородности по соотношению цветов трех последовательных точек (пик-

селей). Вокруг дорожки трения в покрытии наблюдается уменьшение в 2,04 раза доли пиков. Структура становится существенно более однородной (в 1,7 раза), о чем свидетельствуют данные табл.4 (при $k = 2$). Аналогичные результаты получили при исследовании пяти последовательных точек, где различия в данных не более 2 %.

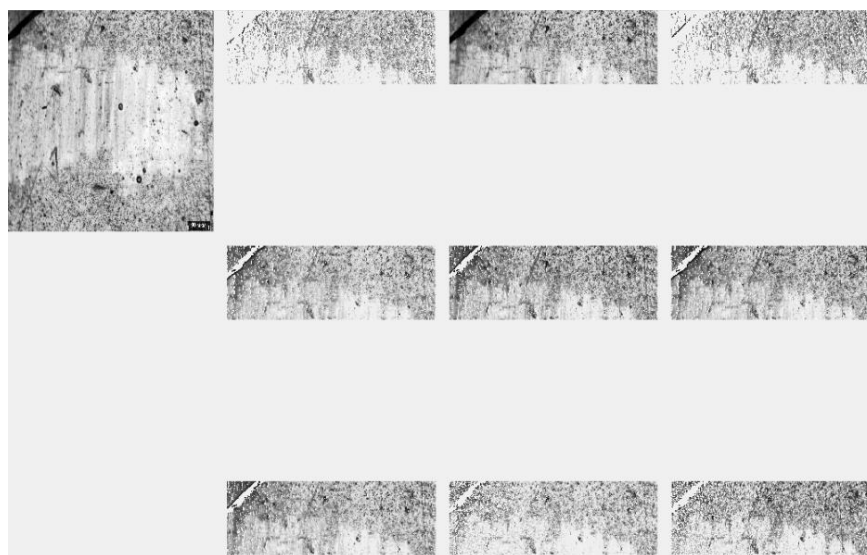
Таким образом, предложенный подход при использовании оптико-математического метода описания структурообразования позволил провести качественный и количественный анализ структурных изменений в многослойном покрытии после испытаний на трение. Полученные данные выявили наличие в структуре покрытия на поверхности трения локальные участки (пиков) с максимальной и минимальной степенью неоднородности.



а



б



В

Рисунок 5 – Изображения соотношения цветов в зоне трения

Таблица 4 – Результаты расчета гистограмм МРБ для многослойного покрытия после испытаний на трение

Соотношение цветов (номер случае К)									Часть фото
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6.408	32.627	6.464	11.714	11.048	11.133	11.659	4.173	4.768	Для первых m / 6 строк (рис. 4, а)
2.337	55.467	2.339	8.977	8.73	8.72	9.02	2.069	2.336	От m/6 до 2/3*m строк (рис. 4, б)
4.882	42.37	4.828	10.45	10.063	10.073	10.475	3.237	3.616	От 2/3*m до m строк 1/6 (рис. 4, в)

Дальнейшие исследования могут быть направлены на выявление суммы сочетаний трех цветов на изображениях структуры покрытий, которые влияют на твердость или износостойкость, с расчетом уравнений регрессии и определением коэффициентов корреляции.

Выводы

Предложен новый подход к исследованиям изображений структуры покрытий с выявлением локальных участков с максимальной и минимальной неоднородностью. Это позволило проанализировать изменения, происходящие в структуре упрочняющего многослойного покрытия ZrO_2 / ZrN на режущем инструменте из стали X12 в процессе трения. Данная методика позволила установить, что в исходном состоянии в покрытии формируется большое количество пиковых значений - до 19,7 % в вертикальном и 15,8 % в горизонтальном направлениях. В зоне трения количество пиковых значений не превышает 3,17. В процессе эксплуатации при циклическом воздействии наблюдается перестройка структуры покрытия и оно становится менее неоднородным и повышается с 6,65 до 46,82 %.

Литература

- 1.ДСТУ БА.1.1 -10-94. Метод мікроскопічного кількісного аналізу структури матеріалів. Терміни та визначення.
- 2.Математическое моделирование процесса термической обработки изделий со сложной внутренней структурой /А.Н. Чичко, В.Ф. Соболев, О.И. Чичко [и др.] // Литье и металлургия, №2(60), 2011. – С.73-78.

3. Математическая модель структурной диаграммы малоуглеродистых коррозионноустойчивых сталей и ее применение при разработке новых материалов / Г.С. Кривоногов, Е.Н. Каблов // «Металлы», ВИАМ, № 5, 2001.

4. Клочко О.Ю. Применение методов оптико-математического анализа оценки дисперсности структуры высокоуглеродистых сплавов // Технический сервис агропромышленного, лесного та транспортного комплексів. – Харків. – 2016. – №6. – С. 112-117.

5. Романюк С.П. Застосування цифрових технологій для аналізу зображень наноструктурних покриттів // Збірник матеріалів міжнародної науково-методичної конференції «Проблеми надійності машин» – Харків, ХНТУСГ, 2019. – С.52-53.

6. Romaniuk S.P. New Comprehensive Approach to Mathematical Modeling of Metallographic Images of Tool Structures // Journal of mechanical engineering. – 2019. – Vol . 22. – № 4. – С.67-73.

7. Метод визначення гетерогенної структурної неоднорідності: *пат. 137100 Україна* : МПК С 22С 38/00 (2019.01) / Скобло Т.С., Романюк С.П., Клочко О.Ю. та інші; № u201805708; заявл.22.05.2018; висн. про видачу 1.08.2019.

8. Skoblo T.S. Complex evaluation of structural state degree of strengthening nanocoatings / T.S. Skoblo, S.P. Romaniuk, A.I. Sidashenko, V.S. Taran, A.V. Taran, I.I. Dorozhko N.N. Pilgui // Problems of atomic science and technology. Series: Plasma Physics (25). – 2019. - №1. - p. 225-228.

9. Скобло Т.С. Методика математической оценки фазового состава стали / Т.С. Скобло, Е.Л. Белкин, С.П. Романюк // Вісник ХНТУСГ. – 2014. – №146. – С. 8-24.

К ВЫБОРУ МАТЕРИАЛОВ РАБОЧИХ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЗВЕНЬЕВ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОМАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНОЙ ИНДУСТРИИ

Аврунин Г.А., к.т.н., доц., ХНАДУ, Глушкова Д.Б., д.т.н., проф., ХНАДУ, Самородов В.Б., д.т.н., проф., НТУ «ХПИ», Пелипенко Е.С., к.т.н., НТУ «ХПИ», Рыжков Ю. В., к.т.н., доц., ХНАДУ, Шевченко Д.Н., аспирант, ХНАДУ, Мороз И.И., старший преподаватель, ХНАДУ, Степанюк А.И., аспирант, ХНАДУ

***Аннотация.** Показано, что в объемных гидроприводах для строительных и дорожных машин путем усовершенствования узлов трения существенно повышены номинальные давления и снижена материалоемкость гидромашин – насосов и гидромоторов. В зависимости от быстродействия нагрузки на гидропривод машины рекомендовано для обеспечения запаса по рабочему давлению предварительное динамическое моделирование, по результатам которого выбирается значение рабочего объема гидромотора.*

***Ключевые слова:** объемный гидропривод, насосы, гидромоторы, конструкции пар трения, материалы, математическая модель динамики, колебания давления.*

ДО ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ РОБОЧИХ І РОЗПОДІЛЬНИХ ЛАНОК ОБ'ЄМНИХ ГІДРОМАШИН ДЛЯ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНЬОЇ ІНДУСТРІЇ

Аврунін Г.А., к.т.н., доц., ХНАДУ, Глушкова Д.Б., д.т.н., проф., ХНАДУ, Самородов В.Б., д.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Пелипенко Є.С., к.т.н., НТУ «ХПІ» Рижков Ю. В., к.т.н., доц., ХНАДУ, Шевченко Д.М., аспірант, ХНАДУ, Мороз І.І., старший викладач, ХНАДУ, Степанюк А.І., аспірант, ХНАДУ

***Анотація.** Показано, що в об'ємних гідроприводах для будівельних і дорожніх машин шляхом удосконалення вузлів тертя істотно підвищені номінальні тиски і знижена матеріаломісткість гідромашин - насосів і гідромоторів. Залежно від швидкодії навантаження на гідропривід машини рекомендовано для забезпечення запасу по робочому тиску попереднє динамічне моделювання, за результатами якого вибирається значення робочого об'єму гідромотора.*

***Ключові слова:** об'ємний гідропривід, насоси, гідромотори, конструкції пар тертя, матеріали, математична модель динаміки, коливання тиску.*

TO THE CHOICE OF MATERIALS OF WORKING AND DISTRIBUTIVE LINKS OF BY DISPLACEMENT HYDRAULIC MASHINES FOR THE BUILDING-TRAVELLING INDUSTRY

Avrunin G., PhD, associate professor, KhNAHU, Hlushkova D., KhNAHU, Samorodov V., Doctor of Technical Sciences, Prof., National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Pelipenko E., PhD, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ryzhkov Y., PhD, associate professor, KhNAHU, Shevchenko D., graduate student, KhNAHU, Moroz I., senior teacher, KhNAHU, Stepaniuk A., graduate student, KhNAHU

***Abstract.** To the choice of materials of working and distributive links of by displacement hydraulic mashines for the needs of building-travelling industry. Aim. Search of ways of increase of technical level and reliability of by hydraulic fluid power of rotatory motion for building and travelling machines. Analysis of designer and technological decisions in part of choice of materials of pairs of friction of working links and distribution of working liquid in by displacement hydraulic mashines – pumps and hydraulic motors with the purpose of acquaintance of specialists with advanced experience in this type of technique. Method. On the basis of mathematical model of dynamics of hydraulic fluid power by means of application of VisSim package the estimation of intensity of height of extreme values of pressures is conducted from character of action of the external loading on hydraulic motor at starting of hydraulic fluid power. Results. It is set that in by hydraulic fluid power can take place substantial vibrations pressures exceeding almost in two times the set values in the technological mode of operations of machine. Conclusion. Depending on the fast-acting of loading on hydraulic fluid power of machine a preliminary dynamic design the value of the capacity of hydraulic mo-*

tors gets out on results that is recommended for providing of supply on working pressure. The brought information over about the applied pairs of friction of hydromashines and their thermo-chemical treatment can be useful to the specialists at planning of new hydraulic mashines, and repair of exploited.

Keywords: hydraulic fluid power, pump, hydraulic motors, constructions of pairs of friction, materials, mathematical model of dynamics, pressure fluctuation.

Введение

Объемные гидромашины, включающие насосы, гидромоторы и гидроцилиндры, входят практически повсеместно в состав объемных гидроприводов (ОГП) строительных и дорожных машин различного назначения. Под ОГП понимается привод, в состав которого входит гидравлический механизм, в котором рабочая (РЖ) находится под давлением, с одним или более объемными гидродвигателями [1]. Основными узлами гидромашин являются рабочие звенья и распределения РЖ. Под рабочим звеном объемного насоса понимается характерная деталь или группа деталей, образующих вместе с другими рабочую камеру и приводимая в движение входным звеном объемного насоса [2]. Под выходным звеном объемного гидродвигателя понимается характерная деталь или группа деталей, участвующая в образовании рабочей камеры и приводящая в движение выходное звено объемного гидродвигателя (гидроцилиндра, гидромотора или поворотного двигателя). Основными параметрами трения в объемных гидромашинах являются пары трения скольжения и качения, работающие в экстремальных режимах по силовым и скоростным нагрузкам в свете требований обеспечения минимальной материалоемкости, и в тоже время достаточного уровня надежности. Именно по допускаемым нагрузкам на пары трения назначаются основные параметры объемных гидромашин, в том числе максимальное давление и частота вращения насоса или гидромотора. Поэтому при разработке гидромашин, ремонте и модернизации, находящихся в эксплуатации, выбору пар трения уделяется особое внимание. Современные объемные гидромашины работают в условиях высоких скоростных, нагрузочных (по давлению) и температурных нагрузок. Так, в аксиальнопоршневых гидромашинах частоты вращения выходного вала достигают 10000 мин^{-1} , давления РЖ до 50 МПа, температура РЖ в пределах от «минус» 50 до 135 °С. Обеспечение работоспособности узлов трения при столь высоких параметрах возможно за счет применения высококачественных материалов, покрытий, прецизионной обработки поверхностей контртел и применения соответствующего сорта РЖ. Поэтому выбору материалов, термообработки и качества шероховатости поверхностей уделяется большое внимание.

Важной проблемой является также оптимальный выбор рабочих объемов гидромоторов при проектировании новых ОГП для СДМ, обеспечивающих достаточный ресурс и в значительной мере определяющих их стоимость, что приводит к необходимости проведения функционально-стоимостного анализа. Здесь главным этапом является прежде всего учет действующих нагрузок, которые не должны превышать допускаемые в характеристиках изготовителей гидромашин.

Анализ публикаций

Основные отказы гидромашин ОГП согласно исследованиям фирмы Eaton Hydraulics (США) [3; 4] вызваны загрязнением РЖ (до 80%), до 15% отказов приходится на режимы работы при повышенных давлениях и в условиях кавитации и повышенной аэрации РЖ, и только до 2...5% отказов вызваны случайными поломками деталей насосов и относятся к непрогнозируемым причинам. Поэтому наиболее эффективным методом повышения надежности работы ОГП является предотвращение попадания загрязнений в гидросистему, так как стоимость очистки от загрязнений в гидросистеме превышает в пять раз превентивные (предупредительные) действия.

Ошибки, имеющие место при проектировании ОГП, приведены в работах [5;6]:

1. Конструктивные недостатки; 2. Ошибки в выборе материалов и назначении зазоров и допусков на деталях контртел; 3. Низкие трибологические характеристики выбранной РЖ; 4. Трибологические ошибки при выборе материалов пар трения; 5. Схемные ошибки из-за нерационального распределения и использования потоков мощности РЖ в ОГП. Основными факторами, влияющими на надежность пуска ОГП в эксплуатации, являются: 1. Режим нагружения; 2. Температурные факторы; 3. Конструктивные недостатки гидроустройств и ОГП; 4. Трибологические и вязкостно-температурные свойства РЖ, уровень ее очистки от загрязнений; 5. Квалификация оператора машины.

Характер изнашивания пар трения и основные видов отказов в ОГП приведены в [7]:

1. Нарушение динамических характеристик – 10%; 2. Несоответствие эксплуатационных режимов

нагружения ОГП допустимым по технической характеристике изготовителя гидроустройств – 16%; 3. Нарушение функционирования – 16%; 4. Разрушение гидроустройств – 17%; 5. Потеря герметичности – 45%.

Назначение или оценка оптимальных режимов эксплуатации объемных гидромашин и ОГП в целом тесно связано со значениями номинального, максимального и пикового давлений (причем последние два имеют существенные ограничения по длительности воздействия), в связи с чем на рис. 1 приведены соответствующие графические зависимости [8]. И если номинальное давление не имеет ограничений по времени, то максимальное не должно превышать 39 с, а пиковое 120 мс. Особое внимание следует уделять при выборе рабочего объема насосов и гидромоторов запасу между номинальным и рабочим давлением [1], а именно конкретным значением при эксплуатации гидрофицированной машины. Один из характерных примеров катастрофического разрушения подшипников качения в гидромоторе из-за работы на сверхпиковых давлениях (нарушении динамических характеристик) приведен в работе [9].

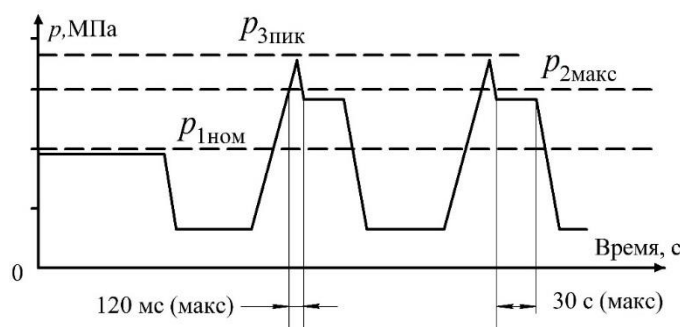


Рисунок 1 - Графическая интерпретация номинального, максимального и пикового давлений

Таким образом, в настоящей статье ставится задачи анализа применяемых материалов в парах трения гидромашин с учетом особенностей эксплуатации и оценки возможных значений динамических нагрузок сравнительно с допускаемыми техническими параметрами изготовителей.

Основная часть

Прежде всего рассмотрим конструктивные особенности применяемых в ОГП СДМ пар трения гидромашин в свете эволюции их характеристик и исходя из основных критериев выбора по допускаемым значениям удельного давления p , скорости скольжения v , произведения этих показателей $p \times v$ и контактных нагрузок σ_k для пар трения качения. На рис. 2 представлены поршневые группы аксиальнопоршневых с наклонным диском и радиальнопоршневых насосов в свете эволюции их развития, связанной с повышением давления. В аксиальнопоршневых насосах поршни с точечным контактом и диаметром головки поршня, равным диаметру поршня (рисунок 2, а), ограничивали максимальное давление значением 12 МПа. Переход на конструкцию с гидростатическими подпятниками (рисунок 2, б) позволил за последние 50 лет поэтапно поднять рабочее давление в аксиальнопоршневых гидромашинах с 20 до 50 МПа. Грибообразная головка поршня большего диаметра, чем сам поршень (рисунок 2, в), позволила поднять максимальное давление в аксиально-и радиальнопоршневых насосах до 25...32 МПа. Этот предел по давлению вынудил конструкторов искать технические решения в радиальнопоршневых гидромашинах двумя путями: при установке на эксцентриковый вал 4 обоймы 3 на роликовом подшипнике 5, что ограничивает скольжение подпятника 2 поршня 1 и позволяет поднять давление до 40 МПа (рис. 2, г); по аналогии с аксиальнопоршневыми гидромашинами создавать пару поршень 1 с гидростатически разгруженным подпятником 2 в конструкциях с вращающимися вместе с блоком цилиндров поршнями (рис. 2, д) и неподвижным блоком цилиндров и вращающимся эксцентриковым валом 4, причем получили распространение конструкции насосов с клапанным распределением РЖ, в которых всасывание осуществляется через паз в эксцентрик (рис. 2, е).

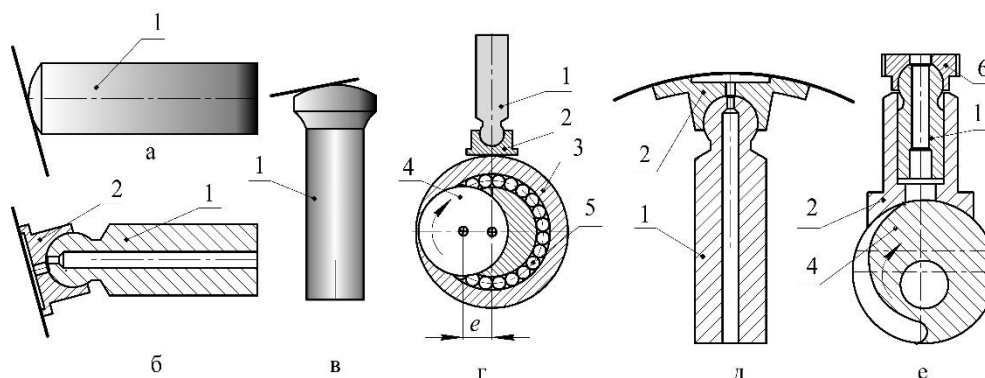


Рисунок 2 - Поршневые группы насосов с учетом их исторического развития: 1 – поршень; 2 – подпятник (б, д и е – с гидростатической разгрузкой); 3 – обойма эксцентрикового вала; 4; 5 роликовый подшипник; 6 – сферическая опора поршня 1)

Безусловно впечатляют достигнутые результаты по совершенствованию конструкций насосов. Например, самый распространенный и по настоящее время используемый в прессах радиально-поршневой насос НРР-500 на давление 20 МПа имеет массу в 1660 кг, а его преемник такого же рабочего объема модели 50НРР500, но уже на максимальное давление 63 МПа, имеет массу 420 кг. Радиальнопоршневой насос Н403У с рабочим объемом 25 см³ на максимальное давление 40 МПа имеет массу 47,5 кг, а аксиальнопоршневой насос с наклонным диском и массой в 39 кг А4VSO имеет рабочий объем в 40 см³, т.е. в 1,6 раза больше при таком же давлении. Насос без гидростатической разгрузки поршней НР1250/200 массой в 2260 кг на максимальное давление 25 МПа уступает существенно модели НР-2-1250, масса которой 1110 кг, а максимальное давление 40 МПа.

В настоящее время уровень давлений в 40...50 МПа освоен также в насосах и гидромоторах с наклонным блоком цилиндров, причем в этом направлении следует подчеркнуть достижения и отечественных специалистов. Гидромашины такого типа находят преимущественное применение в мобильной технике, однако могут использоваться и в ОГП прессов благодаря существенно более высокому номинальному давлению, чем рабочее (порядка 14 МПа) в прессах. Такой запас по давлению позволит обеспечить надежность ОГП прессов, а доступность закупок без таможенной очистки, существенно более низкая в 3...5 раз цена по сравнению с импортными образцами и развитая инфраструктура ремонтных предприятий позволяет считать такое направление модернизации перспективным. Следует также отметить, что переход на регулируемые насосы с автоматическими регуляторами типа «постоянства давления» является резервом энергосбережения. Широкий ассортимент гидроустройств для модернизации ОГП прессов поставляет харьковское предприятие «Мотор-импекс». Ремонт насосов типа НРР-400 осуществляет харьковское конструкторско-технологическое бюро СКТБ «Гидро модуль», а гидромоторов TF50 VON ROLL AG ковочных манипуляторов фирмы Gelsenkirchen ведет харьковское предприятие «Промгидропривод».

В СНГ лидирующие позиции по производству аксиальнопоршневых гидромашин с наклонным диском (НД) занимает ОАО «Гидросила (г. Кропивницкий). На рис. 3 представлен поперечный разрез аксиальнопоршневого гидромотора, содержащего блок цилиндров 1, в осевых расточках которого установлены поршни 2 с подпятниками 3. Наклонный диск 4 установлен в корпусе 5 и с помощью диска скольжения 6, сферы 7 и пружины 8 к нему прижимаются подпятники 3 поршней 2. Выходной вал 9 установлен в переднем 10 и заднем 11 радиальноупорных конических подшипниках корпуса 5 и задней крышки 14, соответственно. Блок цилиндров 1 приводит во вращение вал 9 посредством шлицевого соединения. На торце блока цилиндров размещено приставное дно (бронзовый оголовник) 12, которое опирается на торцовый распределительный диск 13, установленный в задней крышке 14. Прижим блока цилиндров 1 и приставного дна 12 к торцовому диску 13 на режиме пуска создается пружиной 15. Для снижения потерь на трение и повышения износостойкости гидромашин в поршневых расточках блока цилиндров 1 установлены бронзовые втулки 16. Уплотнение торцового типа вала 9 размещено в передней крышке 17. В блоке 18 размещены предохранительные клапаны основных магистралей А и В, «промывочный» гидрораспределитель и клапан давления, обеспечивающие охлаждение узлов трения гидромотора и функционирование системы подпитки и управления ОГП. При работе гидромотора через заднюю крышку 14 подают РЖ от насоса ОГП к торцовому распределительному диску 13, посредством которого РЖ поступает в поршневые полости блока ци-

линдров 1. Давление РЖ на поршень 2 и подпятник 3 передается на наклонный диск 4 и приводит блок цилиндров 1 вместе с выходным валом 9 во вращение.

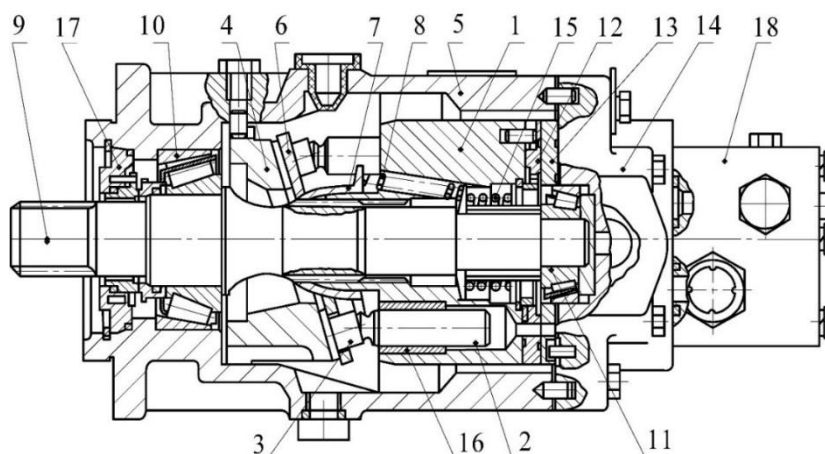


Рисунок 3 - Аксиальнопоршневой гидромотор с наклонным диском серии МП ОАО «Гидросила»

На рис. 4 приведены аксиальнопоршневые гидромашины с наклонным блоком цилиндров (НБ). Гидромашины первого поколения на номинальное давление 16 МПа имели бронзовый блок цилиндров, для повышенных давлений с целью снижения деформаций осуществлен переход на стальной блок с бронзированием поверхностей отверстий для поршней и контактирования с распределительным диском (рис. 4, а). В осевых расточках блока цилиндров 2 размещены поршни 6 с шатунами, сферические головки которых установлены в приводном фланце вала 1.

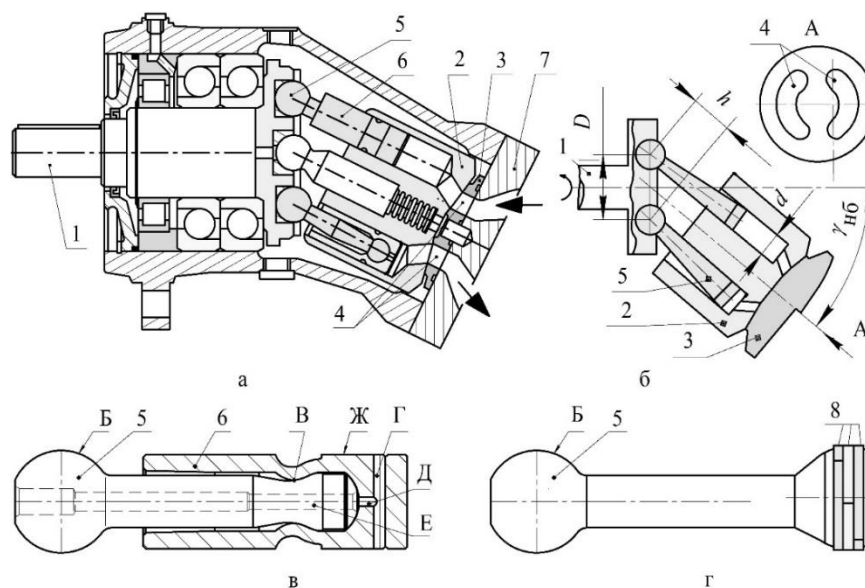


Рисунок 4 - Аксиальнопоршневые гидромашины с наклонным блоком цилиндров: производства ОАО «Стройгидравлика (а – качающий узел; б – поршень в сборе) и серии F11 фирмы «PARKER HYDRAULICS»: в – единая деталь шатун – поршень гидромашины (г)

Распределительный узел торцевого типа содержит сферический диск 3 с распределительными дугообразными окнами 4 и заднюю крышку 7 для подвода и отвода РЖ. На рис. 4, в представлен поршень 6 в сборе с шатуном 5, отверстия Г, Д и Е служат для смазки поверхностей трения поршня и шатуна. Наиболее ответственными с точки зрения износа и долговечности гидромашин являются прецизионные поверхности: цилиндрическая А поршня и сферические Б и В шатуна. Совмещение шатунами функций опор фланца выходного вала и сферических поршней (рис. 4, б и г) позволило снизить силы трения между поршнями 5 и расточками в блоке цилиндров 2 и повысить механический КПД. Уплотнение сферического поршня кольцами 8 обеспечивает минимальные утеч-

ки и предотвращает термическое заклинивание, что дает возможность работать на высоких частотах вращения. Большой угол наклона блока цилиндров по отношению к выходному валу (40...45 градусов) позволяет увеличивать рабочий объем и минимизировать габариты и массу гидромашин. Усиленные подшипники позволяют воспринимать валу гидромашин осевые и радиальные нагрузки, а простая и прочная конструкция гидромашин с небольшим числом движущихся частей повышает их надежность. Гидромашин с единой конструкцией поршневой группы созданы шведской фирмой «Svenska Flygmotor Aktiebolaget» (изобретатель сферического поршня инженер Г. Вальмарк) и в настоящее время представлены в Украине ведущими мировыми производителями «PARKER HYDRAULICS» [10], «REXROTH BOSCH GROUP» [11] и «SAUER-DANFOSS» [12]. Повышение технического уровня гидромашин с наклонным блоком реализовано за счет существенного снижения массы и повышения максимальной частоты вращения.

Для сообщения рабочих звеньев гидромашин, включая подвод и отвод РЖ, служат распределительные узлы, которые классифицируются [2] как золотниковые, клапанные и крановые.

Золотниковые распределительные узлы бывают торцевого (см. рис. 4) и цапфенного типа. На рис. 5 представлен радиальнопоршневой гидромотор модели МРФ-400/25 с цапфенным распределением РЖ. Первоначально в гидромоторах применялось золотниковое распределение РЖ, индивидуальное для каждого поршня, а с середины 80-х гг. прошлого века и по настоящее время выпускаются модернизированные гидромоторы 5-и рабочих объемов от 160 до 1600 см³ на номинальное давление 25 и максимальное 32 МПа, в которых установлен цапфенный распределительный узел. Гидромоторы с рабочим объемом до 400 см³ имеют роликовые подшипниковые опоры шатунов на эксцентриковом кулачке, а остальные типоразмеры выполнены с гидростатической разгрузкой шатунов. Гидромотор содержит вал 1 с эксцентриковыми кулачками и обоймами 4 на насыпных роликовых подшипниках 5, установленный в подшипниках 2 передней крышки 3 и корпуса 6. Поршни 7 и шатуны 8 установлены в радиальных расточках силового корпуса 6.

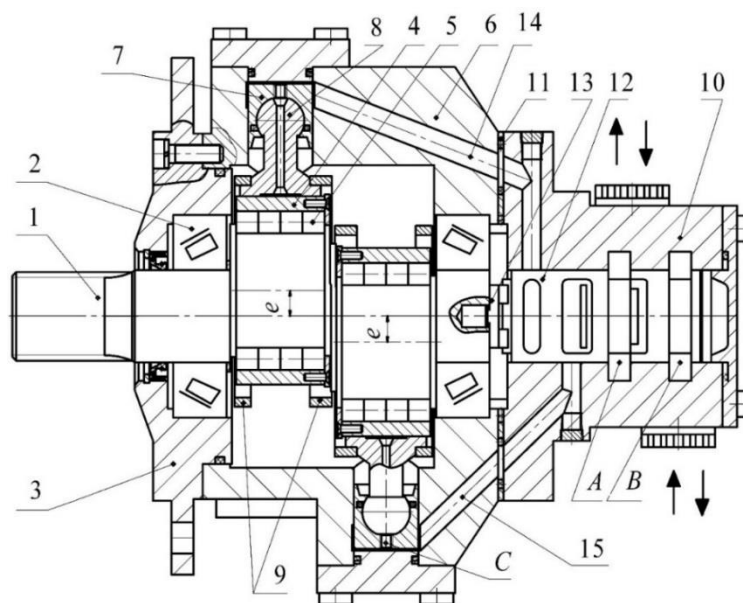


Рисунок 5 - Радиальнопоршневой гидромотор МРФ-400/25М1 с цапфенным распределением конструкции ВНИИГидропривода (выпускается с 1987 г. по настоящее время)

Кинематическая связь между поршневыми группами и обоймами 4 эксцентрикового вала 1 обеспечивается с помощью колец ведения 9. Корпус распределителя 10 крепится к силовому корпусу 6 посредством промежуточной пластины 11 с уплотнительными кольцами (по типу модульной аппаратуры) и содержит цапфу 12, привод вращения которой от вала 1 осуществляется с помощью муфты 13. В корпусе распределителя 10 выполнены кольцевые коллекторы А и В для сообщения с цапфой 12 и магистралями гидросистемы. Сообщение поршневых камер гидромотора с распределительным узлом осуществляется посредством каналов 14 и 15 в силовом корпусе 6. Отверстие С служит для смазки сферической опоры шатуна 8 и частичной разгрузки его пяты. Давлением РЖ создается усилие, действующее на поршни 7, движущиеся от верхней «мертвой» точки к нижней. Усилие поршней

передается на шатуны 8 и через обоймы 4 подшипников на эксцентрики вала 1, создавая крутящий момент и приводя во вращение вал гидромотора. Другая часть поршней в это время движется от нижней «мертвой» точки к верхней, вытесняя РЖ по каналам корпуса через распределитель 12 в соответствующий кольцевой коллектор *A* или *B*, сообщенный со сливной магистралью гидросистемы. Реверсирование вращения вала гидромотора достигается за счет изменения направления подвода РЖ к кольцевым коллекторам *A* и *B* с помощью внешнего гидрораспределителя в незамкнутой цепи циркуляции РЖ или реверсивного насоса, работающего совместно с гидромотором в замкнутой цепи циркуляции РЖ.

