

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно – фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

Дослідження впливу легування на експлуатаційні характеристики
шків для молотових штампів

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФз219м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Сербін Максим Миколайович
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н, доцент Климів О.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Бриков М.М.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет
Кафедра Фізичного матеріалознавства
Рівень вищої освіти Магістр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Навчальна програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 16 » 12 20 0 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)
Сербін Максим Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проєкту (роботи) Дослідження впливу легування на експлуатаційні характеристики матеріалів для молотових штамів

Виконавець проєкту (роботи) Климов Олександр Володимирович, доцент каф.ФМ, к.т.н
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом закладу вищої освіти від «02» 11 2020 року №

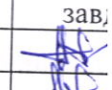
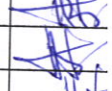
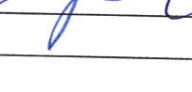
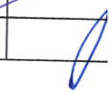
Строк подання студентом проєкту (роботи)

Вихідні дані до проєкту (роботи) зразки зі сталі 5ХНМ, хімічний

міст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Питання 1. Аналітичний огляд 2. Матеріали та методика досліджень. 3. Експериментальна
частина 4. Економічна частина 5. Охорона праці в галузі.
Висновки.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Хімічний склад сталі 5ХНМ, Розподіл хімічних елементів у виборці сталей 5ХНМ,
Розподіл хімічних елементів у виборці сталей 5ХНМ, Поверхня руйнування сталі
5ХНМ, модифікованою стронцієм та барієм, Поверхня руйнування сталі 5ХНМ,
модифікованою бором та

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

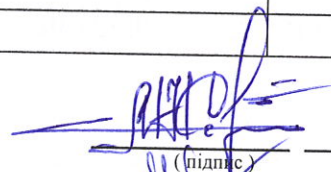
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	при виконанні зав.
1	Климов О.В		
2	Климов О.В		
3	Климов О.В		
4	Круглікова В.О		
5	Нестеров О.В		
НК	Ткач Д.В		

7. Дата видачі завдання « 10 » жовтня 2020 року.

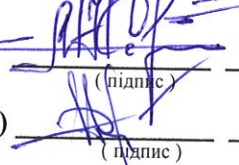
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

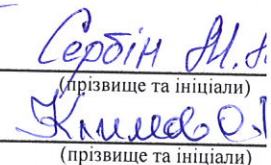
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	П.
1	Аналітичний огляд	12.10.2020	
2	Матеріали та методики досліджень	18.10.2020	
3	Експериментальна частина	17.11.2020	
4	Економічна частина	30.11.2020	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	12.12.2020	

Студент(ка)


(підпис)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)


(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 85 с., 16 рис., 8 табл., 40 джерел

Об'єкт дослідження – зразки зі штампової сталі 5ХНМ

Мета роботи: розглянути умови основні характеристики молотових штампів, охарактеризувати сталь 5ХНМ, дослідити термічну обробку та принципи легування сталі. Для сталі 5ХНМ навести хімічний склад. Описати способи отримання зразків для дослідження, методику приготування, реактиви для травлення зразків. Розглянути методи мікроструктурного аналізу сталі. Охарактеризувати вплив модифікування на структуру та механічні властивості штампової сталі.

В роботі було розглянуто легування штампової сталі 5ХНМ та вплив модифікування на ударну в'язкість, твердість, міцність зразків із дослідної сталі. Викладено послідовність термічного оброблення молотових штампів зі сталі 5ХНМ.

