

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет митної справи, матеріалів, технологій та гостинності
Кафедра матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

Вплив карбонітрації на структуру та властивості
інструментальної сталі 5ХГС / The effect of carbonitriding
on the structure and properties of instrumental steel

спеціальності 132 "Матеріалознавство"

освітня програма "Індустріальний інжиніринг і менеджмент"

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПМ(ПМ)с-31
Підлужний Владислав Васильович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Гусачук Дмитро Анатолійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Гусачук Дмитро Анатолійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Індустріальний інжиніринг і менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ ІМБІРОВИЧ Н.Ю.

“ 03 ” _____ 01 _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Підлужному Владиславу Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Вплив карбонітрації на структуру та властивості інструментальної сталі 5ХГС*

керівник роботи *Гусачук Дмитро Анатолійович, к.т.н., доцент*,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “31” 12 2025 року № 02 540/01-

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи
« 19 » _____ травня _____ 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи *зразки матеріалу (сталь 5ХГС), матеріали технології, технічні умови, стандарти*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *вступ; аналіз технічної літератури; методика досліджень; розробка та дослідження процесу карбонітрації; аналіз структури та властивостей карбонітридного шару сталі 5ХГС; розробка оптимізованого режиму технології карбонітрації сталі 5ХГС; висновки*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 слайд – Характеристика сталей для штамів та пресформ; 2, 3 слайди – Особливості роботи деталей пресформ; 3 слайд – Дослідження процесу газової карбонітрації сталі 5ХГС; 4-5 слайди – Структура карбонітридних шарів сталі 5ХГС; 6 слайд – твердість карбонітридного шару; 7 слайд – режим зміцнюючої обробки сталі 5ХГС; 8 слайд – висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтроль</i>	<i>доцент кафедри матеріалознавства к.т.н. Мисковець С.В.</i>		

7. Дата видачі завдання «03» 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	<i>Вступ. Аналіз літературних джерел.</i>	05.05.2026	
2.	<i>Планування та виконання експерименту.</i>	12.05.2026	
3.	<i>Опис та аналіз результатів експерименту, розробка рекомендацій та висновків</i>	19.05.2026	

Здобувач вищої освіти _____ *Підлужний В.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ *Гусачук Д. А.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Підлужний В.В. Вплив карбонітрації на структуру та властивості інструментальної сталі 5ХГС. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП "Індустріальний інжиніринг і менеджмент" спеціальності 132 "Матеріалознавство". Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У розділах роботи представлені результати досліджень структури та властивостей поверхневих шарів інструментальної сталі 5ХГС після процесу газової карбонітрації, гартування та відпуску. Встановлено, що карбонітрацію деталей штамів та пресформ, виготовлених зі сталі 5ХГС, можна поєднати з ізотермічною витримкою за температур гартування при 850...870 °С. Це дозволить спростити режим зміцнюючої термічної обробки та оптимізувати технологію виготовлення робочих деталей штамів та пресформ.

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи складається 51 сторінки тексту та містить: 16 рисунків; 2 таблиць; 15 літературних джерел; додатки у вигляді 8 слайдів презентації.

Ключові слова: інструментальна сталь, структура, властивості, мікротвердість, дифузійний шар, карбонітрація, гартування.

					БР 4726.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вплив карбонітрації на структуру та властивості інструментальної сталі 5ХГС / The effect of carbonitriding on the structure and properties of instrumental steel	Літ.	Арк.	Акрушив
Розроб.	Підлужний						3	51
Перевір.	Гусачук							
Реценз.								
Н. Контр.	Мисковець							
Затверд.	Імбрович					ЛНТУ, каф. матеріалознавства, гр. ПМ(ІІМ)с-31		

ANNOTATION

Pidluzhnyi V. The effect of carbonitriding on the structure and properties of instrumental steel. Manuscript.

Qualifying work of a bachelor of the Educational Program "Industrial engineering and management" in the specialty 132 "Materials Science". Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The qualification work consists of an introduction, five chapters, conclusions, a list of sources used, and appendices.

The sections of the work present the results of research into the structure and properties of the surface layers of 5XГC tool steel after the process of gas carbonitriding, quenching and tempering. It has been established that carbonitriding of die and mold parts made of 5XГC steel can be combined with isothermal holding at quenching temperatures of 850...870 °C. This will simplify the mode of strengthening heat treatment and optimize the technology for manufacturing working parts of dies and molds.

The explanatory note of the qualification work consists of 51 pages of text and contains: 16 figures; 2 tables; 15 literary sources; appendices in the form of 8 presentation slides.

Key words: ool steel, structure, properties, microhardness, diffusion layer, carbonitriding, quenching.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вум.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1. Загальна характеристика інструментальних штампових сталей.....	8
1.2. Характеристика сталей для штампів та пресформ	9
1.3. Особливості роботи робочих деталей штампів.....	10
1.4. Робочі деталі пресформ та штампи	12
1.5. Типовий технологічний процес термообробки робочих деталей штампів та пресформ	15
1.6. Затосування нітроцементзації для підвищення стійкості штампових сталей	19
1.7. Мета та завдання кваліфікаційної роботи	22
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	24
2.1. Характеристика об'єкту досліджень	24
2.2. Опис методики дослідження структури зразків	25
2.3. Термічна обробка зразків сталі 5ХГС	27
2.4. Особливості процесу карбонітрації в газовому середовищі	28
2.5. Методи оцінки твердості зразків	30
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЗОВОЇ КАРБОНІТРАЦІЇ СТАЛІ 5ХГС.....	32
3.1. Структура заготовок сталі 5ХГС для вставок пресформи.....	32
3.2. Вплив температури карбонітрації на глибину дифузійного шару сталі 5ХГС.....	35
3.3. Вплив часу карбонітрації на товщину дифузійного шару	36
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КАРБОНІТРИДНОГО ШАРУ НА СТАЛІ 5ХГС	38
4.1. Структура карбонітридного шару	38
4.2. Вплив часу карбонітрації на структуру зразків	41
4.3. Вплив карбонітрації на твердість поверхні сталі 5ХГС.....	43

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ

ГАЗОВОЇ КАРБОНІТРАЦІЇ СТАЛІ 5ХГС 45

ВИСНОВКИ..... 49

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 50

ДОДАТКИ

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Стійкість інструменту забезпечує надійність виконання виробничих процесів у машинобудуванні. Останнім часом актуальними стають заготівельні процеси машинобудівної галузі, що дозволяє заощаджувати не лише на матеріалах, а і на загальній трудомісткості виготовлення продукції, та циклу роботи готових виробів при їх обслуговуванні. Тому, підвищення стійкості основного інструменту таких заготівельних виробництв як штампування та кування є завжди актуальним завданням.

Основними робочими деталями ковальського інструменту та пресових штампів є вставки та знаки, матриці, пуансони, які формують конфігурацію штампованої поковки. Контактуючи з розігрітим чи рідким металом та зазнаючи тиску ці деталі піддаються інтенсивному спрацюванню в термоциклічних умовах, що обмежує термін їх роботи. Заміна цих деталей на нові пов'язана з високими грошовими витратами при закупівлі їх у заводу виробника. Висока вартість пов'язана з високою ціною інструментального матеріалу та складною технологією виготовлення деталей, а головне із значними цеховими та загальнозаводськими витратами, які включені у ціну деталей.

Тому, розробка оптимальної технології виготовлення та зміцнення деталей форми для лиття під тиском, деталей штампів гарячого деформування зменшить витрати не лише на виробництво виробів, а й на ремонт та відновлення основного робочого інструменту.

В бакалаврській роботі для зміцнення деталей штампів та прес-форм пропонується використати суміщений процес нітроцементзації та гартування, на основі чого прийняти рішення, спрямовані на розробку покращеного режиму зміцнюючої термічної обробки сталі 5ХГС, який дозволить підвищити тріщиностійкість, контактну міцність та абразивну стійкість поверхонь штампів та прес-форм.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Загальна характеристика інструментальних штампових сталей

Широке використання інструментальна сталь 5ХГС отримала для виготовлення штампів для гарячого деформування, пуансонів та матриць штампів для пресування й видавлювання, а також робочих деталей прес-форм лиття під тиском мідних та алюмінієвих сплавів [1, 2]. Дана сталь є дешевшою в порівнянні з аналогами, що містять порівняно дорогі легуючі елементи такі як нікель та молібден (наприклад сталі 5ХНМ, 5ХНВ). Незважаючи на відсутність дорогих легуючих елементів сталь 5ХГС зберігає достатню експлуатаційну стійкість за відповідної термічної обробки. Додатково покращити стійкість робочих деталей штампів з цієї сталі можна використавши спеціальні способи хіміко-термічної обробки, зокрема, азотування чи нітроцементацию.

Для виготовлення робочих деталей прес-форм для лиття під тиском деталей паропровідної апаратури, корпусів лічильників, вкладішів та знаків рівчачкових вставок штампів багатьох підприємств часто використовують інструментальну хромовольфрамову сталь марки 3Х2В8Ф. Це теплостійка сталь. До групи теплостійких сталей можна віднести інструментальні сталі леговані вольфрамом, зокрема згідно станартів найбільш вживаними сталями для виготовлення штампового інструменту та прес-форм для лиття під тиском є теплостійкі сталі та сталі підвищеної теплостійкості 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГС, 4Х5В2ФС, 3Х2В8Ф, 4Х2В5ФМ, 5Х3В3МФС. Дані марки штампових сталей передбачені стандартом згідно ДСТУ 3953-2000, це: хромовольфрамові вольфрамохромокремністі, хромовольфрамованадієві, хромонікелеві, хромо-марганцеві сталі. Дані сталі віднесені до групи II згідно стандарту, як матеріал для виготовлення інструменту, який використовується для оброблення металів тиском за температур понад 300 °С. Масова частка залишкової міді в сталі не

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

повинна перевищувати 0,30 %. Вміст сірки фосфору в сталях для робочих деталей штампів гарячого деформування не має перевищувати 0,005 %, кожного.

1.2. Характеристика сталей для штампів та пресформ

Інструментальні сталі для штампів гарячого деформування це леговані сталі з певною кількістю таких легуючих елементів як W, Mo, V, Ni, Co, Cr та інші [2, 3]. Більшість з цих елементів утворюють стійкі карбідні та інтерметалідні фази, які підвищують теплостійкість сталі. Більшість штампових сталей можна розділити на феритний та аустенітний класи. Сталі феритного класу мають меншу теплостійкість, а аустенітного класу працюють за підвищених температур. В сталях феритного класу при високих температурах відбувається коагуляція карбідних фаз і знижується теплостійкість в процесі відпуску. Існує також проміжний клас штампових сталей, які при кімнатній температурі відносяться до феритного класу, а при робочій температурі переходять в аустенітну область. Такі сталі називають сталями з регульованим аустенітним перетворенням. Хімічний склад найбільш широко застосованих сталей для виготовлення робочих деталей штампів гарячого деформування регламентується стандартом ДСТУ 3953-2000 (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталей для гарячого деформування.

Сталь	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	W, %	Mo, %	V, %
5ХНМ	0,50...0,60	0,50...0,80	≤0,35	0,50...0,80	1,4...1,8	—	0,1...0,3	—
5ХНВ	0,50...0,60	0,50...0,80	≤0,35	0,50...0,80	1,4...1,8	0,4...0,6	—	
5ХГС	0,30...0,40	0,15...0,40	0,15...0,40	2,20...2,70	—	7,5...8,5	—	0,2...0,5
4Х5В2ФС	0,35...0,45	0,15...0,40	0,80...1,20	4,50...5,50	—	1,6...2,2	—	0,6...0,9

Сталі для штампів гарячого деформування це леговані інструментальні матеріали (0,3...0,6% C), що забезпечують високу теплостійкість, міцність, в'язкість та зносостійкість при температурах 500...700С. Основні вимоги до цих

					БР 4726.00.000 ПЗ			Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				9

сталей включають стійкість до розгарних тріщин (теплова втома), твердість 35...50 HRC та здатність працювати під ударними навантаженнями.