Радиальнопоршневые гидромашины с шариками-поршнями применяют в ОГП строительно-дорожных и сельскохозяйственных машин мощностью до 15 кВт [13]) и военных гусеничных машинах для механизмов поворота и двухпоточных трансмиссий, обеспечивая бесступенчатый разгон машины и плавный, пропорциональный отклонению штурвала поворот. На рис. 6 приведен ОГП ГОП-900 конструкции НИИГидропривода [14], состоящий из двух радиальнопоршневых гидромашин однократного действия с шариками-поршнями 3, установленными в блоках цилиндров насоса 1 и гидромотора 2 и контактирующими с реактивными кольцами (обоймами) 4 насоса и 5 гидромотора. Обойма 4 насоса имеет регулируемый эксцентриситет для изменения его рабочего объема.

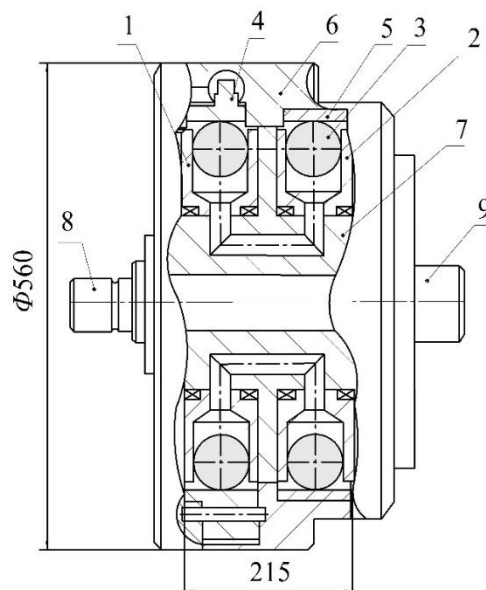


Рисунок 6 - ОГП ГОП-900 разработки НИИГидропривода и ХКБМ им. А.А. Морозова

В корпусе 6 установлен блок распределительных цапф 7. Блоки цилиндров насоса и гидромотора соединены с валами 8 и 9. ОГП ГОП-900 относится к нераздельному (моноблочному) исполнению, состоящему из гидромашин, конструктивно оформленных в одно целое. Максимальный рабочий объем каждой гидромашин 680 см³, частота вращения гидромотора до 3100 мин⁻¹, давление до 32 МПа, выходная мощность до 700 кВт; температура РЖ до 130 °С.

Широкое применение в мобильных машинах находят героторные гидромоторы, которые относятся к классу высокомоментных тихоходных гидромашин. Героторным гидромотором называется гидромотор с внутренним зацеплением, в котором рабочие камеры отделены друг от друга только зубьями шестерен без промежуточного серповидного элемента [2]. Принцип действия героторных гидромоторов (встречаются также термины – планетарные, орбитальные и шестеренные с внутренним зацеплением) основывается на различном соотношении зубьев неподвижного статора (внешней шестерни) и вращающейся внутри статора шестерни, причем оси этих деталей не совпадают (имеют эксцентриситет). При вращении внутренней шестерни относительно статора (движение внутренней шестерни при этом выглядит как планетарное) между зубьями шестерен образуются переменные по объему рабочие камеры. Подвод РЖ в эти камеры приводит к созданию момента сил на внутренней шестерне, посредством которой передается крутящий момент на выходной вал гидромотора. Распределительный узел гидромотора торцового или цапфенного типов вращается синхронно с внутренней шестерней и обеспечивает попеременное сообщение рабочих камер гидромотора с магистралями высокого давления (от насоса) и низкого (слива) давления. По типу геро-

торной пары различают конструкции с непосредственным контактом зубьев внутренней и наружной шестерен (рис. 7, а и б) и с роликами во внешней шестерне, обеспечивающими снижение уровня трения.

Гидромотор (рис. 7) состоит из передней крышки 1, проставки 2, задней крышки 3 и установленного между ними статора 4 с внутренним зубчатым венцом. Рабочий орган гидромотора состоит из ротора 5 в виде шестизубой шестерни, находящейся в зацеплении со статором 4, внутренние зубья которого образованы семью цилиндрическими вставными роликами 6. Вал гидромотора 7 установлен в радиально-упорных конических подшипниках 8 и уплотнен с помощью манжеты 9. Ротор 5 с роликами 6 статора 4 ограничены по боковым стенкам проставками 2 и 10, обеспечивающими герметичность рабочих камер. При обкатывании ротора 5 по роликам статора 4 образуются замкнутые рабочие камеры переменного объема. При этом ось ротора описывает окружность радиусом, равным заданному эксцентриситету рабочей пары шестерен. Сообщение рабочих камер с магистралями ОГП обеспечивается с помощью распределительного узла, включающего торцовый вращающийся диск 11 и дифференциальный (ступенчатый) поршень 12, полости *a* или *b* которого обеспечивают прижим диска 11 к шестеренной паре. Передача вращения от вала 7 к диску 11 осуществляется деталями 13 и 14 карданной передачи.

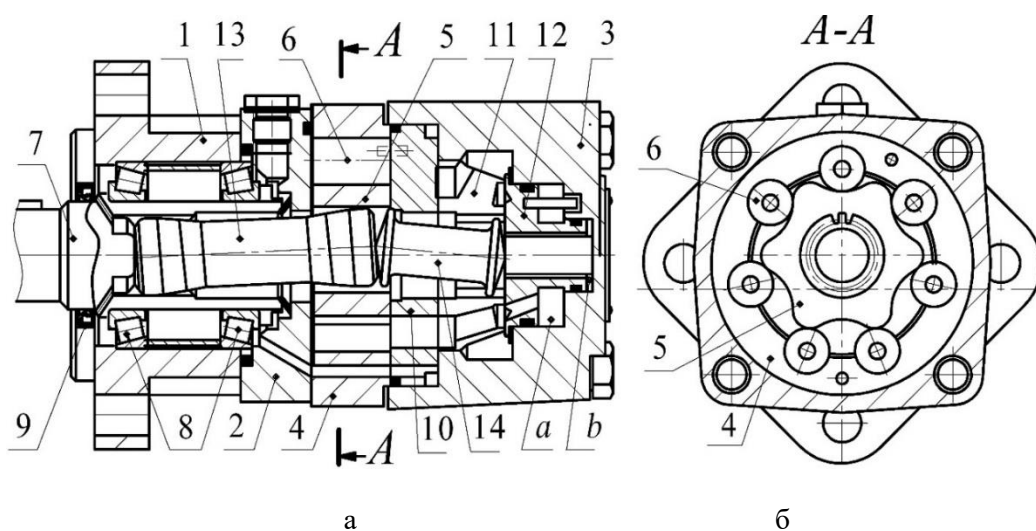


Рисунок 7 - Героторный гидромотор: а – продольный; б – поперечный разрезы

Фирма «BONDIOLI & PAVESI» (Италия) является торговым представителем фирмы «WHITE HYDRAULICS» (США), специализирующейся на производстве героторных гидромоторов 15 серий с рабочими объемами от 50 до рекордных 2100 см³ [15].

Фирма «МОТОР-Импекс» (г. Харьков) поставляет героторные гидромоторы производства «M+S HYDRAULIC» [16]. В девяти сериях гидромоторов имеется 58 значений рабочих объемов от 8 до 800 см³ на давление 11...40 МПа и мощностью до 54 кВт.

Общий вид шестеренного насоса с внутренним зацеплением серии IGP фирмы Duplomatic Hydraulics (Италия) приведен на рис. 8 [17].

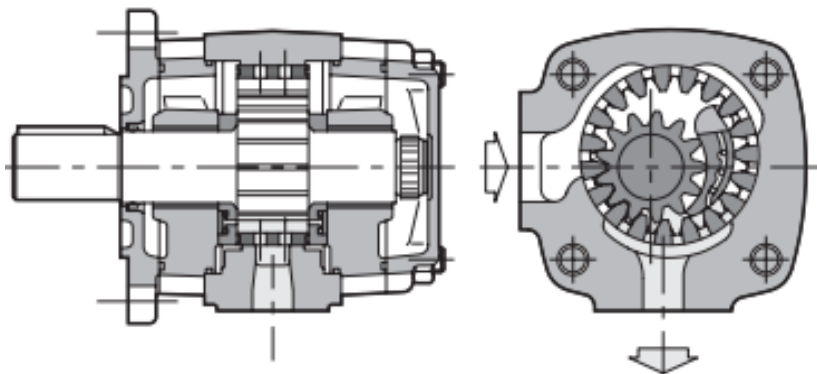


Рисунок 8 – Шестеренный насос с внутренним зацеплением модели IGP Duplomatic Hydraulics

В состав серии входят пять групп насосов с рабочим объемом от 3,6 до 252 см³ (22 модели) на номинальное давление до 33 МПа и максимальное до 35 МПа. Максимальная частота вращения от 1800 до 3600 мин⁻¹ в зависимости от значения рабочего объема. Масса насосов от 4 до 59 кг. Подача насосов при частоте вращения в 1500 мин⁻¹ достигает от 5,4 до 378 л/мин. Минимальная частота вращения насосов 400 мин⁻¹. Насосы отличаются исключительно низким уровнем шума – при частоте вращения 1500 мин⁻¹ и давлении 25 МПа уровень шума составляет 57...78 дБа, повышаясь с увеличением рабочего объема.

В таблице 1 приведены сведения о типах объемных гидромашин, характерных узлах (парах) трения скольжения и режимах их работы, применяемых материалах и видах термообработки, систематизированные ВНИИГ гидроприводом [18]:

1. НР-1250/200 - радиальнопоршневой эксцентриковый насос с клапанным распределением РЖ: рабочий объем 1250 см³, номинальное давление 20 МПа (ОАО «Людиновский Агрегатный Завод»);

Таблица 1 - Характеристика пар трения скольжения объемных гидромашин

Тип гидромашин, пара трения	Материалы контртел	Характеристика пары трения			Термообработка/НRC (HV)
		p	v	$p \times v$	
НР-1250/200: Поршень- втулка	Сталь 20X / Бр. АЖ 9-4.	15	2	30	Ц/59-62
НАР-63/200: Подпятник – НД; Блок цил. – РД; Подпятник- поршень	Бр. АЖ9-4 / Сталь X12Ф1.	1,7	7	12	О3/59-62
	Бр.ОСН10-2-3/ СтальX12Ф1.	2,9	10	29	О3/59-62
	Бр. АЖ 9-4 / Сталь 18ХГТ.	30	0,3	9	Ц/59-62
РМНА-250/320: Подпятник – НД; Ротор – РД; Плунжер- Ротор	Бр. АЖН 10-44 / Сталь 38Х2МЮА.	1,9	12	42	Аз. HV90
	Сталь38Х2МЮА / Бр ОСН 10-2-3.	0,7	17,5	12,3	Аз.
	Сталь38Х2МЮА/ БрАЖМц 11-6,5-1.	31	2,1	65	Аз.
УНА-450/200: Плунжер-ротор; Подпятник – НД	Сталь18ХГТ/ БрАЖН10-4-4.	33	2,5	82,5	Ц/57-63
	БрАЖН10-4-4/ Сталь38Х2МЮА.	1,5	12	18	HV900
МРФ-400/25М1: Поршень-шатун; Поршень-гильза	Чугун А4В –1/ Сталь 18ХГТ.	45	0,05	2,25	Ц/56-62 Ц/56-62
		20	0,45	9	
НА 74-90/320 Подпятник – НД	БрАЖ9-4 / Сталь X12Ф1.	1,5	11	16,5	О3/59-62
НА 74-224/320 Подпятник – НД	БрОСН 10-2-3 / СтальX12Ф1.	1,5	15	22,5	О3/59-62
Г12-2: Пластина – статор	Сталь Р6М5 – Сталь ШХ15.	700	6	4200	О3/60-64
Г12-3: Пластина – статор	СтальР6М5/ металло- керамика Ж420Х3.	700	3	2100	О3/60-64

Примечания: p – удельные давления, МПа; v – скорость, м/с; $p \times v$, МПа×м/с; Вид термообработки: О3 – объемная закалка; Ц – цементация; Аз – азотирование; НД – наклонный диск; РД – распределительный диск.

2. НАР-63/200 – аксиальнопоршневой регулируемый насос с наклонным диском и торцовым распределением РЖ: рабочий объем – 63 см³, номинальное давление – 20 МПа (ОАО «Шахтинский за-

вод «Гидропривод»);

3. РМНА-250/320 – аксиальнопоршневой мотор-насос с нерегулируемым рабочим объемом, наклонным диском и торцовым распределением РЖ: рабочий объем 250 см³, номинальное давление 32 МПа (ОАО «Шахтинский завод «Гидропривод»);

4. УНА-450/200 – аксиальнопоршневой насос с регулируемым рабочим объемом, наклонным диском и торцовым распределением РЖ: рабочий объем – 450 см³, номинальное давление – 20 МПа (ОАО «Шахтинский завод «Гидропривод»);

5. НА74-90/320 и НА74-224/320 – аксиальнопоршневые насосы с наклонным диском и клапанным распределением РЖ: рабочий объем – 90 и 224 см³, соответственно, номинальное давление – 32 МПа (ОАО «Харьковский завод «Гидропривод»);

6. МРФ-400/25М1 – радиальнопоршневой гидромотор одно-кратного действия с постоянным рабочим объемом и цапфенным распределением РЖ: рабочий объем 400 см³, номинальное давление 25 МПа (ОАО «Людиновский Агрегатный Завод»);

7. Г12-2 и Г12-3 – пластинчатые насосы с постоянным рабочим объемом от 8 до 224 см³, номинальное давление 6,3 МПа (ОАО «Елецкий завод «Гидропривод»).

Дополнительная информация по применяемым в аксиальнопоршневых гидромашинах материалам:

– 310.56; 310.112; 3031.56 (ОАО «Пневмостроймашина», г. Екатеринбург) – Сплав АК7Ц9 ГОСТ 1583-89, Бронза Бр012 ТУ 48-26-15-77, Латунь ЛМцКСН 58-3-1,5-1,5-1 ТУ 48-21-775-85, Сплав АК7Т9 ГОСТ 1583-89;

– 410.112; 310.224; 311.224М (ОАО «Стройгидравлика, г. Одесса) – Бронза Бр 012, Бр АЖН 10-4-4 ГОСТ 18175-78, Сталь 38Х2МЮА (азотирование);

– ГСТ 90 (ОАО «Гидросила», г. Кропивницкий) – втулка торцевого уплотнения Бр 05С25 ГОСТ 613-79, дно приставное – пруток ГКРН-80НД (ЛМцКНС58-3-1,5-1,5-1 ТУ48-21-275-85), пята ЛМцСКА58-2-2-1-1, втулка сферическая и втулка – ЛМцСКА58-2-2-1-1 ТУ48-0808-99-89;

– АПМ3-33/25 (ЗАО «НИИгидропривод», г. Харьков) – поршень 30Х3ВА ТУ14-1-950-86 (Азотирование h = 0,15...0,35, HV 700), подпятник и ротор – БРАЖН10-4-4 ГОСТ 1628-78, вал – сталь 40Х ГОСТ 4543-71 (30...35 HRCэ), диски скольжения и распределительный Х12Ф1-Ш ТУ 14-19-96-90 (58...62 HRCэ).

Следует обратить внимание на то, что появление латуней типа ЛМц явилось результатом закупки бывшим СССР лицензий на насосы и гидромоторы передовых западных фирм и необходимостью создания собственных высокоэффективных трибологических материалов.

При эксплуатации ОГП при низких температурах (климатическое исполнение ХЛ, ГОСТ 1515) требования к качеству поверхности деталей должны быть повышены не менее чем на один класс [19]. Во избежание возникновения натягов в подвижных соединениях и уменьшения натягов в пресовых соединениях необходимо производить корректировку (перерасчет) исходных допусков и посадок сопрягаемых деталей, обеспечивающих работу соединения при нормальной температуре 20 °С, по методике, изложенной в ГОСТ 14892 с использованием коэффициентов коррекции k (таблица 2). Значение зазора или натяга определяют по формуле

$$\delta_{-40^{\circ}\text{C}} = k \cdot \delta_{+20^{\circ}\text{C}}, \quad (1)$$

где $\delta_{-40^{\circ}\text{C}}$ – значение зазора или натяга, необходимое в соединении при температуре «минус» 40 °С,

$\delta_{+20^{\circ}\text{C}}$ – исходный зазор или натяг при температуре 20 °С.

Таблица 2 - Значения коэффициента коррекции k для деталей

Сопрягаемая пара деталей		Коэффициент коррекции k	
охватывающая	охватываемая	для зазора	для натяга
Сталь	Сталь	1,0	1,0
Сталь	Бронза	0,61	1,64
Сталь	Чугун	1,15	0,87

Рекомендуемые параметры шероховатости деталей в исполнении ХЛ: наружные поверхности R_z от 40 до 20 мкм; неподвижные соединения R_a от 2,5 до 0,63 мкм; подвижные соединения R_a от 0,16 до 0,040 мкм. В таблице 3 приведены рекомендации по выбору стального проката для изготовления деталей ОГП в исполнении ХЛ [19].

Таким образом, в объемных гидромашинных находят применение различные материалы, обеспечивающие работоспособность узлов трения скольжения и качения. В качестве химико-термической обработки сталей наибольшее распространение получили объемная закалка, цементация и азотирование. С ростом удельных давлений в парах трения скольжения вместо чугуна используются сплавы на основе меди – бронзы и латуни. Экспериментальная отработка материалов при трении скольжения контролируются на машине СМЦ-2 (ролик-колодочка), а при контактных нагрузках на четырехшариковой машине ЧШМ по ГОСТ 3722.

Одним из путей улучшения качества и снижения стоимости ремонта гидроустройств является многократное восстановление формы деталей металлопокрытиями [19]. При этом стоимость восстановленных деталей составляет 25...40% стоимости новых, достигается экономия металла, трудозатрат и производственных мощностей. К наиболее распространенным способам восстановления деталей металлопокрытиями относятся электродуговая наплавка, наплавка под слоем флюса, виброконтактная наплавка, электродуговая металлизация, хромирование и др. В ремонтной практике наибольшее распространение получила наплавка, характеризующаяся высоким коэффициентом использования металла. Наплавленный слой прочно сцепляется с материалом детали и обладает высокой твердостью. Однако наплавке присущ и ряд недостатков, связанных с высокой температурой в зоне контакта электрода с поверхностью детали, неравномерного ее распределения и значительных напряжений, вызывающих деформацию (коробление) и окисление поверхности детали. Покрытия получают газоплазменным и электродуговым напылением при температуре разогрева поверхности детали до 150...200 °С, что позволяет устранить деформацию детали.

Таблица 3 - Применение стального проката для деталей ОГП в исполнении ХЛ

Характерные детали-представители	Марка стали	Температура применения, не ниже, °С	Толщина проката, не более, мм
1. Детали, определяющие долговечность изделий, выход из строя которых оценивается как достижение изделиями предельного состояния (блоки цилиндров, диски прижимные и опорные, плунжеры, поршни, шатуны, клапаны, золотники)	18Х2Н4ВА (18Х2Н4МА)	– 100	200
	38ХМЮА (38Х2МЮА)	– 80	60
	40Х	– 60	25
	45	– 50	20
2. Детали, выход из строя которых оценивается как отказ и которые в процессе эксплуатации подлежат ремонту или замене (валы, седла клапанов, втулки, пальцы, рычаги, стаканы, винты, полукольца, корпуса)	40ХН2МА (40ХНМА)	– 80	
	40Х	– 60	25
	45	– 50	20
3. Детали, которые непосредственно определяют надежность работы ОГП	20Х	– 40	15
	20Г	– 70	10
	40Х	– 60	25
	40 Г	– 40	20
	35	– 60	15
	45	– 50	20

При ремонте из всех способов гальванопокрытий наибольшее распространение получили осталивание, при котором производительность получения электролитических осадков в десятки раз выше, чем при хромировании и при этом используются недефицитные компоненты (серная и соляная кислоты и низкоуглеродистая сталь). Наибольший опыт применения технологии осталивания накоплен в автомобильной промышленности.

Хромированные покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью и износостойкостью,

необходимыми для прецизионных пар гидроустройств ОГП мобильных машин.

Технология бронзирования (получения биметаллических заготовок для деталей гидромашин ОГП) разработана харьковским инженером, к.т.н. А. Ш. Шнейдерманом. Технология получения биметаллических заготовок предусматривает возможность нанесения антифрикционного слоя из высокооловянистой бронзы на основу из конструкционной стали или высокопрочного чугуна. Наплавляемый на стальную основу бронзовый слой обладает высоким уровнем сцепления на границе «сталь-бронза», высокой плотностью самого слоя, в микроструктуре наплавляемого слоя отсутствуют интерметаллические соединения и фазы на основе железа, что гарантирует заданные антифрикционные свойства готовых деталей. Технология позволяет получать качественные биметаллические изделия, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях. Широкое применение способ получения биметаллических заготовок получил при производстве и ремонте аксиальнопоршневых гидромашин с наклонным диском и блоком цилиндров на ОАО «Стройгидравлика» (г. Одесса) и других предприятиях Украины.

Для анализа динамики ОГП воспользуемся методикой построения математической модели вращательного движения [20], трансформировав ее для привода с регулируемым насосом, применением пакета прикладных программ VisSim и заданием режимов нагружения гидромотора и изменения подачи насоса с помощью блока «map-блокнот». В математической модели приняты допущения о постоянстве принимаемых значений модуля упругости, вязкости и плотности РЖ, и не учитываются волновые процессы в трубопроводах в связи с их незначительной протяженностью. В основе построения математической модели лежат законы механики Ньютона и для РЖ закон Паскаля и уравнение неразрывности. Таким образом, выражения для давления p_M [МПа] и частоты вращения гидромотора n_M [мин⁻¹] имеют вид

$$p_M = \int_0^t \left[Q_H(t) - 10^{-3} V_M(t) \cdot n_M(t) - C_{пв} \cdot p_M(t) \right] \frac{E}{V_{тр}} dt, \quad (2)$$

$$n_M = \int_0^t \frac{3,6 \cdot 10^3}{J_{\Sigma}} \left[\frac{1}{2\pi} V_M(t) \cdot (p_H - p_{сл}) \cdot \eta_{м.гм} - M_c \right] dt, \quad (3)$$

где Q_H – подача насоса, л/мин,

V_M – рабочий объем гидромотора, см³,

$C_{пв}$ – коэффициент суммарных утечек РЖ: наружных гидромотора $C_{м.зв}$ и внутренних насоса $C_{н.вн}$ и гидромотора $C_{м.вн}$, л/(мин·МПа), а собственно утечки обозначены наружные $\Delta Q_{м.зв}$ и внутренние $\Delta Q_{м.вн}$ гидромотора, и внутренние утечки РЖ насоса $\Delta Q_{н.вн}$,

$V_{тр}$ – объем РЖ во входной (высокого давления) полости (трубопроводе) гидромотора с условным проходом диаметром $D_{зв}$ [мм] и длиной L [м], дм³,

E – модуль упругости РЖ, вызывающий ее деформационный расход ($\Delta Q_{нд}$ и $\Delta Q_{мд}$) из-за сжимаемости в гидромашине и объеме $V_{тр}$, МПа,

$J_{\Sigma} = J_M + J_{вн}$ – суммарный момент инерции гидромотора и внешней нагрузки, кг·м²,

$p_H \approx p_M$ и $p_{сл}$ – давление в линиях нагнетания гидромотора и слива РЖ, соответственно (давление $p_{зл}$ принимается постоянным), МПа,

$\eta_{м.гм}$ – гидромеханический КПД гидромотора,

M_c – момент сопротивления (внешней нагрузки), Н·м.

Приведенные уравнения показывают, что при оценке динамических характеристик ОГП переменными параметрами являются подача РЖ насосом Q_H и момент сопротивления M_c при учете потерь гидромотора (гидромеханического КПД – $\eta_{м.гм}$) при страгивании последнего.

Для задания режимов работы ОГП воспользуемся блоками «VisSim-map», позволяющими по предварительно составленной циклограмме введение в модель адекватных по времени режимов. С другой стороны, при отработке оптимальных режимов работы ОГП блоки «map» позволяют вносить необходимые корректировки в интерактивном виде.

При этом критерием задания возможной интенсивности частоты вращения и момента сопро-

тивления (внешней нагрузки) гидромотора при пуске является ограничение по максимальному допустимому давлению согласно технической характеристике гидромашин ОГП.

При моделировании режима пуска механизма типа «грузоподъемной лебедки» нагрузка на гидромотор нарастает скачкообразно (рис. 9, а), при работе механизма типа «буровая установка» подача вращающегося гидромотором шнека может плавно изменяться (рис. 9, б), что и приводит к различному характеру изменения давления в ОГП.

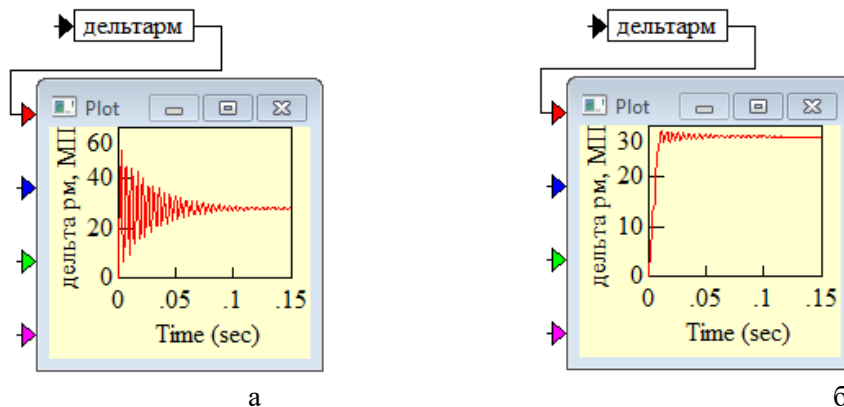


Рис. Изменение давления в ОГП от интенсивности действия внешней нагрузки на гидромотор

При этом в первом случае соотношение давлений составляет 1,82 (51 МПа и 28 МПа), а во втором 1,04 (29,2 МПа и 28 МПа). Таким образом, уже на этапе предварительного анализа динамики ОГП проектируемой машины можно снизить риски снижения надежности гидромашин путем выбора гидромотора с более высоким рабочим объемом, что приведет к уменьшению амплитуды давления при пуске.

Выводы

1. Повышение технического уровня объемных гидромашин ведется путем реализации новых конструкторских решений и применения более эффективных материалов, упрочняющих технологий и покрытий, учитывающих специфические, в том числе климатические, особенности эксплуатации изделий. Благодаря этому за последние годы достигнут существенный прогресс в создании гидромашин на давление до 40...50 МПа по сравнению с устаревшими образцами на давление до 32 МПа.

2. Приведенный обзор применяемых материалов и химико-термических покрытий позволяют специалистам по ремонту гидромашин повысить его качество и надежность.

3. В настоящее время харьковскими предприятиями освоен ремонт радиальнопоршневых насосов типа НРР-400 и гидромоторов аксиальнопоршневого типа модели TF50 фирмы VON ROLL AG и радиальнопоршневого типа модели МН 373-JC-G4 фирмы Sundstrand с использованием современных технологий упрочнения материалов.

4. При выборе рабочего объема гидромашин для механизмов со скачковым циклом нагружения, например, лебедок подъемных кранов или мобильных подъемников с рабочими платформами, следует увеличивать запас между рабочим и номинальным значениями давления во избежание повышения последнего свыше пикового. В этой связи важен предварительный динамический расчет гидропривода, позволяющий дать оценку интенсивности колебаний давления при пуске гидроприводной машины.

Литература

1. Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 1. Загальні поняття. Терміни та визначення (ДСТУ 3455.1-96). – [Чинний від 1998-01-01]. – 48 с. – (Держспоживстандарт України).

2. Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 2. Об'ємні гідромашини та пневмомашини. Терміни та визначення (ДСТУ 3455.2-96). – [Чинний від 1998-01-01]. – 61 с. – (Держспоживстандарт України).

3. Корнюшенко С.И. Эксплуатация гидравлических систем / С. И. Корнюшенко // Строительная техника и технологии. – №2. – 2012. – С. 84–86.

4. Корнюшенко С.И. Управление рабочими органами машин / С. И. Корнюшенко // Строительная техника и технологии. – №4. – 2013. – С. 170–173.
5. Савуляк В.І. Аналіз відмов гідроприводів мобільних машин / В. І. Савуляк, Н. С. Семичаснова. – Промислова гідроліка і пневматика // № 1(35). – 2012. – С. 12–14.
6. Бродский Г.С. Повышение надежности гидроприводов – средство эффективного внедрения гидравлических экскаваторов на горных предприятиях СНГ / Г. С. Бродский, Б. В. Слесарев // Горная промышленность. – № 2. – 2002. – С. 54–57.
7. Лозовский В.Н. Надежность гидравлических агрегатов / В. Н. Лозовский. – М. : Машиностроение. – 1974. – 168 с.
8. SAUER DANFOSS. Application Manual. Section 1 of Driveline Components. BLN-9855. July 1997.Rev. B – 32 p.
9. О модернизации высокомоментных гидромоторов однократного действия типа МРФ / Г. А. Аврунин, В. В. Гордеев, Ю. М. Юров и др. // Вестник машиностроения. – 1989. – № 12. – С. 25–28.
10. Hydraulic Pump Series F1 plus Fixed Displacement. – PARKER HYDRAULICS. – HY17-8218/UK, November, 2000 – 11 p.
11. Аврунин Г.А. Экстремальные параметры современного гидропривода, достигнутые концерном «Rexroth Bosch Group» / Г. А. Аврунин, И. В. Грицай, И. И. Мороз // Промислова гідроліка і пневматика. – 2006. – № 4(14). – С. 3–9.
12. Bent Axis Variable Displacement Motors H1. Frame Size 080. Frame Size 110. Technical Information. – SAUER DANFOSS. – 11037153. Rev BA. Dec. 2008. – 76 p.
13. Гидравлические изделия : каталог : ИТОН/ЧАР-ЛИНН (EATON)11-895/СУ, АМК, М. : январь 1990. – 12 с.
14. Новое поколение шарико-поршневых гидропередаточных устройств / М. Д. Борисюк, Ю. М. Бусяк, Г. А. Аврунин и др. // Промислова гідроліка і пневматика. – № 1. – 2003. – С. 66–70.
15. Героторные гидромоторы фирмы «WHITE HYDRAULICS» (США) – технические характеристики и методика расчета рабочего объема для мобильной машины / Г. А. Аврунин, И. И. Мороз, В. Г. Кучер и др. – Промислова гідроліка і пневматика». – 2011. – 4(34). – С. 88-92.
16. DISC VALVE HYDRAULIC MOTORS TYPE MS, MSY, MT, MV. M+S HYDRAULIC. – Helicon₉₂. – 2007. – 59 p.
17. IGP INTERNAL GEAR PUMPS Series 10. Duplomatic Hydraulics. – Duplomatic Oleodinamica SpA – 12 100/298 ED. – 20 p.
18. Оборудование гидроприводов, пневмоприводов и смазочных систем. Требования к механической обработке ответственных деталей / Руководящий документ по стандартизации РД2 Г00-2-88 // ВНИИГидропривод. – М. : 1989. – 164 с.
19. Скрицкий В.Я. Эксплуатация промышленных гидроприводов / В.Я. Скрицкий, В.А. Рокшевский. – М. : Машиностроение, 1984. – 176 с.
20. Расчет, проектирование и эксплуатация объемного гидропривода: Учебн. пособие / З. Л. Финкельштейн, О. М. Яхно, В. Г. Чебан, З. Я. Лурье, И. А. Чекмасова. – Киев.: НТУ «КПИ», 2006. – 216 с.