ГАРЯЧЕ ШТАМПУВАННЯ, МОЛОТОВІ ШТАМПИ, УДАРНА В'ЯЗКІСТЬ, МІКРОСТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ, ЛЕГУВАННЯ, МОДИФІКУВАННЯ, СТРУКТУРА, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ГАРТУВАННЯ, ЕКОНОМІЙНИЙ ЕФЕКТ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Особливості експлуатації та характеристики штампового інструменту.....	8
1.1 Види штампового інструменту за умовами експлуатації	8
1.1.1 Штампи для гарячого деформування. Молотові штампи.....	11
1.1.2 Вимоги до сталей для гарячого деформування.....	16
1.2 Серійні сталі для виготовлення штампів для гарячого деформування	20
1.3 Вплив легувальних елементів на властивості штампових сталей	24
1.4 Термічна обробка сталей для виготовлення молотових штампів	27
2 Матеріали та методика досліджень.....	30
2.1 Дослідження ударної в'язкості	31
2.2 Випробування твердості.....	33
2.3 Дослідження мікроструктури	34
3 Експериментальна частина	39
3.1 Аналіз впливу легування на структуру та властивості сталі 5ХНМ	39
3.2 Вплив модифікування на структуру та властивості сталі 5ХНМ	42
3.3 Маршрутна технологія виготовлення виробів зі сталі 5ХНМ	46
3.4 Термічна обробка молотових штампів виготовлених зі сталі 5ХНМ	48
4 Економічна частина	58
4.1 Характеристика ринку штампових сталей	58
4.2 Техніко-економічні розрахунки.....	60
5 Охорона праці та навколишнього середовища	65
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	65

5.2 Заходи забезпечення безпеки	66
5.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	69
5.4 Заходи з пожежної безпеки та режими функціонування системи цивільного захисту	73
5.4.1 Заходи з пожежної безпеки в умовах надзвичайної ситуації та забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайних ситуацій «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».	73
5.4.2 Режими функціонування системи цивільного захисту	75
Висновок	78
Перелік посилань.....	79
Додаток А.....	83

ВСТУП

Процес гарячого штампування є одним із найпоширеніших видів обробки металу тиском. При гарячому штампуванні для надання заготовці форми, користуються штампом, що має порожнину, конфігурація якої відповідає формі деталі, яку виготовляють. Гаряче штампування має наступні переваги: високу продуктивність, однорідність та точність отриманих поковок.

Сталі для штамів гарячого деформування використовуються в штампувальних молотах, пресах, горизонтально-кувальних машинах тощо. Швидкість деформування металу в високошвидкісних молотах і гідровинтових пресах може досягати 30м/с. Основні особливості роботи інструментів для гарячого деформування - високий розігрів штамів в процесі роботи, одночасний вплив циклічно змінних температур і тисків, великі питомі навантаження на інструмент.

Найпоширеніша сталь, яка використовується для виготовлення молотових штамів є сталь 5ХНМ. Основні легувальні елементи це хром, нікель та марганець. Сталь є економнолегованою та ідеально підходить для масового виробництва. Незважаючи на використання протягом декількох десятиліть головним чином стали 5ХНМ, пошук оптимального хімічного складу стали для штамів гарячого деформування не припиняється. Дослідження та модернізація хімічного складу сталі дозволяє значно підвищити експлуатаційні властивості матеріалу, що в свою чергу дозволить підвищити продуктивність виробництва.

1 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПОГО ІНСТРУМЕНТУ

1.1 Види штампового інструменту за умовами експлуатації

Розвиток нових високопродуктивних процесів оброблення металів тиском, таких як, гаряче, напівгаряче та холодне деформування, а також підвищення номенклатури виробництва пресованих деталей із складнодеформівних матеріалів (сплави на основі нікелю, заліза, титану) потребує підвищення вимог до матеріалів та відповідно технології термічної обробки штампових сталей.

Умови роботи штампових інструментів розрізняються, перш за все, тим, нагріваються чи попередньо заготовки або вони деформуються в холодному стані. Штампові інструменти для гарячого деформування за умовами роботи можна розділити на три групи: інструменти для пресів, для штампувальних молотів і для високошвидкісного деформування на швидкісних молотах і гідровінтових пресах. Час деформування заготовок для всіх способів гарячої обробки тиском відносно невелике, але для різних способів може істотно відрізнятися.

При високошвидкісному штампуванні на молотах і гідровінтових пресах час деформування ще менше (0,001...0,006 с). Відповідно, до штампу в цьому випадку надходить ще менше тепла, а щільність теплового потоку ще вище [1].