Потрібних експлуатаційних властивостей (таблиця 1.2) ці сталі набувають після відповідної зміцнюючої термообробки, коли в структурі сталей присутній перенасичений легований твердий розчин вуглецю та карбіди різного ступеня легування.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості інструментальних штампових сталей після гартування та відпуску

Марка сталі	Характеристика					
	σ_b , МПа	σ_t , МПа	δ , %	Ψ , %	KCU , кДж/м ²	HRC ₃
5XHM	1530	1390	12	36	200	40...45
5XHB	1760	1690	7	25	300	42...47
5XHC	1720	1520	10	32	350	42...47
4X5B2FC	1680	1500	8	28	250	44...49

Гартування штампових інструментальних сталей рекомендується виконувати в оливах, для досягнення специфічних властивостей використовують розплави солей [4]. Для всіх сталей після гартування рекомендується високе відпускання при температурах 600...700 °С.

1.3. Особливості роботи робочих деталей штампів

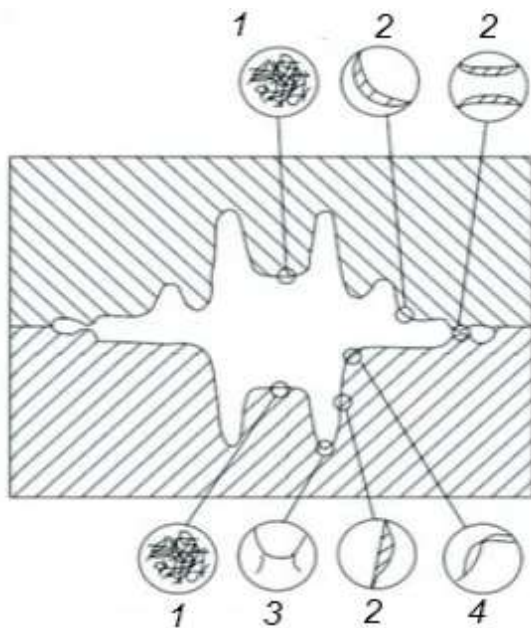
З загальної характеристики процесів штампування та лиття під тиском [3] відомо, що розплавлений метал вводиться у металічну ливарну форму під тиском поршня чи стисненого повітря. Величина тиску становить від однієї частки атмосфери до декількох десятків і навіть сотень атмосфер. Із збільшенням тиску підвищується рідкотекучість металу, що заливається у форму.

Деталі, які отримуються литтям під тиском, мають чисту поверхню та точні розміри в межах $\pm 0,03 \dots 0,08$ мм, тому механічна обробка чи повністю виключається, чи зводиться в основному до шліфування. Деталі можуть бути отримані в готовому вигляді з різьбою, отворами та дуже тонкими приливами та виступами. Метал в деталях набуває дрібнозернистої структури та має велику щільність і однорідність внаслідок швидкого охолодження в металічній формі. Міцність деталей отриманих литтям під тиском вище, ніж деталей, що отримані звичайними способами лиття. За допомогою цього способу лиття виготовляють виливки з тонкими стінками зі сплавів алюмінію, магнію, міді, а також зі сталі.

Силовий режим експлуатації штампів також залежить від їх конструкції [4]. Концентрація напружень в місцях різких переходів січення деталей форми, виникнення напружень згину, недостатня товщина вставок чи знаків, стінок матриць та інше, можуть привести до швидкого спрацювання та руйнування робочих елементів (рисунок 1.1). Зважаючи на це для деталей складної конфігурації необхідно застосовувати спеціальні марки сталей, зокрема, сталь 5ХГС підвищеної стійкості, а також спеціальні методи локального підвищення твердості та міцності функціональних поверхонь деталей штампів чи форм для лиття.

Для лиття під тиском застосовують машини поршневої дії з гарячою та холодною камерою стиснення, а також машини компресорної дії з рухомою та нерухомою камерою стиснення [5]. Машини поршневої дії з гарячою камерою стиснення застосовують для лиття деталей зі сплавів, що мають температуру плавлення до 450°C . Ці машини за конструкцією поділяються на ручні, напівавтомати та автомати і працюють за одним принципом. З чавунної ванни рідкий метал подається у металічну форму під дією тиску, який створює централізована чи власна пневмосистема. Величина тиску повітря становить 6...25 атмосфер, що перевищують нормальні тиски при роботі більшості робочих деталей універсальних штампів.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



а



б

Рисунок 1.1 – Типові види руйнувань рівчака штампу (а) та вигляд тріщин розжарювання (б) на поверхні штампу [5]:

1- тріщини розжарювання; 2 – абразивний знос; 3 – тріщини крихкого руйнування; 4 – пластичне зминання.

Перед подачею нагрітої заготовки у штамп оператор пресу чи машини лиття обов'язково повинен очистити внутрішню порожнину штампу від забруднень та залишків твердого металу. Для цього використовується повітряний пістолет, в який подається стиснене повітря з централізованої повітряної мережі. Після виконання циклу лиття оператор кліщами знімає поковку чи виливок з прийомної вставки форми. Обрубка ливникового залишку виконується автоматично за допомогою рухомих деталей ливарної форми. Видалення виливка з порожнини форми також передбачено конструкцією ливарної форми.

1.4. Робочі деталі пресформ та штампі

Прес-форми для лиття під тиском являють собою складну конструкцію. Форма складається з рухомої та нерухомої частин. Нерухома частина

кріпиться до станини ливарної машини. Рухома частина форми закріплюється на повзуні ливарної машини.

Основний принцип роботи форми можна зрозуміти з приведеної на рисунку 1.2 схеми. Під час переміщення повзуна ливарної машини форма розкривається для видалення виливка. Після розкриття форми виконується відрубування ливарного залишку та виштовхування виливка з робочої порожнини штамп. Виштовхування виливка виконується штовхачами, розміщеними в рухомій та нерухомій частинах форми.

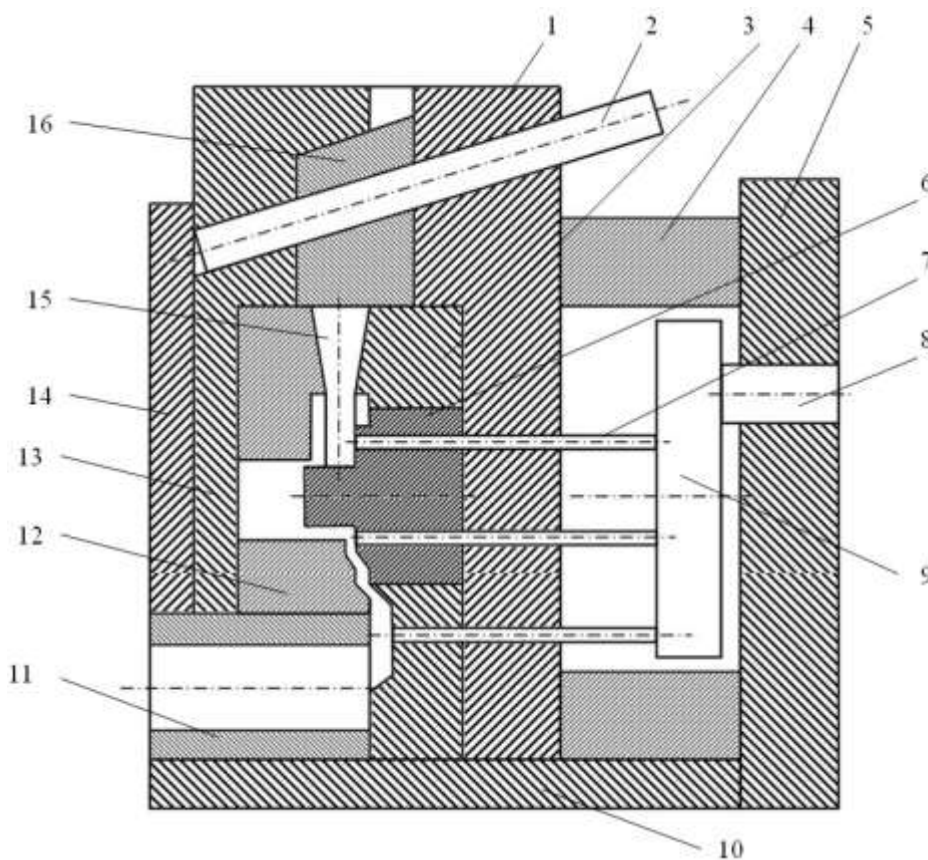


Рисунок 1.2 – Схема форми ливарної для лиття під тиском корпусу регулятора тиску:

1 – плита рухома, 2 – клин, 3 – вставка рухома, 4 – вставка,
5 – плита, 6 – знак рухомий, 7 – виштовхувач, 8 – штовхач,
9 – диск, 10 – підкладка, 11 – втулка литникова, 12 –
вставка нерухома, 13 – плита нерухома, 14 – підкладка,
15 – знак, 16 – клин.

Всі деталі форми кріпляться на рухомій та нерухомій плитах. З внутрішньої сторони рухомої плити кріпиться плита виштовхувачів, до якої приєднується кріпильна плита. Між кріпильною та рухомою плитою розміщені два бруса, між якими утворюється порожнина для розміщення плити виштовхувачів.

Основними робочими деталями форми є рухома та нерухома вставки та знаки, які слугують для формування функціональних отворів та порожнин корпусу регулятора. При подачі рідкого металу у порожнину форми рухома вставка розміщена в крайньому лівому положенні. Метал до робочої порожнини подається через втулку литникову, яка розміщена в нижній частині нерухомої плити форми.

Для відрубубування литникового залишку слугує розсікач, який кріпиться в рухомій плиті. При переміщенні плити розсікатель відсікає литниковий залишок. При закритому положенні форми розсікатель слугує також для утворення литникової системи.

В верхній частині форми розміщено повзун, який функціонально з'єднаний з рухомою плитою, знаком 3 та клином. Цей повзун приводить в рух знак 3, при розкриванні форми. Повзун разом з рухомою плитою переміщується в право, при цьому він ковзає по нерухомому клину, що приводить до переміщення його угору. Коли повзун переміщується вгору він піднімає знак 3, який видаляється з отвору вилівка.

У знаку 1 виконано вузол охолодження, який складається з трубки, штуцера мідної підкладки та ніпеля. Охолодження знаку виконується водою, яка подається через гнучкий водопровід.

Таким чином, основними формоутворюючими деталями форми для лиття під тиском корпусу регулятора є вставки рухома та нерухома і знаки 1, 2, 3, 4 та 5. Всі ці деталі безпосередньо контактують з рідким металом і зазнають нагрівання та тиску. Тиск на більшості поверхонь цих деталей може досягати 150 ат. Тому умови роботи робочих деталей форми досить складні. Їх поверхні піддаються втомно-ерозійному та термоциклічному спрацюванню,

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

коли нагрітий метал, контактуючи з функціональними поверхнями інструменту, викликає появу градієнту температур. Враховуючи, що температура рідкого сілуміну, який подається у порожнину форми, становить 680...700 °С, температура нагріву поверхневих шарів робочих деталей в локальних місцях може досягати 650...670 °С .

1.5. Типовий технологічний процес термообробки робочих деталей штампів та пресформ

Кінцева термічна обробка робочих деталей штампів та пресформ машин лиття під тиском поршневої дії полягає в гартуванні та відпусканні. При цьому відпускання частіше є багатократним і проводиться в декілька стадій. Для підвищення терміну служби робочих частин ливарних форм часто застосовують різні види хіміко-термічної обробки. Кінцева термічна обробка робочого інструменту пресформ повинна забезпечити отримання заданих технічними умовами твердості, межі міцності і ударної в'язкості, та не викликати надмірного жолоблення, тріщин, окислення та знеуглецевлення поверхні. Як показує великий досвід [6] виготовлення та експлуатації різного інструменту для металічних ливарних форм, його стійкість в більшості визначається раціональним вибором та якістю виконання термічної обробки.