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cr-Mn-Mo-Ti НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА

Багров В.А., к.т.н, доц., Плужніков Д.О., ст. гр. МС-51-20, ХНАДУ

***Анотація.** Встановлено, що збільшення вмісту Mn та Cr в наплавленому металі знижують активність вуглецю; збільшення кількості фази TiC підвищує внутрішню теплоту наплавленого металу. Підвищення теплостійкості сплавів системи Cr-Mn-Ti на основі заліза сприяє збільшенню вмісту фази [TiC]; введення [Mo] стабілізує значення твердості при підвищених температурах, підвищує теплостійкість і твердість..*

***Ключові слова:** наплавлення, порошковий дріт, легований флюс, структура.*

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Cr-Mn-Mo-Ti НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Багров В.А., к.т.н, доц., Плужников Д.А., ст. гр. МС-51-20, ХНАДУ

***Аннотация.** Установлено, что увеличение содержания Mn и Cr в наплавленном металле снижают активность углерода; увеличение количества фазы TiC повышает внутреннюю теплоту наплавленного металла. Повышению теплостойкости сплавов системы Cr-Mn-Ti на основе железа способствует увеличение содержания фазы [TiC]; введение [Mo] стабилизирует значения твердости при повышенных температурах, повышает теплостойкость и твердость..*

***Ключевые слова:** наплавка, порошковая проволока, легированный флюс, структура.*

THE INCREASE IN DURABILITY ALLOYS OF THE SYSTEM CR-MN-MO-TI IRON-BASED

PhD, associate professor, Pluzhnikov D.A., student of gr. MS-51-20, HNAHU

***Abstract.** It is established that the increased content of Mn and Cr in the weld metal and reduce the activity of carbon; increasing the amount of TiC phase increases internal warmth of the deposited metal. To improve the heat resistance of alloys of the system Cr-Mn-Ti Fe-based contributes to the increase in the maintenance phase [TiC]; introduction [Mo] stabilizes the hardness values at elevated temperatures, improves thermal stability and hardness.*

***Keywords:** surfacing, flux-cored wire, alloyed, flux structure.*

Вступ

Дослідження, спрямовані на зниження енерго- та ресурсозатрат при наплавленні обробного інструмента й одночасному підвищенні його надійності й довговічності, останнім часом стали особливо актуальні. Практичний розв'язок завдання здійснюється шляхом розробки нових і вдосконалювання наявних наплавочних матеріалів з економнолегованими покриттями й шихтою, застосуванням оптимального способу їх наплавлення з урахуванням особливостей поведінки матеріалів у реальних умовах. Особлива увага при вдосконалюванні наплавочних матеріалів приділяється матеріалознавським розробкам зносостійких економнолегованих сплавів.

Аналіз публікацій та мета досліджень

Службові характеристики наплавленого металу, призначеного для роботи в різних умовах зношування, визначаються насамперед системою легування і як наслідком цього, різним фазовим складом і структурою. При цьому найменш сприятливої фазової складової є ферит, оскільки має невисокий рівень твердості, зносостійкості, в'язкості й опірності руйнуванню.

Для підвищення зносостійкості широке застосування одержали сталі не тільки з мартенситної,

але й аустенітно-мартенситною, аустенітно-карбідною й мартенситностаріючою структурою.

Дослідження загальних закономірностей і ролі деформаційних мартенситних перетворень у формуванні властивостей сталей проведене в роботі [1]. На основі комплексного вивчення взаємозв'язків деформаційного мартенситного перетворення з фізико-механічними властивостями метастабільних аустенітних сталей, а також стійкості їх при різних видах контактного навантаження були розроблені три основні групи зносостійких сталей системи Fe-C-Cr-Mn, що відрізняються по змісту вуглецю, марганцю й хрому, які призначені для різних умов експлуатації відносно впливу зтираючих і ударних навантажень:

- 1) 0,5-0,7% C, 7-10% Mn, 3-5% Cr;
- 2) 0,8-0,9% C, 6-9% Mn, 2-4% Cr;
- 3) 1,0-1,4% C, 6-9% Mn, 0,8-2,5% Cr.

У роботах [2, 3] показана можливість значного підвищення зносостійкості матеріалу з різною часткою метастабільного аустеніту.

Вивченню зносостійкості матеріалів присвячене ряд робіт, у яких немає єдиної думки про вплив твердості й структури на зносостійкість. У роботах [3, 4] показано, що зносостійкість зростає залежно від збільшення твердості, а в роботах [5, 6] - від структури металу.

Для підвищення зносостійкості деталей і вузлів у промисловості застосовують значну кількість різноманітних матеріалів, які класифікують із урахуванням здатності протистояти різним видам зношування. Для роботи деталей в умовах молекулярно-механічного, ударно-абразивного й абразивного зношування широке застосування одержали сталі, що мають карбіди й боріди, ледебурит і залишковий аустеніт або карбідно-боридну зміцнюючу фазу в аустенітно-мартенситній матриці. Сталі з подібною структурою мають високу твердість і задовільну зносостійкість, однак застосування їх не завжди забезпечує необхідну зносостійкість наплавленого шару. Крім цього, для їхнього виготовлення застосовуються у великій кількості дорогі й дефіцитні матеріали. Одним з раціональних способів підвищення стійкості наплавленого металу зношування є багатокомпонентне ошадливе легування, за допомогою якого вдається одержати сталі з упрочнюючої карбідної й інтерметаллідної фазами й високими фізико-механічними характеристиками. Для цього при розробці наплавочних матеріалів використовують різні карбідоутворюючі елементи – Cr, W, V, Nb і ін.

Методи і матеріали дослідження

Наплавлення робили трактором ТС-17М на пластини розміром 200x150x25 мм зі сталі 20, 500x300x40 мм зі сталі 45 і 400x50x40 зі сталі 5ХНМ. У якості захисного флюсу для наплавлення порошковими дротами із системами легування Cr-Mn-Ti і Cr-Mn-Mo-Ti на основі заліза був прийнятий флюс АН-22. Вихідна основність флюсу АН-22 - В=1,4668, хімічна активність - Аф=0,1819.

Вирізку зразків для дослідження хімічного й фазового складу, механічних властивостей з наплавленого металу робили абразивними відрізними колами з наступним шліфуванням і поліруванням.

Хімічний склад наплавленого металу визначали наступними методами: вуглець - газообмінним (ДЕРЖСТАНДАРТ 2604.1), кремній - вагарням (ДЕРЖСТАНДАРТ 2604.3), марганець – об'ємним персульфатосеребряним (ДЕРЖСТАНДАРТ 2604.5), титан – фотометричним (ДЕРЖСТАНДАРТ 2604.10). Пошаровий зміст легуючих елементів і фазовий склад визначали на установці ДРОН-3 у випромінюванні К α -Co (монохроматизованом). Зйомку робили за схемою Брегга-Брентано. Результати РФА наведені на дифрактограмах, де кожному піку відповідає своя фаза.

Для проведення структурного аналізу зразки з наплавленого металу труїли в реактиві Виллелла: 10 мол азотної кислоти, 20 мол соляної кислоти, 20 мол гліцерину й 10 мол перекису водню. Розподіл зміцнюючої фази в наплавленому металі оцінювали точковим методом Глаголева на мікротвердомірі ПМТ-3.

Результати досліджень

Істотного підвищення міцності й зниження енергоємності виробництва відновлюваних деталей наплавленням дозволяє досягтися застосуванням дисперсійнотвердіючих сталей. Гарною комбінацією властивостей – твердості, міцності й пластичності – мають нікелеві мартенситностаріючі

сплави, які зміцнюються при старінні за рахунок уведення Al або Mo [47]. Уведення Mo і значний зміст активних карбідотворюючих елементів (Ti, Cr) дає можливість знизити зміст незв'язаного вуглецю до 0,05-0,3 %. Це досить важливо при використанні в якості наплавочних матеріалів порошкових дротів з низьковуглецевою стрічки. У досліджуваній системі легування (Cr-Mn-Ti-Si) відсутність Ni компенсувалося збільшенням змісту Mn до 10...12 % і введенням Al з феротитану (компонент шихти порошкового дроту). Вплив кількості Ti при напавленні під керамічним флюсом і зі знеструмленою присадкою [β] на хімічний склад та зносостійкість напавленого металу наведені в табл. 1, 2, 3.

Таблиця 1 - Твердість і відносна зносостійкість досліджуваних сплавів

Номер сплаву	Еквівалентний зміст хрому й нікелю в напавленому металі		Твердість, HRC _s	Відносна зносостійкість, ε досліджуваних сталей	Структура напавленого металу
	Cr _{екв.}	Ni _{екв.}			
1	28,76	17,02	46...52	≈2,7	A+E _{BT} (α+K)
2	28,07	16,32	52...54	≈2,6	A+E _{BT} (α+K)
3	26,6	16,96	46...50	≈2,7	A+E _{BT} (α+K)
4	28,75	18,2	42...50	≈2,8	A+E _{BT} (α+K)
5	27,13	22,34	38...46	≈2,9	A+E _{BT} (γ+K)
6	23,51	22,0	47...52	≈2,7	A+E _{BT} (γ+K)
7	27,92	22,81	38...47	≈2,9	A+E _{BT} (γ+K)

Примітка: Еталон відносної зносостійкості – сплав з Ni_{екв.}=4...8, Cr_{екв.}=8...10.

Таблиця 2 - Вплив [Ti] і [β] на хімічний склад напавленого металу

Хімічний склад напавленого металу під керамічним флюсом					
Хімічний елемент	Зміст [Ti] у напавленому металі, %				
	0,22	1,62	2,04	2,25	2,41
Cr	8,20...9,00	7,21...8,10	6,42...7,80	6,00...7,60	5,56...7,50
Mn	1,03...1,50	1,20...1,60	1,10...1,56	1,20...1,55	1,30...1,50
Si	0,80...1,40	1,25...1,50	1,30...1,70	1,38...1,80	1,42...1,73
Al	0,02...0,04	0,05...0,09	0,09...0,13	0,14...0,17	0,19...0,23

Таблиця 3 - Хімічний склад напавленого металу при напавленні порошковими дротами

Кількість уведення знеструмленої присадки, %	Зміст хімічних елементів у напавленому металі				
	Ti	Cr	Mn	C	Si
0	1,33	2,64	4,6	0,4	1,08
25	1,62	3,28	5,72	0,48	1,11
50	2,19	4,36	7,60	0,53	1,10
75	2,38	4,72	8,22	0,57	1,12

Пошаровий аналіз хімічного складу показує, що застосування додаткового присадкового дроту дає відносно рівномірний розподіл легуючих елементів по висоті напавленого металу. Дослідження впливу відносної маси присадки на мікроструктуру напавленого металу показало, що з її

збільшенням стабілізується структурний і фазовий склад багат шарового наплавлення.

Вплив температури відпустки й підвищених температур на твердість наплавленого металу сплавів систем Mn-Mo-Ti і Cr-Mn-Ti на основі заліза показано на рис. 1, 2.

Твердість досліджуваної сталі 20X3Г9М5Т2С після наплавлення становила 37...40 HRC. Після старіння при $T=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=2$ год твердість складала 49...55 HRC, що можна пояснити збільшенням кількості вторинних карбідів. Збільшення витримки при цій температурі, а також підвищення температури старіння до $920\text{ }^{\circ}\text{C}$ не привело до помітного підвищення твердості, а сприяло її зниженню.

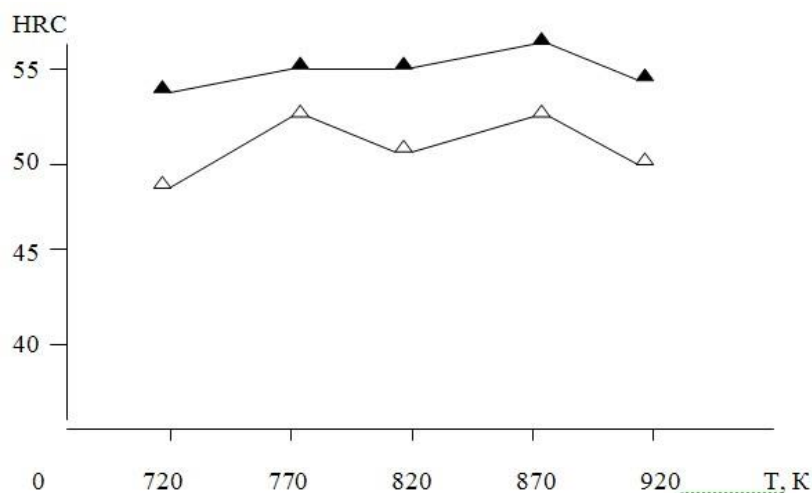


Рисунок 1 - Вплив температури відпустки на твердість досліджуваних сталей (час витримки $\tau=2$ год, охолодження на повітрі)
 \triangle - 40X4Г8Т2С; \blacktriangle - 20X3Г9М5Т2С

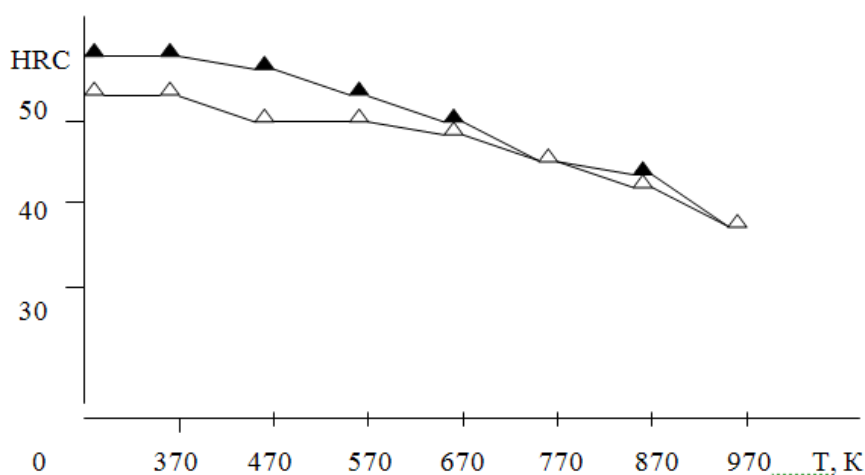


Рисунок 2 - Вплив температури на твердість досліджуваних сталей після відпустки ($T_{\text{відп.}}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=2$ години, охолодження на повітрі)
 \triangle - 40X4Г8Т2С; \blacktriangle - 20X3Г9М5Т2С

Дослідження впливу температури на твердість сплавів показали, що в інтервалі температур $293\text{...}870\text{ }^{\circ}\text{C}$ твердість знижується незначно. Зниження твердості на 8...10 HRC у даному інтервалі температур свідчить про високу теплостійкість сплавів систем Cr-Mn-Ti і Mn-Mo-Ti. Одним з показників теплостійкості сталей є пластичність. Аналіз пластичності цих сталей після вторинного твердіння показав, що вона вище, чим у сталей 50XНМ і 35X4В3М3Ф, і не уступає нікелевим мартенситностаріючим сплавам. Залежність відносного подовження від твердості досліджуваних сталей наведена на рис. 3.

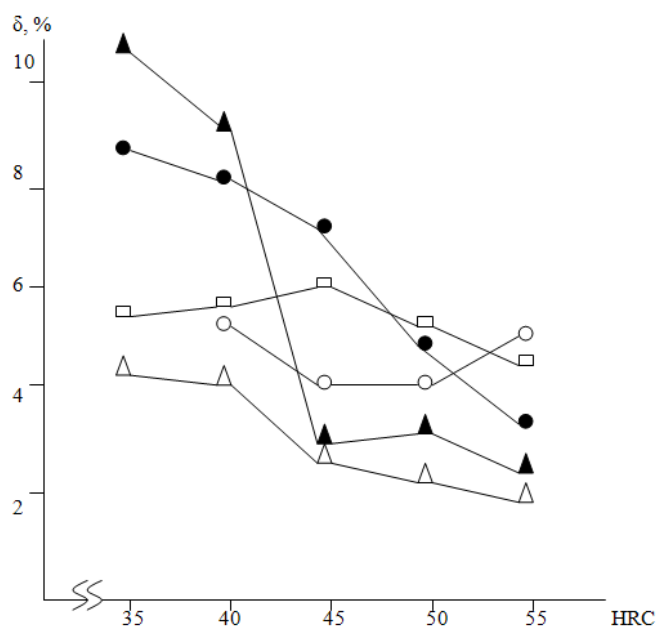


Рисунок 3 - Залежність відносного подовження від твердості досліджуваних сталей при підвищених температурах:

- △ - 50XHM;
- - 35X4B3M3F;
- - 10X6H8M7C;
- ▲ - 40X4Г8T2C;
- - 20X3Г9M5T2C.

Висновки

У результаті проведених лабораторних досліджень встановлено:

- збільшення змісту Mn і Cr у наплавленому металі знижують активність вуглецю як карбідотворюючого елемента; збільшення кількості фази Тіс підвищує внутрішню теплоту наплавленого металу при екзогенному її введенні;
- підвищенню теплостійкості сплавів системи Cr-Mn-Ti на основі заліза сприяє збільшення змісту фази [TiC]; уведення [Mo] стабілізує значення твердості при підвищених температурах, підвищує теплостійкість і твердість при дисперсійному твердінні.

Література

1. Филиппов М.А., Литвинов В.С., Немировский Ю.Р. Стали с метастабильным аустенитом. - М.: Металлургия, 1988. - 256 с.
2. Кальянов В.Н. Структура и характеристика износостойкого экономнолегированного наплавленного металла // Сварочное производство. - 1997. - №4. С.13-17.
3. Применение сталей ПНП в качестве наплавочных материалов для повышения усталостной прочности наплавленных деталей. / Г.С.Микаелян, И.А.Рябцев, В.Г.Васильев и др. // Автомат. сварка. - 1993. - №10. - С.34-36.
4. Влияние структуры на износостойкость чугунов и сталей / А.И.Ступина, В.В.Зотов, Л.И.Сидоров, И.С.Кошелев // Металлургическое машиностроение и ремонт оборудования. - 1979. - №8. - С. 98-99.
5. Kal'yanov V.N., Novitskaya A.V. Increasing the Endurance of Rolling Rolls by Depositing an Efficiently Alloyed Steel. Welding International. - 1998. - №12 (4). - P. 322-325.
6. Влияние структуры на износостойкость чугунов и сталей / А.И.Ступина, В.В.Зотов, Л.И.Сидоров, И.С.Кошелев // Металлургическое машиностроение и ремонт оборудования. - 1979. - №8. - С. 98-99.

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СПЛАВУ VT6 З КОМПЛЕКСНИМИ ПОКРИТТЯМИ НА ОСНОВІ ХРОМУ ТА АЛЮМІНІЮ

Лоскутова Т.В., к.т.н., доц., Хижняк В.Г., д.т.н., проф., Погребова І.С., к.х.н., проф., Смокович І.Я., к.т.н., Кузьменко Т.М., н.с., КПІ ім. І.Сікорського

Анотація. У роботі наведені результати досліджень фазового та хімічного складів, структури та властивостей титанового сплаву VT6 з хромоалітованими покриттями. Показано, що зносостійкість в умовах тертя ковзання без змащування сплаву VT6 з хромоалітованими покриттями виявилась вищою у 2,0 – 3,5 рази за зносостійкість вихідного сплаву VT6 (HRC 3,6).

Ключеві слова: титан, алюміній, хром, покриття, знос

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СПЛАВА VT6 С КОМПЛЕКСНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ХРОМА И АЛЮМИНИЯ

Лоскутова Т.В., к.т.н., доц., Хижняк В.Г., д.т.н., проф., Погребова І.С., к.х.н., проф., Смокович І.Я., к.т.н., Кузьменко Т.М., н.с., КПИ ім. І.Сікорського

Аннотация. В работе приведены результаты исследований фазового и химического состава, структуры и свойств титанового сплава VT6 с покрытиями на основе хрома и алюминия. Показано, что износостойкость в условиях трения скольжения без смазки сплава VT6 с покрытиями оказалась выше в 2,0 - 3,5 раза, чем износостойкость исходного сплава VT6 (HRC 3,6).

Ключевые слова: титан, алюминий, хром, покрытия, износ

WEAR RESISTANCE OF VT6 ALLOY WITH COMPLEX COATINGS BASED ON CHROMIUM AND ALUMINUM

Loskutova T., Khyzhnyak V., Pogrebova I., Smokovich I., Kuzmenko T.M.
National Technical University of Ukraine ‘Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute’

Abstract. The paper presents the results of research of phase and chemical compositions, structure and properties of titanium alloy vt6 with complex coatings based on chromium and aluminum. It is shown that the wear resistance under sliding friction conditions without lubrication of the vt6 alloy with coatings was 2.0 - 3.5 times higher than the wear resistance of the original VT6 alloy (HRC 3.6).

Keywords: titanium, aluminum, chrome, coating, wear

Вступ

Пошук нових захисних покриттів, які здатні розширити експлуатаційні можливості титану та титанових сплавів інтенсивно ведеться серед вітчизняного та іноземного кола науковців [1-2]. Якісні покриття з унікальним комплексом властивостей можуть утворюватися в процесі дифузійного насичення з використанням штучно створених активізованих середовищ [3-7]. Досить широке використання мають дифузійні покриття на основі нітридів, карбідів, інтерметалідів металів.

Підвищення зносостійкості титанових сплавів може бути досягнуто за рахунок як збільшення поверхневої мікротвердості, так і формуванням на поверхні бар’єрних шарів, які будуть перешкоджати перерозподілу елементів покриття при взаємодії з контактуючим матеріалом.

Високу зносостійкість показали покриття отримані хімічним осадженням – Ti(C,N), Al₂O₃, TiN, а найбільшу міцність - покриття отриманими фізичним осадженням - (Ti,Al)N, TiN [8].

Мета даної роботи полягає в дослідженні зносостійкості сплаву VT6 після комплексного хромоалітування в середовищі NH₄Cl.

Основна частина

Дослідження проводили на зразках титанового сплаву ВТ6 наступного складу, % мас: 89,05Ti; 6,18Al; 4,76V.

Процес хромоалітування сплавів проводили в порошкових сумішах в контейнерах з плавким затвором. До складу вихідної суміші входили порошки (% мас) хрому (45,0), алюмінію (10), Al_2O_3 (37,0), NH_4Cl (8,0). Хромоалітування проводили при температурі $1050^{\circ}C$ впродовж 4 годин. Зразки з отриманими покриттями були досліджені методами фізичного матеріалознавства: рентгеноструктурним, мікрорентгеноспектральним, металографічним, дюрOMETричним. Випробування на зносостійкість виробів в умовах тертя ковзання без змащування титанового сплаву ВТ6 у вихідному стані та з покриттями виконували на машині тертя МТ-68 по схемі вал-вкладка. В якості матеріалу контртіла використовували – сталь 65Г, загартовану і відпущену на твердість HRC 51-52.

Відповідно до результатів металографічного, мікрорентгеноспектрального, рентгеноструктурного аналізів та вимірювання мікротвердості в покритті можна визначити три зони. Дифрактограми, зняті з поверхні зразків сплаву ВТ6 з отриманими покриттями показав наявність дифракційних максимумів, характерних для нітридів TiN та Ti_2AlN . По мірі просування вглиб покриття фіксуються зони на основі інтерметалідів за участі титану, алюмінію, хрому- $Al_3(Ti, Cr)$, Al_2Ti .

Встановлено, що шар на основі нітриду титану TiN містить 7,9-8,0% мас. алюмінію, 78,2-78,5% мас. титану, 1,0 %мас. ванадію. Крім цього, цей шар містить 12,6-12,8 % мас. азоту. Далі розташовано шар на основі Ti_2AlN з підвищеним вмістом алюмінію (17,9-19,2% мас.), вміст азоту, титану, ванадію в ньому становить : 5,5-6,3 %мас, 74,4-74,8 %мас., 0,9-1,0 %мас., відповідно. В фазі $Al_3(Ti, Cr)$ міститься 53,5-60,2 %мас. алюмінію, 30,3-31,7% мас. титану, 0,6-0,9 %мас. ванадію, 7,4-15,6%мас. хрому. Азот в даній зоні зникає. Далі по мірі просування вглиб покриття спостерігається шар на основі Al_2Ti , що містить 50,3-50,6 %мас. алюмінію, 44,2-46,5% мас. титану, 1,0-1,8 % мас. ванадію, 1,4-4,2%мас. хрому. До основи примикає шар на основі $AlTi_3$, що містить 19,4-19,9 %алюмінію, 77,0-77,5%мас титану, 0,8-1,3 хрому, 1,8-2,3 %мас.ванадію. За межею розділу покриття-матриця знаходиться шар, що відповідає $\alpha-Ti(Al)$ з підвищеним вмістом алюмінію (11,3-11,7 %мас).

Загальні товщина отриманих покриттів складає 17,0-20,0мкм. При цьому товщина зовнішнього шару на основі нітридів TiN , Ti_2AlN – становить 5,0-6,5 мкм. Мікротвердість нітридів становить 16,0-14,0 ГПа, інтерметалідів – 5,8-4,0 ГПа.

В роботі була досліджена зносостійкість сплаву ВТ6 з покриттями в умовах тертя ковзання без змащування. Результати роботи наведені на рис.1, табл.1. Аналіз отриманих даних показав, що на поверхні в сформований лунці зносу спостерігаються окремі лінії абразивного мікрорізання витягнуті в напрямку тертя. Цілком зрозуміло, що в якості абразиву виступають зруйновані і відокремлені від покриття частки нітрида титану та оксидів TiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 . Останній оксид, цілком вірогідно, міг утворитися на поверхні під час ХТО. Два інших оксида, TiO_2 , Cr_2O_3 - сформувались під час тертя. Відомо [9], що температура в зоні контакту при терті може досягати значних температур. Встановлено, що при температурі $700^{\circ}C$ на поверхні формуються оксиди TiO_2 (рутил, анатаз), Cr_2O_3 . Відокремлені під час тертя оксиди попадають в зону тертя і виконують роль абразива.

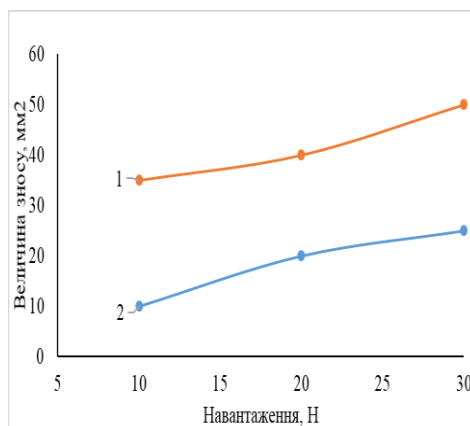


Рисунок 1 – Залежність величини зносу сплаву ВТ6 від навантаження; 1 – вихідний стан, 2 – після хромоалітування

Мікрорентгеноспектральним аналізом визначено, що в лунці зносу виявлена присутність алюмінія, хрома, титана, кисня, азота, що дає можливість передбачати присутність оксидів в якості абразива. Крім того, оксид титана TiO_2 може виконувати роль сухого мастила і сприяти, таким чином зростанню зносостійкості [10].

Таблиця 1 – Концентрація хімічних елементів на поверхні лунки зносу хромоалітованого сплаву ВТ6

№ спектра	Зона лунки зношування	Вміст елементів, % мас.					
		Al	Ti	Cr	N	O	V
1	Лунка	38,0	39,3	4,1	0,6	15,0	3,0
2	лунка-покриття	35,0	38,6	1,7	8,0	12,1	4,6
3	Покриття	30,3	53,6	0,3	4,7	11,0	0,1
4	покриття-лунка	29,1	55,1	0,8	3,4	11,5	0,1
5	Покриття	29,6	44,7	0,6	14,1	10,5	0,5
6	Покриття	28,1	48,9	0,8	10,0	12,1	0,1
7	Покриття	26,0	53,8	1,0	13,0	6,0	0,2
8	Лунка	35,5	41,6	6,4	0,9	13,2	2,4

Отже, зносостійкість в умовах тертя ковзання без змащування сплаву ВТ6 з хромоалітованими покриттями виявилась вищою у 2,0 – 3,5 рази за зносостійкість вихідного сплаву ВТ6 (HRC 3,6). Висока зносостійкість зумовлена будовою та властивостями покриттів: високою мікротвердістю, наявністю шарів TiN , Ti_2AlN ; інтерметалідів; TiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3

Література

- Gurrappa I. Characterisation of titanium alloy, IMI-834 for corrosion resistance under different environmental conditions / I. Gurrappa, D. Venugopala Reddy // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2005. – 390. – P. 270–274.
- Güleyüz H. Effect of thermal oxidation on corrosion and corrosion–wear behaviour of a Ti–6Al–4V alloy / H. Güleyüz, Cimenoglu H. // *Biomaterials*. – 2004. – 2005. – P. 3325–3333.
- Лучанинов А. А. Покрyтия системы Ti–Al–N, нанесенные PVD методами / А. А. Лучанинов, В.Е. Стрельницкий // *ФИП*. – т.10. – №1. – 2012. – P. 4-21.
- Metals handbook* / edited by J. R. Davis; ASM International Handbook Commtee. – Desk ed.; 2nd ed., United States of America, 1998.
- Лоскутов В. Ф., Хижняк В. Г., Куницкий Ю. А. и др. Диффузионные карбидные покрытия. – Киев: Техніка, 1991. – 168 с.
- Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. – М.: Металлургия. – 1973. – 400 с.
- Григорьев С.Н. Перспективные технологии и оборудование для комбинированной вакуумно – плазменной обработки деталей/ С.Н.Григорьев// *Металл. Оборудование. Инструмент.-2003.-С.36-40*
- Хижняк В.Г. Титанохромування твердого сплаву ВК8 за умов зниженого тиску в середовищі хлору / В.Г. Хижняк, А.І. Дегула, Т.В. Лоскутова // *Металознавство та обробка метал-ів*. –Київ.-2008.- №4. -С. 36-40.
- Мацевитый В.М. Покрытия для режущих инструментов.-Х.:Вища шк. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1987.-128 с.
- Deepak G. Bhat and Paul F. Woerner. Coatings for cutting tools. *Journal of Metals*. V. 38 (Feb. 1986). – p. 68 – 69.

ЗМІЦНЕННЯ НОЖІВ ЗІ СТАЛІ 20X13 ШЛЯХОМ БОРУВАННЯ З ПАСТ

Князєв С.А., НТУ «ХПІ»

Анотація. У роботі представлено результати борування сталі 20X13 з метою підвищення зносостійкості. Металографічно виявлені особливості структури борованого та перехідного шару. Виявлено наявність карбоборидів у основному шарі, а також мікро об'єми твердого розчину бору в підшарку.

Ключові слова: борування, мікротвердість, бориди, карбобориди, знос.

УПРОЧНЕНИЕ НОЖЕЙ ИЗ СТАЛИ 20X13 ПУТЕМ БОРИРОВАНИЯ ИЗ ПАСТ

Князев С.А., НТУ «ХПИ»

Аннотация. В работе представлены результаты борирования стали 20X13 с целью повышения износостойкости. Металлографически выявлены особенности структуры борированного и переходного слоя. Выявлено наличие карбоборидов в основном слое, а также микро объемы твердого раствора бора в подслое.

Ключевые слова: борирования, микротвердость, бориды, карбобориды, износ.