У зв'язку з високою температурою нагріву деформівних заготовок на поверхнях штампів виникають досить високі температури. Через короткочасність контакту штампа з заготівлею товщина прогріваються до високої температури (500...550°C) шарів штампа невелика (близько 0,6-1,0 мм), причому розподіляється температура по цій товщині нерівномірно. При штампуванні жароміцних складнодеформівних матеріалів температура поверхневих шарів штампа може досягати 650...750°C.

Найбільш нагрітими виявляються поверхневі шари, проте як основна маса штампу прогрівається до менших температур і більше рівномірна. Після завершення короткочасного періоду деформації нерівномірно розподілена температура поверхневих шарів штампу вирівнюється і наближається до нижчої середньої температури штампу, що зазвичай знаходиться в межах 300...400°C.

У зв'язку з характером роботи ковальсько-пресового устаткування температура контактних поверхонь штампів циклічно змінюється. Коливання температури викликають в матеріалі штампу термічну напругу. З часом на робочих поверхнях штампу можуть виникати і розвиватися термічні тріщини, що є причиною спотворення профілю або руйнування струмків штампу [2].

Питомі навантаження на інструмент залежать від механічних властивостей матеріалу заготівлі, що деформується. При гарячій деформації вони зазвичай знаходяться в межах від 300 до 900 МПа. Зі збільшенням температури попереднього підігрівання заготівлі питомі навантаження знижуються, а зі збільшенням швидкості деформації - зростають. Таким чином, для операцій гарячої деформації штампові сталі повинні мати задовільну пластичну міцність після термічної обробки на твердість 45...50 HRC, зберігати високі значення межі плинності і твердості при підвищених температурах, забезпечувати тривалу експлуатацію інструментів при високих контактних температурах 600...700°C, стійко чинити опір відпустці, чинити опір зношуванню та виникненню тріщин внаслідок термічної втоми.

Основними операціями гарячого деформування є: об'ємне штампування, формування, гнуття, різання, вільне кування на молотах. Найбільш навантажені з них – операції пресування, висадки та точного штампування.

Для гарячого деформування використовують штампувальні молоти та кривошипні машини різноманітних конфігурацій (преси, горизонтально-

кувальні машини тощо). Швидкість деформування при штампуванні на молотах значно вища ніж при штампуванні на кривошипних машинах. Для перших вона складає 5...8 м/с, для других 0,5...1м/с.

За умовами роботи штампові інструменти для гарячого деформування можна поділити на три основні групи:

пресові інструменти – працюють в умовах порівняно повільного навантаження, що приводить до довготривалого контакту із заготовкою та відповідно значному розігріванню поверхні.

інструменти молотових штампів – працюють в умовах ударного навантаження, при цьому внаслідок короткочасного контакту інструментів із заготовкою їх поверхня розігрівается до більш низьких температур, ніж пресових

інструменти для високошвидкісного деформування – виносять високі ударні навантаження та питомі тиски. Принциповою відмінністю в умовах їх роботи є короткочасність теплової та силової взаємодії.

Таким чином, можна вказати на наступні основні характерні особливості інструментів при гарячому деформуванні:

- високий розігрів штампових інструментів в процесі роботи. Температура поверхневих шарів (товщиною до 0.6-1,0мм) штампових інструментів швидкісних молотів та пресів може сягати при штампуванні жароміцних та інших матеріалів, що важко деформуються 650...750°C; при цьому основна маса штампів прогріта до температури 400...500°C. При деяких процесах гарячого пресування поверхневий шар робочих частин штампів глибиною до деяких мікрон розігрівается до 900...1000°C;

- одночасна взаємодія температур а тисків ,що циклічно змінюються. Накладання «робочих» (обумовлених опором деформуванню матеріалу заготовок) та термічних навантажень у поєднанні з конструктивно неминучими (різкі переходи, місцеві поглиблення тощо) та технологічними концентраторами сприяє виникненню в тілі штампів важкого напруженого стану.