Рухомі та нерухомі вставки та знаки форм для лиття під тиском поступають на операції термічної обробки, як правило, з незначними припусками для виконання заключних операцій механічної обробки (шліфування, доводка). Інколи робочі деталі форм можуть поставлятися без припусків на механічну обробку, тобто з розмірами та допусками, що вказані на креслені. За таким варіантом, зазвичай, оброблюють інструмент нескладної конфігурації та досить незначних розмірів. При термічній обробці даного інструменту жолоблення практично не виникає.

Для робочих деталей форм для лиття під тиском характерні як перший, так і другий спосіб підготовки деталей до процесу термообробки [7]. В обох

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

випадках для покращення структури штампових сталей за січенням деталей, на заводі застосовується процес кування прокату з інструментальних сталей на молотах в гарячому стані. Така обробка дозволяє досягнути однорідності структури сталі за розподілом та розмірами карбідних включень, які обов'язково присутні у хромовольфрамфосфатних сталях.

Для виготовлення рухомої і нерухомої вставок, а також знаків ливарної форми згідно із заводським процесом термообробки використовують штампову сталь підвищеної теплостійкості.

Штатний технологічний процес зміцнюючої термообробки робочих деталей прес-форми для лиття під тиском корпусу регулятора з силумінів складається з наступної послідовності операцій.

005. Транспортувальна.

На цій операції заготовки переміщують до завантажувальної ділянки. Для транспортування використовується електротельфер вантажопідйомністю $Q=2$ тони. Касети з деталями стропуються металічними стропами.

010. Заготівельна.

Дана операція полягає в підготовці заготовок вставок та знаків до завантажування у нагрівальні печі. Виконується огляд та сортування заготовок. Підготовлені заготовки до гартування укладаються в пристосування для завантажування в нагрівальну електропеч, що являють собою спеціальні корзини з жаростійкої сталі. Кількість заготовок в садці 5...30 шт. в залежності від розміру та конфігурації заготовок.

015. Нагрівальна.

Садка деталей завантажується у нагрівальну піч для підігріву деталей, завантажування виконують за допомогою електротельферу чи кран-балки. Завантаження проводять повільно, з поступовим зануренням садки деталей у розчин. Необхідність підігріву пов'язана з схильністю хромовольфрамистих сталей до жолоблення при швидкому кінцевому нагріванні в соляних ваннах до високих температур. Нагрівання виконується в соляній печі-ванні з тиглем з вогнетривкої цегли типу СВС-4.8.4/6. Піч має робочий простір у вигляді

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

вертикально розміщеної призми, розмірами 500×650 мм. В печі заготовки підігріваються до температури 840...860 °С. Середовище нагрівання складається з суміші солей: 50 % BaCl₂ + 50 % NaCl. Нагрівання проводять з метою передачі підігрітих заготовок в електропіч ванну з розігрітим до високої температури соляним розчином. Час прогрівання садки заготовок 2...2,5 години в залежності від кількості та розміру деталей в садці. Прискорений нагрів заготовок не допускається.

020. Нагрівальна.

Садка деталей за допомогою електротельфери чи кран-балки завантажується для основного нагрівання в соляну ванну. Нагрівання під загартування заготовок проводять в соляній електродній трифазній печі-ванні типу СВС-75/13 з максимальною робочою температурою 1300 °С. Нагрівання здійснюють в суміші 90 % NaCl + 10 % BaCl₂, робоча температура якої коливається в межах 850...1300 °С. Тривалість нагрівання приймають рівною від 30 хв. до 1 години, в залежності від розмірів заготовок. Нагрів вставок та знаків ливарної форми під гартування проводять до температур 1070...1100 °С.

025. Охолоджувальна

Після нагрівання до температури гартування та витримки заготовки вставок та знаків виймають з соляної ванни та підстужують на повітрі до 900...950 °С. Потім садку деталей поміщують у гартівний бак з оливою для гартування. Охолодження садки в оливі виконують до температури 200...230 °С. Потім заготовки виймають та далі охолоджують на спокійному повітрі. Гартівний бак виконано у вигляді вертикальної конструкції, з розмірами робочого простору 2100×3400 мм. Для покращення охолодження конструкція баку передбачає циркуляцію оливи під час робочого циклу.

030. Промивка.

На цій операції садку з загартованими заготовками промивають в автоматичній промивній машині С3140.02. Для промивання садку деталей переміщують за допомогою електротельфери у промивну машину.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Промивання проводять в середовищі активної речовини триполіфосфату. Час промивання 30...60 хв.

035. Сушка.

На цій операції садку деталей з промивної машини переміщують за допомогою електротельфери на спеціальну площадку для сушіння. Сушіння деталей виконують на цеховій площадці з обдувом садки нагрітим повітрям. Для цього використовують агрегат АВЗН-3.4-1.6.

040. Відпускання.

Після сушки садку деталей переміщують за допомогою електротельфери у піч для відпускання. Відпускання проводиться згідно встановленого режиму для заданої марки штампової сталі. Для запобігання утворенню окалини використовуються низькотемпературні соляні ванни типу С-35 з розплавом: 100 % KNO_3 . Робоча температура 350...600 °С, витримка 1...1,5 год. По завершенню часу витримки садку виймають з печі-ванни та охолоджують на повітрі.

045. Промивка.

Після охолодження деталей до температури 50...70 °С їх завантажують за допомогою електротельфери у промивну машину. Промивання виконується аналогічно операції 030 з використанням суміші NaNO_2 та Na_2CO_3 .

050. Сушка.

Садку деталей з промивної машини переміщують електротельфером чи кран-балкою на площадку сушіння. Сушіння деталей виконують на цеховій площадці з обдувом садки нагрітим повітрям. Для цього використовують агрегат АВЗН-3.4-1.6.

055. Розвантажувальна.

На цій операції виконується розвантаження садки термооброблених деталей на розвантажувальному стенді. З площадки сушіння садка деталей для розвантажування переміщується за допомогою електротельфери чи кран-балки.

060. Контрольна.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Виконується контроль якості термообробки згідно встановленою ЦЗЛ методикою.

1.6. Затосування нітроцементатації для підвищення стійкості штампових сталей

Особливо важливу роль в забезпеченні високої стійкості штампового інструменту грає структура і властивості його поверхневих шарів, які зазнають найбільш сильні температурно-силові навантаження в процесі експлуатації. Тому, як відомо з багатьох літературних джерел [6-9], хіміко-термічна обробка, яка надає поверхневим шарам ряд специфічних властивостей, є одним з ефективних способів підвищення строку служби інструменту для лиття під тиском.

Для дифузійного зміцнення штампового інструменту та форм для лиття під тиском апробовані як традиційні (азотування, цементатація, нітроцементатація), так і більш нові (хромування, борування, комплексне насичення) методи хіміко-термічної обробки.

Звичайна зміцнююча термообробка має на меті отримання достатньої твердості поверхні інструменту із збереженням високої в'язкості штампової сталі. Розглянутий технологічний процес гартування, що застосовується у власному інструментальному виробництві заводу дозволяє досягнути однорідної троосто-мартенситної структури хромовольфрамкової інструментальної сталі 5ХГС. Твердість функціональних поверхонь становить 48...52 HRCэ, що забезпечує достатню надійність.

Проте, дифузійним зміцненням поверхневих шарів робочих деталей прес-форми можна значно підвищити строк їх служби і, відповідно, збільшити кількість відлитих деталей.

Зокрема, відомо [8], що для сталі 5ХГС досить ефективним способом підвищення контактної міцності є цементатація, азотування, нітроцементатація, борування тощо. З цих процесів, враховуючи призначення деталей, склад сталі

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

та особливості існуючої технології зміцнення, найбільш вдалим процесом слід вважати нітроцементацию. Цю операцію можна сумістити з обов'язковим підігрівом вольфрамових сталей до 840...860 °С перед кінцевим нагріванням для гартування. Такий хід технологічного процесу буде найбільш економічно вигідним та не приведе до суттєвого ускладнення технології.

При використанні азотування, цей процес необхідно проводити окремо після гартування та обов'язкового високого відпускання для уникнення жолоблення деталей при температурах азотування. З огляду на діючий технологічний процес борування є більш вигідним, але викликає необхідність використання дорогих солей, для проведення дифузійного насичення бором, та застосування додаткових заходів щодо охорони праці робітників і утилізації відходів. Щодо використання цементации, то даний спосіб ХТО можна сумістити з основним нагріванням сталі 5ХГС під гартування, що спростить технологію зміцнення. Але структура цементованого шару є менш стійкою при контакті з рідкими металами і може швидко спрацьовуватись. Тому процес високотемпературної нітроцементации є найбільш вигідним для підвищення надійності робочих деталей штампів та прес-форм для лиття під тиском.

При оптимальних умовах насичення структура нітроцементованого шару повинна складатися з мартенситу, невеликої кількості карбідів і деякої кількості залишкового аустеніту; структура серцевини з троостосорбіту, бейніту або маловуглецевого мартенситу та рівномірно розподілених карбідів. В нітроцементованому шарі нерідко допускається підвищена кількість залишкового аустеніту, який забезпечує добру припрацьовуваність. Але у випадку високолегованих інструментальних сталей для прес-форм кількість залишкового аустеніту має бути невисокою, що досягається відповідним регулюванням насичуючої атмосфери в печі.

Нітроцементация сильно підвищує межу витривалості при згині σ_{-1} . Максимальна величина межі витривалості після нітроцементации досягається при меншій товщині шару в порівнянні з цементацией. Для легованих сталей

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

найбільше значення σ_{-1} має місце при відношенні $x/R \leq 0,1$. Осередок руйнування в цьому випадку лежить під зміцненим шаром. З підвищенням міцності серцевини до $\sigma_B = 1400 \dots 1500$ МПа межа витривалості зростає, а далі спадає.

Контактна міцність після нітроцементзації тим вища, чим більша товщина шару і вища твердість серцевини. При роботі виробу, наприклад робочих деталей штампів гарячого деформування чи прес-форм, в умовах високих контактних напружень товщина шару повинна бути $x/R \geq 0,1$, що для більшості випадків відповідає 0,1...0,3 мм. Більша величина нітроцементованого шару для прес-форм є недоцільною, оскільки спрацювання 0,1 мм поверхні деталі нерідко веде до недопустимої зміни точності лиття під тиском.

При мартенситно-аустенітній структурі механічні властивості в більшій степені залежать від величини зерна. При зменшенні величини зерна з 2 до 14 бала межа втомності нітроцементованих зразків зростає в два рази, а міцність при згині в 1,7 рази. Всі методи подрібнення зерна сприяють підвищенню конструктивної міцності нітроцементованих виробів.

Максимальні показники міцності досягаються лише при оптимальному для даної сталі вмісту на поверхні нітроцементованого шару вуглецю та азоту. Оптимальний вміст вуглецю для середньовуглецевих високолегованих штампових сталей складає 0,5...0,7%. При більш низькій концентрації вуглецю, внаслідок утворення нітридів, відбувається збіднення азотом та легуючими елементами аустеніту. При наступному гартуванні такий аустеніт зазнає часткового розпаду з утворенням трооститної сітки на всю протяжність зони маловуглецевого мартенситу. В цьому випадку твердість шару буде пониженою.

При високому вмісті вуглецю в сталі, що містить хром, вольфрам, титан утворюються карбонітриди $(Fe, Me)_3(CN)$, які розміщуються переважно по границям зерен у вигляді суцільної чи розірваної сітки. Перехід вуглецю та легуючих елементів в карбонітриди знижує стійкість аустеніту, що також

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

веде до утворення в нітроцементованому шарі трооститу. Утворення сітки карбонитридів та трооститу понижує межу витривалості, пластичність і в'язкість сталі.