STRENGTHENING KNIFES MADE OF STEEL 20X13 BY WRESTLING WITH PASTE

Knyazev S.A, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Abstract. The paper presents the results of drilling steel 20X13 in order to increase wear resistance. Metallographically revealed features of the structure of the boron layer and the transition layer. Carboborides were detected in the main layer, as well as micro-volumes of solid boron solution in the sublayer.

Key words: drilling, microhardness, borides, carboborides, wear.

Вступ

Підвищення зносостійкості є актуальною проблемою прикладного матеріалознавства. Одним із способів вирішення такого роду задач є методи хіміко-термічної обробки (ХТО). В той же час економічна доцільність зміцнення стає на перший план. Удосконалення вже відомих методів робить їх привабливими і розширює потенційні сфери застосування для нових деталей та інструменту.

Аналіз літературних джерел

Вибір виду хіміко-термічної обробки дуже важливий та відповідальний етап розробки. Його здійснюють опираючись на кінцеві експлуатаційні властивості, які повинен мати виріб, технологічні особливості ХТО, а також економічну доцільність. Метод борування відомий достатньо давно [1]. Основним його недоліком є досить велика тривалість процесу [2]. Більшість варіантів обробки по боруванню стосується маловуглецевих конструкційних сталей [2], хоча є інформація по боруванню високолегованих сталей з метою їх зміцнення [3].

Мета роботи

Представлена робота присвячена вивченню можливості зміцнення кромки промислових ножів шляхом борування з паст. Ножі, котрі використовуються у харчовій промисловості виготовляються зі сталі 20X13, мають нетривалий термін експлуатації, що пов'язано зі значними процесами зношування внаслідок порівняно невеликої твердості після традиційної термічної обробки – гартування і відпуску.

Методика експериментів і досліджень

Експериментами передбачалось традиційна зміцнююча термообробка, та технологія борування з паст з метою отримання високої поверхневої твердості, відсутності викрошування та зменшення часу обробки.

Для борування ножів на їх кромку наносилась насичуюча паста. Після чого ножі завантажувались у лоток та засипалися захисною засипкою. Лоток завантажувався у піч де проводився нагрів. Додатковий контроль проводився за допомогою інфрачервоного пірметра. Процес насичення проводився порівняно короткочасно і тривав 1,5 години (Рис.1). Прискорення насичення полягало у застосуванні активованої суміші, що дозволило отримати сильно насичений газовий прошарок у місці контакту з металом [4]. Після борування проводилась загартування, середній відпуск ножів, затиснутих у струбціні.

Для дослідження мікроструктури зразків і фотографування мікроструктури використовувався мікроскоп УПТ-102ВІІ. Вимір мікротвердості проведено на приладі ПМТ-3.

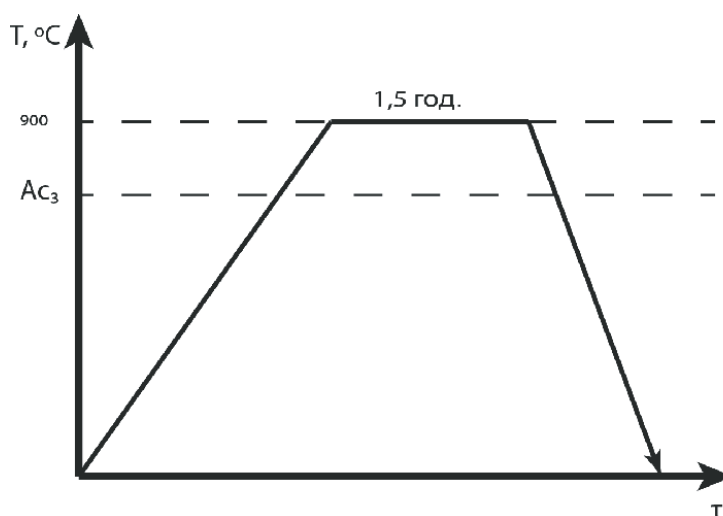


Рисунок 1 – Схема режиму борування

Результати роботи

Результати обробки проводились з застосуванням металографічного аналізу, виміру мікротвердості та безпосередньої оцінки зношування у процесі експлуатації ножів.

Виявлена мікроструктура засвідчила про отримання значного за товщиною борованого шару, який досягає ста мікрометрів.

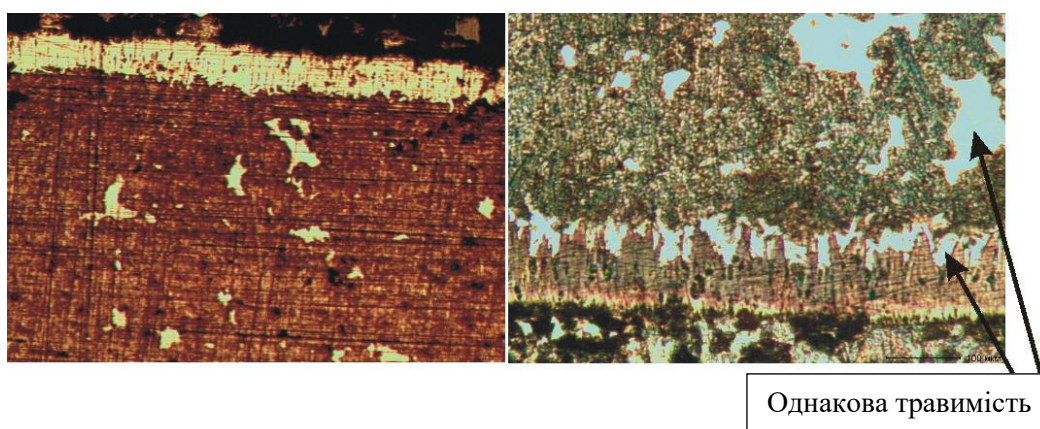


Рисунок 2 – Мікроструктура поверхні ножа після кольорового травлення

На борованих шарах отримано високі рівні мікротвердості, а саме, на поверхні мікротвердість становила 18000 МПа яка характерна для бориду FeB та 14000 МПа у середині та на кінці шару

(відповідає бориду Fe_2B) (рис. 3).

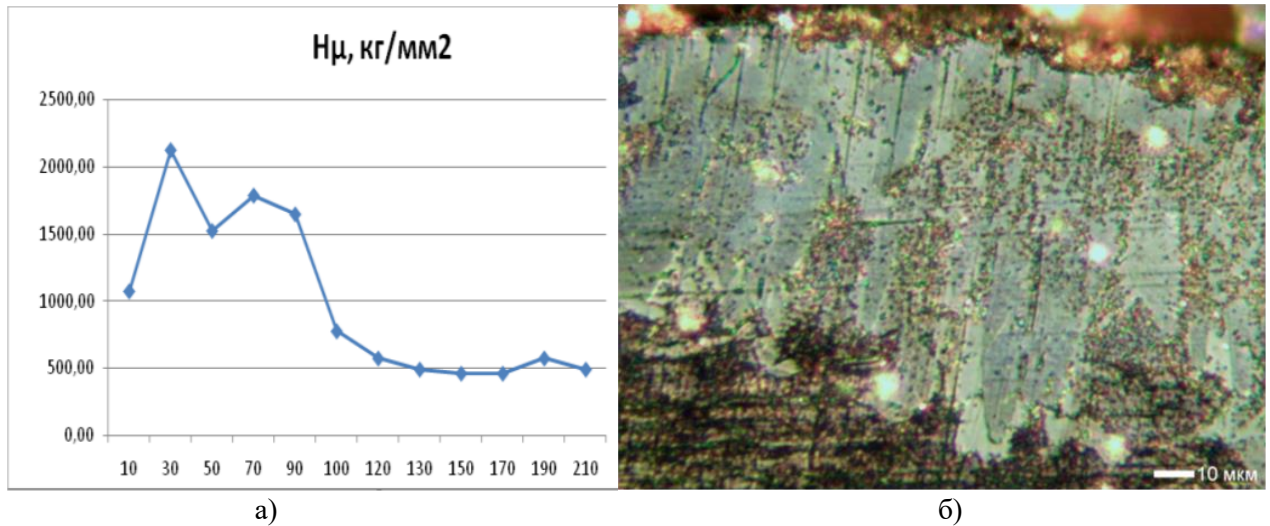
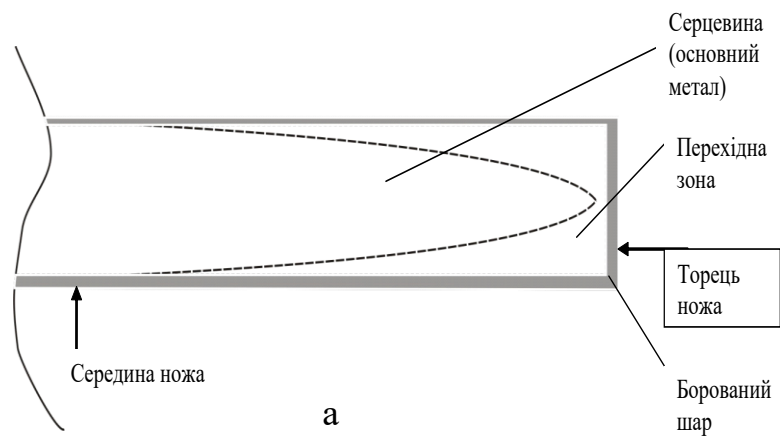
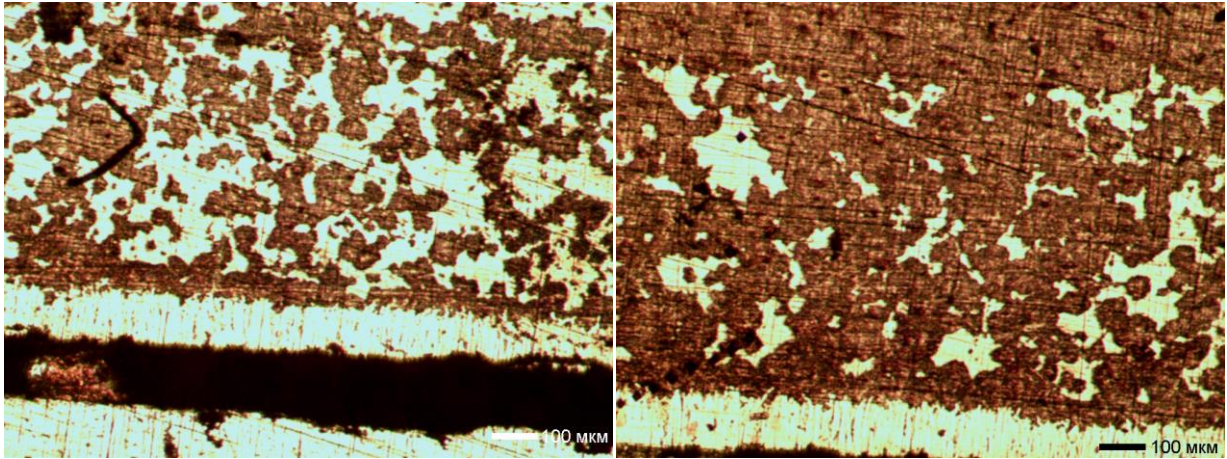


Рисунок 3 – Розподіл мікротвердості за глибиною (а) та карбобориди у поляризованому світлі (б)

Додаткові металографічні дослідження, у тому числі з застосуванням поляризованого світла, дозволили виявити нову структурну складову у борваному шарі, а саме дисперсні часточки складних карбоборидів середнім розміром 0,5 мкм. Провали у мікротвердості на графіку пов'язані саме з утворенням карбоборидів на фоні боридної фази (Рис.3).

В ході металографічного аналізу виявлено, незвичну для борваних дифузійних шарів, перехідну структуру, яка може бути пов'язана зі структурою твердого розчину бору в залізі. Вимір мікротвердості підтверджує це припущення. На рис. 4 – представлено схему рис. 4 а, та мікроструктури в залежності від відстані до торця ножу рис 4 б та рис. 4 в (далі і ближче до торця відповідно).





б

в

Рисунок 4 – Зміна кількості твердого розчину бору в залізі у перехідній зоні в залежності від відстані до торця

Експлуатаційні випробування трьох оброблених ножів показали високі результати по їх зносостійкості. Час безперервної роботи оброблених ножів збільшився в 5 разів в порівнянні з простою зміцнюючою термообробкою. При цьому слідів крихкого руйнування та викрошування не спостерігалось.

Висновки

Таким чином проведене порівняно короткочасне борування дозволило отримати достатньо глибокий (100 мкм) боридний шар, який при детальному розгляді має складну будову внаслідок формування карбоборидів. Наявність карбоборидів призводить до локальних понижень мікротвердості. У перехідній зоні формуються ділянки з твердим розчином бору в залізі, які мають чіткі границі поділу з трооститною структурою матриці. Можна припустити, що наявність карбоборидів у основному шарі і наявність перехідної зони сприяють відсутності крихкого руйнування внаслідок утворення можливостей до релаксації напруги у пластичних структурних складових.

Література

1. Kulka M. Current Trends in Boriding [Text] / Techniques. – 2019. – 282 p.
2. Matuschka A. Boronizing [Text]. Hanser. – 1980. – 97 p.
3. Yunus S. Effect of boronizing medium on dispersion layer of austenitic stainless steel [Text] / S. Yunus, S. Alias, F. Wong, A. Rashid & N. Abdullah // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2015. – № 10 (17). – P. 7821 – 7824.
4. Погрібний М. Борування конструкційних сталей з використанням насичуючих паст [Текст] / М. Погрібний, С. Князев // Металознавство та обробка металів. – 2011. – № 1. – С. 33 – 38.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ЗЛИТКІВ ФЕРОТИТАНУ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕШВ, НА ЇХНЮ ЗДАТНІСТЬ ПОДРІБНЮВАТИСЯ¹

Котов М.М., ст. гр. ІФ- 316, НУ «Запорізька політехніка»

Анотація. Досліджено структуру та здатність до подрібнення злитків феротитану різного способу виробництва. Встановлено, що частковий розпад первинних зерен $TiFe_2$ з утворенням $TiFe$ у структурі зливків феротитану ЕШВ при концентрації Ti 38-48 % покращує здатність до подрібнення.

Ключові слова: феротитан, електрошлакова виплавка, структура, подрібнюваність.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ СЛИТКОВ ФЕРРОТИТАНА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭШВ, НА ЕГО ДРОБИМОСТЬ

Котов Н.Н., ст. гр. ИФ- 316, НУ «Запорожская политехника»

Аннотация. Исследовано структуру и способность к дроблению слитков ферротитана различного способа производства. Установлено, что частичный распад зерен $TiFe_2$ с образованием $TiFe$ в структуре слитков ферротитана ЭШВ при концентрации Ti 38-48 % повышает способность к дроблению.

Ключевые слова: ферротитан, электрошлаковая выплавка, структура, дробимость.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE STRUCTURE OF FERROTITANIUM BARS OBTAINED BY THE ESS (ELECTROSLAG SMELTING) METHOD ON THEIR CRUSHING

Kotov Mykola, student of group IF-316 NU "ZP"

Abstract. The structure and grinding ability of ferrotitanium ingots of different production methods were researched. It was found that the partial decay of primary $TiFe_2$ grains with the formation of $TiFe$ in the structure of ingots of ferrotitanium ESS at a concentration of Ti 38-48% improves the ability to crushing.

Key words: ferrotitanium, electroslag smelting, structure, crushing ability.

Вступ

Для виготовлення зварних виробів відповідального призначення застосовуються електроди основного (фтористо-кальцієвого) типу, зокрема, марки УОНИ 13/55. Вони забезпечують отримання найбільш високих пластичних властивостей металу зварного шва при низькому вмісті неметалічних включень і газів, що досягається розкисленням металу Mn , Si і Ti , які вводяться в покриття електродів у вигляді феросплавів. Але, у феротитані ФТі35А алюмотермічного способу виробництва, який використовуються у виробництві зварювальних електродів, об'ємна частка включень сягає 0,3 %. При цьому, більша частина (до 70 %) є тугоплавкою за рахунок оксидів алюмінію, які забруднюють метал зварного шву. Використання феротитану, виготовленого методом ЕШВ, із значно меншим вмістом неметалічних включень та домішок кольорових металів, дозволяє підвищити якість наплавленого металу за рахунок зменшення кількості екзогенних включень.

Фероматеріали, що входять до складу покриття зварювальних електродів подрібнюються, найчастіше у шарових млинах, до фракції 0,15 мм. Тому феросплави мають легко подрібнюватися до заданих розмірів з утворенням мінімальної кількості дрібнодисперсної пиловидної фракції.

Але, злитки феротитану отриманого методом ЕШВ із аналогічним вмістом Ti - 28,5 % - 30,0 %, мали досить низьку подрібнюваність із утворенням неоднорідної фракції.

¹Роботу виконано під керівництвом доцента Бережного С.П.

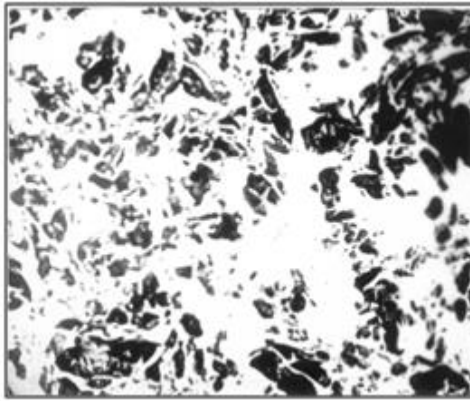
Мета роботи

Метою роботи є дослідження структури злитків сплавів феротитану із різним вмістом титану, та встановити залежність здатності до подрібнювання від структури та складу зливків.

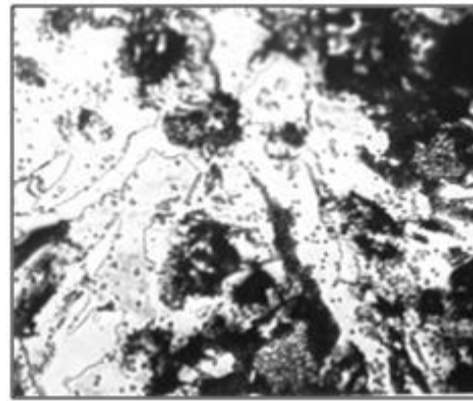
Основний матеріал дослідження

Мікроструктура визначалась з використанням металографічного мікроскопу МІМ 8-М. Подрібнюваність визначалась по нестандартній методиці на копрі з вертикально падаючим циліндричним бойком [1].

Структура зливків феротитану алюмотермічного виробництва ФТі30А (складу Ті-30±2 %, Al- 9-10 %, Si- 2,0-2,5 %, Cu- 0,32 %, С-0,11 %), дуже неоднорідна, із великою кількістю несучільностей (30 % площини шліфу), рис. 1 а . Основне поле шліфа займає фаза із вмістом титану 25 – 39 % Ті, що згідно діаграми Fe – Ті [2], відповідає інтерметаліду $TiFe_2$ ($H=16000-17700$ МПа) та твердий розчин Al і Si в $TiFe_2$ (Ті-30-34 %, Al-8,0-10 %, Si-1,0 %), рис. 1 б, мікротвердість яких складає $H=21200-22000$ МПа. Злитки із такою структурою досить крихкі та легко піддаються подрібненню.



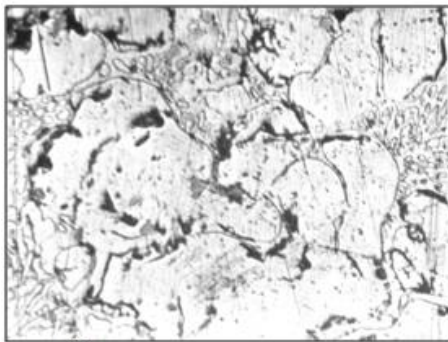
а - 100^x



б - 300^x

Рисунок 1 – Мікроструктура сплаву ФТі30А: а - до травлення; б - після травлення

Структура зливка феротитану отриманого методом ЕШВ із аналогічним вмістом Ті - 28,5 %, має суттєві відмінності, рис. 2, а. Основні світлі ділянки такого феросплаву містять 28-32% Ті, що відповідає складу інтерметаліду $FeTi_2$. Але, наявність евтектики ($\alpha+FeTi_2$) із вмістом титану 14-16 %, свідчить про відхилення структури даного сплаву від рівноважного згідно діаграми Fe-Ті, рис. 3. Гіршу здатність до подрібнення такого сплаву можна пояснити наявністю менш крихкої евтектики ($\alpha+FeTi_2$).



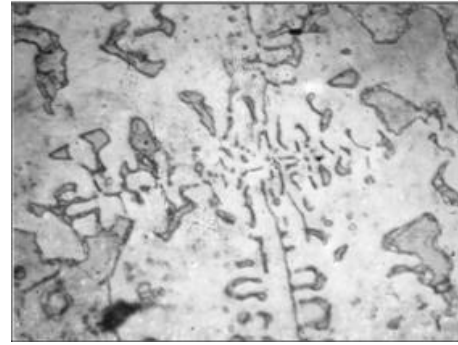
а - 300^x



б - 300^x



в - 300^X



г - 900^X

Рисунок 2 – Мікроструктура сплавів феротитану, отриманого методом ЕШВ: а) 28,5 % Ті, б) 40 % Ті, в) та г) 45 % Ті

Структура сплаву з вмістом 40 % Ті складається з двох інтерметалідів $TiFe_2$ і $TiFe$, зерна яких чітко видно на рис 2, б, що добре узгоджується з діаграмою Fe-Ті.

Але встановлено що, при вмісті Ті 45 %, спостерігаються частковий розпад первинних зерен $TiFe_2$ з утворенням $TiFe$. (рис. 2 в, г), при переході сплаву до більш врівноваженого стану при охолодженні. Кількість таких ділянок розпаду зростає із збільшенням концентрації Ті. Наявність фази розпаду $TiFe$ в середині зерна $TiFe_2$, через відмінність у структурі кристалічної ґратки, створює додаткові внутрішні напруження та сприяє більш легкому руйнуванню сплаву, рис. 4.

Мікроструктура сплаву, який містить Ті більш 50 % складається з евтектики $\beta + TiFe$, навколо первинних зерен $TiFe$, що зменшує здатність до подрібнення, рис 4.

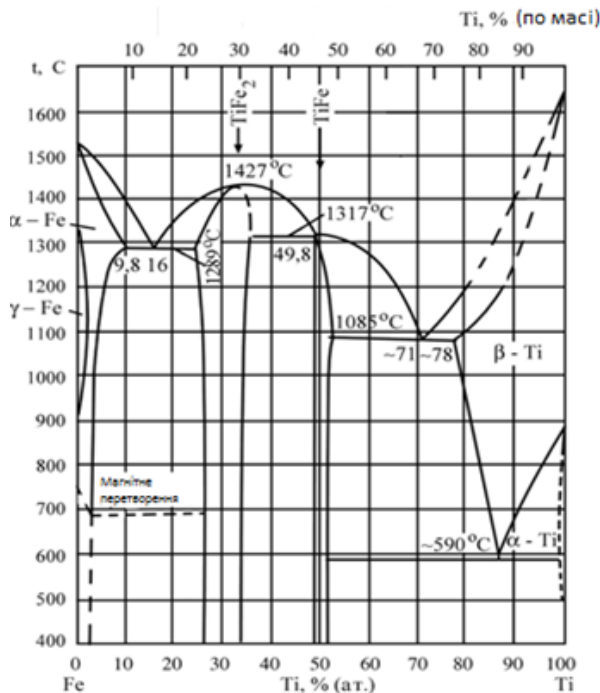


Рисунок 3 – Діаграма стану системи Fe-Ті [2]

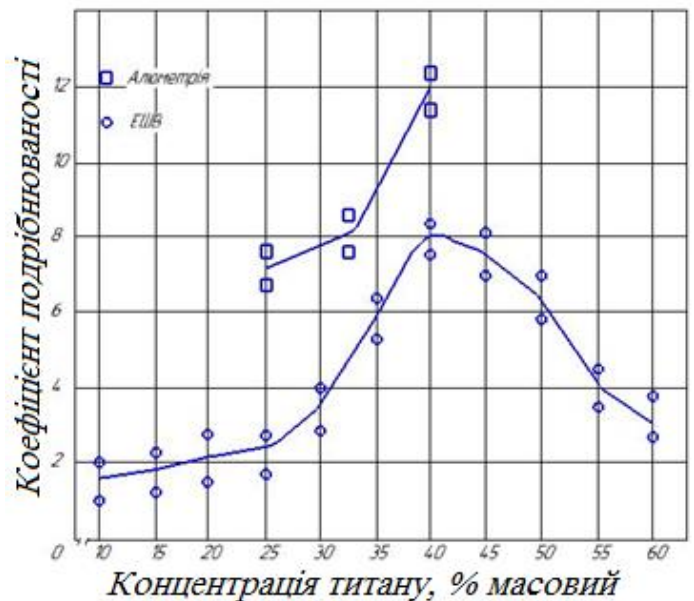


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта подрібнюваності феротитану від вмісту титану

За результатами перевірки подрібнюваності було визначено що для виготовлення зварювальних електродів найбільш доцільним є використання феротитану з вмістом титану 38-48 %, рис. 4. У цьому випадку коефіцієнт подрібнення феротитану ЕШВ та алюмо-термічного виробництва практично однакові, що полегшує їхнє використання при виготовленні зварювальних електродів.

Висновки

1. Структура зливок феротитану електрошлакової виплавки відрізняється від рівноважної.
2. Наявність в структурі сплавів феротитану ЕШВ евтектики α +FeTi₂ та β +TiFe ускладнює процес подрібнення.
3. Частковий розпад первинних зерен TiFe₂ з утворенням TiFe, у структурі зливок феротитану ЕШВ при концентрації Ti 38-48 % покращує здатність до подрібнення.
4. Для виробництва зварювальних електродів слід використовувати феротитан ЕШВ з концентрацією Ti 38-48 %, здатність до подрібнюваності якого найвища.

Література

1. Горелкин С.Ю., Чуватин Н.В. Дробимость и истираемость ферросплавов // Сталь. - 1982. - № 5. - С. 40-41.
2. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник / под ред. О.А. Банных. - М.: Металлургия, 1986. - 436 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗОНИ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ В НАПЛАВКАХ (ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ) ІЗ ВИСОКОХРОМИСТИХ НЕРЖАВКИХ СТАЛЕЙ

Погрібний М.А., к. т. н., доц., Реброва О.М., к. т. н., доц., Федоренко Г.А., інженер, Гололобова О.М., асистент, Реброва А.О., ст. гр. КН-619, Чепурко В.М. ст. гр. МІТ-М319а, НТУ «ХПІ»

Анотація. В роботі встановлено, що термічне оброблення в режимі високого відпускання наплавки із високохромистих сталей суттєво збільшує знеміцнення в зоні термічного впливу. Показано негативний вплив високого відпускання на механічні властивості виробів. Дослідження проводились на зразках зі сталі 15Х11МФ. Зразки термічно оброблялись за стандартним для даної сталі режимом, а потім наплавлялись за одно- та багатошаровою технологією електродуговим методом в середовищі аргону проволокою для наплавки зі сталі 20Х13.

Ключові слова: термічне оброблення, зона знеміцнення, наплавка, високохромиста нержавка сталь.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ В НАПЛАВКАХ (СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ) ИЗ ВИСОКОХРОМИСТЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Погребной Н.А., к.т.н., доц., Реброва Е.М., к.т.н., доц., Федоренко А.А., Гололобова Е.Н., Реброва А.О., ст. гр. КН-619, Чепурко В.М. ст. гр. МІТ-М319а, НТУ «ХПІ»

Аннотация. В работе установлено, что термическая обработка в режиме высокого отпуска наплавки из высокохромистых сталей существенно увеличивает разупрочнение в зоне термического влияния. Показано негативное влияние высокого отпуска на механические свойства изделий. Исследования проводились на образцах из стали 15Х11МФ. Образцы термически обрабатывались по стандартному для данной стали режиму, а затем наплавлялись по одно- и многослойной технологии электродуговим методом в среде аргона проволокой для наплавки из стали 20Х13.

Ключевые слова: термическая обработка, зона разупрочнения, наплавка, высокохромистая нержавеющая сталь.

STUDY OF THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE THERMAL INFLUENCE ZONE IN SURFACES (WELDED JOINTS) FROM HIGH-CHROMIUM STAINLESS STEELS

Pohribnyi M.A., Ph. D., Prof., Rebrova O.M., PhD., Associate Professor, Fedorenko H.A., engineer, Hololobova O. M., Assistant, Rebrova A.O., student of group KN-619, Pohrebna E.K., student of group PZPI 19-2, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Abstract. It has been established in the work that heat treatment in the high-temperature tempering regime of high-chromium steels overlays significantly increases softening in the heat-affected zone. The negative effect of high tempering on the mechanical properties of products is shown. The studies were carried out on samples of 15Kh11MF steel. The samples were thermally treated according to the standard mode for the given steel, and then they were deposited according to the single- and multilayer technology by the electric arc method in an argon atmosphere with a wire for surfacing made of steel 20Kh13.

Key words. heat treatment, softening zone, surfacing, high-chromium stainless steel.

Вступ

Прогресивні технології зварювання (наплавлення) широко використовуються при виготовленні чи ремонті деталей машин і механізмів. Під дією температурного чинника, який є невідворотним в процесі зварювання чи наплавлення, в основному металі виробу утворюється, як правило, декілька

характерних ділянок, відмінних за структурою та властивостями – зона термічного впливу (ЗТВ), що може мати наслідки для експлуатаційних властивостей виробу в цілому.

Аналіз публікацій

Після зварювання чи наплавлення працездатність виробу в значній мірі залежить від структурного стану та властивостей різних ділянок металу в ЗТВ [1, 2]. У багатьох випадках, наприклад, при зварюванні (наплавленні) високолегованих сталей, найбільш впливовими є ділянки знеміцнення та гартування. Особливо актуальним стає дослідження ролі і впливу ЗТВ, перш за все, ділянки знеміцнення в разі використання після зварювання (наплавлення) термічного оброблення, яке, як правило, рекомендується в таких випадках для покращення якості виробів [3 – 5].

Мета дослідження

З метою виявлення впливу наплавлення та наступного термічного оброблення на структуру та властивості зони знеміцнення в наплавках на сталь 15X11МФ досліджувалась залежність показників, які характеризують знеміцнення (мінімальну твердість на ділянці знеміцнення, і її розміри (ширину)) від температури термічного відпускання (в інтервалі від 650°C до 750°C). Попередньо зразки зі сталі 15X11МФ термічно оброблялись за стандартним для даної сталі режимом (гартування з відпуском при температурі 680 – 700°C), а потім наплавлялись за одно- та багатошаровою технологією електродуговим методом в середовищі газу аргону проволокою для наплавки зі сталі 20X13.

Механічні випробування проводились в найбільш жорстких умовах, а саме, з використанням багатошарово наплавлених зразків, що дозволило досягти в них поперечного розташування ЗТВ, при якому всі характерні ділянки зони термічного впливу під час експериментального навантаження знаходилися під дією напруги розтягнення.

Результати досліджень

Результати проведених досліджень свідчать про те, що після наплавлення механічні властивості зразків зі сталі 15X11МФ помітно погіршуються (табл. 1), а використання відпуску після наплавки призводить до ще більш негативних наслідків (рис. 1).

Таблиця 1 – Вплив наплавлення і наступного термічного відпускання на властивості сталі 15X11МФ

Стан зразків	Механічні властивості			
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	ψ , %	δ , %
Сталь 15X11МФ до наплавлення	860	740	50	14
Після наплавлення сталлю 20X13	800	680	41	6,5
Після наплавлення і відпускання ($t = 680^\circ\text{C}$, $\tau = 2$ год.)	730	620	47	11

Як видно з таблиці, показники міцності сталі 15X11МФ після наплавлення в порівнянні з вихідним станом зменшуються на 7 – 8%. При цьому спостерігається локалізація процесу руйнування на ділянці ЗТВ з найменшою твердістю – ділянці знеміцнення, яка в даних умовах навантаження виявляється найбільш слабким місцем з'єднання. Причиною такої зміни властивостей ЗТВ, як показали металографічні дослідження, є розвиток тут під впливом додаткового нагрівання в умовах наплавлення процесів довідпуску, які супроводжуються коагуляцією і сфероїдизацією карбідної фази та, як наслідок, сприяють суттєвому зниженню показників міцності.