1.1.1 Штампи для гарячого деформування. Молотові штампи

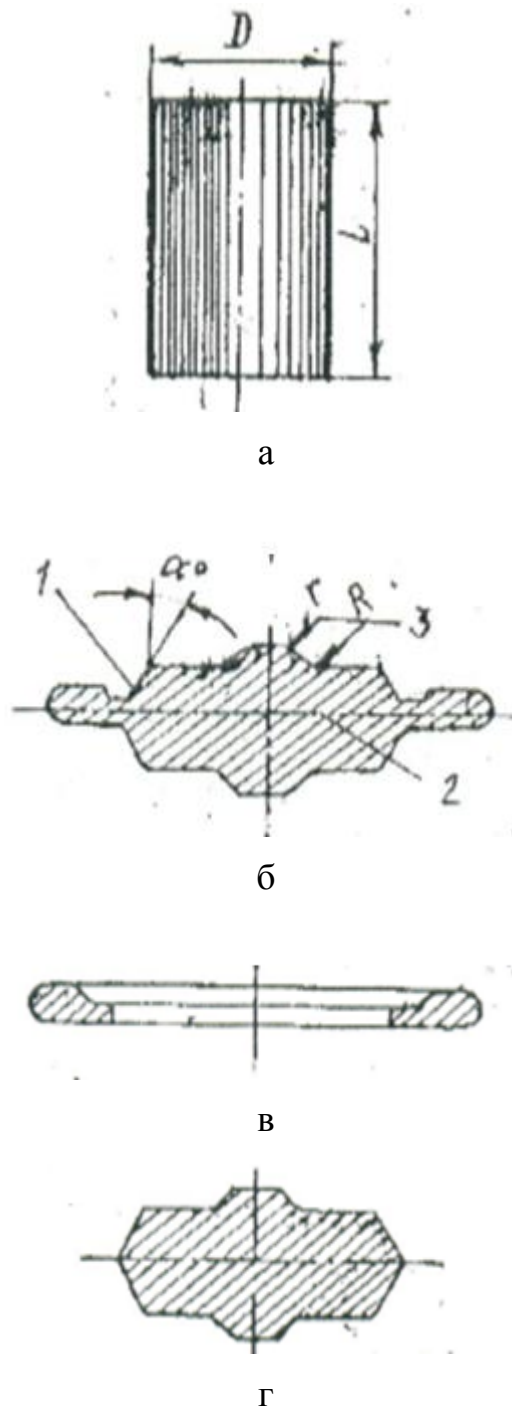
Для виготовлення штампових заготовок методом гарячого деформування на ковальсько-пресових машинах використовують спеціальний інструмент - штампи. Штамп з інструментом для обробки тиском, поверхні або контуру одної або обох частин який відповідає деталі, що обробляється або заготовці. Штампи для гарячого штампування можуть бути класифіковані за типом обладнання, на якому вони встановлені (молотові, КГШП. ГKM і обрізні штампи), за типом штампування (у відкритих, закритих штампах і видавлюванням), цільовому призначенню (штампувальні, правочні, обрізні для прошивки отвору тощо), за конструкційними ознаками (моноблочні, моноблочні зі вставкою, збірні тощо). По швидкості деформування розрізняють штампи динамічного і статичного навантаження. До штампів динамічного навантаження відносяться штампи молотів у яких швидкість деформування перебільшує 1м/с. У всіх інших КПКМ навантаження штампів статичне. Конструкція штампа залежить також від габаритних розмірів і маси. Розрізняють дрібні штампи та вставки (масою менше 30 кг), середні (30...200 кг), крупні (200...2000кг) та дуже крупні (більше 2000 кг). Розміри та масу штампів ураховують при розробці технології їх виготовлення та транспортування. У штампі може бути одна або декілька порожнин, в яких відбувається зміна форми і розмірів заготовки до форми і розмірів поковки. Такі порожнини називаються рівчаками [1].