Для отримання оптимальних властивостей при нітроцементзації необхідно регулювати не лише вміст вуглецю, але і азоту. Азоту в шарі має бути не менше тієї кількості, яка здатна запобігти шкідливим наслідкам внутрішнього окислення ($\geq 0,1 \dots 0,15 \%$). При вищому вмісті азоту ($0,4 \dots 0,5 \%$) в шарі утворюється "темна складова", яка погіршує контактну витривалість поверхні деталі [9]. "Темну складову" можна спостерігати на нетравлених мікрошліфах у вигляді темної сітки точок та краплень. Ці краплень проходять на глибину до 0,1 мм від поверхні нітроцементованого шару. При нагріванні та охолодженні, яке викликає фазові перетворення, "темна складова" залишається незмінною, тому слід слідкувати за вмістом азоту в активній атмосфері для нітроцементзації, а також за часом витримки деталей. Оптимальна кількість азоту в нітроцементованому шарі, яка не викликає появу "темної складової" становить $0,3 \dots 0,35 \%$.

1.7. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Для покращення зносостійкості та підвищення довговічності робочих деталей штампів гарячого деформування в роботі планується застосувати процес нітроцементзації в загальному циклі зміцнюючої термообробки інструментальної сталі 5ХГС.

За відомими даними з практики виготовлення та ремонту штампового оснащення [3-9] застосування цього процесу хіміко-термічної обробки дасть змогу підвищити загальну стійкість робочих деталей штампів у 1,5...2 рази. Це дозволить значно підвищити кількість відштампованих деталей за основним виробничим циклом на одному комплекті робочих деталей штампів. З досвіду роботи передових підприємств та останніх літературних даних нітроцементация деталей штампів та прес-форм для лиття під тиском дає змогу

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

збільшити кількість відштампованих деталей з 2500...3000 до 4500...5000 шт. Отже, впровадження даного процесу ХТО в інструментальному виробництві дасть змогу зменшити витрати на інструмент та інструментальні матеріали і, таким чином, зменшити собівартість основної продукції.

Крім того, в загальному циклі термообробки вставок та робочих деталей штампів планується використати прогресивну схему суміщеного гартування з температур нагріву під процес нітроцементзації штампових сталей. Це зменшить кількість технологічного обладнання та загальну трудомісткість процесу.

Основні завдання роботи є:

- підготовка експериментальних зразків зі сталі 5ХГС для проведення процесу нітроцементзації;
- дослідження структури поверхневих шарів сталі 5ХГС після газової нітроцементзації за різних температур;
- дослідження твердості нітроцементованого шару сталі 5ХГС;
- розробка технологічного процесу газової нітроцементзації деталей.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика об'єкту досліджень

Для дослідження структури та властивостей карбонітридних шарів сталі 5ХГС використовувались окремо підготовлені зразки та проби. Зразки готувались холодним способом на металорізальних верстатах. Враховуючи, що експериментальні зразки виготовлятимуться з високолегованої інструментальної сталі, відрізання проб і заготовок необхідно проводити обережно. При виготовленні зразків повинні бути передбачені всі заходи, щодо запобігання нагріву зразків і наклепу котрі можуть привести до спотворення структури та зміни властивостей.

Для проведення всього комплексу експериментальних досліджень виготовляємо 30 зразків, з необхідними розмірами та об'ємом. За рекомендаціями [2] зразки повинні мати призматичну чи циліндричну форму, а площу поверхні, що вивчається неменше 1...2 см². Вибираємо призматичну форму зразків (рисунок 2.1), розміри яких (довжина-ширина-висота): 15×15×25 мм.



Рисунок 2.1 – Зразки сталі 5ХГС

Мікрошліфи нітроцементованих зразків готувались з попереднім заливанням їх епоксидною смолою. Це дозволяло уникнути значних завалів на

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

краю поверхні мікрошліфа в зоні утворення нітроцементованого шару. Таким чином, при фотографуванні структури шару вдавалось уникнути значного розфокусування по видимій зоні мікрошліфа.

2.2. Опис методики дослідження структури зразків

Для аналізу структури експериментальних зразків вибрані традиційні методи металографічних досліджень [10]. Приготування шліфів полягало у грубому шліфуванні, тонкому шліфуванні і поліруванні. Обробка на абразивному камені зернистістю 45...60 мкм проводиться для вирівнювання поверхні зразків. При цьому використовуємо шліфувальний верстат СШ-13/20. Груба шліфовка проводиться послідовно на трьох шліфувальних шкурках: № 280...320, № 150...200, № 100...150 (рисунок 2.2), також на шліфувальному верстаті. Після цього відбувається тонка шліфовка послідовно на дрібнозернистих шліфшкурках: М40, М28 і М20.



Рисунок 2.2 – Підбір шліфувального паперу

Полірування проводилось на алмазних пастах: АСМ 20/14, АСМ 10/7 і АСМ 5/3. Полірування проводять на спеціальному полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий сукном або фетром, при частоті обертання 400-600 об/хв. При переході з одного абразиву до іншого необхідно обертати зразок на 90° (перпендикулярно попередньому напрямку) і шліфувати до повного

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зникнення рисок, отриманих при попередній операції шліфування чи полірування.

Для дослідження структурного стану експериментальних зразків були залучені методи оптичної металографії. В дослідженнях використовували оптичні мікроскопи МІМ-10, МБС-10, МЕТАМ РВ-23Е.

Виявлення мікроструктури проводиться перш за все розгляданням шліфа під мікроскопом у нетравленому стані при невеликих збільшеннях: $\times 100 \dots 200$ разів. Вивчення нетравленого зразка дозволяє визначити наявність неметалічних включень, пор та тріщин і встановити їх форму. Для чіткого виявлення мікроструктури дифузійного шару зразки сталі заливали бакелітом (рисунок 2.3). Це дозволяло отримати чітке зображення під час дослідження з використанням збільшень мікроскопу більше 100 разів.

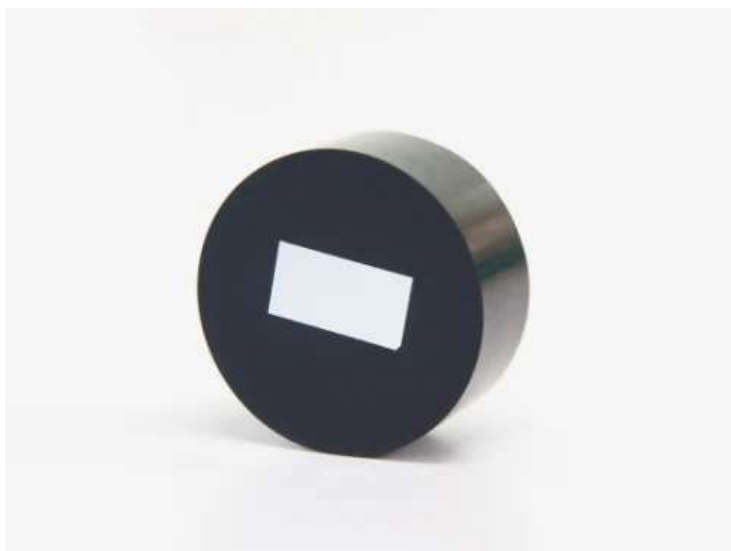


Рисунок 2.3 – Зразки для дослідження мікроструктури карбонітрідних шарів

Подальше вивчення структури проводиться на травленому зразку. Найбільш застосовувані методи виявлення мікроструктури інструментальних сталей є хімічне травлення спеціальними розчинами. Для виявлення структури високолегованої штампової сталі 5ХГС використовуємо реактив Віллелла-Бейна. Реактив забезпечує тонкий малюнок структури, а також виявляє лікваційну неоднорідність деяких елементів. Час травлення від 5 до 20 с.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Дослідження травленої структури сталі проводили при збільшеннях $\times 400 \dots 800$.

Для проведення кількісного та якісного структурного аналізу в експериментальній частині кваліфікаційної роботи використовувався метод порівняння зі стандартними шкалами структур згідно ДСТУ. Кількісний аналіз проводили за фотографіями мікроструктур, які отримувались при фотографуванні на цифрову камеру за допомогою металографічного оптичного мікроскопу МІМ-10.

2.3. Термічна обробка зразків сталі 5ХГС

Експериментальну термічну обробку зразків проводили на лабораторному обладнанні. При цьому враховувалась необхідність попереднього повільного підігріву сталі 5ХГС перед основним нагрівом для гартування. За запропонованою в дипломі методикою операцію підігріву суміщували з ХТО нітроцементациєю. Використовували лабораторні нагрівальні печі типу СНОЛ з горизонтальною та вертикальною робочою камерою.

Для підігріву зразків та одночасного проведення нітроцементациї використовували шахтну лабораторну піч типу СНОЛ-2,5.4.1,4/09-Ш1. В муфель печі завантажувався металічний тигель у вигляді стакану. Стакан виготовлявся з високолегованої окалено- та термостійкої сталі 12Х18Н9Т. Зовнішній діаметр стакану становив 120 мм, відповідно до внутрішнього отвору муфеля печі: 1,4 дм (140 мм). Товщина стінок стакану становила не менше 5 мм. Зверху стакан закривали кришкою, виготовленої з тієї ж сталі. В центральний отвір кришки вставляли штуцер для подання триетаноламіну. Таким чином в середині стакану створювалась активна атмосфера для карбонітрації зразків. Підігрів зразків проводили до температур $720 \dots 750^\circ\text{C}$, при яких в тигель печі подавали реагент триетаноламін $(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3\text{N}$. Температуру в тиглі контролювали хромель-алюмелієвою термопарою типу

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

ТХА 1879. Термоелектрорушійну силу термопар вимірювали за допомогою потенціометру постійного струму типу ПП-63, класу точності 0,05, з врахуванням поправки на холодні кінці термопар.

Після проведення карбонітрації зразки швидко переносили в розігріту до температур 850...870 °С шахтну лабораторну піч типу СНОЛ-2,5.4.1,4/13-Ш1. В муфелі цієї печі також був поміщений тигель зі сталі 12Х18Н9Т з розплавленою сумішшю солей 90 % NaCl + 10 % BaCl₂. При цьому нагрів нітроцементованих зразків проводився дуже швидко, що допускається за вимогами до термічної обробки штампової сталі 5ХГС.

Після прогрівання зразків до температури гартування (850...870 °С) та необхідної витримки 0,5 години їх піддавали гартуванню. Гартування проводили з підстужуванням зразків на спокійному повітрі, після чого зразки занурювали в оливу, підігріту до 150 °С.

Після проведення гартування виконували відпускання експериментальних зразків. Відпускання проводили в муфельній шахтній печі типу СНОЛ-2,5.4.1,4/09-Ш1. Температура відпускання 450...500 °С. Для уникнення окаленування на поверхні загартованих зразків, їх поміщали у тигель з розплавом 100 % KNO₃.

2.4. Особливості процесу карбонітрації в газовому середовищі

Насичення робочих поверхонь вставок та знаків азотом та вуглецем, як показали проведені дослідження, дозволяє значно підвищити поверхневу твердість, що забезпечує високу зносостійкість деталей в умовах утворення окалини та абразивного спрацювання. Крім того, наявність азоту сприяє утворенню включень ε-фази карбонітридної природи, що покращує стійкість поверхонь в умовах контакту з рідкими сплавами кольорових металів.

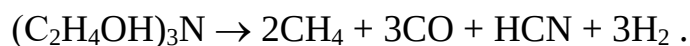
Отже, нітроцементация вставок та знаків ливарної форми, які виготовляються зі штампової сталі 5ХГС, є ефективною хіміко-термічною

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

обробкою, що дозволяє значно підвищити стійкість деталей, і відповідно зменшити витрати на ремонт обладнання.

За типовими технологічними процесами комплексної термообробки з використанням нітроцементації існує декілька варіантів послідовності основних операцій. Найбільш часто процес складається з підготовчих операцій, безпосередньо нітроцементації, гартування, промивання, відпускання, промивання та різного роду слюсарних операцій.

Насичення сталі азотом і вуглецем можливо за умови, що до поверхні металу підводиться хімічно активний атомарний вуглець і азот. В роботі пропонується використання реакційного газу, що утворюється при термічному розпаді рідкого реагенту – триетаноламіну $(C_2H_4OH)_3N$. Триетаноламін являє собою гігроскопічну рідину, яка містить 9,4 % N_2 , 48,5 % C, 10 % H_2 та 32,1 % O_2 . При нагріванні вище ніж 500 °C відбувається піроліз триетаноламіну:



Цей процес відбувається досить продуктивно: з 1 см³ триетаноламіну утворюється 1,18 літрів газу. Гази, що утворилися при піролізі триетаноламіну CH_4 , HCN , $3H_2$ забезпечують насичення сталі вуглецем та азотом. Триетаноламін в піч подається крапельним способом, використовуючи спеціальні крапельниці. Регулюючи кількість триетаноламіну, що подають у піч, можна змінювати його активність.