Після наступного відпускання міцність наплавки зменшується в порівнянні з міцністю сталі 15X11МФ до наплавлення в середньому на 16 %.

Результати досліджень показників, які характеризують властивості ділянки знеміцнення свідчать про те, що зі збільшенням температури відпускання відбувається подальше знеміцнення в ЗТВ (див. рис. 1). Нагрів наплавки вже до температури 650°C спричиняє зниження твердості на ділянці знеміцнення на Нц 15, а нагрів до 750°C на Нц 40, в порівнянні з твердістю даної ділянки безпосеред-

ньо після наплавлення (рис. 1, а). Такий вплив повторного нагрівання можна пояснити тим, що під дією температури відбувається, перш за все, усунення залишкових напружень, що, в свою чергу, полегшує процеси дифузії та коагуляцію карбідної фази. При збільшенні температури нагрівання, ступінь коагуляції карбідів зростає, внаслідок чого твердість металу в зоні довідпуску, а, відповідно, і міцність наплавки в цілому, зменшується, залишаючись при всіх температурах відпускання нижчою, порівняно з властивостями основного металу з'єднання (див. рис. 1, а і табл. 1).

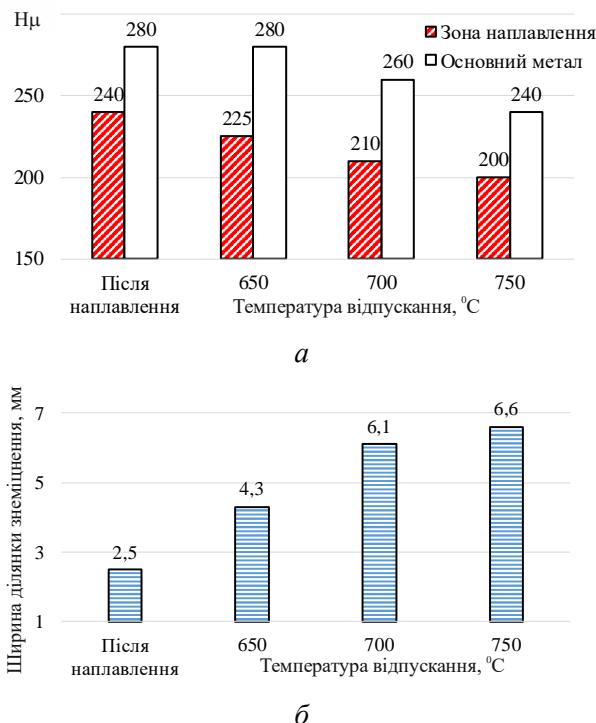


Рисунок 1 – Вплив температури відпускання на твердість (а) та розміри (б) ділянки знеміцнення в напавленій сталі 15X11МФ

Розміри ділянки знеміцнення під дією температури відпускання також суттєво збільшуються (до 2,5 разів) (рис. 1, б). Металографічними дослідженнями встановлено, що розширення даної ділянки відбувається за рахунок ділянки неповного гартування в ЗТВ, де під час повторного нагрівання формується груба ферито-карбідна структура, яка сприяє зменшенню показників міцності.

Висновки

Проведеними дослідженнями встановлено, що термічне оброблення в режимі високого відпускання наплавки, і, вочевидь, зварних з'єднань із високохромистих нержавіючих сталей суттєво збільшує знеміцнення в ЗТВ, що негативно впливає на їх механічні властивості і буде сприяти зниженню конструкційної міцності виробів, при виготовленні чи ремонті яких використовувалися процеси наплавлення або зварювання.

Література

- 1.Петров В.Н. Сварка жаропрочных нержавеющей сталей. – М.–Л.: Машгиз. – 1983. – 248 с.
- 2.Каховский Н.И. Сварка высоколегированных сталей. – К.: Техника. – 1975. – 373 с.
- 3.Земзин В.Н., Шрон Р.З. Термическая обработка и свойства сварных соединений. – Л.: Машиностроение. – 1987. – 367 с.
- 4.Погребной Н.А. Применение скоростного нагрева для повышения конструкционной прочности сварных соединений и наплавки. – М.: Черные металлы. – 2010. – №3. – с. 20 – 24.
- 5.Єфіменко М.Г., Радзіілова Н.О. Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань. – Харків. – 2003. – 488 с.

АЛЬТЕРНАТИВНЕ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНІ ВИРОБІВ ІЗ СТАЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРТЯ

Волков О.О., старший викладач, НТУ «ХП»

Анотація. В роботі виконано науково обгрунтована розробка технологічного комплексу обробки сталі з використанням методу термофрикційного зміцнення, що дозволило забезпечити істотне підвищення її поверхневої твердості і зносостійкості в 2-3 рази. Експериментальні дослідження проводили на основі детального вивчення впливу на кінцеві характеристики сталі зовнішніх і внутрішніх факторів при їх комплексній обробці. Поверхнєве зміцнення досягається формуванням «білого шару», що підтверджено виміром мікротвердості.

Ключові слова: термофрикційне оброблення (ТФО), термофрикційне зміцнення (ТФЗ), напружений стан, «білий шар», «деформований зернистий мартенсит», ϵ -карбід, наноструктура.

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРЕНИЯ

Волков О.А., старший преподаватель, НТУ «ХПИ»

Аннотация. В работе выполнена научно обоснованная разработка технологического комплекса обработки стали с использованием метода термофрикционного упрочнения, что позволило обеспечить существенное повышение их поверхностной твердости и износостойкости в 2–3 раза.

Экспериментальные исследования проводили на основе детального изучения влияния на конечные характеристики стали внешних и внутренних факторов при их комплексной обработке. Поверхностное упрочнение достигается формированием «белого слоя», что подтверждено измерением микротвердости.

Ключевые слова: термофрикционная обработка (ТФО), термофрикционное упрочнение (ТФУ), напряженное состояние, «белый слой», «деформированный зернистый мартенсит», ϵ -карбид, наноструктура.

THE ALTERNATIVE SURFACE HARDENING OF STEEL PRODUCTS BY USING FRICTION

Volkov O.A., Senior Lecturer, NTU «KhPI»

Abstract. In this paper, a scientifically based development of a technological complex for processing steel using the method of thermofriction hardening was carried out, which made it possible to provide a significant increase in their surface hardness and wear resistance by 2-3 times.

Experimental studies were carried out on the basis of a detailed study of the influence of external and internal factors on the final characteristics of steel during their processing. To ensure effective hardening of the samples, the conditions of the tfz process were optimized. The surface hardening is achieved by forming a "white layer", which is confirmed by measuring the microhardness. It is shown that the deformation mechanism of hardening during short-term heating of the hardened surface is the predominant mechanism in tfz. During hardening, a "deformed granular martensite" structure is formed with the inclusion of the ϵ -carbide phase, the hardness of which is more than twice the hardness of the martensite structure formed during the classical hardening of these steels, and can be considered as a type of nanostructure.

Key words: thermofriction processing (TFP), thermofriction hardening (TFH), stress state, «white layer», «deformed granular martensite», ϵ -carbide, nanostructure.

Вступ

Завдання поверхневого зміцнення матеріалів є важливим напрямком в науці та промисловості. Адже поверхнєве зміцнення в ресурсозберігаючий спосіб набуває сьогодні значної актуальності.

Технологія термофрикційного зміцнення (ТФЗ) відповідає цим вимогам у зв'язку з чим обрана в якості методу зміцнення в рамках цього дослідження.

Аналіз публікацій

Тертя, як джерело енергії при обробленні поверхні металевим диском, дозволяє досягати швидкого розігрівання поверхневих шарів виробів при їх термофрикційному зміцненні ТФЗ, з використанням термофрикційного оброблення (ТФО). Слід зауважити, що в умовах ТФЗ відбувається складний вплив на об'єкт, що оброблюється, який включає термічну, деформаційну, формоутворюючу та інші складові [1, 2, 3]. Важливим аспектом цього процесу є швидкість протікання ТФЗ, що вносить певні корективи та вигідно відрізняє даний метод від багатьох стандартних способів термічного та механічного зміцнення поверхонь [4]. Також запропонована технологія, яка передбачає використання стандартного плоскошліфувального обладнання без будь-якої модернізації з використанням металевого інструмента-диска, який створюється спеціально для такого обладнання з урахуванням його конструкційних особливостей замість стандартних абразивних кругів [5].

Мета статті

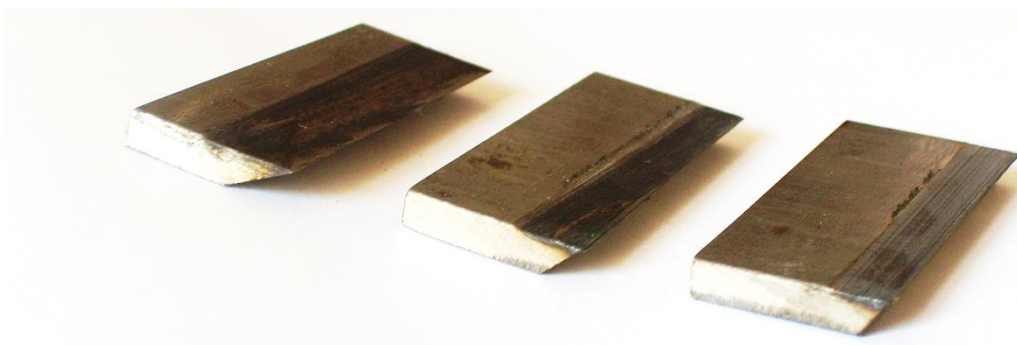
Мета - дослідження особливостей альтернативного поверхневого зміцнення з використанням тертя виробів з робочою частиною у формі клина.

Основний матеріал дослідження

В даному дослідженні вивчали зразки інструмента, який зазнає суттєвого зношення в процесі роботи та який було зміцнено з використанням технології ТФЗ. Основна ідея досліджень полягала у порівнянні роботоздатності такого інструмента після його зміцнення в стандартний спосіб – шляхом термічного оброблення та після комбінованого оброблення, яке включає ТФЗ.

Отримані результати, щодо роботоздатності інструменту, виготовленого із сталі марки «Сталь 50», яка не є інструментальною, показали суттєве її підвищення в інтервалі від 110 до 205 %, яке залежить від умов зміцнення та умов роботи. Таке прирощення робочого ресурсу перевищує навіть роботоздатність подібного інструмента, виготовленого з більш дорогих – інструментальних сталей.

Макроструктура даних зразків після ТФЗ представлена на рис. 1, а основні результати зміцнення – в табл. 1.



х 2

Рисунок 1 - Зразки у вигляді деревообробних ножів із сталі 50 з кутом загострення 30°, 45°, 60° після ТФЗ

Також важливо відзначити, що отримані зміцнені поверхневі шари відрізняються за конфігурацією залежно від кута загострення зразків. Це помітно навіть візуально на утворених в поперечному перерізі зразків зонах термічного впливу від ТФЗ. При цьому мікроструктура основного тіла ножа має голчасту форму, і відповідає мартенситу відпускання, утворення якого викликано попереднім термічним обробленням, а саме гартуванням з низьким відпусканням. Так, в процесі даного дослідження було виявлено, що зміцнений поверхневий шар утворюється не по всій ширині дотику зміцнювального диска з поверхнею клина ножа, а тільки в її частині. Тому виникає необхідність порівня-

льної оцінки впливу кута загострення ножів на характеристики їх зміцнення.

З таблиці 1 видно, що найкращі результати зміцнення (мікротвердість – 12 870 МПа, глибина зміцнення – 300 мкм на відстані від краю – 200 мкм) досягнуті у зразку з кутом загострення 60°. Мінімальний ефект зміцнення спостерігається у зразку з кутом загострення 30°. Це можна пояснити тим, що даний зразок під час ТФЗ зазнає вищого рівня пружної деформації, яка пом'якшує режим ТФЗ.

Таблиця 1 – Основні характеристики зміцнення деревообробних ножів із сталі 50 після їх ТФЗ

Режим ТФЗ	Кут загострення ножів, °	Мікротвердість, МПа			Глибина зміцнення, мкм	Відстань від краю до зміцненого шару, мкм
		Зона зміцнення	Зона знезміцнення	Зона основного металу		
Швидкість подачі S = 30 мм/с Глибина різання t = 0,5 мм	30	11140	4500	5500	150	650
	45	11660	4200	5500	250	300
	60	12870	4000	5500	300	200

У зв'язку з цим знижується і ступінь розігрівання поверхні клину, і ступінь її пластичного деформування. Даний фактор сприяє зміцненню області формування «білого поверхневого шару» в бік від різального краю ножів на різну відстань зворотньо пропорційно куту їх загострення. Тобто, зі зменшенням кута загострення ножа збільшується відстань від різального краю до шару зміцнення та зменшується глибина і рівень зміцнення.

Висновки

1. Досліджено та підтверджено експериментальним шляхом можливість термофрикційного зміцнення виробів із сталі з формою робочою частини у вигляді клина.
2. Встановлений зв'язок між кутом загострення подібних виробів та особливостями їх зміцнення. При цьому виявлено, що на малих кутах загострення спостерігається більш інтенсивне пружне деформування внаслідок чого ефективність зміцнення при ТФЗ знижується.
3. У всіх зразках доведено зміцнення поверхні, з підвищенням роботоздатності в інтервалі від 110 до 205 %.

Література

1. Сизый Ю.А., Погребной Н.А., Волков О.А. Упрочение поверхности из стали 15X11МФ при помощи термофрикционной обработки. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства «Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Фізичні та комп'ютерні технології»*. Харків, 2002. Вип. 10. С. 44–48.
2. Сизый Ю.А., Погребной Н.А., Волков О.А. Температурное поле на входе и выходе с поверхности упрочняемой трением. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства «Підвищення надійності відновлюємих деталей машин»*. Харків, 2003. Вип. 18. С. 84–93.
3. Волков О.А. Исследование влияния ТФО на напряженное состояние в стали 15X11МФ. *Вестник национального технического университета «ХПИ»*: сб. науч. тр. : темат. вып. / Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. Вып. 12 : Технологии в машиностроении / Харьков : НТУ «ХПИ», 2005. С. 84–88.
4. Volkov O.A. Study of heat deformation influence in surface strain hardening of steel by thermofriction processing. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2016. Vol. 2. № 5 (80). P. 38–44.
5. Спосіб зміцнення поверхні. Патент № 90192 У Україна: МПК С2 UA. Волков О.О. а200808153; заявл. 17.06.2008; опубл. 12.04.2010. Бюл. №7.

ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРВМІСНОЇ ЗОР ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ОБРОБЛЮВАНOSTІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Лалазарова Н.О., к.т.н., доц., Орлов М.С., студент гр. МС-61-19, ХНАДУ

Анотація. Ефективним методом покращення оброблюваності високоміцного чавуну з кулястим графітом є застосування полімервмісної змащувально-охолоджувальної рідини.

Ключові слова: високоміцний чавун з кулястим графітом, оброблюваність, змащувально-охолоджувальна рідина.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩЕЙ СОЖ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Лалазарова Н.А., к.т.н., доц., Орлов М.С., студент гр. МС-61-19, ХНАДУ

Аннотация. Эффективным методом улучшения обрабатываемости высокопрочного чугуна с шаровидным графитом является применение полимерсодержащей смазочно-охлаждающей жидкости.

Ключевые слова: высокопрочный чугун с шаровидным графитом, обрабатываемость, смазочно-охлаждающая жидкость.

USE OF POLYMER-CONTAINING LUBRICATING COOLANT FOR IMPROVING THE WORKABILITY OF HIGH-STRENGTH CAST IRON

Lalazarova, N.O., PhD, Associate Professor, Orlov M.S., student of group MC-61-19, KhNAHU

Abstract. An effective method for improving the machinability of nodular cast iron with spherical graphite is the use of a polymer-containing cutting fluid.

Key words: high-strength spheroidal graphite cast iron, machinability, cutting fluid.

Вступ

У даний час широке використання в якості конструкційного матеріалу знаходить високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ), який поєднує технологічність сірого чавуну з комплексом властивостей більш високих, ніж у ковкого і у ряді випадків навіть литої і кованої сталі [1]. Аналіз світового ринку лиття свідчить, що за кількістю (24,6 %) відливки з ВЧКГ займають проміжне положення між сірим чавуном (44,9 %) та алюмінієвими сплавами (15,4 %) [1]. Очікуване значне зростання світового виробництва транспортних засобів та продукції машинобудування разом з тенденцією до прогресуючої урбанізації, яка стимулює житлове та інфраструктурне будівництво, буде збільшувати попит на литі вироби та їх номенклатуру. З ВЧКГ виготовляють відповідальні деталі автомобілів, тракторів, комбайнів, використовують в нафтодобувній промисловості, виготовляють деталі папероробних машин, верстатів, арматуру та ін. [1]. У зв'язку з цим машинобудування відчуває потребу в застосуванні чавунів, що мають границю міцності понад 600-700 МПа і твердість 250-300 НВW. Процес впровадження ВЧКГ із високим рівнем експлуатаційних властивостей стримується недостатнім рівнем його оброблюваності різанням лезовими інструментами.

Впливати на оброблюваність можна наступним чином: змінюючи властивості оброблюваного матеріалу (легування, термічна обробка), властивості різального інструменту або впливати¹ на зону, де відбувається взаємодія інструменту та оброблюваного матеріалу (режими різання, наявність зм'ягчувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) та ін.). Одним з ефективних методів впливу на оброблюваність чавунів є використання сучасних ЗОР у процесі механообробки.

Аналіз публікацій

Високоміцні чавуни з кулястим графітом відрізняються значною міцністю і твердістю, неоднорідністю структури, що і призводить до зниження оброблюваності, підвищеного тепловідведення. Економічним та ефективним методом покращення оброблюваності є застосування ЗОР, яка має наступні функції: змащувальну, диспергуючу, охолоджувальну і миючу [2].

Застосування змащувально-охолоджувальної рідини з метою інтенсифікації механічної обробки деталей з ВЧКГ поки не знайшло широкого застосування. При свердлінні чавуну рекомендовано використання ЗОР Укрінол-1, при нарізанні різьби - ОСМ-3, при точінні - емульсії.

Однак дослідженнями не охоплена значна група багатофункціональних рідин, які вміщують полімери. Мета даної роботи – дослідження впливу полімервмісних ЗОР на оброблюваність ВЧКГ.

Ще одним напрямом покращення оброблюваності є використання більш теплостійких інструментальних матеріалів, в тому числі із швидкорізальної сталі, для обробки отворів.

Матеріал і методики досліджень

Для проведення досліджень використовували високоміцний чавун хімічного складу: 3,3-3,8 % С; 2,4-3,2 % Si; C+1/3 Si = 4,25-4,35 %; 0,004-0,007 % S; 0,5-0,9% Mn; 0,045-0,008 % P; 0,05-0,1 % Cr; 0,1-0,15 % Ni; 0,04-0,09 % Mg.

Зразки чавуну після нормалізації мали структуру: 80 % перліт+20 % ферит+кулястий графіт. Механічні властивості чавуну: 287-311 НВW, $\delta=3\%$, $a_n \geq 20$ Дж/см².

Використовували змащувально-охолоджувальну рідину на основі водного розчину полівінілпіролідону (ПВП) і емульсією марки ЕТ-2 [3].

Дослідження впливу полімервмісної ЗОР проводили на операції свердління на вертикально-свердлильному верстаті 2А135 циліндричними сверлами діаметром 7 мм із швидкорізальної сталі марок Р6М5 і Р6М5К5. За критерій затуплення свердел (геометричні параметри - $2\varphi=120^\circ$, $\omega = 30^\circ$, $\psi = 55^\circ$) приймали знос по задній поверхні 0,4 мм після свердління отворів певної довжини і інтенсивність зносу. Режими різання при свердлінні: V=0,13 м/с, S=0,11 мм/об. Величину зносу на задній поверхні вимірювали на інструментальному мікроскопі МШ-2. Рідину при проведенні досліджень подавали вільним поливом зверху.

Проводили порівняльні випробування стандартної емульсії ЕТ-2 і полімервмісної ЗОР.

Дослідження впливу змащувально-охолоджувальної рідини на оброблюваність високоміцного чавуну з кулястим графітом

ЗОР з вмістом полімерів не вміщує масла і є екологічно безпечною рідиною. Крім того, полімервмісні ЗОР відрізняються меншою собівартістю, і, як наслідок, знаходяться в більш низькій ціновій категорії в порівнянні з масловмісними аналогами.

Процес механічної обробки ВЧКГ супроводжується значним тепловиділенням і силами різання. Полімери, що входять до складу ЗОР, адсорбуються на металі під дією високої температури і механічних напружень, піддаються механодеструкції і термодеструкції, при цьому утворюються високоактивні осколки макромолекул, які мають високу хімічну активність і здатні хімічно взаємодіяти з оброблюваним металом, знижуючи рівень вільної поверхневої енергії, полегшуючи процеси його деформації і руйнування [3, 4]. Тобто із всіх функцій найважливішою для полімервмісної ЗОР є диспергуюча, що пов'язана з проявою ефекта Ребіндера.

Операція свердління є однією з найбільш показових при оцінюванні ефективності дії ЗОР: для неї характерні несприятливі геометричні параметри різального клина, значні питомі тиски на різальному і поперечному лезі, утруднений відвід стружки із зони різання. З іншого боку свердління характеризується дуже сприятливою для прояви ефекту Ребіндера сукупністю умов: високими локальними напруженнями при складному напруженому стані, значними швидкостями деформації, багатократністю впливу, надійним змочуванням активним середовищем з ювенільною поверхнею.

При обробці ВЧКГ свердло в основному зношується по задній поверхні і біля перемич-

ки (рис. 1).

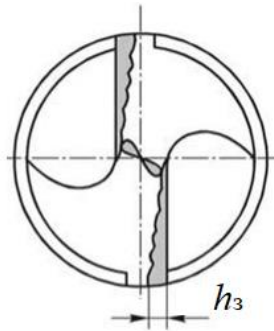


Рисунок 1 – Знос свердла із швидкорізальної сталі при обробці ВЧКГ

Ефективність використання полімервмісної ЗОР при свердлінні ВЧКГ свердлами із швидкорізальної сталі підтверджується результатами експериментальних досліджень на рис. 2 і в табл. 1.

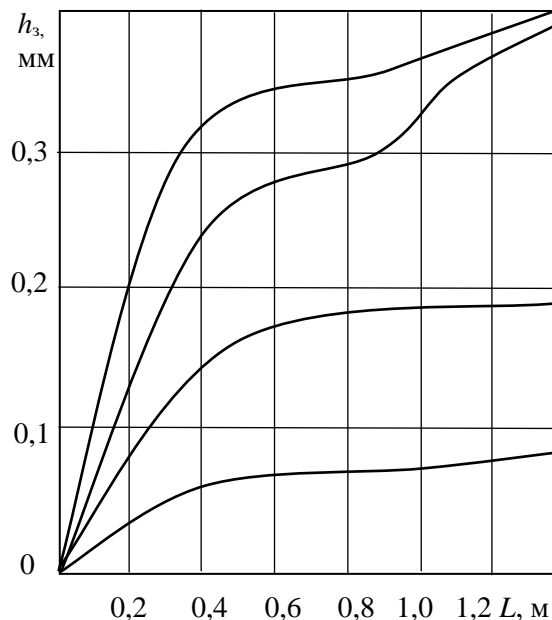


Рисунок 2 – Залежність зносу свердел по задній поверхні h_z від шляху різання L при свердлінні ВЧКГ в різних середовищах

Дані, що наведені на рис. 2 і в табл. 2 кількісно характеризують ефективність дії різних ЗОР. Так при обробці отворів свердлами із сталі Р6М5 і Р6М5К5 спостерігається зниження інтенсивності зносу інструмента у порівнянні із свердлінням в середовищі промислової емульсії ЕТ-2 в аналогічних умовах в 1,7 і 8,8 раза відповідно.

Висока ефективність полімервмісної ЗОР при свердлінні пояснюється зниженням сили різання, ступеня деформації стружки (усадки стружки), зменшенням температури різання, зниженням коефіцієнту тертя [3]. В літературі наведені дані, що полімервмісне середовище не тільки полегшує процес різання, але й сприяє дифузійному насиченню поверхневих шарів різального інструменту вуглецем, що є одним з факторів, який визначає високу зносостійкість інструменту. Також на процес дифузійного зміцнення інструменту згідно останнім літературним джерелам [3, 5] впливають продукти деструкції полімерного середовища.

Таблиця 1 – Ефективність дії ЗОР

Матеріал свердел	Вид ЗОР	Інтенсивність зносу за задню поверхню, мкм/м
P6M5	Емульсія	143
P6M5	ПВП	84
P6M5K5	Емульсія	110
P6M5K5	ПВП	12,5

Таким чином, отримані результати дозволяють зробити висновок, що використання полімервмісної ЗОР забезпечує покращення оброблюваності при роботі різального інструменту в складних умовах у порівнянні з іншими видами ЗОР. Більша ефективність використання полімервмісної ЗОР спостерігається при обробці свердлом із сталі підвищеної продуктивності з кобальтом P6M5K5. Сталь P6M5K5 має більш високу зносостійкість, твердість, теплостійкість.

Висновки

1. Високоміцні чавуни відрізняються значною міцністю і твердістю, неоднорідністю структури, що призводить до зниження оброблюваності.
2. Введення в зону різання полімервмісної ЗОР призводить до значного зниження інтенсивності зносу за задню поверхню інструмента.
3. Більша ефективність процесу механічної обробки з використанням полімервмісної ЗОР спостерігається при свердлінні інструментом із сталі P6M5K5.

Література

1. Беляков А.И. Применение чугуна с шаровидным графитом. А. И. Беляков, А.А. Беляков, А.А. Жуков. Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – №11. – С. 3-10.
2. Смазочно-охлаждающие технологические средства в механической обработке металлов. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Сошко А. И., Сошко В. А. – Херсон: Олди-плюс, 2008. – 390 с.
3. Устрехова О.А. Активизация процессов механической обработки металлов в результате действия полимерсодержащих сред: дис... канд. техн. наук: 05.03.01 – Львов, 1981. – 127 с.
4. Шаповал Й.М., Кочубей В.В., Суберляк О.В. Термічна стійкість та технологічні властивості полімервмісних мастильно-охолоджувальних рідин. Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2013. – №761. – С.58 – 64.
5. Кисель А. Г. Повышение эффективности токарной обработки нежестких заготовок : дис... канд. техн. наук: 05.02.07 – Омск, 2018. – 175 с.

СТОРИТЕЛЛІНГ У НАВЧАННІ ІНОЗЕМНИХ МОВ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Саснко Н.В., д.п.н., проф., ХНАДУ

Анотація. Розкрито можливості використання методу сторітеллінгу у процесі викладання іноземних мов студентам технічних ЗВО. Зазначено потенціал цифрового сторітеллінгу, який може бути використаний як в очному, так і в дистанційному навчанні іноземних мов.

Ключові слова: сторітеллінг, іноземна мова, технічний університет.

СТРИТЕЛЛИНГ В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Саенко Н.В., д.п.н., проф., ХНАДУ

Аннотация. Раскрыты возможности использования метода сторителлинга в процессе преподавания иностранных языков студентам технических вузов. Обозначен потенциал цифрового сторителлинга, который может быть использован как в очном, так и в дистанционном обучении иностранным языкам.

Ключевые слова: сторителлинг, иностранный язык, технический университет.

STORYTELLING IN TEACHING FOREIGN LANGUAGES TO TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS

Saienko N.V., D.Sc., Professor, KhNAHU

Abstract. The possibilities of using the method of storytelling in the course of teaching foreign languages to technical university students are revealed. The potential of the digital storytelling, which can be used in both classroom and distance education, is determined.

Key words: storytelling, foreign language, technical university.

Вступ

Термін «сторітеллінг» прийшов до нас з англійської мови і в перекладі означає «розповідання історії», мистецтво захоплюючої розповіді.

Сторітеллінг – це педагогічна технологія, побудована на використанні історій-наративів з певною структурою і героєм, спрямована на вирішення педагогічних завдань навчання, наставництва, духовно-морального розвитку тих, хто навчається.

Сторітеллінг добре зарекомендував себе в області управління персоналом, в менеджменті, він активно застосовується в бізнесі, PR, маркетингу, психології, журналістиці. Цей метод був запропонований Девідом Армстронгом, главою міжнародної компанії, який збирав і розповідав співробітникам найбільш яскраві історії з життя компанії. Згідно з психологічними факторами, якими керувався Армстронг, якщо інформація є цікавою і захоплюючою, вона знаходить більший відгук у людей і легше запам'ятовується [1].

Техніка сторітеллінгу активно використовується і в освіті. У вищій освіті цей метод допомагає вирішувати такі проблеми, як інформаційна перевантаженість студентів і слабка реалізація виховних цілей у навчально-виховному процесі [2]. В умовах ЗВО педагогічний сторітеллінг може бути використаний при викладанні дисциплін як гуманітарного, так і природничо-наукового і спеціального циклів. Так, досвідчений лектор уміє привернути увагу аудиторії, розповівши доречну історію, яка ілюструє матеріал, що викладається, використовуючи, таким чином, дидактичний потенціал сторітеллінгу.

Цей метод знаходить все більш широке застосування у викладанні іноземної мови (ІМ). Він може бути використаний для вирішення таких завдань, як передача інформації, підвищення

мотивації студентів, розвиток інформаційно-комунікаційних компетенцій, виховання моральних якостей.

Аналіз публікацій

Сторітеллінг визначається як «комунікативна тактика, що має певний ціннісно забарвлений кінцевий результат» [3]. Завданням сторітеллінгу є донесення повчальної інформації до слухача (читача) у вигляді розповіді, історії, притчі, байки тощо, яка має викликати емоційний відгук і сприяти збагаченню життєвого досвіду студентів.

Поділяємо точку зору деяких авторів [4] про те, що викладачі ІМ стикаються з труднощами навчання студентів говорінню, діалогічного і монологічного мовлення внаслідок їх недостатнього лексичного запасу, низької мотивації, обмеженого кругозору, недостатньої культури спілкування. Молоді люди мало читають, віддаючи перевагу Інтернету замість книг, а спілкуванню в реальному житті – віртуальній комунікації. Тому сторітеллінг розглядаємо як технологію зі значним потенціалом розвитку як комунікативної компетенції, так і особистості студентів, а також підвищення ефективності навчання ІМ.

Психологи, які вивчають людську свідомість (Дж. Брунер, Т. Сарбін), висунули теорію, згідно з якою існує два типи мислення: нарративний і логіконауковий. Кожен тип має власні способи перевірки інформації. Як стверджує Дж. Брунер: «І хороша історія, і добре сформульовані логічні вирази є природними типами міркування, обидва можуть бути використані для переконання. Однак те, в чому вони переконують, має фундаментальні відмінності: логічні аргументи переконують в істинності, а історії – в їхній життєвій правдоподібності» [5, 11]. Крім того, нарративи «дозволяють осмислювати вчинки, інтегрувати події життя в єдине ціле» [6, 4].

Педагогічний сторітеллінг застосовується при активному використанні мультимедійних технологій, а значить, може однаково ефективно використовуватися як в очному, так і в дистанційному форматі навчання. Цифровий сторітеллінг – це такий формат, в якому розповідання історії доповнюється візуальним рядом (відео, скрайбінг, майнд-МЕП, інфографіка). Цифровий сторітеллінг має низку переваг, оскільки дозволяє: зробити пояснення більш переконливим і наочним; оперативно ділитися цифровими історіями із студентами та колегами; індивідуалізувати навчання; змодельовати різні ситуації, процеси і явища без особливих фінансових і часових витрат; підвищити залученість студентів у процес навчання; зберегти структуру і основні елементи традиційного сторітеллінгу, при цьому дає можливість істотно розширити формат подачі інформації [7].