Всі рівчаки поділяються на: а) штампувальні; б) заготівельні; в) розподільчі. До штампувальних рівчаків відносяться: кінцевий, попередній, попередньо-заготівельний. В цих рівчаках заготовки одержують форму і розміри відповідні або близькі до розмірів поковки. Штампувальний штамп завжди має порожнину, яка відповідає за своєю формою і розмірами (з урахуванням усадки) розмірам поковки, що штампується. Така порожнина

називається кінцевим (чистовим) рівчаком. В умовах масового і крупносерійного виробництва для зменшення браку при штампуванні в штампі може бути виконаний попередній (чорновий) штампувальний рівчак. До заготівельних відносяться рівчаки, в яких відбувається перерозподіл металу в початковій заготовці. В ідеалі в заготівельних рівчаках перерозподіл металу в заготовці повинен бути виконаний так, щоб площа поперечного перерізу її дорівнювала будь-якому відносному місці площі поперечного перерізу поковки з облоєм. Кількість і тип заготівельних рівчаків визначаються конфігурацією і розмірами поковки. Найчастіше вживають формувальний гибочний, підкатний (відкритий і закритий), протягувальний, висадочний, перетисний рівчаки, площадка для осадки і протягування в молотових штампах, набірні і формувальні рівчаки ГKM тощо. Слід зауважити, що в деяких випадках підготовку заготовок доцільно виконувати на інших видах машин (кувальних валках - при штампуванні на КГШП, ГKM - при штампуванні складних поковок з однією головкою або фланцем на кінці поковки і тощо). На обладнанні з жорстким ходом (КГШП тощо), як правило, виконують тільки формувальний, перетисний рівчаки. Розподільчі рівчаки використовують в основному при штампуванні на молотах. До них відносяться передній і задній ножі. За допомогою ножів відділяють відштамповану поковку від прутка при штампуванні малих поковок, або розділяють поковки одна від другої при штампуванні від парної або кратної заготовок. Передній ніж більш практичний в роботі, ніж задній [2]. Але його стійкість нижча, ніж у заднього. Вибір типу ножа окрім зручності роботи і стійкості залежить від довжини поковки (довгі поковки, як правило, відділяються за допомогою заднього ножа, так як при роботі з переднім ножем б можна зіпсувати поковку об стояк молота) і кількості рівчаків в штампі. Крім формозмінних штампів в цехах гарячого штампування використовують обрізні та прошивні штампи. В обрізних штампах відбувається обрізка задирки (в гарячому чи холодному стані), в прошивних - прошивка плівок та виготовлення таким чином наскрізних отворів в

поковках. В умовах багатосерійного та масового виготовлення для обрізки та прошивки використовують штампи сумісної дії, в яких обрізка і прошивка виконується в одній позиції за один робочий хід преса. Для обрізки і прошивки поковок, отриманих на молотах і КГШП, в гарячому стані використовують обрізні кривошипні преси. В холодному стані дрібні поковки з маловуглицевої й вуглецевої та низьколегованих сталей обрізають на кривошипних чи ексцентрикових пресах. Продуктивність холодної обрізки набагато вища (в 2...4 рази), ніж гарячої обрізки. При штампуванні на ГKM обрізку та прошивку, як правило, виконують у тому ж штампі, що і штампування в гарячому стані. Для виготовлення штампів та вставок до них використовують інструментальні сталі [3]. Моноблочні штампи використовують тільки при штампуванні на молотах. На всіх типах ковальсько-пресових машин з інструментальної сталі виготовляють тільки вставки. Блоки для їх кріплення виконують з вуглецевої чи низьковуглецевої сталі. Конкретна марка сталі вибирається залежно від тину виробництва (з збільшенням серійності можна брати дорожчі леговані сталі), складності штампових поковок і типу обладнання (від цього залежить час контакту гарячої заготовки зі штампом). Матеріали для гарячих штампів повинні відповідати ряду умов [4,5]. До них належать високий опір малим деформаціям при температурах можливого нагрівання в процесі штампування, великий опір деформації в відпущеному стані в процесі штампування, велика зносостійкість, глибока прогартованість, незначне короблення при термічному обробленні, хороша оброблюваність різальним та абразивним інструментом.