Для підвищення активності проходження реакції розпаду триетаноламіну рекомендується застосовувати його суміш з водою (≈ 10 %). В цьому випадку склад атмосфери: 0,5 % CO_2 ; 37 % CO ; 57 % H_2 ; 5,5 % H_2O + N – точка роси атмосфери +9°C. Додавання води виключає схильність до закоксовування триетаноламіну в трубопроводах.

Процес нітроцементації при використанні триетаноламіну триває 2...4 години при температурі 850...870 °C. Глибина нітроцементованого шару, при цьому, може досягати 1,0 мм. Витрата триетаноламіну залежить від типу печі, ваги садки та тривалості процесу нітроцементації. В період нагрівання печі до робочої температури триетаноламін подається у піч в кількості 40...60 % від

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

тої кількості, що подається при насиченні. Тиск газу в печі підтримується $(6...10) \cdot 10^{-4}$ МПа. Чим вища температура нітроцементзації, тим більше насичення шару вуглецем і менше азотом. Проведення процесу при 850 °С забезпечує вміст вуглецю в шарі 0,8...0,9 %, азоту – 0,5...0,7 %, а при 930 °С відповідно 0,9...1,15 % та 0,2...0,3 %.

Перевагами триетаноламіну є незначна схильність до утворення сажи, внаслідок вмісту в його складі кисню, та невисока токсичність. Активні атоми азоту і вуглецю, що виділяються при розпаді триетаноламіну, швидко адсорбуються і дифундують у глибину сталевих деталей, створюючи тверді розчини вуглецю й азоту. Аміак дисоціює при більш низькій температурі й азот дифундує в сталь при температурі нижче точки A_{c3} , сприяючи переходу Fe зі стану α в γ і створює сприятливі умови для насичення сталі вуглецем.

Високі показники досягаються при оптимальному насиченні азотом і вуглецем. Оптимальний ступінь насичення знаходиться в межах 1,05...1,25 % C + N, коли спостерігається найвищі значення контактної міцності.

2.5. Методи оцінки твердості зразків

Контактна міцність після карбонітрації тим вища, чим більша товщина шару і вища твердість серцевини виробу. За умов роботи виробу при наявності високих контактних напружень ($x/R \geq 0,1$) на його поверхні товщина шару повинна бути в межах 0,1...0,3 мм. Більша величина нітроцементованого шару для прес-форм чи штампів є недоцільною, оскільки спрацювання 0,1 мм поверхні деталі нерідко веде до недопустимої зміни точності лиття під тиском.

По закінченню циклу термічної обробки зразків, вимірювали їх твердість. Оцінку твердості проводили за методом Роквелла [10] в одиницях HRC₃. Крім того, для характеристики твердості нітроцементованого шару застосовували метод мікротвердості. Мікротвердість ($H\mu$) вимірювали на приборі ПМТ-3 [7] при навантаженні на алмазну піраміду від 20...100 грам. Навантаження проводили на протязі 10 секунд за рекомендаціями стандарту

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

на вимірювання $H\mu$ для більшості чорних металів. Обробку результатів досліджень проводили шляхом графічної побудови залежності мікротвердості по довжині зони шва та зони термічного впливу.

Вимірювання мікротвердості на приладі ПМТ-3 засноване на вдавлюванні в досліджуваний матеріал чотиригранної пірамідки алмазної Віккерса під невеликим навантаженням (від 0,0196 до 4,9 Н). Метод дозволяє визначати твердість окремих мікроструктурних складових чи тонких поверхневих шарів. Принцип дії приладу заснований на вдавлюванні алмазної пірамідки досліджуваний матеріал під певним навантаженням та вимірювання лінійної величини діагоналі отриманого відбитка.

Число твердості (Н) визначається як приватне від розподілу навантаження P (кг) на площу поверхні S (d мм²) відбитка (рисунок 2.4) в припущенні, що кути відбитка відповідають кутам пірамідки.

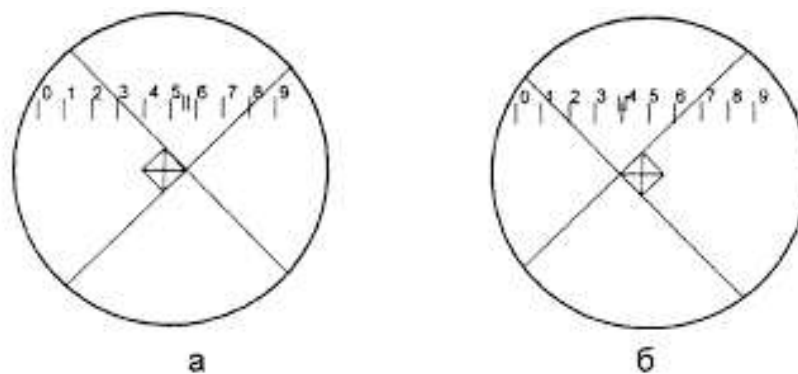


Рисунок 2.4 – Вимірювання діагоналей відбитка

Освітлювальний пристрій дозволяє розглядати досліджуваний предмет як у світлому полі, так і темному полі. Освітленість предмета під час спостереження у світлому полі регулюється зміною діаметра діафрагми. Перехід до роботи в темному полі здійснюється поворотом утримувача відбивної пластинки та дзеркала за допомогою рукоятки.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЗОВОЇ КАРБОНІТРАЦІЇ СТАЛІ 5ХГС

3.1. Структура заготовок сталі 5ХГС для вставок пресформи

Значну частину деталей пресформ для лиття під тиском виробляють з пластично деформованих заготовок. Зазвичай таку підготовку виконують в гарячому стані, шляхом проковування. Основною метою кування є усуненні в початковому металі металургійних дефектів ліквідаційної неоднорідності, волокнистості, карбідних шарів чи неоднорідностей, різко вираженої анізотропії структури та властивостей. Також куванням отримують заготовки необхідних розмірів та форми.

До поковок для деталей пресформ ставлять цілий ряд вимог. Заготовки виготовляють в основному на молотах чи пресах. Кування проводять з осадкою заготовки не менше ніж на 50 %. При цьому величина уковки для заготовок середніх та малих розмірів повинна бути не менше 20...30. Уковка визначається не лише розмірами початкового профілю та отримуваної заготовки, але і прийнятої схеми технологічних переходів при куванні. З свого боку, величина уковки в більшому ступені визначає якість матеріалу поковки.

Після кування та наступної термічної обробки, яка полягає у відпалюванні, заготовки для мають мати твердість HB=2200...2600 МПа. Метал заготовок не має мати флокенів, дефектів типу рихлої усадки, порожнин, розшарувань, тріщин, неметалічних включень, які помітно неозброєним оком, зажимів, волосовин, плівин та інших дефектів. На необроблюваних поверхнях заготовок не допускаються окремі дефекти типу вм'ятин, забоїн, окалини. Не допускаються окремі дефекти на оброблюваних поверхнях, якщо їх глибина, що визначається вирубанням чи зачищенням, перевищує 75 % фактичного одностороннього припуску на механічну обробку. На поверхні заготовок для прес-форм не допускається присутність

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

окалини товщиною більше 0,4 мм для заготовок січенням до 500×500 мм та більше 0,8 мм для більших заготовок за розмірами.

Проковування заготовок прокату сталі 5ХГС в роботі виконували на стаціонарному малопотужному пневматичному молоті з початковим нагрівом. Температуру нагрівання приймали в межах 1100 °С на початку кування, та не нижче 850 °С по його авершенню. Для виготовлення робочих деталей форми ливарної куються поковки типу гладкого чи ступінчастого циліндру, в залежності функціонального призначення деталі та її конфігурації. Для виготовлення рухомої та нерухомої вкладок використовують поковки типу дисків з отвором чи без, що залежить також від розмірів. Вид поковки для знаків залежить від їх конфігурації, що, в свою чергу, диктується функціональним призначенням кожного знаку, тобто від рівчака ливарної форми, який формує виріб.

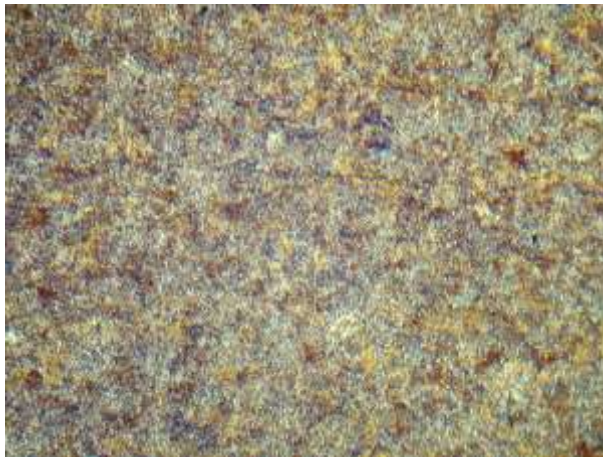
Формою початкового матеріалу для кування поковок використовували прокат круглого січення, діаметром 70 мм. Перед куванням прокат розрізали на заготовки довжиною 120 мм, використовуючі механічні стрічкові верстати. Якість металу відрізаних заготовок контролювали зовнішнім оглядом. Заготовки з тріщинами, закатами, розшаруваннями, заусенцями та іншими порушеннями суцільності до кування не допускається. Для запобігання утворення браку при куванні всі зовнішні дефекти, включаючи заусенці, знімають точінням з допомогою абразивного інструменту.

Чисельними дослідженнями та досвідом експлуатації вставок пресформ для лиття показано, що кування штампових сталей є ефективним засобом покращення структури металу, його механічних властивостей та стійкості. Кування інструментальної сталі 5ХГС приводить до усунення карбідної сітки та неоднорідностей, з утворенням рівномірної структури евтектоїду (рисунок 3.1) та дрібнодисперсної карбідної фази. Зображена структура отримана на кованих заготовках, після травлення поверхні мікрошліфа реактивом ніталь 5 %. Фотографування проводилось за допомогою металографічного дослідницького мікроскопа МИМ-10. Як видно евтектоїдна

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

суміш являє собою, частіше, сорбітоподібний чи дрібнозернистий перліт.

Помітно, що кування в гарячому стані повністю знімає смугастість карбідів хромомарганцевої сталі 5ХГС. Мікроструктура сталі складається з незначної кількості сорбітоподібного перліту. Більшу частину мікроструктури поковки займають обширні зони з точковим перлітом та перлітом глобулярного типу.



×100



×600

Рисунок 3.1 – Структура кованих заготовок сталі 5ХГС.

Отже, основною вимогою для заготовок робочих вставок пресформи є досягнення високої однорідності структури. Для інструментальної сталі 5ХГС, що використовуються у виробництві пресформ та штампів, єдиним способом досягнення однорідності структури є гаряче кування з високим ступенем укову. Подрібнення структури та усунення дефектів відбувається за рахунок інтенсивної пластичної деформації сталі. Така структура сталі 5ХГС є початковою перед механічною обробкою та проведенням циклу зміцнюючої термообробки робочих вставок та знаків ливарної форми. Більш дрібнодисперсні структури можна досягнути більш тривалою обробкою.

Однорідність структури відпалених поковок вставок та знаків забезпечує стабільність їх твердості, що важливо для наступних операцій механічної обробки. Твердість заготовок, яку вимірювали в різних зонах заготовки, становить 21...23 HRC_e. В одиницях Брінелля це відповідає значенням HB=2200...2500 МПа, що є в межах необхідних технологічних вимог для процесів обробки різанням інструментальних сталей. Більша

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

твердість викликає швидке спрацювання ріального інструменту.