Мета та постановка завдання

Мета статті – розкрити можливості використання сторітеллінгу в онлайн і оффлайн форматах у процесі навчання іноземної мови в технічному ЗВО; проаналізувати наявні підходи до використання методу сторітеллінгу у навчальному процесі; визначити сучасний інструментарій, що використовується для реалізації методу в онлайн і оффлайн форматах.

Особливості використання сторітеллінгу при навчанні іноземної мови в технічному ЗВО

В іншомовній підготовці сторітеллінг сприяє збагаченню словникового запасу студентів і освоєнню нових мовних структур. Крім того, розповідання історій забезпечує студентів актуальними темами для роздумів і обговорень.

Використання сторітеллінгу під час занять з іноземної мови зі студентами технічних університетів робить процес вивчення мови жвавим, цікавим, урізноманітнює професійно зорієнтовану програму навчання, спонукає студентів обговорювати різні етичні теми, розвиває емпатію та емоційний інтелект.

Викладач має володіти низкою певних компетенцій, щоб забезпечити успішну реалізацію підходу, заснованому на розповідях. На думку Дж. Елліса і Дж. Брюстера, деякі люди є природженими оповідачами. Більшість з нас – ні, але всі ми можемо стати хорошими оповідачами завдяки тренуванню і практиці, а також використовуючи набір методів, які допоможуть «оживити» історію [8].

Найчастіше в коротких оповіданнях, що зазвичай використовуються в освітніх і виховних цілях, немає занадто складного сюжету або глибокого психологічного аналізу, але вони створюють нові світи, досліджують інші точки зору і містять детальне дослідження мови і метафізики, а також передбачають духовне проникнення в суть того, що відбувається [9].

Серед причин, за якими викладачі іноземних мов використовують метод сторітеллінгу, можна назвати такі: розповіді мотивують, вони цікаві і приносять задоволення, отже, допомагають розвинути позитивне ставлення до вивчення іноземної мови; спільне прослуховування історій – це набуття загального соціального досвіду, оскільки сюжет історій викликає загальну реакцію сміху, печалі, хвилювання і очікування, сприяючи емоційному розвитку молодшої людини; прослуховування розповідей дозволяє викладачеві вводити нову лексику і граматичні структури, знайомити студентів з мовою в різноманітних яскравих контекстах, що збагачує їх мислення і поступово стає їх власною мовною практикою; в оповіданнях зачіпаються універсальні теми, які виходять за межі «утилітарного» рівня навчальних діалогів і повсякденних проблем [10, 175].

При навчанні мовам сторітеллінг містить два елементи – вибір історії та її пред'явлення. Розберемо ці два елементи на прикладі вивчення англійської мови.

Автори [8] стверджують, що автентичні оповідання є прикладами «реальної» мови і допомагають перенести в аудиторію реальний світ. Дуже часто адаптовані історії є «розбавленою» версією іноземної мови і можуть ввести в оману студентів щодо істинної природи мови.

При виборі історій необхідно враховувати такі моменти: тема, ціннісний зміст, жанрові і літературні прийоми, обсяг лексики та стилістичні особливості, різноманітність культур, місць події тощо.

Викладачі можуть вибирати матеріал з різноманіття вже існуючої літератури: розповіді, які студенти читали рідною мовою, наприклад притчі; казки; сучасні перекази казок з гумористичним підтекстом; ілюстровані розповіді без тексту (на їх основі студенти самі створюють розповідь); гумористичні замальовки, побутові історії; фантастичні розповіді; розповіді про тварин; історії з власного життєвого досвіду студентів тощо. Також викладачі можуть допомагати студентам складати власні розповіді.

Слід підбирати оповідання на цікаву для студентів тему, з добре опрацьованим послідовним сюжетом, зрозумілим стилем викладу, стандартизованими характеристиками, драматичною привабливістю, сильним емоційним змістом. Необхідно уникати історій з довгими поясненнями або описами, а також літературними прийомами, які порушують хід розповіді.

Методисти з досвідом роботи з цією технологією радять підбирати розповіді-наративи з урахуванням таких вимог [11].

Контент повинен бути цікавий і корисний слухачеві. Якісний контент і презентабельне візуальне оформлення дадуть у сумі захоплюючий матеріал, що надовго запам'ятовується.

Яскравий герой, з яким аудиторія може себе асоціювати – це рушійна сила будь-якої історії. Якщо в ході сюжету виникне емпатія, емоційний зв'язок із персонажем, тоді його досвід буде автоматично засвоєний аудиторією.

Все більшої популярності набуває візуальний сторітеллінг. Саме візуальний фон допомагає надати атмосфері в історії більшої позитивної динаміки, ефектно розкрити тему, надати додаткової жвавості і залучити слухача до подій оповідання. Слід заздалегідь продумати, які елементи графічного контенту могли б допомогти певній історії розкритися, наприклад, фотографії, презентація, ілюстрації, інфографіка тощо.

Доцільною є присутність у сторітеллінгу елементів драматургії. Взаємодію з персонажем потрібно будувати навколо конфліктної ситуації, а історія повинна розвиватися за певною логікою, зашифрованою в аббревіатурі ЕЗРКР (експозиція, зав'язка, розвиток, кульмінація, розв'язка).

Справжня історія повинна бути насичена реальним життям, деталями і емоціями, які вплинуть на студентів і викличуть співпереживання, співчуття, радість, гнів, подив, роздратування, сміх, злість, сумнів, упевненість тощо. Історія без логічного висновку не має ефекту, а саме заради нього і ведеться розповідь. Успіх застосування методу сторітеллінгу також багато в чому залежить від того, наскільки підібрана розповідь відповідає лінгвістичному і загальнокультурному рівню тих, хто навчається. Самі викладачі краще за всіх знають, які історії найбільш підходять їх студентам.

У структуру техніки сторітеллінгу входять такі основні елементи.

Вступ, як правило, короткий, ставить питання або визначає проблему, яку необхідно вирішити. Розвиток події дає можливість ґрунтовніше осягнути проблему або конфлікт, про який розповідається у вступі. Кульмінація є розв'язанням поставленої проблеми. Висновок має бути коротким і підсумовувати мораль як у байці одним реченням [12].

Етап пред'явлення складається із слухання (читання) історії і виконання заздалегідь зроблених передтекстових і післятекстових завдань з їх логічною інтеграцією в хід заняття.

Ми використовували наступні техніки роботи з текстами, як реалізуючи ідеї, запропоновані методистами з досвідом роботи з цим жанром [13], так і власні напрацювання.

Викладач розповідав (читав) історію, притчу, оповідання всьому класу. Він використовував жести, емоції, залучав студентів до ходу сюжету, ставив питання, разом зі студентами передбачав, що буде далі.

У реченнях із розповіді забиралася кінцівка, яку студенти повинні були відновити.

Також можуть бути використані різні техніки для організації аудіювання. Після прослуховування студентам можна запропонувати продемонструвати розуміння шляхом порівняння, розрізнення, прогнозування, визначення послідовності, класифікації, передачі інформації і т. ін.

На думку М. Дуймович [14], питання на розуміння тексту слід ставити з обережністю. Якщо після розповіді на студентів відразу ж «обрушується» шквал запитань на контроль розуміння, художня цінність розповіді може загубитися. Є й інші, більш творчі способи використання питань: питання з множинним вибором або питання, на які необхідно відповісти шляхом власних умовиводів.

На заключних етапах роботи з історією радимо використовувати елементи драматургії. Як правило, розповіді легко піддаються інсценізації, пантомімі або організації рольової гри. Студенти розповідають підготовлені діалоги з оповідань, або придумують їх самі.

Кожен викладач може скласти власну добірку оповідань для різних цілей і різних рівнів володіння мовою. Студентам транспортного ЗВО можна розповісти, наприклад, такі історії, пов'язані з історією автомобілебудування:

1) While inventors like Diesel were developing engines in a careful scientific way, a hapless American called Charles Goodyear (1800–1860) found the secret of making car tires completely by accident. After learning about [rubber](#), he convinced himself he could make his fortune by turning it into useful objects like waterproof shoes. All attempts ended in disaster and his life became a catalog of misery and misfortune. His shoes melted in the summer heat, six of his 12 children died in infancy, and his family had to live in grinding poverty eating fish from the river. But Goodyear was determined. When debts landed him in jail, he carried on inventing in his cell. He finally made his big breakthrough when he accidentally dropped a piece of rubber on a hot stove. It cooked and shriveled into a hard black mass that Goodyear immediately spotted as the thing he'd wanted all along. This is how he developed the tough black rubber we use in tires today by a cooking process now known as vulcanization.

2) Mercedes-Benz, a marque known all around the world for its luxurious cars also has an interesting story behind its name and logo. Part of the name came from the daughter of Emil Jellinek, Daimler's partner. The other came from Karl Benz, the man responsible with making the first car. When the two came together in 1926, Mercedes-Benz was born. The famous three pointed star comes from a postcard sent by Gottlieb Daimler to his wife and which said that he was living in a three pointed star and that «one day this star will shine over our triumphant factories». The three points are meant to signify land, sea and air and was first seen on a car in 1910.

В літературі, що вивчає зміни в медіапросторі, які відбуваються під впливом інформаційно-комунікаційних технологій, досліджується ще одне нове явище – «трансмедійне оповідання», або «трансмедійний сторітеллінг». Трансмедійний сторітеллінг визначають як «конвергований текст, що об'єднує вербальні, візуальні і аудіальні компоненти, які створено на одній або декількох медійних платформах. Така синкретична єдність характеризується цілісністю, цілеспрямованістю і прагматичною установкою» [15]. Трансмедійний сторітеллінг використовується в мистецтві, політиці, рекламі, накопичується досвід використання трансмедійного сторітеллінгу в навчальних цілях.

Для створення історій можна використовувати такі онлайн інструменти: Voicethread (аудіозапис історії); Befunky (створення колажів), серії картинок; Superlame (створення хмар з текстом); Wordcloud (створення хмар зі словами); Zimmertwins (створення анімаційної історії); Toondoo (створення коміксів); Storybird (створення історії у вигляді книги); Slidestory (накла-

дення звуку на картинку) [13].

Висновки

Найважливіші переваги методу сторітеллінгу можна резюмувати таким чином: розповіді мотивують і захоплюють, вони допомагають розвинути позитивне ставлення до вивчення іноземної мови; прослуховування історій – це придбання загального соціального досвіду і розвиток емоційного інтелекту; сторітеллінг дозволяє викладачеві знайомити студентів із новою лексикою і граматичними структурами, студенти опановують мову в різноманітних і цікавих контекстах, що добре запам'ятовуються, які збагачують їх мислення і поступово входять в їх мовну практику.

Сучасним втіленням цього методу є цифровий сторітеллінг, який спонукає творчо мислити, працювати з інформацією з використанням цифрових технологій, працювати у команді, створювати проектні роботи.

Література

1. Хабурзания Э. Сторителлинг как инструмент PR. URL: prclub.com/2010_06/prlib/26.doc (дата звернення: 14.09.2020).
2. Ермолаева Ж. Е., Лапухова О. В. Сторителлинг как педагогическая техника конструирования учебных задач в вузе. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2016. № 6. URL: <http://e-kon-sept.ru/2016/16132.htm> (дата звернення: 07.09.2020).
3. Грушевская В. Ю. Применение метода цифрового сторителлинга в проектной деятельности учащихся. *Педагогическое образование в России*. 2017. № 6. С. 38–44.
4. Дьяконова О. О. Понятие «эджютейнмент» в зарубежной и отечественной педагогике. *Сибирский педагогический журнал*. 2012. № 6. С. 182–185.
5. Брунер Д. Жизнь как нарратив. *Постнеклассическая психология*. 2005. № 1 (2). С. 9–29.
6. Кутковая Е. С. Нарратив в исследовании идентичности. *Национальный психологический журнал*. 2014. № 4 (16). С. 23–33.
7. Ермолаева Ж. Е., Лапухова О. В., Герасимова И. Н., Смирнова В. А. Сторителлинг как педагогическая техника передачи явного и неявного знания в вузе. *Образовательные технологии*. 2017. № 1. С. 73–90.
8. Ellis G., Brewster J. *The Storytelling Handbook for Primary Teachers*. London: Penguin. 157 p.
9. Russel L. D. *Literature for Children*. London: Pearson. 2005. 361 p.
10. Ghosn I. *Storybridge to Second Language Literacy*. Charlotte, NC: Information Age Publishing. 2013. p. 128–142.
11. Демищенко Е. Как использовать силу историй на вебинарах? URL: <https://etutorium.ru/blog/kak-ispolzovat-silu-istorij-na-vebinarakh> (дата звернення: 05.09.2020).
12. Федорова С. В., Барчева А. А. Использование техники сторителлинг в работе с детьми дошкольного возраста. *Молодой ученый*. 2017. № 16 (150). С. 515–518.
13. Цедрик М. Storytelling: техники и приемы на уроке. URL: <https://skyteach.ru/2018/08/10/storytelling-tehniki-i-priemy-na-uroke/> (дата звернення: 05.09.2020).
14. Dujmović M. Storytelling as a Method of EFL Teaching. *Vol. 1. No. 1, 2006*. Str. 75–87.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИКЛАДАННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ЯК ІНОЗЕМНОЇ У ТЕХНІЧНИХ ЗВО ТА ЇХ ЗАПРОВАДЖЕННЯ У ХНАДУ

Гріччина А.В., старший викладач, ХНАДУ

Анотація. У статті розглянуто основні сучасні підходи до викладання іноземної мови студентам технічних спеціальностей, проаналізовано їх запровадження у новому навчальному посібнику з англійської мови *English for Welding Engineers*, призначеному для студентів технічного ЗВО спеціальності «Матеріалознавство», описано структуру та основні характеристики посібника.

Ключові слова: викладання іноземної мови, студенти технічних спеціальностей, іншомовна компетенція, комунікативний підхід, міждисциплінарний підхід, навчальний посібник.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРЕПОДАВАНИЯ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА КАК ИНОСТРАННОГО В ВУЗАХ И ИХ ВНЕДРЕНИЕ В ХНАДУ

Гриччина А.В., старший преподаватель, ХНАДУ

Аннотация. В статье рассмотрены основные современные подходы к преподаванию иностранного языка студентам технических специальностей, проанализировано их внедрение в новом учебном пособии по английскому языку *English for Welding Engineers*, предназначенном для студентов технического вуза специальности «Материаловедение», описана структура и основные характеристики пособия.

Ключевые слова: преподавание иностранного языка, студенты технических специальностей, иноязычная компетенция, коммуникативный подход, междисциплинарный подход, учебное пособие.

MODERN METHODS OF TEACHING ENGLISH AS A FOREIGN LANGUAGE TO ENGINEERING STUDENTS AND THEIR IMPLEMENTATION IN KHNAHU

Hrichchina A.V., Senior Lecture, KhNAHU

Abstract. The goal of the present paper is to study modern approaches to teaching a foreign language to engineering students and their implementation in teaching students majoring in "Materials Science" of the Mechanical Faculty of Kharkiv National Automobile and Highway University. A new textbook "English for Welding Engineers" has been presented, its structure and main peculiarities have been described

Key words: foreign language teaching, engineering students, foreign language competence, communicative approach, interdisciplinary approach, textbook.

Вступ

У зв'язку з динамічними змінами в суспільстві, що стали наслідком глобалізаційних процесів в усіх сферах життєдіяльності людини, з появою інноваційних технологій іноземна мова набула дуже важливого значення.

Відомо, що більшість студентів немовних спеціальностей під час навчання у вищому навчальному закладі обирають для вивчення саме англійську мову, адже вона є мовою міжнародного професійного спілкування. До того ж, вільне володіння англійською мовою відкриває нові можливості та перспективи для студентів немовних спеціальностей, адже надає їм можливість брати участь у програмах обміну, накопичувати знання з майбутньої спеціальності, ознайомлюватися з передовими технологіями та розширювати власний світогляд [1].

Саме тому викладачі кафедри іноземних мов ХНАДУ постійно підвищують свою кваліфікацію, опановують найновітніші методи та прийоми навчання, підбирають, а також самостійно створюють навчальні комплекси та посібники, які відповідають всім сучасним вимогам до

формування іншомовної компетенції студентів.

Аналіз публікацій

Проблемі навчання іноземній мові студентів немовних спеціальностей присвячено багато робіт вітчизняних та зарубіжних науковців: Н.Аристової, Г.Барабанової, Й.Берман, І.Бим, О.Єфімової, І.Зимньої, Г.Китайгородської, О.Комарової, О.Леонтєва, М.Ляховицького, І.Нещадим, Є.Пасова, Ф.Рожкової, Н.Саєнко, Т.Тихонової, І.Удовенко, Є.Шубіна, Н.Яременко та ін.

Подальше дослідження цієї проблеми сучасними мовознавцями та методистами пояснюється зростаючою роллю іноземної мови в професійній діяльності фахівців.

Мета і постановка завдання

Мета статті – проаналізувати сучасні підходи до викладання іноземної мови студентам технічних спеціальностей та їх реалізацію у навчанні студентів спеціальності «Матеріалознавство» механічного факультету ХНАДУ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: виокремити основні новітні підходи до викладання іноземних мов у технічних ЗВО, визначити їх роль у складанні нового навчального посібника з англійської мови, створеного викладачами ХНАДУ, описати структуру та основні характеристики посібника.

Сучасні аспекти викладання іноземної мови студентам технічних спеціальностей

Відомо, що для успішного викладання іноземної мови студентам немовних спеціальностей необхідна така організація навчання, де системно-структурний принцип викладання граматики буде поєднуватися з комунікативним підходом [2].

Системно-структурний принцип передбачає складання граматичного мінімуму шляхом відбору частотних в підмові спеціальності граматичних конструкцій, розробку оптимальних засобів їх презентації та засвоєння. У цьому випадку ми маємо справу, в основному, зі стилями: науково-функціональним, діловим і загальноповсякденним. Під час навчання читання та письма увага повинна приділятися стилям наукового і ділового спілкування. Для наукового стилю характерні логічність і точність викладу інформації. Характерні для цього стилю властивості досягаються особливими лексико-граматичними засобами. Під час читання оригінальної спеціальної літератури велику допомогу у її розумінні може надати граматичний аналіз. Якщо студент опанує засоби граматичного аналізу, у нього з'явиться можливість вільно орієнтуватися в структурі будь-якого речення.

Окрему увагу слід приділяти особливостям спеціальних текстів та процесу їх відбору. Вони є одним з основних засобів вивчення мови.

При вивченні мови спеціальності тексти є початковою базою систематичного аналізу лексичних, фразеологічних і синтаксичних явищ. Тексти повинні відповідати низці вимог: пізнавальної та комунікативної цінності, інформативності, прагматичної значущості для студентів інформації, що міститься в текстах, їх вмотивованості, тематичної співвіднесеності, наявності країнознавчого та кроскультурного компонентів, визначеної композиційної побудови, а також потенційної можливості забезпечувати в умовах немовного ЗВО розвиток соціальних і професійних якостей майбутніх фахівців і створювати базу для продукування і розуміння конкретних жанрів усних і письмових висловлювань, актуальних для професіоналів певного профілю. Вони повинні також забезпечити студентів частотним лексико-граматичним матеріалом, в тому числі що належить до конкретної спеціальності [3].

Комунікативний підхід до формування змісту навчання має виявлятися у підборі матеріалу, що містить в собі лексичні одиниці, відповідні професійному спрямуванню. У комунікативно-орієнтованому навчанні першорядне значення надається розумінню сенсу почутого, здатності передати основний зміст, входити в мовний контакт з партнером по комунікації, а засвоєння структури мови і лексичного запасу повинні служити саме цим цілям. Відповідно, відібраний мовний матеріал повинен бути об'єднаний за тематичним принципом, відображаючи основні поняття профільюючих предметів, а також містити засоби вираження типових комуніка-

тивних намірів, об'єднаних за комунікативними ознаками і необхідних для спілкування в тій чи іншій професійній сфері. В якості опори для комунікації пропонується використовувати певні ситуації спілкування, що відображають такі необхідні для оволодіння комунікативною компетенцією компоненти, як тема і мети спілкування, вказівки на статус співрозмовника, соціальне середовище, час і місце спілкування та ін.

Завдяки правильно обраному балансу між структурним і комунікативним підходами, а також точно підбраному матеріалу навчання, випускники немовних спеціальностей оволодіють комплексною комунікативною компетенцією, яка, на думку багатьох як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників являє собою певну цілісність, що включає в себе такі види компетенції, як лінгвістична, соціолінгвістична, дискурсивна, стратегічна, соціокультурна і соціальна.

Ще однією важливою рисою сучасної методики викладання іноземної мови у технічних ЗВО є міждисциплінарний підхід. В наш час застосування цього підходу у викладанні англійської мови професійного спрямування майбутнім інженерам розглядається як частина загальної проблеми підвищення рівня професійної, світоглядної, комунікативної та міжкультурної компетентності випускників ЗВО.

Сучасні дослідники розглядають поняття міждисциплінарності як найбільш поширений метод реалізації комплексного навчання. Дж. Бін, розглядаючи питання міждисциплінарної інтеграції, зазначає, що базою для ефективної інтеграції виступає навчальна програма дисципліни, яка спільно розроблена учасниками навчального процесу з урахуванням важливих питань. На його думку, основними компонентами, які забезпечують ефективні міждисциплінарні зв'язки в рамках початкової програми є: інтеграція досвіду; соціальна інтеграція; інтеграція знань [4].

Сьогодні методисти розглядають міжпредметні зв'язки як ефективний інструмент для задоволення потреб студентів. Причому особлива увага приділяється використанню методичних прийомів для формування умінь, розвитку навичок в межах одразу декількох дисциплін, що дозволяє отримати нові знання.

Поєднання зусиль викладачів технічних дисциплін та англійської мови професійного спрямування допоможуть організувати ефективне засвоєння однієї дисципліни за рахунок іншої. Такий вид міждисциплінарних зв'язків відрізняється тим, що дисципліни виступають доповненням одна до одної, а не просто вивчають одну тему чи розділ одночасно. Так, в технічних дисциплінах англійська мова може доповнювати курс матеріалами зарубіжних дослідників мовою оригіналу (у адаптованому та неадаптованому вигляді), що уможливорює залучення його до лекцій та практикумів курсу фахової підготовки, студенти отримують можливість спілкування в межах своєї спеціальності з зарубіжними однодумцями та дослідниками. З іншого боку, до курсу англійської мови залучаються матеріали технічної дисципліни, які, враховуючи значний процент запозичень в технічній літературі, полегшують розуміння понять рідною мовою. Крім того, використання англомовних професійних матеріалів знайомить студентів з особливостями наукового дискурсу та технічного перекладу.

Основним завданням організації навчання з урахуванням міждисциплінарних зв'язків стало створення такого освітнього середовища, в якому б студенти змогли за рахунок ефективного використання змістово-інформаційних та організаційно-методичних складових курсу отримати необхідні знання одразу в межах двох дисциплін. Відтак, постає необхідність у створенні такої моделі міждисциплінарного навчання, в якій забезпечується: узгоджене у часі вивчення дисциплін; неперервність і наступність у розвитку понять; єдність в інтерпретації понять; систематизація та узагальнення знань однієї дисципліни за рахунок іншої; планування з урахуванням мети, завдань та вимог обох дисциплін [5].

Таким чином, у сучасних реаліях розвитку вищої технічної освіти провідними методами навчання іноземній мові студентів немовних спеціальностей слід визнати системно-структурний принцип викладання у поєднанні з комунікативним підходом, а також міждисциплінарний підхід.

Реалізація сучасних підходів до викладання іноземної мови у ХНАДУ

Отже, актуальність проблеми професійно-орієнтованих технологій навчання іноземних мов у системі вищої технічної освіти не викликає сумніву. З огляду на нагальну потребу студентів ЗВО у сучасних навчальних матеріалах, які б сприяли підвищенню рівня володіння англій-

ською мовою і, водночас, знайомили їх з різними аспектами майбутньої спеціальності, на кафедрі іноземних мов Харківського національного автомобільно-дорожнього університету авторським колективом у складі старших викладачів А. В. Гріччиної та О. О. Чевичелової було створено новий навчальний посібник з англійської мови English for Welding Engineers, призначений для студентів-бакалаврів технічного ЗВО спеціальності 132 «Матеріалознавство». Він є підсумком плідної співпраці кафедри іноземних мов із профілюючою випусковою кафедрою технології металів та матеріалознавства ХНАДУ.

Концепція підручника ґрунтується на комунікативній методиці і сприяє розвитку мовної компетенції, посилюючи внутрішню мотивацію та інтерес студентів до вивчення англійської мови.

Навчальний посібник English for Welding Engineers складається з основної частини, що містить 20 розділів, які відбивають основні теми курсу та забезпечують професійну спрямованість вивчення англійської мови. Посібник містить також комплексний тест, що виконує завдання остаточної перевірки засвоєння спеціальної лексики та підготовки до спілкування іноземною мовою за фахом. Довідковий матеріал, представлений в кінці посібника, включає термінологічну лексику, подану в алфавітному порядку.

Така структура посібника базується на методичних засадах сучасного навчання іноземних мов, яке передбачає оволодіння студентами іншомовним професійним спілкуванням шляхом формування і розвитку міжкультурної комунікативної компетенції.

Основними джерелами посібника є автентичні текстові матеріали, присвячені сучасним технологіям зварювання, їх видам та методикам проведення, типам та якості зварних з'єднань та техніці безпеки під час проведення зварювальних робіт. Деякі тексти пройшли мінімальну адаптацію з метою усунення певних граматичних та стилістичних труднощів.

У підручнику ми розмістили лише автентичні фахові тексти професійних англійських (друкованих та електронних) видань. Робота з такими матеріалами сприяє розвитку навичок сприйняття професійного англійського усного та письмового мовлення, а також серйозно поглиблює суто фахову підготовку студентів. Основними критеріями підбору автентичних текстових матеріалів підручника стали інформативність та актуальність професійно-спрямованих тем, пізнавальність та науковість змісту, а також моделі для розвитку діалогічного та монологічного мовлення. Щоб полегшити цей процес, ми розробили наступну структуру уроку: зняття граматичних труднощів, введення та закріплення лексичного матеріалу. Після читання тексту студенти виконують ряд репродуктивних вправ, спрямованих на закріплення термінів, та вправ на уточнення розуміння тексту. Наступна група завдань спрямована на розвиток фахового монологічного та діалогічного мовлення. Студентам пропонують виконати ряд вправ на основі прочитаного тексту: дати відповіді на поставлені питання, самим ставити питання англійською мовою, розширити тезу, скласти план для переказу, виписати ключові слова, переказати текст згідно з планом. У граматичній частині звертається увага на явища та конструкції, поширені в науковому функціональному стилі, а саме: пасивний стан дієслів, «безособові» форми дієслова (інфінітив, герундій, дієприкметник) та конструкції з ними, іменникові словосполучення (ланцюжок означень) тощо.

Опрацювання текстів посібника сприяє подальшому поглибленню професійної компетенції студентів у сфері матеріалознавства та технології обробки металів. Акцент робиться на забезпеченні оптимального функціонування понять даних термінологічних систем, яке набуває великого значення в сучасних умовах широкого міжнародного співробітництва.

Післятекстові вправи акцентують увагу студентів на терміносистемі їх фаху, а також навчають їх узагальнювати інформацію текстів та передавати її у формі анотації чи реферату (розвиток навичок письма) або презентувати її усно (розвиток навичок монологічного та діалогічного мовлення).

При роботі з текстом дуже важливо навчити студентів повною мірою та точно розуміти інформацію, що є в тексті, виокремлювати головну чи додаткову інформацію. Як показує досвід роботи в технічному ЗВО, для реалізації таких цілей ефективним є використання автентичних текстів інженерного профілю. Студенти охоче працюють із такими текстами й, оскільки проблеми текстів актуальні та зрозумілі для них як для майбутніх фахівців, можуть виділяти з тексту та узагальнювати потрібну інформацію, співвідносити окремі смислові частини тексту, робити висновки на основі отриманої інформації, оцінювати зміст прочитаного, інтерпретувати прочитану інформацію.

Визначивши тематику професійно-орієнтованих текстів та підбравши термінологічну лексику для засвоєння, ми створили комплекс лексико-граматичних вправ, пов'язаних зі змістом тексту, спрямований на вдосконалення фахового рівня студентів. Такі вправи враховують лексику та граматичні особливості, які зустрічаються в тексті і які потрібно опрацювати для того, щоб краще розуміти зміст тексту. Вправи супроводжуються чітко сформульованими завданнями, інструкціями та поясненнями, що полегшує їх виконання як в аудиторії, так і під час самостійної роботи вдома. На наш погляд, результативними є, наприклад, лексичні вправи, в яких студентам пропонується підібрати синоніми чи антоніми, поєднати слова англійською мовою з їхніми українськими еквівалентами і навпаки, утворити терміни за допомогою терміноелементів, пояснити значення термінів, вставити в речення пропущені слова, підібрати терміни до поданих визначень. Вважаємо, що систематичність цих вправ, а також послідовне наростання складності та повторюваності сприятиме свідомому засвоєнню термінологічної лексики та професійної фразеології. Різноманітні лексичні вправи допомагають закріпити й активізувати отримані знання. Поступове ускладнення завдань та їх варіація сприяють розвитку в студентів логічного мислення.

Для подолання граматичних труднощів під час роботи з професійно-орієнтованими текстами та для формування у студентів відповідних навичок ми розробили граматичні вправи, що відповідають тематиці текстів.

Більш того, пріоритет і домінування комунікативного підходу визначили підбір вправ, характерних не тільки для традиційної методики, але й таких, які створюють навичковий фундамент для формування мовленнєвих умінь. Опора на розвиток внутрішньої мотивації студента у навчанні спонукала нас до використання вправ, виконання яких викликало би у студентів почуття задоволення і розвивало впевненість у своїх силах, надавало їм максимальні можливості для самовираження засобами іноземної мови.

Досвід практичної роботи доводить, що правильно підібраний професійно-орієнтований автентичний текст та комплекс лексико-граматичних вправ, розроблений на основі тексту, відіграє значну роль при вивченні іноземної мови за професійним спрямуванням, сприяє різнобічному та цілісному формуванню особистості студента, підготовці його до майбутньої професійної діяльності.

Висновки

Сучасна вища освіта висуває нові вимоги до професійної підготовки майбутніх фахівців, конкурентоздатність яких визначають не тільки глибокі професійні знання і вміння їх гнучкого застосування, але й готовність вирішення професійних задач в умовах іншомовної комунікації, спроможність легко інтегруватися в Європейський освітній простір.

Враховуючи роль англійської як мови міжнародного спілкування, забезпечення інтеграції України до європейського політичного, економічного і науково-освітнього простору, перед викладачами іноземних мов професійного спрямування, які працюють зі студентами технологічних і технічних спеціальностей, постають важливі завдання. По-перше, у короткі терміни навчити студентів насамперед функціональної англійської для здійснення ефективної міжособистісної та ділової комунікації в іншомовному середовищі. По-друге, поступово сформувати в студентів вміння застосовувати іноземну мову для практичної роботи за фахом, підвищення свого професійного рівня, досягнення кар'єрних цілей.

З метою успішного виконання цих завдань викладачами кафедри іноземних мов ХНАДУ й було створено новий навчальний посібник *English for Welding Engineers*, а також безперервно триває робота над написанням та оновленням інших навчальних матеріалів для студентів всіх факультетів та спеціальностей.

Література

1. Яременко Н. В. Деякі шляхи інтенсифікації викладання англійської мови студентам немовних спеціальностей. *Актуальні проблеми педагогіки, психології та професійної освіти*. 2016. Вип. 1. С. 17–21.

2. Райлянова В. Е. Аспекти преподавания иностранного языка по специальности. *Актуальні проблеми викладання іноземних мов для професійного спілкування* : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. (6–7 квітня 2012 р.). Дніпропетровськ, 2012. С. 37–38.
3. Барабанова Г. В. Методика навчання професійно-орієнтованого читання в немовному ВНЗ : монографія. Київ: Фірма «Інкос», 2005. 315 с.
4. Beane J. A. Curriculum Integration: Designing the Core of Democratic Education. Teachers College Press, 1997. 122 p.
5. Єфімова О. М. Міжпредметні зв'язки у процесі навчання іноземним мовам та їх вплив на якість підготовки курсантів вищих військових навчальних закладів. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Сер. : Філологічна*. 2012. Вип. 23. С. 266–267.

СТВОРЕННЯ ВЛАСНИХ ІНТЕРАКТИВНИХ РОБОЧИХ КНИЖОК ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАТФОРМИ *LIVEWORKSHEETS*

Новікова Є.Б., к.філол.н., доц., ХНАДУ

Анотація. У статті розкрито поняття «інтерактивна книга». Представлені переваги використання інтерактивних книг при навчанні мови. Показано особливості створення власних інтерактивних робочих книжок з допомогою платформи *Liveworksheets*.

Ключові слова: інтерактивна книга, *Liveworksheets*, вивчення мови, створення робочої книги.

СОЗДАНИЕ СВОИХ СОБСТВЕННЫХ ИНТЕРАКТИВНЫХ РАБОЧИХ КНИГ ПРИ ПОМОЩИ ПЛАТФОРМЫ *LIVEWORKSHEETS*

Новикова Е.Б., к.филол.н., доц., ХНАДУ

Аннотация. В статье раскрыто понятие «интерактивная книга». Представлены преимущества использования интерактивных книг при обучении языку. Показаны особенности создания собственных интерактивных рабочих тетрадей с помощью платформы *Liveworksheets*.

Ключевые слова: интерактивная книга, *Liveworksheets*, обучение языку, создание рабочей книги.

CREATING YOUR OWN INTERACTIVE WORKBOOKS USING *LIVEWORKSHEETS* PLATFORM

Novikova Yevgeniya, PhD, Assoc. Prof., KhNAHU

Abstract. The concept of “interactive book” is analyzed in the article. The advantages of using interactive books in language teaching are presented. The features of creating your own interactive workbooks using the *Liveworksheets* platform are shown.

Key words: interactive book, *Liveworksheets*, language learning, workbook creation.

Введення

Розвиток нових інформаційних технологій призводить до формування нового покоління людей диджитальної епохи, які не уявляють свого життя без технологій та Інтернету. У контексті жорсткої конкуренції між читанням та комп'ютерними іграми необхідно створити новий інструмент спілкування, що поєднує їх. Саме таким продуктом є інтерактивна книга.

Аналіз публікацій

Багато наукових праць українських та зарубіжних вчених присвячено створенню сучасних інтерактивних книг, зокрема дитячих [1–4]. Порівняння паперових та електронних книг представлено в [5, 6]. Деякі вчені вивчали особливості створення інтерактивних підручників [7–11]. Переваги та недоліки використання інтерактивних підручників частково проаналізовано в [12–14]. Однак можливості використання інтерактивних робочих зошитів, створених на платформі *Liveworksheets*, недостатньо вивчені.

Формулювання мети статті

Мета статті – розкрити сутність та переваги використання інтерактивних книг, зокрема робочих книжок, створених на платформі *Liveworksheets*, під час викладання мови.

Виклад основного матеріалу

Інтерактивна книга надає доступ до альтернативної реальності з можливістю взаємодії з головними героями, які насправді існують за допомогою електронної пошти, QR-кодів, сайтів тощо. Електронна або цифрова книга, призначена для активної участі читача за допомогою посилань або вбудованих функцій. Аналізуючи різні визначення, ми можемо виділити основні властивості інтерактивної книги: динамічність, клікабельність та мультимедійність, сюжет книги не закріплений жорстко, але може змінюватися залежно від вибору читача. Отже, можемо сказати, що інтерактивна книга – це паперова книга з альтернативним сюжетом.

На сьогоднішній день існує різний контент, програми, що дозволяють як студентам, так і викладачам створювати власний контент та ділитися ним з іншими. Популярні веб-сайти, такі як Quizizz, Kahoot! та Socrative дозволяють викладачам та студентам створювати онлайн-ігри та грати в ігри, створені користувачами з усього світу. Такі сайти, як Canva, уможлиблюють висловлення за допомогою плакатів, мемів у соціальних мережах та банерів. Крім того, існують сайти для створення коміксів, редагування / створення фільмів. Створення вмісту за допомогою таких інструментів дозволяє студентам творчо користуватися мовою та перетворювати мовну / мовленнєву практику на веселе та захоплююче заняття.

Навчальний процес постійно змінюється. Студенти більше не зобов'язані сидіти за партою та робити записи на лекціях. Заняття стають набагато цікавішими та інтерактивнішими. Інтерактивне навчання – це практичний, реалістичний підхід до навчання. Інтерактивне навчання активно залучає студентів до боротьби з матеріалом, що поживляє аудиторну роботу як студентів, так і вчителів. Лекції перетворюються на дискусії, а студенти та викладачі стають партнерами в процесі набуття знань.

З розвитком університетів та впровадженням нових технологій в аудиторне навчання заняття стають цікавішими для студентів. Наприклад, в математиці існують сотні інтерактивних програм для студентів різних рівнів навчання. Для студентів, які вивчають історію чи суспільствознавство, в Інтернеті доступні інтерактивні історичні події. У деяких заходах студентам пропонується взяти участь і дізнатись більше про подорож у новий уявний світ. Багато інтерактивних варіантів також доступні для вивчення мови. Для студентів з різним рівнем англійської мови існує багато веб-сайтів, де вони переглядають частини мови, граматику чи практикують та збільшують власний словниковий запас. Також легко знайти ігри зі словами, такі як кросворди чи дискусії.

Смарт-дошки, якщо вони є в класі, є чудовим інструментом, що дозволяють студентам взаємодіяти з матеріалом та між собою. Якщо немає можливості використовувати інтерактивні дошки та підручники, ви можете створити свою власну інтерактивну книгу за допомогою платформи Liveworksheets, щоб урізноманітнити навчальний процес. Liveworksheets уможливає перетворення звичайних друкованих аркуші різного формату на інтерактивні онлайн-вправи із самокорекцією, які називаються “інтерактивні аркуші”. Студенти можуть заповнити робочі аркуші в Інтернеті та надіслати свої відповіді викладачеві. Це добре для студентів (мотивує), для викладача (економить час) та для навколишнього середовища (економить папір). Крім того, такі інтерактивні аркуші містять усі переваги нових технологій, що використовуються в освіті: вони можуть включати звуки, відео, вправи на перетягування, з'єднання стрілками, множинний вибір і навіть усні вправи, які учні повинні виконувати з мікрофоном.

Кожна людина може скористатися цією платформою для створення власних інтерактивних робочих зошитів або для використання тих, що надаються іншими викладачами. Існує колекція тисяч інтерактивних сторінок, що охоплюють багато мов та предметів. Створити власні інтерактивні аркуші дуже просто, потрібно лише завантажити документ, і він буде перетворений у зображення. Тоді просто потрібно намалювати квадратики на аркуші та ввести правильні відповіді. Є також кілька команд, які потрібно вивчити, якщо ви хочете використовувати інші вправи, такі як перетягування, з'єднання стрілками, мовленнєві вправи тощо.

Отримати відповіді від студентів можна двома способами: студенти відкривають робочий аркуш, виконують вправи та натискають “Готово”, потім вибирають “Надіслати відповіді моєму викладачу” і вводять електронну адресу викладача (або секретний код доступу), тоді викладач отримає їх електронною поштою та зможе перевірити відповіді всіх студентів. Кількість електронних листів, які студенти можуть надіслати викладачу, не обмежена, але всі їхні відповіді будуть видалені через 30 днів. Інший спосіб – створити власні інтерактивні робочі

зошити та додати улюблені робочі аркуші (власні чи спільні для інших викладачів), потім зареєструвати своїх студентів (вони також можуть зареєструватися за вашим секретним кодом) та призначити їм ті, що потрібно виконати. Після цього студенти можуть відкрити робочі зошити за допомогою свого імені користувача та пароля та виконати вправи. Викладач може перевірити роботу в будь-який час, призначити домашнє завдання та додати коментарі чи примітки. Студенти можуть за бажанням зареєструвати свою електронну пошту, щоб отримувати повідомлення про домашні завдання та коментарі викладачів. Інтерактивні робочі зошити легко налаштувати. На жаль, існують певні обмеження в інтерактивних книгах, але для більшості вчителів вони зовсім не є проблемою: вчителі можуть створити до 10 інтерактивних робочих зошитів (по 120 сторінок кожна) та записати до 100 студентів. Викладачі можуть також виставляти власні робочі аркуші та навіть аркуші інших вчителів (якщо вони дозволяють цю опцію) на свої веб-сайти чи блоги. Багато аркушів також можна завантажити у форматі pdf (якщо автор дозволив цю функцію), які можна використовувати у режимі офф-лайн.

Динамічність, універсальність, доступність, простота, можливість використання як навчального тренажера тощо – головні переваги інтерактивної книги, що дозволяють викладачам урізноманітнити заняття з викладання мови.

Висновки

Отже, завдяки унікальним особливостям інтерактивної книги, таким як анімація, компактність, багатовимірність передачі інформації, емоційний вплив на сприйняття читача, викладачі можуть успішно конкурувати з Інтернет-ресурсами та телебаченням, залучати студентів до активного та навчального читання. Створення інтерактивної книги є перспективним напрямком не лише видавничої справи, але й навчання, оскільки відкриє нові горизонти та розвиватиметься відповідно до сучасних потреб користувачів.

Література

1. Бондаренко Я. Книжки, в которые играют, игры, которые читают: игровая деятельность как одно из направлений работы детской библиотеки. *Світ дитячих бібліотек*. URL : http://www.chl.kiev.ua/UKR/magazin/Svit_n20/10.htm.
2. Єфімова М. П. Видавництва дитячої книги в Україні : новітні видавничі технології. *Теорія та практика дизайну. Мистецтвознавство*. 2015. Вип. 7. С. 157–167.
3. Єфімова М. П. Інтерактивна дитяча книга в Україні: становлення та перспективи. *Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку : зб. наук. пр. : Записки рівненського державного гуманітарного університету*. Рівне, 2014. Вип. 19. С. 259–263.
4. Женченко М. Дитяча література в електронному форматі: типологічна характеристика, бізнес-моделі. *Вісн. Кн. Палати*, 2016. № 5. С. 14–17.
5. Лисенко А. Особливості співіснування електронних та друкованих книжкових видань. *Український інформаційний простір*, 2011. № 20. С. 241–246.
6. Маркова В. А. Електронна книга : наукове поняття чи метафора? *Бібліотекознавство. Документознавство. Інформологія*. 2009. № 3. С. 69–74.
7. Wikowski D., Casal J. E. Interactive Digital Textbooks and Engagement: A Learning Strategies Framework. *Language Learning & Technology*, 2018. Vol. 22. No 1. P. 119–137.
8. Chou I. Reading for the purpose of responding to literature: EFL students' perceptions of ebooks. *Computer Assisted Language Learning*, 2016. Vol. 29 (1). P. 1–20.
9. Gu X., Wu B., Xu X. Design, development, and learning in e-Textbooks: What we learned and where we are going. *Journal of Computers in Education*, 2015. Vol. 2 (1). P. 25–41.
10. Вуль В. А. Электронные издания. СПб. : БХВ-Петербург, 2003. 560 с.
11. Городенко Л. М. Інтерактивна книга. *Інформаційне суспільство*, 2010. № 12. С. 16–19.
12. Chou I. Reading for the purpose of responding to literature: EFL students' perceptions of ebooks. *Computer Assisted Language Learning*, 2016. Vol. 29 (1). P. 1–20.
13. Еко У., Кар'єр Ж.-К. Не сподівайтесь позбутися книжок. Львів: Видавництво Старого Лева, 2015. 256 с.

ACCOMPLISHING COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF PERSONALITY THROUGH EDUCATIONAL PROCESS

Ponikarovska S.V., Senior Lecture, KhNAHU

Abstract. The article deals with the main principles of students' social adjustment during their studies at the university and analyzes what influence this process has on the development of their creative activity and how it forms their personality. The article emphasizes that the process of education accomplishes the comprehensive development of the student's personality and prepares them to be active participants of social life as well as competent specialists in engineering.

Key words: assimilation, social adjustment, individual, communication, interaction.

ВСЕБІЧНИЙ РОЗВИТОК ОСОБИСТОСТІ У ПРОЦЕСІ ОСВІТИ

Понікарівська С.В., старший викладач, ХНАДУ

Анотація. Стаття розглядає основні принципи соціальної адаптації студентів під час навчання в університеті та аналізує, як цей процес впливає на посилення їх творчої діяльності та формує їх особистість. У статті наголошується, що освітній процес здійснює всебічний розвиток особистості студента та готує його бути активним учасником життя суспільства, так само, як і компетентним спеціалістом в інженерній області.

Ключові слова: асиміляція, соціальна адаптація, індивід, спілкування, взаємодія.

ВСЕСТОРОННЕЕ РАЗВИТИЯ ЛИЧНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Поникаровская С.В., старший преподаватель, ХНАДУ

Аннотация. В статье рассматриваются основные принципы социальной адаптации студентов во время учебы в вузе и анализируется, как этот процесс влияет на повышение их творческой активности и формирует их личность. В статье подчеркивается, что процесс образования осуществляет всестороннее развитие личности студента и готовит его быть активным членом общества, равно как и компетентным специалистом в инженерной сфере.

Ключевые слова: ассимиляция, социальная адаптация, личность, общение, взаимодействие.

Introduction

Social adjustment or engagement of students is a paramount pedagogical problem, because it determines the prospects for the development of the whole tertiary education. When a person is mastering a certain system of knowledge that allows them to function as a full-fledged member of society, it means that this person is learning to interact, to commune, i.e. adjusts to the society. This process includes both purposeful influence on the individual and spontaneous processes that affect his formation. Social adjustment is a necessary condition for successful human functioning in any social system. The period of obtaining higher education plays the important role in development student's personality.

Analysis of publications

Student community is considered by such scientists as O. Dmytriiev, O. Moroz, H. Kostiuk and others as a specific social-professional group occupying their own space in the structure of the state, social awareness and socio-psychological and political features. Foreign researchers P. Kaufman, T. Parsons, E. Pascarella, J Smart, P. Terenzini, J. Weidman and others focus on how the student's identity is formed in the college or university, how the college affects the person's development.

The history shows an inevitable stalemate as a result of command-administrative system for-

merly flourishing in education, therefore the requirements of today necessitate the transformation of higher education as one of the most important institutions and period of social adjustment of the individual. This transformation is already in progress, its importance is undoubtful, so this work only deals with several aspects of this process, in particular, at the English classes.

Purpose and objective

O. Brim gave a classic definition of socialization as "... the process by which persons acquire the knowledge, skills, and dispositions that make them more or less effective members of their society" [1, 3]. J. Weidman stresses the importance of understanding both the individual and the groups or memberships that influence the individual [8]. Human development depends on the conditions of its interaction with the world around it. People not only witness but also participate in the history of the world. Shaping of personality proceeds differently depending on the changes taking place in the world around him, in the material and social reality.

Among scientists, the fundamental question is at what age the assimilation of social experience takes place, the assimilation being a significant part of social adjustment. In recent years, it has become increasingly common to say that this occurs at a more or less mature age, because social adjustment involves the acquisition of social experience in the course of work. There are different points of view regarding the period of study in higher school, but its specifics is quite significant compared to secondary school as students are one of the most important groups in society, and the problems of social adjustment of this group are now extremely relevant.

Comprehensive development of personality through education

Social adjustment is a process of development and formation of personality, which includes two interrelated components: the assimilation of the requirements of society, the assignment of norms, rules of conduct, resulting in adaptation; and personal interpretation of the experience. The ability to think outside the box, to show a creative approach, is very important both in everyday life and in professional activities. People who are prone to creativity have a greater ability to work, because the creation of something new is determined by the constant involvement in the process of achieving the goal. Ability to work, interest, energy, desire to add something new to the activity – these are qualities that are inherent to the modern specialist in any area.

It is quite natural that the creative character of students' activity is manifested in different ways in educational activities. Students with a good heredity are in a favorable position: strong and stable nervous system, good memory, ability to intellectual activity. Such students are usually initially successful and adapted to society. But there are also those whose thinking is not so fast; memory is not so developed and school knowledge is at the average level. For them education is more difficult, even if they are very diligent. Personal traits are also important. Those who are persistent, purposeful, self-confident, prone to independent work, have self-control skills are in the beneficial position. But there are others, that lack most of these qualities. Performing tasks, they rely on instructions, hints from both the teacher and stronger students. They make up a significant part of the contingent of higher schools, and the importance of developing creative activity among those students is obvious, because they are often insecure about their abilities and have a limited range of interests. The tasks for the development of creative activity stimulate their imagination and fantasy. They are to be stimulated to make up something new, unusual, interesting, perhaps funny. By reworking the material, such students go beyond the information they have, expanding their own worldview and adding to their own liveliness and vitality.

Combining different forms of work also has several advantages. Performing tasks individually, the student chooses one or another way to solve the problem, based on personal feelings; when working in pairs he takes into account the opinion of the partner, while there is mutual enrichment of ideas; during the frontal work the student gets acquainted with a wide range of other people's opinions, and group work in general gives the lesson a shade of competition, which is an additional incentive to achieve results. Finally, the highest level of creative activity is associated with a change in the role of the teacher in the learning process: the teacher becomes a consultant, providing assistance only when necessary, and students themselves choose ways to solve a problem. Thus, when performing tasks that gradually become more difficult, students discover non-standard ways of solving the problem, which

allows them to socialize most successfully.

Similar to the function of student-university interaction as a mechanism for social adjustment, fellow students are the important environmental influence on student's development. They act as an academic and personal support network that positively influences student's development [1]. Cooperative learning with fellow students is positively associated with self-reported gains in the university, such as general education, intellectual development and personal or/and interpersonal development. E. Whitt and others concluded that peer involvement in and out of the classroom resulted in increased cognitive development [7]. When asked to describe what had the greatest impact on their learning and personal growth, college seniors often answered that it was interaction with other students. E. Pascarella and P. Terenzini insisted that participation in diverse experiences positively affected cognitive abilities of students [4, 18].

Every individual is a social being. From the very birthdate they are involved in social interactions. The process of social adjustment is inextricably linked with communication and joint activities of people. Of course, the lessons serve to acquire important knowledge, some of them (especially in the humanities and social sciences) have a direct social significance. But the student acquires not only the social knowledge that is the purpose of the lesson and the teacher, not only the social rules and norms of behavior that the teacher declares, but also the social experience that accompanies the lesson and is circumstantial. This is the experience that the student actually experiences or observes when the teacher interacts with students, students interact among themselves, teachers speak to each other and so on. This experience can be both positive and negative. It can either coincide with the declared norms or contradict them. Assimilation of social experience is always subjective. The social experiences of different people from objectively identical situations can be very different. Assimilation of social experience, which lies in the heart of social adjustment, becomes a source of shaping the features of the individual [3].

Challenges for education in pandemic reality

The new pandemic reality has raised the issues which have already been discussed for some time but have never been so topical. Will this period be a degrade in the value of in-person learning in favor of the distance learning? Or, on the contrary, the epidemic will reveal the value of the face-to-face learning? Will it show what is lost if the education switches to online learning completely? Or will it show that face-to-face learning is overrated? If everything that is accomplished in the classroom can be accomplished online, why bother paying high tuition fee, transport fare, pay for the dormitories and go to university? And the big question is "How will it affect social adjustment?"

The answer is given by the students themselves. Whatever great learning online sounds, they lack socializing. Even if the quality of education is comparable (which is not, in Ukraine, at least), it is face-to-face communication that they still need, from the live explanation from the teachers to hanging out with their fellow students and friends. They are in favor of mixed education but they do not support the totally online study. Education is a primary vehicle of socialization. Good students spend half a year in the classrooms, nearly 6-7 hours a day. They learn socially-desirable behaviors such as team work, following time-tables, respectful interacting, participating in social activities [6]. Online, they can communicate with people of their age in many social groups, but what about sports and extra-curriculum activities? Making presentation online is still not like making presentation in public with all these body language and absence of notes in the hands.

There is also one more point. When young people become students, it usually means a new degree of independence for them, grown-up decisions and responsibilities. They must learn to manage their finances and time, control their lives. And not only academic pursuits are involved. [5] Every day can become a challenge unless... they have to stay locked under one roof with their parents. Again. We have noticed that after the complete pandemic lockdown some students began to value more the social experience which the face-to-face interaction can offer.

And yet, these hard times have made urgent teachers' searching for the new ways to keep the interaction between themselves and students going, to support the connection, the constant link, so that if next lockdown happened, the teachers and students would be prepared for it and social life would not stop. It would just change the venue from the classroom to the ether.

Conclusion

Summarizing what has been said above, we can draw the following conclusions. Social adjustment is a necessary condition for successful human functioning in any social environment. The period of education plays a very important role in the process of social adjustment. Studying at a university is a transitional moment between young years and the adult life. The process of social adjustment can be either natural and easy or difficult and problematic. The university takes on a lot of responsibility in such a complex and important process because the society needs people who realize their talent and not only do their job well, but also contribute to the overall development and well-being of the country. The challenge of studying in the time of pandemic promotes finding the ways to keep classes and socializing going. Whatever the challenges, our country always needs educated, socially adapted and effective members of the society.

References

1. Antonio A. L. The influence of friendship groups on intellectual self-confidence and educational aspirations in college. *Journal of Higher Education*. 2004. Vol. 75. P. 446–471.
2. Brim O.G., Jr. Socialization Through the Life Cycle. In O.G.Brim, Jr. and S. Wheeler (eds.), *Socialization After Childhood. Two Essays*. New York. Wiley. 1996.
3. Kaufman P., Feldman K. Forming identities in college: A sociological approach. *Research in Higher Education*. 2004. Vol. 45. P. 463–496.
4. Pascarella E. T., Terenzini P. T. How college affects students. A third decade of research. 2005. Vol. 2. P. 18.
5. Richardson J., Newby T. The role of students' cognitive engagement in online learning. *American Journal of Distance Education*. Vol. 20 (1). P. 23–37.
6. Summers J., Waigandt A., Whittaker T. A comparison of student achievement and satisfaction in an online versus a traditional face to face statistics class. *Innovative Higher Education*. 2005. Vol. 29 (3). P. 233–250.
7. Whitt E. J. and others. Interactions with peers and objective and self-reported cognitive outcomes across three years of college. *Journal of College Student Development*. 1999. Vol. 40(1). P. 61–78.
8. Wiedman J. C., Stein E. L. Socialization of graduate students to academic norms. *Research in Higher Education*. 2003. Vol. 44. P. 641–656.

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ПРОФЕСІЙНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МОВНОЇ ПІДГОТОВКИ В ТЕХНІЧНИХ ЗВО

Фандєєва А. Є., к.е.н., доц., ХНАДУ

Анотація. У статті розглядаються напрямки і завдання професійно-орієнтованої мовної підготовки в сучасному технічному ЗВО. Аналізується роль іноземних мов як інструменту професійної діяльності, що дозволяє сучасному фахівцю здійснювати науково-дослідницьку та освітню діяльність на більш високому рівні – міжнародному.

Ключові слова: Професійно-орієнтована мовна підготовка, мовне середовище технічного університету, іношомовна комунікативна компетенція, міжнародна діяльність, професійні вміння інженера.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ЯЗЫКОВОЙ ПОДГОТОВКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ ЗВО

Фандеева А. Е., к.э.н., доц., ХНАДУ

Аннотация. В статье рассматриваются направления и задачи профессионально-ориентированной языковой подготовки в современном техническом ЗВО. Анализируется роль иностранного языка как инструмента профессиональной деятельности, позволяющего современному специалисту осуществлять научно-исследовательскую и образовательную деятельность на более высоком уровне - международном.

Ключевые слова: Профессионально-ориентированная языковая подготовка, языковая среда технического университета, иноязычная коммуникативная компетенция, международная деятельность, профессиональные умения инженера.

SOME ASPECTS OF PROFESSIONAL ORIENTED LANGUAGE TRAINING IN TECHNICAL HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

A.Ye. Fandieieva, PhD (Economics), Assoc. Prof., KhNAHU

Abstract. The article deals with the issue of goals and aims of language education in modern technical institute. The role of foreign languages is the object of analysis: they are an integral part of professional activity of a specialist today; knowledge of foreign languages allows conducting research and building education process on a new higher level of international cooperation.

Keywords: professional oriented language education, language environment of technical institute, foreign language competence in the sphere of professional communication, international cooperation, professional skills of an engineer.

Вступ

Одним з основних завдань вищої школи є підготовка висококваліфікованих фахівців з широкою культурою праці і гнучким мисленням, оскільки всесвітньою проблемою є те, що люди з технічною освітою «мають невисокі комунікативні навички» [1].

Аналіз публікацій

Як зауважує фінський дослідник, «В результаті глобалізації та прискорення технічного прогресу, інженерні спільноти стають все більш різноманітними, як з точки зору соціального середовища, так і по відношенню до знань, насущних і необхідних в промислових процесах» [2]. До професійного портрету фахівця в галузі науки, техніки і технологій сьогодні додається

здатність до організації взаємодії в науковому та виробничому середовищі на рівні міжнародних контактів. Відомо, що «програми іноземної мови відіграють центральну роль в інтернаціоналізації навчання і викладання в університеті» [3].

Міжнародна діяльність як найважливіший фактор розвитку сучасного технічного ЗВО для його співробітників і студентів має на увазі організацію науково-дослідної та освітньої діяльності в міжнародному просторі, що вимагає активного володіння однією або декількома іноземними мовами. Згідно зауваження зарубіжного дослідника питання, «Глобальна індустрія високих технологій характеризується високою конкуренцією, інноваціями і широким використанням англійської мови» [4].

Завданням сучасного технічного ЗВО є не тільки залучення іноземних фахівців до виконання досліджень, педагогічної діяльності та обміну досвідом, але в першу чергу – завоювання ключових позицій в світі науки і освіти. Незважаючи на те, що, на думку європейських учених, рівень знання англійської мови у сучасній молоді досить високий [2], він не завжди достатньо орієнтований на досягнення професійних завдань. Процес розвитку європейської освіти, пов'язаний з підписанням Болонської угоди, торкнувся усіх ЗВО європейського регіону, так що це породило нові підходи до викладання іноземної мови. Так, дослідник з Литви пише: «Офіційний політичний підхід, який спрямований на зміцнення національної мови та культури (як це видно впродовж усього пострадянського простору) стикається з проблемами з розвитком багатомовності».

Мета та постановка задачі

Рівень міжнародного співробітництва для технічного ЗВО змінився і на сучасному етапі є комплексом складних завдань, безпосередньо пов'язаних з вміннями іншомовного міжкультурного спілкування, здатністю працювати в команді, особистими і професійними якостями, що визначають рівень науково-дослідницької та педагогічної діяльності, які можливо реалізувати за умови високого рівня розвитку іншомовної комунікативної компетенції в професійній сфері спілкування. Для досягнення цих завдань доводиться використовувати всі можливі способи, в тому числі командну роботу викладачів.

Виклад основного матеріалу

У своїй роботі педагогічний колектив Харківського національного автомобільно-дорожнього університета (ХНАДУ) враховує сформований багатий досвід підготовки фахівців автомобільно-дорожньої галузі, беручи до уваги нові можливості, пов'язані зі змінами освітнього і соціокультурного контексту вивчення іноземних мов в цілому: посиленням інтересу до вивчення іноземних мов, зокрема, англійської мови. ХНАДУ успішно вирішує одне з найважливіших завдань сучасної професійної підготовки майбутніх фахівців в області науки, техніки і технологій – забезпечення якості мовної освіти за допомогою комплексної мовної підготовки, сфокусованої на вирішенні проблем внутрішнього середовища технічного ЗВО (домінування монолінгвальної спільноти, середній стартовий рівень студентів молодших курсів щодо розвитку комунікативної іншомовної компетенції), а також відповідає викликам сучасного соціально-економічного розвитку суспільства в контексті глобалізації.

Як відзначають зарубіжні дослідники питання, «значимість англійської мови підвищується разом з важливістю професії інженера, і особливо затребувані навички усного мовлення, необхідні для спілкування з клієнтами і вибудовування відносин» [4]. Всебічний розвиток особистості майбутнього інженера, розширення спектра затребуваних суспільством і економікою компетенцій в його професійному портреті можливі тільки при дотриманні наступних принципів організації професійної і мовної підготовки в технічному ЗВО:

– злиття гуманітарного та технічного знання в цілях забезпечення гармонійного розвитку особистості фахівця за допомогою впровадження інтегрованих програм навчання, різного роду заходів, що проводяться в референтній системі іноземної мови: «В основі посилення мовної підготовки і виведення її на якісно вищий рівень необхідно покласти принцип інтеграції» [5];

– формування полікультурної особистості студента як менеджера власного процесу навчання, здатного до творчої діяльності та інновацій.

У всьому світі відбувається обумовлене процесами глобалізації реформування системи мовної освіти у вищій школі, покликане «задовольнити потреби студентів цифрового століття і створити творче середовище навчання, що веде до формування професіоналів міжнародного рівня». Під час підготовки фахівців не можуть бути залишені без уваги питання розвитку у них такого рівня комунікативної та соціокультурної компетенції,

який дозволяв би їм успішно справлятися зі своїми професійними обов'язками. У структурному плані в професійно-орієнтовану іншомовну комунікативну компетенцію входять усі основні складові комунікативної компетенції: загальнокультурна, мовна і мовленнєва, стратегічна, компенсаційна і соціокультурна компетенції. Однак в змістовному плані кожен з компонентів розшириться за рахунок включення професійно-орієнтованих знань, навичок, умінь, індивідуальних здібностей з опорою на компетентність в області професійної діяльності.

Професійно-орієнтований компонент мовної компетенції можна визначити як систему мовних знань, умінь і здібностей, що дозволяють фахівцеві породжувати правильну в мовному плані і термінологічно насичену мову і комплекс лінгводидактичних знань і умінь, що дозволяють адекватно представляти і описувати лінгвістичні явища в навчальних цілях.

Професійно-орієнтований компонент мовної компетенції можна визначити як систему мовленнєвих знань, бікультурних умінь і індивідуальних здібностей до речетворчості, що дозволяють тому, хто говорить/пише орієнтуватися в функціональних факторах спілкування з урахуванням породжувати комунікативно-прийнятні мовленнєві твори (тексти).

Професійний ракурс міжкультурної стратегічної компетенції допомагає створити сприятливі умови для спільної професійної діяльності. Міжкультурна стратегічна компетенція передбачає наявність у того, хто говорить / пише здатності до варіювання комунікативних стратегій в умовах іншомовного міжкультурного спілкування. Включення міжкультурної стратегічної компетенції дає можливість активізувати, координувати і балансувати всі інші види компетенцій.

Мовне середовище технічного ЗВО дозволить в майбутньому студентам і викладачам самостійно приймати рішення про формування творчого колективу дослідників з міжнародною участю, узагальнювати результати досліджень в наукових публікаціях іноземною мовою і, як наслідок, брати участь в міжнародних конкурсах і грантах, тобто, отримувати визнання на міжнародному рівні.

В цілому для досягнення перерахованих вище цільових установок на рівні реалізації завдань мовної підготовки співробітників та студенти університету повинні: здійснювати усну і письмову комунікацію іноземною мовою (ділове листування, усні переговори, ведення письмової наукової та ділової документації), брати участь в міжнародній діяльності (співпрацювати з іноземними колегами, використовувати іноземну мову в навчальній і науково-дослідній діяльності), і тоді «утворюється унікальне поєднання інженерної та мовної компетентності», а «Випускник технічного ЗВО – носій цього поєднання виявляється затребуваним вітчизняним ринком праці» [5].

Дані завдання вирішує система мовної підготовки співробітників і студентів ХНАДУ, в якому на рівні структури та змісту програми на сьогоднішньому етапі розвитку ЗВО можна визначити два напрямки:

- іноземна мова як засіб формування професійно-орієнтованої іншомовної комунікативної компетенції студентів;
- іноземна мова як інструмент формування професійно-орієнтованої іншомовної комунікативної компетенції викладачів.