3.2. Вплив температури карбонітрації на глибину дифузійного шару сталі 5ХГС

Високі механічні властивості нітроцементованих деталей досягаються після проведення процесу гартування. Враховуючи геометричні та конструктивні особливості вставок та знаків ливарної форми, найкраще проводити гартування безпосередньо з нітроцементацийного нагріву. За рахунок охолодження від температури нітроцементаций з швидкістю, при якій досягається перетворення карбонітридного аустеніту в мартенсит, значно підвищується зносостійкість та контактна міцність деталей форми.

Дослідження процесу газової карбонітрації сталі 5ХГС виконували за температур 850, 870 та 890 °С. Менші температури не дозволяють досягнути достатньої концентрації вуглецю в прошарку, різкому переході від насиченого дифузійного шару до серцевини. Також може виникати пересичення поверхні азотом і підвищення крихкості сталі, особливо за високих концентраціях активного газового середовища. Підвищення температури карбонітрації веде до зростання товщини карбонітридного шару (рисунок 3.2). Така ситуація супроводжується підвищенням концентрації вуглецю і зниженню азоту, що частіше призводить до зниження міцності та підвищення крихкості шару.

З проведених досліджень встановлено, що оптимальною температурою для дифузійної карбонітрації зразків сталі 5ХГС є температура 850...870 °С з подачею триетаноламіну з витратами 6 л/год.м³. Крім того для штампової сталі 5ХГС процес газової карбонітрації при 850...870 °С можна сумістити з обов'язковою необхідною операцією повільного підігріву для усунення короблення деталей при нагріванні під гартування. Це особливо важливо для деталей складної форми з потоншеннями.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

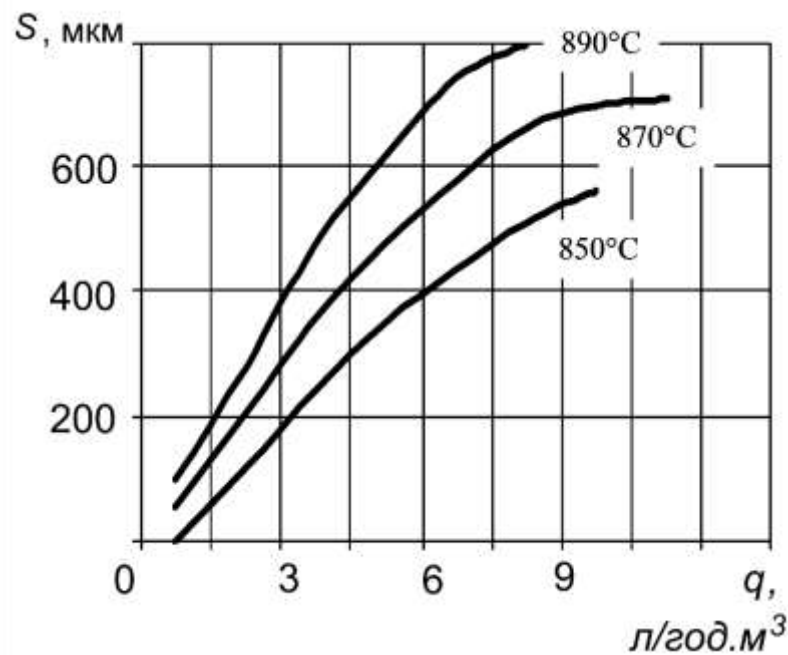


Рисунок 3.2 – Залежність товщини дифузійного шару сталі 5ХГС від витрат триетаноламіну.

Враховуючи, що для сталі 5ХГС температурою гартування є проміжок 840...880 °С, то процес карбонітрації заготовок можна сумістити з процесом гартування. Це дозволить оптимізувати загальний цикл зміцнюючої термічної обробки деталей пресформ та штампів.

3.3. Вплив часу карбонітрації на товщину дифузійного шару

З використанням невеликих збільшень оптичного мікроскопа можна дослідити середню глибину каронітридного шару. Для цього використовували об'єкт-мікрометр мікроскопу МІМ-10 з метою визначення масштабного коефіцієнту. Надалі за допомогою окуляр-мікрометра, з врахуванням масштабного коефіцієнту, вимірювали товщину дифузійного шару. При вимірюванні досліджувану поверхню зразків орієнтували перпендикулярно до шкали об'єкт-мікрометра. Вимірювання проводили в трьох місцях мікрошліфа з наступним усередненням результатів. З таких досліджень встановлено, що товщина дифузійного шару сталі 5ХГС залежить від тривалості процесу нітроцементзації (рисунок 3.3).

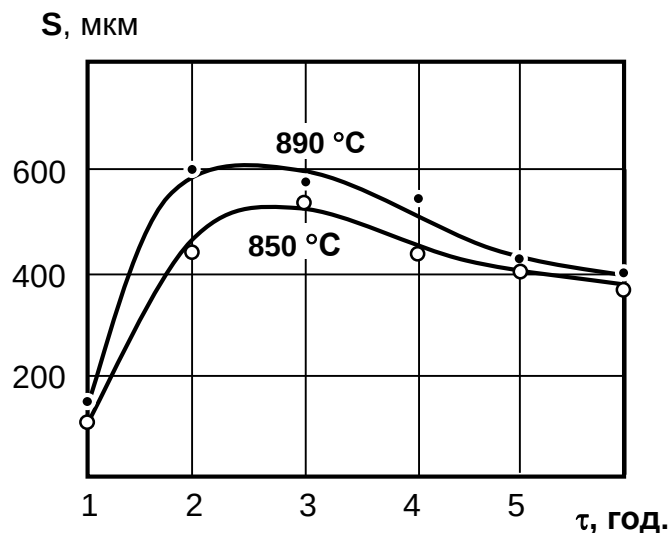


Рисунок 3.3 – Залежність товщини дифузійного шару сталі 5ХГС від часу процесу карбонітрації.

Як видно при тривалих витримках процес насичення може деградувати, що обумовлено явищем деазотування та переходом азоту у газову фазу (витрата триетаноламіну 3 л/год.м³). Це погіршує структуру та властивості карбонітридних шарі сталі 5ХГС.

З проведених результатів досліджень можна встановити оптимальний час газової високотемпературної нітроцементатації для штампової сталі 5ХГС. Зокрема, для товщини до 0,6 мм достатньо витримки біля 2...3 годин. Більші значення товщини дифузійного шару для вставок та знаків ливарної форми є недоцільними, оскільки спрацювання 400...600 мкм товщини робочих деталей ливарних форм та штампів, приводить до суттєвого зниження допустимого квалітету на отримувані деталі та виключає можливість отримання якісних виробів.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ
КАРБОНІТРИДНОГО ШАРУ НА СТАЛІ 5ХГС

4.1. Структура карбонітридного шару

Карбонітрація приводить до суттєвих змін в структурі поверхневих шарів штампових сталей. Сталь 5ХГС можна віднести до сталей з середнім вмістом вуглецю, тому насичення поверхні зразків вуглецем сприяє суттєвому підвищенню твердості. Водночас надлишок вуглецю може призвести до появи значної кількості залишкового аустеніту після гартування сталі, що є дуже небажаним для деталей прес-форм лиття під тиском, які контактують з рідкими металами. Крім того, залишковий аустеніт може значно погіршувати здатність вставок та знаків ливарної форми до шліфування.

Суворість контролю за концентрацією вуглецю в поверхневих шарах можна уникнути при одночасному насиченні поверхні азотом, тобто застосуванням процесу карбонітрації в атмосферах, які містять більше аміаку. При проникненні азоту в поверхневих шарах легованих штампових сталях утворюється ϵ -фаза, хімічна природа якої залежить від складу сталі. Наявність цієї фази суттєво підвищує стійкість робочих деталей форм для лиття під тиском при контакті з рідкими металами. Проте, підвищення азотного потенціалу викликає зростання вмісту азоту у ϵ -фазі (до 10...12 %), що призводить до підвищення її крихкості. Це особливо характерно у випадку азотування. В присутності ж газів, що містять вуглець, вміст азоту в ϵ -фазі знижується до 5...6 % і, за хімічним складом, вона набуває карбонітридної природи: $(Fe, Me)_{2-3}(N, C)$.

При оптимальних умовах насичення структура нітроцементованого шару сталі 5ХГС повинна складатись з мартенситу, карбонітридів та незначної кількості залишкового аустеніту. Високий вміст вольфраму сприяє, в даному випадку, меншому насиченню ϵ -фази азотом, що дозволяє підвищити азотний

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

потенціал насичуючої атмосфери без небезпеки значного зростання крихкості нітроцементованого шару.

Дослідження мікроструктури дифузійного шару експериментальних зразків зі сталі 5ХГС починали при невеликих збільшеннях оптичного мікроскопа ($\times 100$). При цьому по не травленій поверхні шліфа можна виявляти можливі дефекти карбонітридного шару (пори, тріщини). З представлених фотографій мікроструктури (рисунок 4.1) видно, що дифузійний шар раків, які насичували а температур 850...870 °С, характеризується рівномірністю утворення та дрібнодисперсною, порівняно однорідною структурою.



а

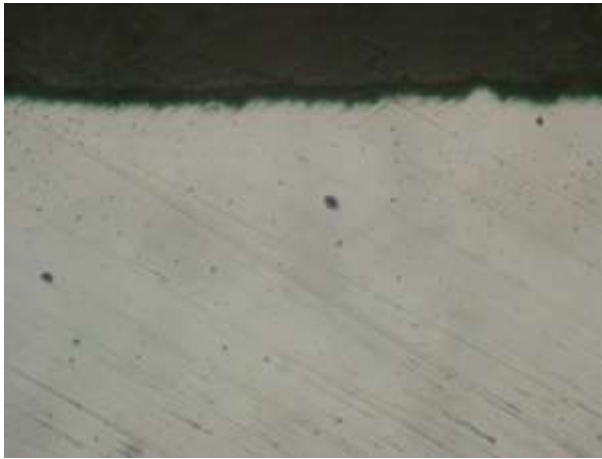


б

Рисунок 4.1 – Структура поверхні експериментальних зразків зі сталі 5ХГС після карбонітрації та гартування ($\times 100$):

а – до травлення; б – після травлення.

Як видно при незначній тривалості процесу нітроцементациї на нетравленій поверхні мікрошліфа (рисунок 4.2, а) практично не спостерігається наявності дефектів структури, у вигляді тріщин, значної кількості пор чи суцільної сітки нітридів. Витримка до 2 годин дозволяє повністю зберегти суцільність поверхневих шарів деталей. При вищій температурі процесу насичення 890 °С спостерігали появу дрібних включень на поверхні дифузійного карбонітридного шару. Це може бути пов'язано з появою тріщин та порожнин як при дифузійному насиченні, так і під час процесу гартування.



а



б

Рисунок 4.2 – Структура поверхні експериментальних зразків зі сталі 5ХГС після карбонітрації та гартування ($\times 500$):

а – до травлення; б – після травлення.

В зоні інтенсивного травлення, що відповідає карбонітридного шару зразків, спостерігається типова структура мартенситу. З детального вивчення мікроструктури помітно, що за загальною будовою дифузійний шар є однорідним та за ступенем дрібнодисперсності відповідає структурі прихованокристалічного мартенситу. Це мартенсит, структура якого має високий ступінь дисперсності. Проте, в перехідній зоні спостерігається тонкий шар звичайного голчастого мартенситу (рисунок 4.3), який характерний середньовуглецевим легованим сталям. Але для сталі 5ХГС чітко виявляються глобулярні включення легованого карбіду $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$.

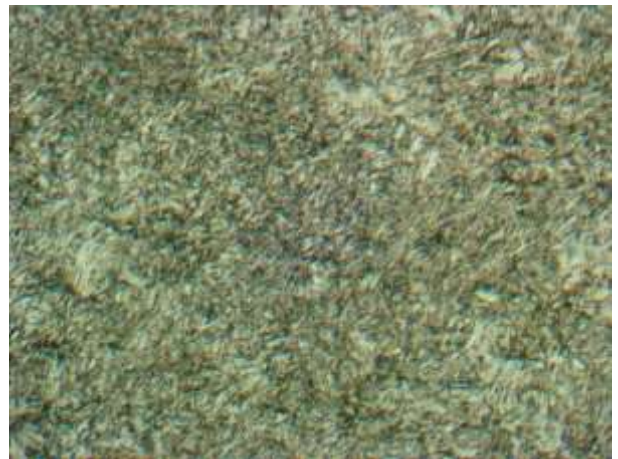
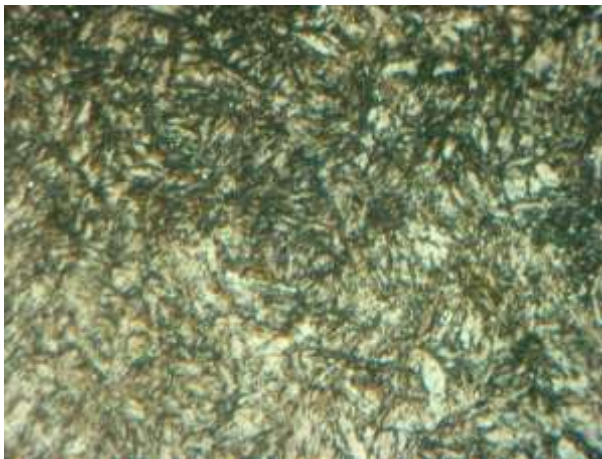


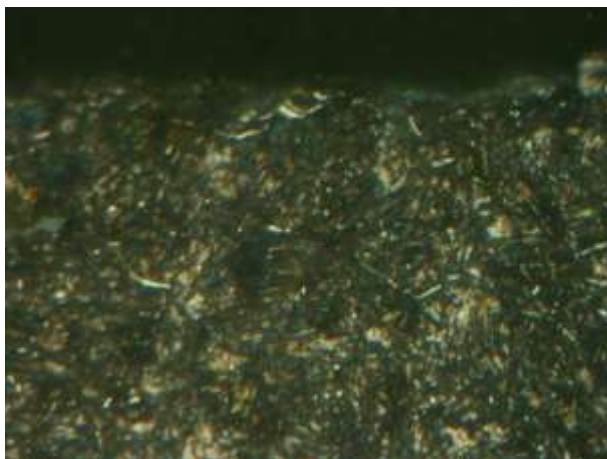
Рисунок 4.3 – Структура перехідної зони та серцевини зразків сталі 5ХГС. $\times 600$

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

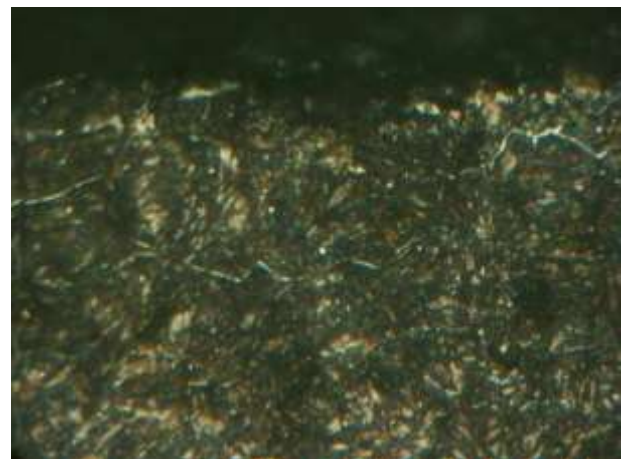
Структура прихованокристалічного мартенситу особливо характерна для серцевини зразків. Тут також можна спостерігати на фоні дрібнодисперсного мартенситу дрібні включення комплексно легованого карбіду. Світлі округлі дисперсні включення відповідають карбіду $(Fe, Cr)_3C$, які рівномірно розсіяні в структурі перехідної зони. Округла форма цих карбідів та високий ступінь дисперсності надає певний запас в'язко-пластичних характеристик, що гарантує малу схильність карбонітридного шару сталі 5ХГС до окрихчення та відшарування при ударних навантаженнях.

4.2. Вплив часу карбонітрації на структуру зразків

Дослідженнями встановлено, що збільшення тривалості процесу карбонітрації приводить до збільшення об'ємної кількості в дифузійному шарі карбонітридної ϵ -фази (рисунок 4.4), що являє собою твердий розчин на базі нітриду $Fe_{2-3}N$ з гексагональною ґраткою. Зокрема для сталі 5ХГС з високим вмістом вольфраму хімічна природа карбонітриду відповідає формулі $(Fe, Cr)_{2-3}(N, C)$.



а



б

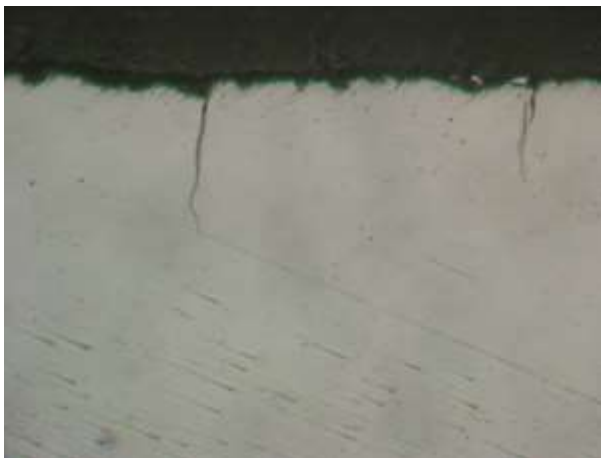
Рисунок 4.4 – Виділення ϵ -фази в нітроцементованому шарі сталі 5ХГС при різній тривалості процесу дифузійного насичення ($q=3$ л/год.м³):

а – 2...3 години; б – 4...6 годин. $\times 600$.

Наявність ϵ -фази значно підвищує стійкість робочих поверхонь, тому її

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

кількість в дифузійному шарі вставок та знаків ливарних форм та штампів має бути високою. Проте, значна її кількість утворюється лише при великих витримках при карбонітрації, що викликає появу небезпечного дефекту дифузійних шарів у вигляді тріщин (рисунок 4.5). Причиною появи тріщин як показують проведені дослідження (рисунок 4.5, б) є часткова графітизація в нітроцементованому шарі при тривалому процесі дифузії. Значні витримки при нітроцементзації сприяють на заключних стадіях значному насиченню поверхні вуглецем, що значно підвищує його концентрацію в дифузійному шарі (до 1,1...1,3 % С). Це є причиною часткової графітизації, особливо, штампових сталей, для яких є обов'язковим підігрів з температур газової нітроцементзації до температур гартування. Графітна фаза переважно формується перпендикулярно до поверхні по границям зерен аустеніту.



а



б

Рисунок 4.5 – Утворення тріщин на поверхні нітроцементованої сталі 5ХГС при тривалому (понад 4 годин) процесі дифузійного насичення ($\times 100$):

а – до травлення; б – після травлення.

Отже, перевищення часу нітроцементзації вставок та знаків ливарної форми приведе до значного погіршення структури та властивостей функціональних поверхонь. Утворення тріщин значно знижує контактну міцність та сприяє утворенню задирів та раковин при контактуванні з рідкими сплавами алюмінію. Тому перевищення тривалості дифузійного процесу для підвищення кількості карбонітридної ϵ -фази не являється доцільним у зв'язку

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

з виникненням поверхневих тріщин.

4.3. Вплив карбонітрації на твердість поверхні сталі 5ХГС

Як відомо, карбонітрація сталей сприяє значному підвищенню твердості поверхневих шарів деталей. Оцінку твердості поверхневих шарів експериментальних зразків після дифузійного насичення та гартування проводили шляхом вимірювання мікротвердості за способом Віккерса, з використанням мікротвердоміру ПМТ-3.

Як видно з представлених на рисунок 4.6 результатів вимірювання мікротвердості поверхневі шари дифузійно насичених зразків зі сталі 5ХГС характеризуються достатньо високою твердістю. Максимальна твердість спостерігається в приповерхневих шарах на відстані від поверхні порядку 30...50 мкм. Надалі твердість стрімко зменшується і на відстанях біля 250...300 мкм досягає значень, характерних для основного металу.

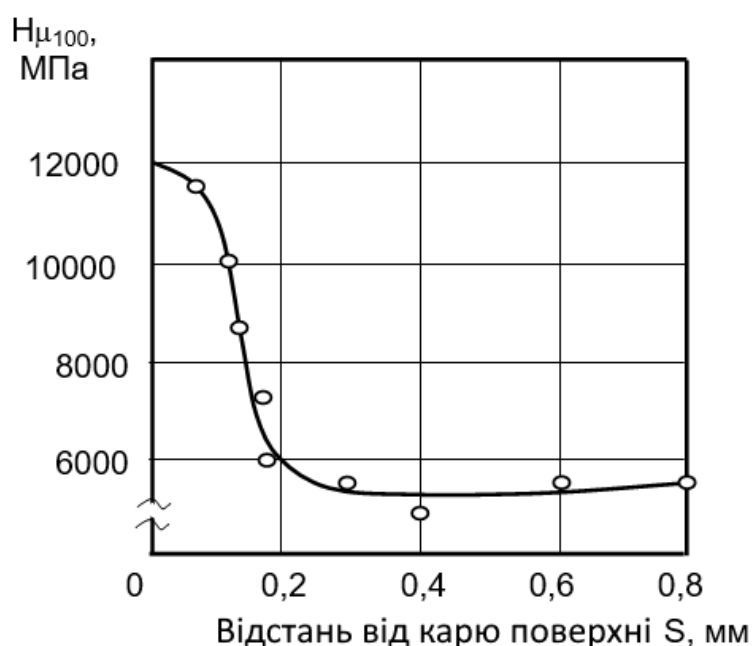


Рисунок 4.6 – Зміна мікротвердості в карбонітридному шарі сталі 5ХГС після насичення та гартування від температури 850 °С.

Більші значення твердості в приповерхневих шарах нітроцементованих

зразків обумовлені більшою концентрацією вуглецю та більшою кількістю карбонітридної ϵ -фази. Така ситуація обумовлена також можливістю виникнення стискаючих напружень в даних об'ємах карбонітридного шару.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження дозволяють зробити висновок про доцільність проведення карбонітридного насичення деталей ливарних форм для лиття під тиском та штампів гарячого деформування. Операцію карбонітрації можливо проводити на стадії нагрівання, яка є обов'язковою для сталі 5ХГС перед гартуванням. Оптимальною температурою карбонітрації слід вважати інтервал 850...870 °С, що відповідає високотемпературній обробці у газовому середовищі. Час дифузійного насичення доцільно прийняти рівним 2 години, що повністю достатньо для отримання необхідної товщини дифузійного шару, однорідної структури та високої твердості після гартування в мініральних оливах, без присутності грубокристалічних фаз.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ГАЗОВОЇ КАРБОНІТРАЦІЇ СТАЛІ 5ХГС

Для проведення раціонального режиму хіміко-термічної обробки вставок та знаків ливарної форми, виготовлених зі сталі 5ХГС, необхідно виконати нагрів деталей до температури 850...870 °С. Це суміщається з процесом карбонітридного насичення. Необхідно забезпечити повільне нагрівання групи деталей, наприклад в нітроцементацийній печі типової вертикальної конструкції. Горизонтальні печі доцільно оснащувати додатковими пристосуваннями для завантаження. При досягненні робочої температури печі 850...870 °С у робочий простір печі подається рідкий триетаноламін та починається процес нітроцементації. Тривалість процесу приймаємо 2 години, що повністю достатньо для одержання товщини дифузійного шару біля 0,2...0,3 мм.

На процес гартування сталі 5ХГС впливають такі чинники: температура, час нагрівання, час витримки при газовому насиченні, швидкість охолодження. Швидкість охолодження дуже важливий чинник в процесі гартування, тому при проектуванні процесу гартування велику увагу надають вибору середовища охолодження.

Основним показником під час вибору середовища гартування, служить критична швидкість охолодження [9], що визначається по формулі:

$$V_{кр} = \frac{T_z - T_{min}}{1.5 \cdot \tau_{min}} = \frac{950 - 500}{1.5 \cdot 10} = 30 \text{ } ^\circ\text{C/с},$$

де T_z – температура гартування;

T_{min} – мінімальна температура стійкості аустеніту A_{ocm} ;

τ_{min} – мінімальний час стійкості аустеніту A_{ocm} .