Відносно першого напрямку мовної підготовки в університеті необхідно підкреслити, що основними принципами її реалізації стають: принцип опосередкування діяльності іноземної мови: мова в навчанні не самоціль, а інструмент виконання іншої діяльності (взаємодії в групі, команді), засіб вербалізації прийнятого рішення, побудови гіпотез, участі в обговоренні, уявлення продукту дослідницької роботи; принцип інтенсифікації процесу навчання: форма і зміст занять в більшості своїй припускають формат мовного і полікультурного занурення.

Завдання з формування навичок, які обслуговують професійну діяльність в будь-якої спеціальності, пов'язані з так званими переносними вміннями організації діяльності (*transferable skills*) [6]. Дана група умінь розвивається і підтримується завданнями проектною діяльності, проблемно-орієнтованими завданнями, симуляційними завданнями і *case-studies*, виконуваними в референтній системі іноземних мов. Основним принципом організації таких

видів робіт є розвиток критичного мислення студентів, спроможності приймати творчі нестандартні рішення з планування діяльності, формування інженерного та/або дослідницького вирішення проблемного завдання. Завдання, сконструйовані за даним принципом, дозволяють успішно реалізовувати міждисциплінарні зв'язки.

До ще однієї групи особистісних умінь, розвиток яких також передбачається в ході реалізації мовної підготовки в технічному ЗВО, відносяться так звані компенсаторні вміння діяльності та взаємодії (*compensatory skills*) [6]. Дана група умінь обслуговує проектні роботи, дослідницьку діяльність і відповідає за формування науково-дослідницької методології, а також інформаційної компетенції студентів. Тут актуальними для студентів слід вважати такі вміння: вибір оптимального шляху пошуку інформації, ранжування отриманої інформації, пошук або прогнозування відсутніх елементів проблемної ситуації або завдання, стратегічне вибудовування процесу дослідження проблеми, поетапне прогнозування одержуваного результату, співвіднесення його з кінцевою метою діяльності, коригування виконання діяльності в залежності від зміни умов її реалізації.

Не можна не сказати про групу професійних адаптаційних умінь інженера, що визначаються в зарубіжній літературі як *soft skills* [6]. Дана група умінь пов'язана зі специфікою підготовки студентів технічного ЗВО за спеціальностями або напрямками. *Soft skills* дозволяють їм організовувати і виконувати лабораторні роботи, працювати з обладнанням, планувати, організовувати, виконувати експериментальні дослідження, інтерпретувати і узагальнювати їх результати, при необхідності адаптувати отримані дані для ознайомлення з ними широкого загалу, формувати наукові тексти для професіоналів в даній або суміжній галузі знань. Група умінь в категорії *soft skills* на заняттях з іноземної мови дає можливість працювати зі специфічними текстами за фахом, виконувати міждисциплінарні проекти в референтній системі іноземних мов.

Необхідно підкреслити, що зміст і структури мовної підготовки в університеті полягають не стільки в її орієнтованості на мовні знання і мовленнєві вміння, скільки в її сфокусованості на вимогах до професійної компетентності фахівця в галузі науки, техніки і технологій.

Так, на початковому етапі навчання в технічному ЗВО іноземна мова дозволяє студенту реалізувати свій потенціал як початківця дослідника, інженера, відчувати себе фахівцем, готовим і прагнучим до інновацій за допомогою виконання проблемних завдань, науково-популярних проектів, презентацій.

На середньому етапі навчання іноземна мова виконує інформаційну функцію, формує професійний кругозір за професійно-орієнтованою тематикою, дозволяє освоювати формати робіт, затребувані на заняттях зі спеціальності (підготовка опису виробничого циклу, виконання і опис винахідницького проекту, супровід професійної діяльності відповідною документацією, презентаційним продуктом).

На завершальному етапі навчання іноземна мова включена до професійної і академічної діяльності студентів, магістрантів, аспірантів як засіб самореалізації, інструмент самоосвіти і підвищення кваліфікації при виконанні спільних з іноземними учасниками дослідницьких проектів, публікації результатів досліджень за кордоном тощо.

Висновки

Головним завданням реалізації системи мовної підготовки в технічному ЗВО є сприяння вирішенню стратегічних завдань розвитку технічного ЗВО, зокрема – входженню в світовий освітній простір. Вирішення такого глобального завдання можливо тільки за наявності висококваліфікованих кадрів – студентів і викладачів, здатних і володіючих відповідним рівнем професійної компетенції, в тому числі в галузі іноземних мов, що дозволяє вільно орієнтуватися в світовому інформаційному потоці, а також просувати власні затребувані розробки і результати досліджень на міжнародному рівні.

Література

1. Aberšek B. Development of communication training paradigm for engineers. *Journal of Baltic Science Education*. 2010. № 9 (2). P. 99-108.

2. Lappalainen P. Integrated language education – a means of enhancing engineers' social competences. *European Journal of Engineering Education*. 2010. № 35 (4). P. 393-403.
3. Dlaska A. The role of foreign language programmes in internationalising learning and teaching in higher education. *Teaching in Higher Education*. 2013. № 18 (3). P. 260-271.
4. Spence P. Engineering English and the high-tech industry: A case study of an English needs analysis of process integration engineers at a semiconductor manufacturing company in Taiwan. *English for Specific Purposes*. 2013. № 32 (2). P. 97-109.
5. Артемова И. В., Майская Е.А. Повышение конкурентноспособности выпускников технических вузов на основе интегрированной системы подготовки по иностранным языкам. *Совет ректоров*. 2013. № 12. С. 44-52.
6. Fallows S., Steven C. Integrating key skills in higher education. London, 2000. 192 p.

ВИКОРИСТАННЯ АВТЕНТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ ІНОМОВНОЇ АУДИТИВНОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ СТУДЕНТІВ

Чевичелова О. О., старший викладач, ХНАДУ

Анотація. У статті проаналізовано особливості навчання аудіювання в технічному ЗВО, конкретизовано вимоги до системи аудитивних вправ. Обґрунтовано важливість та ефективність використання автентичних матеріалів у процесі формування іномовної аудитивної компетенції студентів.

Ключові слова: іноземна мова, аудіювання, аудитивна компетенція, автентичні матеріали, технічний ЗВО.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АУТЕНТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИНОЯЗЫЧНОЙ АУДИТИВНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ

Чевичелова О. О., старший викладач, ХНАДУ

Аннотация. В статье проанализированы особенности обучения аудированию в техническом вузе, конкретизированы требования к системе аудитивных упражнений. Обоснована важность и эффективность использования аутентичных материалов в процессе формирования иноязычной аудитивной компетенции студентов.

Ключевые слова: иностранный язык, аудирование, аудитивная компетенция, аутентичные материалы, технический вуз.

USING AUTHENTIC MATERIALS TO DEVELOP STUDENTS' FOREIGN LANGUAGE LISTENING COMPETENCE

Chevychelova O. O., Senior Lecture, KhNAHU

Abstract. The article aims at analysing peculiarities of teaching listening to students of technical universities, as well as systematizing the requirements for the system of exercises focusing on listening skills. The effectiveness of using authentic materials and tasks to facilitate the formation of students' foreign language listening competence is substantiated.

Key words: foreign language, listening, listening competence, authentic materials, technical university.

Вступ

Нині в умовах недостатньої кількості навчальних годин, що відводяться на вивчення іноземної мови в технічному ЗВО, підвищуються вимоги до підсумкових компетенцій випускників: високий рівень володіння мовою (B2-C1) і здатність до міжкультурної комунікації в різних сферах спілкування розглядаються як необхідні складові професіограми сучасного фахівця в будь-якій професійній царині. Очевидно, що значимість предмета «Іноземна мова» в підготовці фахівця нефілологічного профілю вкрай висока, оскільки багато випускників планують отримати міжнародний сертифікат про володіння іноземною мовою з метою розширення можливостей працевлаштування в інтернаціональних компаніях в Україні та за кордоном. У зв'язку з цим актуалізується потреба в розширенні арсеналу засобів навчання іноземної мови в немовних ЗВО за рахунок інтеграції в навчальний процес широкого кола автентичних джерел не тільки професійної, а й загальнокультурної спрямованості.

Аналіз публікацій

Аналіз досліджень, присвячених проблемам сприйняття і розуміння іноземної мови тими, хто навчається, дозволив виділити основні напрямки у вивченні цього питання. Це роботи, пов'язані з вивченням механізмів сприйняття, формуванням навичок і розвитком умінь аудіювання (А. Андерсон, М. Вайсбурд, О. Ісеніна, М. Коваленко, Т. Лінч, Ю. Нікітіна та ін.), виявленням труднощів розуміння аудіоповідомлень (Н. Абрамовська, Р. Оксфорд, Т. Рідгвей та ін.). Роль слухання і розуміння в навчанні іншомовного спілкування студентів дослідили в своїх роботах А. Гаврилова, Н. Гез, Т. Громова, Н. Кириліна, Д. Позняк, В. Яковлева та ін., питання взаємопов'язаного навчання аудіювання з іншими видами мовленнєвої діяльності висвітлили І. Дехерт, І. Зимня. Види аудіювання досліджували І. Бім, І. Дехерт, Б. Дальхаус, розробляли системи вправ і навчальні посібники з навчання смислового сприйняття мови на слух Дж. Вілсон, Н. Гез, Н. Єлукхіна, А. Черкашина та ін.

Однак, незважаючи на те, що багато питань щодо формування іншомовної аудитивної компетенції знайшли широке висвітлення в методичній літературі, проблема навчання студентів немовних ЗВО розуміння іншомовного мовлення на слух ще не вирішена. Студенти стикаються при аудіюванні з цілою низкою труднощів: несформованістю слухової рецепції через недостатню розвиненість фонематичного слуху; малим об'ємом пам'яті; слабким розвитком прогностичних умінь; невмінням швидко і адекватно проводити смислову обробку інформації, що сприймається на слух [1]. Все це призводить до нерозуміння прослуханого повідомлення. Безсумнівно є те, що робота над подоланням труднощів та формування основних знань, навичок і умінь аудіювання потребують спеціальних методик, які враховуватимуть особливості викладання курсу «Іноземна мова» в немовному ЗВО. Очевидно, що недостатня задоволеність результатами навчання аудіювання у немовних ЗВО робить актуальним розгляд ефективних методик навчання цього виду мовленнєвої діяльності.

Мета та постановка задачі

Метою є обґрунтування важливості та засобів підвищення ефективності використання автентичних матеріалів у процесі формування іншомовної аудитивної компетенції студентів технічних ЗВО. Для досягнення поставленої мети необхідно конкретизувати поняття «аудіювання», «аудитивна компетенція», «автентичні матеріали», проаналізувати умови, за яких процес формування іншомовної аудитивної компетенції студентів буде більш ефективним.

Методика навчання аудіювання в технічному ЗВО

Аудіювання є невід'ємною ланкою усної комунікації іноземною мовою, що забезпечує адекватність мовленнєвої поведінки в різних ситуаціях іншомовного міжкультурного спілкування на повсякденному і професійному рівні. Аудіювання є і самостійним видом мовленнєвої діяльності, необхідним в умовах академічної освіти, і складовою частиною говоріння стосовно діалогічної і полілогічної форми спілкування [3].

Проведений аналіз науково-педагогічної літератури свідчить, що аудіювання, по-перше, це багаторівневий процес, що містить певну послідовність розумових операцій, таких як формування готовності до розуміння повідомлення, смислове прогнозування, вербальне зіставлення, встановлення смислових зв'язків, смислоформування та розуміння повідомлення [4]. По-друге, аудіювання (listening comprehension) – це складний мисленнєвий процес цілеспрямованого сприйняття і розуміння іноземної мови на слух на основі лінгвістичного та екстралінгвістичного досвіду слухача. Таке розуміння суті аудіювання покладено в основу нашого дослідження.

Попри існування різних точок зору на визначення поняття аудіювання, дослідники сходяться на тому, що аудіювання – це активний мовномислиннєвий процес, націлений на розпізнання, сприйняття, розуміння та інтерпретацію звукового повідомлення, що надходить. Основною аудіювання виступає мотив реципієнта зрозуміти і бути зрозумілим [5].

Вищевикладені характеристики дозволяють визначити іншомовну аудитивну компетенцію як складну інтегративну характеристику реципієнта, яка знаменує його готовність і здатність здійснювати аудитивну діяльність іноземною мовою і відповідає таким якісним і кількіс-

ним параметрам, як успішність і ефективність, адекватність і гнучкість, швидкість і невимушеність (природність) сприйняття для досягнення комунікативних цілей, детермінованих соціальними, пізнавальними і професійними практичними цілями. Зазначені показники взаємозумовлюють один одного і передбачають високий рівень розвитку аудитивних умінь і навичок, здібностей і інтелектуальних операцій, а також наявність релевантних знань, забезпечують здійснення аудитивної діяльності в мінливих умовах [2].

Методика навчання аудіювання в технічному ЗВО визначається стратегіями, що враховують наступне: цілі, завдання, етапи навчання аудіювання; професійно-орієнтований підхід; особливості технології роботи з аудіотекстом; об'єктивно-суб'єктивні фактори, що впливають на перебіг процесу аудіювання; умови навчання іноземної мови в немовному ЗВО. На основі цих факторів можна виділити чотири типи стратегій: підготовча; формуюча; розвивально-контролююча; контролюючо-творча. Ця послідовна система стратегічних дій становить план-схему, за допомогою якої реалізується оптимальний процес формування професійної аудитивної компетенції. Причому аудіювання як самостійного виду мовленнєвої діяльності доцільно спеціально навчати, тобто організувати аспектно навчання аудіювання, а не тільки під час роботи над іншими аспектами мовленнєвої діяльності.

Діяльнісний підхід є домінуючим у сучасній системі вітчизняної освіти і визначає відбір матеріалу і методичну систему навчання аудіювання. Для підготовки студента до реалій природної комунікації у різних ситуаціях спілкування і завданнями, необхідним є формування навичок диференційованого запам'ятовування, розуміння і сприйняття інформації. Отже, при навчанні потрібна наявність різних видів навчального аудіювання в їх оптимальному співвідношенні [6].

Як показує досвід, у процесі формування аудитивної компетенції студентів доцільним є використання системи аудитивних вправ, до якої входять: підготовчі, спеціальні та контролюючі. Підготовчі вправи, що формують механізми сприйняття – осмислення – прогнозування – пам'яті, спрямовані на вдосконалення аудитивних механізмів у їх взаємодії. Спеціальні вправи мають професійну спрямованість і поділяються на вправи: із застосуванням скрипта; без застосування скрипта; «творчі». Контролюючі вправи носять тестовий характер. Ці вправи мають бути складені на основі врахування взаємодії всіх видів мовленнєвої діяльності. Варто також зауважити, що при відборі текстів для створення комплексу вправ необхідно враховувати такі критерії: рівень володіння мовою; рівень розуміння тексту; автентичність; варіативність; відповідність меті та виду аудіювання.

Ефективність використання автентичних матеріалів у процесі навчання іноземної мови

Одним з ефективних методів формування аудитивної компетенції на заняттях з іноземної мови є використання автентичних матеріалів. Під автентичними розуміємо такі матеріали, які носії мови створили для носіїв цієї ж мови, тобто це власне оригінальні тексти, що продукуються для реальних умов спілкування [7].

У лінгвістичному аспекті автентичні тексти наповнені словами з емоційним забарвленням, займенниками, частками, вигуками, фразеологізмами, модними словами та характеризуються стислими і нерозгорнутими реченнями, що можуть різко обриватись. І хоча вони і не призначені спеціально для навчальних цілей, можуть бути використані під час навчання іноземної мови [2].

Важливе значення для ефективного навчання іншомовної аудитивної компетенції має стилістична приналежність автентичних матеріалів, які за своїм змістом мають відповідати тому рівню мови, застосування якого буде адекватним в певній іншомовній комунікативній ситуації. Сучасні дослідження у царині стилістики англійської мови свідчать, що розмовне усне мовлення, що характеризується неповним стилем вимови, містить численні відступи від літературної норми загальнонаціональної мови [8]. Використання публіцистичних радіо- і телепередач або ж аудіотекстів, начитаних диктором, не може в необхідній мірі сприяти вирішенню проблеми навчання аудіювання живого англійського усного мовлення, адже ці матеріали хоч і є автентичними, але не передають усього розмаїття фонетичних, лексичних, граматичних особливостей означеного регістру мови.

Навчання розуміння на слух, так само як і розуміння всіх особливостей автентичної розмовної мови, безумовно, є процесом значно більш трудомістким, ніж аудіювання нейтральних

по стилю матеріалів, однак тільки врахування стилістичних рис досліджуваного регістру іноземної мови забезпечить студентам можливість адекватно будувати комунікацію з носієм іноземної мови в статусі рівноправного партнера. Саме такий підхід може забезпечити готовність студентів до реальної комунікації.

Адекватним відображенням реальної розмовної мови на певному етапі розвитку мови можуть служити автентичні художні фільми. Діалоги персонажів кіно спеціально створюються таким чином, щоб реконструювати всі найдрібніші тонкощі живої мови, що вживається в різноманітних ситуаціях іншомовної комунікації. Перевагою фільмів в порівнянні з аудіозаписами є те, що відеоряд природним чином доповнює сприйняту студентом інформацію, передаючи умови спілкування, міміку, жести і, що особливо важливо, артикуляцію мовців. Кожен персонаж фільму має свою власну манеру мовлення, вимови звуків, побудови фраз, вибору лексики і мовленнєвої поведінки. Отже, використання вправ, створених на основі фрагментів художніх фільмів, забезпечує стійке сприйняття іноземної мови різних регістрів носіїв мови за відносно короткий період, що з методичної точки зору є фактором підвищення якості навчання іншомовної аудитивної компетенції.

Джерелом автентичних аудіотекстів є також Інтернет. Інформацію, що міститься в них, можна застосовувати для поліпшення аудитивної компетенції. Одним з таких ресурсів є BBC World Service [9], де є новинні матеріали для прослуховування англійською мовою. У служби BBC є проєкт BBC Learning English. Ця популярна програма служить для допомоги у вивченні англійської мови. Крім цього, в Інтернеті можна знайти різні англомовні онлайн-подкасти (аудіо- чи відеозаписи невеликого формату, зроблені в стилі радіопередачі), таким прикладом є ресурс British Council [10]. Такі передачі також допомагають покращувати перцепцію англійської мови. Як правило, диктори – носії мови, тож в програмах звучить жива мова, якою користуються звичайні жителі англомовних країн. Подкасти диференційовані за рівнями володіння мовою. Великою перевагою таких ресурсів, як British Council та BBC Learning English є різний темп мовлення в діалогах і монологах, відповідно до мовної підготовки слухачів. Наприклад, в програмі 6 Minute English присутні пояснення нової лексики і жива розмова кореспондентів BBC. Всі коментарі подаються виключно англійською мовою. До аудіотекстів подкастів є скрипти (текстовий варіант передачі).

Висновки

Отже, на основі практичного застосування розглянутих вище особливостей формування аудитивної компетенції студентів немовних ЗВО ми прийшли до висновку, що застосування автентичних матеріалів при вдосконаленні аудитивної компетенції є доцільним та функціональним, адже такі матеріали створюють ефект занурення в природне іншомовне середовище, що виявляється важливим фактором в успішному оволодінні іноземною мовою. Навчання аудіювання за допомогою автентичних аудіо- та відеоматеріалів з опорою на розроблений комплекс вправ розвиває аудитивні навички та вміння і, в свою чергу, служить стимулом до саморозвитку студентів, формує аудитивну компетенцію на

рівні, що дозволяє ефективно комунікувати засобами іноземної мови для вирішення завдань міжособистісної та професійної взаємодії у міжкультурному середовищі.

В умовах сьогодення питання методики формування іншомовної аудитивної компетенції студентів немовних ЗВО потребують подальшого розгляду та розробки.

Література

1. Гальскова Н. Д., Гез Н. И. Теория обуче-ния иностранным языкам. Лингводидактика и методика. Москва : Академия, 2006. 336 с.
2. Мильруд Р. П. Методика преподавания английского языка. Москва: Дрофа, 2005. 256 с.
3. Tarnopolsky O. Experiential B. E. teach-ing/learning: A happy combination of Intercultural and Communicative Approaches. Business Issues, 2011, Issue 78, pp. 7-8.
4. Berry M. Talkback. Michael Berry vs Oleg Tarnopolsky on EIL and CLL (Voices 217). IATEFL Voices, 2011, Issue 219, pp. 17-18.
5. Remizantseva K. Using the model of blend-ed learning in teaching the English language to

students of non-language specialties. Problems of engineering and pedagogical education. Kharkiv, 2019. № 64. С. 143–154.

6. Arnold J. Planting seeds of confidence in ELT. In T. Pattison (Ed.). IATEFL 2011. Brighton Conference Selections. Whitstable, Kent: IATEFL, 2012. pp. 64-66.

7. Harmer J. How to teach English. An introduction to the practice of English language teaching. Edinburg : Gate Longman, 2000. 198 p.

8. Каптурова Е. С. Иноязычная аудитивная компетенция и пути ее формирования на старшей ступени обучения в языковом вузе. Ученые записки Орловского государственного университета, 2013. выпуск 1. С. 411-415.

9. BBC. URL: <http://www.bbc.co.uk/learningenglish> (дата звернения: 10.09.2020).

10. British Council. URL: <http://learnenglish.britishcouncil.org/en/professionals-podcasts> (дата звернения: 10.09.2020).

LEARNING A FOREIGN LANGUAGE THROUGH SPEAKING

Voronova Ye. M., Assoc. Prof., KhNAHU

Abstract. The article shows the importance of the goal clarity at the English lesson in the technical university. The goal of a foreign language lesson is outlined in the article as an essential component of mastering speech and a means of learning a foreign language. It is underlined that speech activity should be carried out on two levels. The article emphasizes the need to bring to each student that it is impossible to teach speech activity, only the student himself can learn it.

Key words: goal clarity, essential component, speech activity, means of learning, compulsory aspects, goal.

ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ ЧЕРЕЗ МОВНУ ДІЯЛЬНІСТЬ

Воронова Є.М., доц., ХНАДУ

Анотація. У статті показано важливість чіткості цілей на уроці англійської мови в технічному університеті. Мета уроку викладена в статті як суттєва складова оволодіння мовленням та засіб вивчення іноземної мови. Підкреслюється, що мовленнєва діяльність повинна здійснюватися на двох рівнях. У статті «наголошується на необхідності довести до кожного учня, що неможливо навчити мовленнєвій діяльності, навчитися цьому може лише сам студент.

Ключові слова: чіткість мети, суттєвий компонент, мовленнєва діяльність, засоби навчання, обов'язкові аспекти, мета.

ИЗУЧЕНИЕ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА ПОСРЕДСТВОМ РЕЧЕВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Воронова Е.М., доц., ХНАДУ

Аннотация. В статье показана важность ясности цели на уроке английского в техническом университете. Цель урока иностранного языка обозначена здесь как неотъемлемый компонент овладения речью. Подчеркивается, что речевая деятельность должна осуществляться на двух уровнях. Показана необходимость донести до каждого ученика, что учить речевой деятельности невозможно, ее может освоить только сам ученик.

Ключевые слова: ясность цели, существенный компонент, речевая деятельность, средства обучения, обязательные аспекты, цель.

Introduction

It is known that communication is carried out mainly through speech activity in forms of speaking, listening, reading and writing. This means that speech activity (its types) acts as a means of communication. But in order for speech activities to become a means of communication, they must be mastered, that is, they must first be made the goal of learning. In order to achieve the goal of mastering an activity, it is necessary to make this activity a means of mastering it. This quality is one of the characteristic features of a foreign language lesson.

Analysis of publications

G.V. Komshansky in his work "Communicative Function and Structure of Language" emphasizes the need to bring to each student that it is impossible to teach speech activity, only the student himself can learn it [1].

Speaking of the logic of foreign language classes, E.S Polat defines integrity as an integral

part of the logic of a foreign language lesson in teaching communication [2].

N.V. Elukhina, exploring speech activity in a foreign language classroom as a learning tool, emphasizes the importance of a discourse, which is a product of speech activity. In the field of oral communication, the author proposes a business conversation, a dispute, a report, etc., logically introduced into the course of lesson on teaching communication in a non-linguistic university [3]

Purpose and Problem Description

The article shows the importance of the goal clarity and its ability to reach the intended level of mastering of the material, which are the most important prerequisites for proper planning and conducting a foreign language lesson. The goal of a foreign language lesson is shown in the article as an essential component of mastering speech and a means of learning a foreign language.

Learning a foreign language through speaking

Speech activity, in our opinion, should be carried out on two levels. When a teacher in a classroom gives instructions on how to work, or a rule is an instruction when performing tasks, his speech should be extremely clear and understandable (listening with full understanding). When the teacher comments on something, expresses his attitude to something, praises the student or reprimands, it is not at all necessary for students to understand absolutely everything, if they understand the meaning (or main content) of what was said (listening with general content coverage). Moreover, only in this case will the speech in a foreign language class fulfill its role both as a goal and as a means of learning. [4].

Rewriting tasks lacking problematic and discussion monotonous assignments that do not contribute to the development of autonomy, assignments that students take a passive rather than an active position at the lesson. These are the students about whom we, the teachers of a foreign language, say: "They do not want, they are not interested, they are incapable." However, they dream of activity, creativity, independence.

One can learn something only by overcoming difficulties, overcoming them independently. And independence in the study of a foreign language is not the absence of a helper or any support, independence here, first and foremost, means independence of thinking. We often do not trust students, do not believe in their thinking abilities, do not take into account the ability to work inherent in man as such

Teachers of a foreign language try to make it easier for students by giving lightweight mechanical tasks, performing uniform exercises and simply reading a foreign language textbook [5]. But two- or three-months pass and we complain: "The interest disappeared, the desire gone, the activity reduced, the attendance decreased." But not therefore, did it happen that we did not teach students to overcome independently the difficulties of tasks requiring speech-thinking, did not support or develop an "interest".

In modern conditions, with a shortage of time in the process of learning a foreign language, the only condition for the intensity of the lesson is the active position of the student. It is achieved primarily by using verbal-thinking tasks, tasks requiring speech-making, providing for permanent overcoming of difficulty levels, as well as organizing a class when the student is internally active, as it is included in the process of collective communication. A student studying a foreign language must understand that speech activity cannot be taught, it can only be learned. It would be very useful if such a slogan hung in the classroom and reminded students that the key to the success of learning a foreign language is in their own hands.

However, the lack of a precise definition of what the logic of a lesson is, what it is made of, does not allow using it fully. Meanwhile, the logics of any lesson is related to its structure, that is, it is the essence of the lesson, and that is why it is the most important concept of practical interest for a foreign language teacher. In our opinion, the logic of a foreign language lesson consists of four aspects:

- 1) the correlation of all parts, elements of the lesson with the main goal. This aspect can be called focus;
- 2) proportionality of all parts of the lesson, their subordination to each other, or the integrity of the lesson;

3) movement through the stages of mastering speech material, which can be called the dynamics of a lesson;

4) the unity and consistency of the material in content, or relatedness of the lesson.

Purposefulness implies the presence of one main goal. Clarity and definition of the goal, its mono-characteristic is the first prerequisite for the purposefulness of the lesson.

If to look at the logical scheme of the English lesson, we can see:

1) Theme of the lesson: "The history of the development of road transport".

2) Purpose of the lesson: Development of reading, translation, summarizing, annotation and communication skills topic;

3) Related task: Improving pronunciation skills and grammar skills.

Course of lessons:

1) 2 min - the organizational moment.

2) 10 min – speech exercises in the form of questions and answers (How did you get to the university? Did you have any changes? How much time did you spend to get to the hostel? Do you have a car? Which one?).

3) 10 min – repetition and subsequent consolidation of the vocabulary, grammar of the lesson in the form of a game ("ball", "snowball", etc.).

4) 10– 12 minutes – an overview of current events prepared at home, or viewed in the lecture room.

5) 20 min – homework checks (vocabulary, grammar, listening, translation, communication on the topic). This type of work should be conducted in such a way as to prepare students for talking with each other or playing on the text being studied.

6) 10 min – the transfer of the content of the text prepared at home and worked out in different oral and written exercises.

7) 15 min – viewing or search reading on the topic.

8) 15 minutes – introduction of the next lesson vocabulary, teacher's comment on the introductory topic.

9) 1 min – homework.

From the above given scheme of a foreign language lesson it's clear, that integrity can be assessed only if we establish how all the elements of the activity are connected [6].

The specific character of a foreign language introducing a new material. New things, of course, are assimilated at each lesson, or rather, at each lesson there are mastering or improving the skills of mastering a new material, developing the speech ability as a whole, or some of its main parts. In this case, students should actively master the material (master independently), although under the guidance of a teacher. It is also unlawful to add homework to the elements of the lesson. It can be safely taken out of class - to give in writing (on the board, on cards, in the textbook), and not to explain each time the technology of execution, based on a particular task. Based on the above, a structural unit or element of any activity should be considered an exercise, because all the main features of the educational process are inherent in it: it always has a goal, and a number of expedient actions performed, these actions are controlled, as a result there is a certain progress in mastering material. At the same time, an exercise is the smallest segment of the lesson that has an independent meaning.[7]

But one exercise is often not able to advance the student to the next step of mastering. Then, the same type of actions and conditions of the exercises are combined into blocks of exercises. Two exercises of imitative level form a block for imitative mastery of the material, three for substitution a block for mastering the substitution, a block for developing reading speed can consist of two or three exercises of the same type, etc. Three mandatory invariant elements are revealed in the structure of a foreign language lesson. From the perspective of the student and the teacher, they will look somewhat different.

Teacher:

1) creating an atmosphere of foreign communication;

2) showing the functioning of digestible material; 3) exercise management.

Student:

1) entry into the atmosphere of foreign communication; 2) awareness of the material and methods of action with it; 3) training in achieving the required level of knowledge of the material.

All three invariants are embodied at the lesson in different elements: the creation of an atmosphere of foreign communication - in speech exercises, speech preparation, instruction to the lesson, instructions to tasks. Instructions, in the broad sense of the word, together should be considered an exercise in

the classroom; demonstration - in the presentation of a grammatical phenomenon (auditory, visual, etc.), somatization of lexical units in different ways, in exemplary utterance, etc., training and managing it- in conditional speech and speech exercises, and the corresponding actions of the teacher.

Conclusion

The logics of the lesson is the logics of mastering communication material gradually.

The structure of a lesson is just the pattern by which its three main invariants and all the elements embodied are organized in accordance with the goal. The main here is the necessary connections of the main goal with all types of work with others, so that each exercise would prepare for the next, raising the learner to a higher level of mastering the required action, that is, bringing him closer to achieving the main goal.

References

1. Komshansky G.V. (1998). Communicative function and structure of the language Moscow: MS,127.
2. Полат Е.С. Новые педагогические технологии в обучении иностранным языкам. Иностранные языки в школе. –1999. №.6. С. 22–27.
3. Елухина Н.В. Дискурсы при обучении иностранным языкам. Иностранные языки в школе. 2002. № 3. С. 9–12.
4. Stern. Н.Н. FundamentalConceptsof Language Teaching. Oxford: OxfordUniversityPress, 2015. 351 p.
5. Larsen-Freeman. TechniquesandPrinciplesin LanguageTeaching. D.Larsen-Freeman. – NewYork: OxfordUniversityPress, 2016. 142. P 3.
6. Аниськович Н. Р. Обучение учащихся средней школы иноязычному речевому взаимодействию (английский язык) автореф. дис. канд. пед. наук спец. 13.00.02 «Теория и методика обучения и воспитания (иностранные языки)» Минск, 2015. – 20 с.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

АКТУАЛЬНІ НАПРЯМИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА: ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ КОНВЕРГЕНЦІЇ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ. МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Конференцію проведено згідно з планом проведення міжнародних, всеукраїнських науково-практичних і науково-методичних конференцій і семінарів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету у 2020 р. (посвідчення УкрІНТІ №757 від 12 грудня 2019 р.).

Відповідальний за випуск д.т.н., проф. Глушкова Д.Б.

Науковий редактор д.т.н., проф. Глушкова Д.Б.
Технічний редактор к.т.н., доц. Лалазарова Н.О.