T_{min} і τ_{min} визначається по термодинамічним кривим для сталі 5ХГС [7]. Із діаграм знаходимо для цієї сталі T_{min} і τ_{min} : $T_{min}=500 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\tau_{min}=10 \text{ с}$.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Так як швидкість охолодження мала, то гартівним середовищем є трансформаторна олива. Охолодження оливи в процесі гартування та стабілізація її температури здійснюється безпосередньо в гартівному баці, за допомогою трубчастого водяного холодильника, який виконано у вигляді змійовика по стінкам бака.

Для сталі 5ХГС охолодження проводимо до 200...230 °С. Технологічно це забезпечується нагріванням гартівної оливи до температури близько 200 °С. Надалі деталі виймаємо та охолоджуємо на повітрі. Загартовані в оливі деталі піддаються мийці. Мийка деталей забезпечує очищення від оливи та залишків бруду, покращує якість наступної термічної обробки відпускання.

Метою відпускання сталі 5ХГС є зняття внутрішніх напружень в деталях та отримання більш стійкої структури сталі з заданими властивостями. Структура загартованої сталі, а також і властивості нестабільні, схильні до постійної зміни, тому відпуск це обов'язкова операція.

Температура відпускання вибирається в залежності від марки сталі і необхідної твердості. Для сталі 5ХГС після газової карбонітрації та гартування оптимальними температурами відпускання, для забезпечення високої надійності вставок та знаків ливарних форм та штамів, контактної їх міцності та витривалості, є температури 500...550 °С. Тобто, вибираємо верхні межі середньо-температурного відпускання штампових сталей.

Оскільки температури відпускання є підвищеними, то нітроцементовані деталі слід захищати від окаленоутворення. Тобто відпускання слід рекомендувати проводити в соляних ваннах з розплавом: 100 % KNO₃. Для цього можна також застосовувати печі-ванни вертикальної конструкції з електронагрівом.

Отже, весь процес зміцнюючої термообробки вставок та знаків ливарної форми, для детального проектування технологічних операцій, можна представити схемою, що зображена на рисунок 5.1. Основними операціями є нагрівання витримка, що об'єднана з процесом газової карбонітрації, гартування та відпускання.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

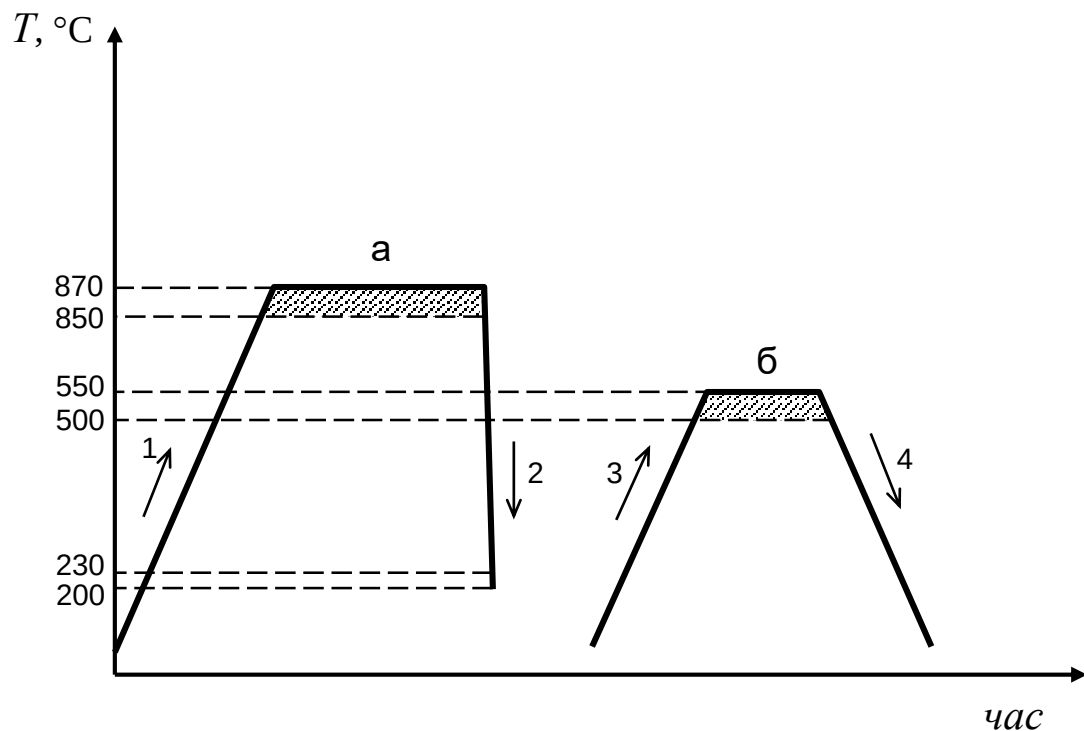


Рисунок 5.1 – Рекомендований режим зміцнюючої термообробки сталі 5ХГС з використанням газової карбонітрації:

а – карбонітрація (2 години); б – відпускання (1,0...1,2 год.);

1 – нагрівання ($<30\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$); 2 – охолодження в оливі (до $230\text{...}200\text{ }^{\circ}\text{C}$); 3 – нагрівання; 4 – охолодження на повітрі.

Після закінчення процесу карбонітрації рекомендовано провести гартування деталей безпосередньо з температур карбонітрації $850\text{...}870\text{ }^{\circ}\text{C}$. Охолодження проводимо в мінеральній оливі, яка нагріта до температури близько $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Охолоджені деталі до $200\text{...}230\text{ }^{\circ}\text{C}$ дістаємо на повітря.

Відпускання проводимо в печі-ванні з нагрітою селітрою KNO_3 . Проводимо нагрів до $500\text{...}550\text{ }^{\circ}\text{C}$ без регламентації швидкості нагрівання. Тобто садку деталей просто занурюємо у нагрітий до необхідної температури розплав. Витримка при температурах відпускання становить $1\text{...}1,2$ годин. Охолодження на спокійному повітрі на відповідних технологічних площадках.

Для операції карбонітрації при температурах $850\text{...}870\text{ }^{\circ}\text{C}$ доцільно застосовувати шатні печі. Прикладом може бути піч електричного нагріву СШЦ-6.20/10. Конструкція цієї печі дозволяє вводити в робочий простір рідкі реагенти краплинним способом. Триетаноламін подається в крапельницю, яка

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

розміщена на кришці цієї печі та повністю відповідає вимогам щодо витрат триетаноламіну. Разом з тим в кришці печі передбачено вивідний патрубок для відбору реакційного газу на аналіз. Розміщення муфеля печі виконано вертикально, що спрощує завантаження садки деталей, за допомогою електротельферу чи кран-балки.

Однією з основних частин печі є жароміцна ніхромово реторта, яка зверху обладнана добре теплоізованою кришкою. Кришка закривається та відкривається за допомогою гідравлічного механізму, розміщеного з боку печі. Герметизація кришки здійснюється відкидними болтами. По центру кришки проходить вертикальний вал з насадженням на нього вентилятором. Вентилятор приводиться в рух електродвигуном потужністю 0,8 кВт, який розміщено зверху печі на кришці. Для охолодження підшипників ззовні кришки на валу монтується ще один вентилятор, який подає холодне повітря в гнізда підшипників.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі досліджена структура поверхневих шарів інструментальної сталі 5ХГС за умов високотемпературної газової карбонітрації. На основі аналізу результатів досліджень розроблені практичні рекомендації щодо підвищення стійкості робочих деталей штамів гарячого деформування та пресформ для лиття під тиском.

За результатами досліджень структури та властивостей встановлено, що процес газової карбонітрації дозволяє підвищити твердість поверхневих шарів сталі 5ХГС до 54...58 HRC₃, за рахунок більшого розчинення вуглецю та азоту, а також утворення в дифузійному шарі включень карбонітридів.

Показано, що на поверхні дифузійного шару може утворюватись спеціальна карбонітридна ε -фаза. Наявність такої фази в 3...5 разів підвищує стійкість легованих інструментальних штампових сталей в умовах контакту з рідкими сплавами кольорових металів під час технологічних процесів лиття та гарячого штампування.

Встановлено, що необхідну згідно технічних умов, товщину дифузійного шару 0,2...0,3 мм, можна досягнути на протязі 2-х годин процесу газової карбонітрації за температур 850...870 °С.

Основні рішення, прийняті в роботі спрямовані на розробку оптимального режиму зміцнюючої термічної обробки сталі 5ХГС, який дозволяє підвищити тріщиностійкість, контактну міцність та абразивну стійкість поверхонь штамів та пресформ. В роботі запропоноване обладнання для проведення термообробки. В якості практичних рекомендацій запропоновано суміщення процесу гартування штампової сталі 5ХГС з процесом карбонітрації, що дозволить зменшити витрати на виробництво.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інструментальні матеріали: від природного каменю до штучних алмазів / В.І. Лавріненко; Ін-т надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. – Київ: Академперіодика, 2023. – 336 с.
2. Леговані сталі та сплави : навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 171 с.
3. Сидорчук О. М. «Властивості штампової сталі 4Х4Н5М4Ф2 для гарячого деформування кольорових металів та сплавів», Вісник ВПІ, вип. 1, с. 108–112, Лют. 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-154-1-108-112>.
4. О. М. Сидорчук, К. О. Гогаєв, О. К. Радченко, Д. В. Миронюк, і Л. А. Миронюк, «Термічна обробка штампової сталі підвищеної стійкості», Металознавство та обробка металів, № 2, с. 29-37, 2020. <https://doi.org/10.15407/mom2020.02.003>.
5. Дацишин О.П. Контактна довговічність і руйнування елементів конструкцій за циклічного навантаження / Дацишин О.П., Панасюк В.В. – К.: Наукова думка, 2018. – 288 с.
6. Aftandilants Y., & Lopatko K. (2020). Nanoparticle influence into the structure of structural steel. Scientific Technical Journal, 26(2), 3–12. <https://doi.org/10.15407/mom2020.02.003>.
7. Технології та устаткування машинобудівних виробництв. Виробництво заготовок: навч. посібник для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / Укладачі: Комар Р.В., Паньків М.Р., Сенчишин В.С. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 152 с.
8. Лабунець В.Ф. Тенденції створення захисних структур триботехнічного призначення / В. Ф. Лабунець // Проблеми тертя та зношування: науково-технічний збірник. – К.: НАУ, 2010. – №45. – С. 107-118.
9. Дворук В.І. Підвищення зносостійкості конструкційної сталі при терті ковзання в масі незакріпленого абразиву методом електроерозійної обробки /

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Дворук В.І., Борак К.В., Добранський С.С. // Проблеми трибології. – 2014. – №4. – С.90-95.

10. Матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Є.Г.Афтандіянц, О.В.Зазимко, К.Г.Лопатько. – К.: "Гельветіка", 2020. – 612 с.

11. Металознавство: навчальний посібник / І. В. Прокопович. – Одеса: Екологія, 2020. – 308 с.

12. Методи структурного аналізу матеріалів : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавр спеціальності 132 Матеріалознавство / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Г. Г. Лобачова, Є. В. Іващенко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 180 с.

13. Діагностика і дефектоскопія матеріалів та виробів: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальностей 132 "Матеріалознавство" всіх форм навчання / уклад.: Імбірович Н.Ю. – Луцьк: ЛНТУ, 2024. – 36 с.

14. Пожарова О. В. Охорона праці: навчальний посібник / О. В. Пожарова. – Одеса, 2022. – 86 с.

15. Безпека життєдіяльності та охорона праці: підручник / В. В. Сокурєнко, О. М. Бандурка, С. М. Бортник та ін.; за заг. ред. В. В. Сокурєнка; Харків. нац. ун-т внутр. справ. – Харків: ХНУВС, 2021. – 308 с.

					БР 4726.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51