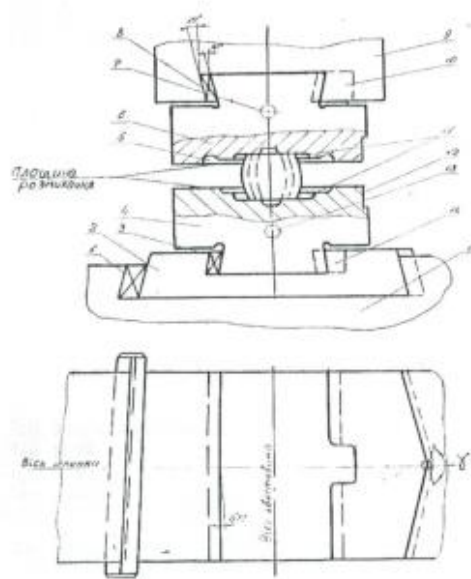
На рисунку 1.1 показана схема виготовлення штампової поковки, а на рисунку 1.2 - схема молотового штампа.



а – заготовка; б – поковка з облоєм; в – облой; г – готова поковка;
 1 – штампувальний нахил; 2 – лінія розмикання; 3 – радіуси зкруглення;
 D, L, R, α – розміри заготовки і поковки

Рисунок 1.1 - Схема виготовлення поковки методом гарячого штампування

Заготовку одержану різанням від прутка (рисунок 1.1 а) розміщують в рівчаку нижньої половини штампа, її формують до форми поковки з облоєм (рисунок 1.1 б). Форма поковки повністю повторює конфігурацію порожнини, яка утворюється при змиканні обох половин штампа. Потім поковку передають на обрізний прес, де в обрізному штампі відокремлюють облой від готової поковки (рисунки 1.1 в, 1.1 г).



1 – клин для закріплення підштампової плити; 2 – подушка (штампотримач); 3 – нижній клин; 4 – нижній штамп; 5 – облойний ривчак; 6 – верхній штамп; 7, 13 – транспортний отвір; 8 – верхній клин; 9 – баба молота; 10 – верхня шпонка; 11 – ривчак штампа; 12 – контрольний кут; 14 – нижня шпонка; 15 – шабот

Рисунок 1.2 - Схема молотового штампу та вид зверху на місце кріплення нижньої половини штампу

Молотовий штамп (рисунок 1.2) складається з верхньої 6 і нижньої 4 половини. Верхня половина закріплюється до баби молота 9, нижня до підштампової плити 2. Кріплення за допомогою хвостовика типа «ластівкін хвіст» і клинів 3 і 8.

Клини мають односторонній нахил 1:100 (0 35') вздовж осі зі сторони баби молота (верхній штамп) і підштампової плити (нижній штамп). Щоб клини під час роботи не виштовхувались, одна із граней нахилена до вертикалі під кутом 10° , друга під кутом 12° . Для ліквідації зрушення половинок штампу вздовж клинів служать шпонки 10, 14, які встановлюються у гнізда, зроблені в хвостовику штампа. Підштампова плита 2 використовується для запобігання зносу шаботу 15. Права бокова нахилена частина підштампової плити виконується під тупим кутом у, що запобігає зміщенню плити вздовж клина при його забиванні. Одночасно опору штампу на хвостовику і боковій площині(заплечики) забезпечити важко через несумісність допусків на механічну обробку цих поверхонь. Тому штамп звичайно спирається тільки на хвостовик, а заплечики підняті над поверхнею на 1,0... 1,5мм.

На площині розмикання розташовані робочі елементи молотового штампа: рівчаки з облойною та литниковою канавками з виїмкою під кліщовину, замки та контрзамки. Рівчаки використовуються для формування поковки; робочу формозмінну площину рівчака штампа називають гравюрою. Литникова канавка з виїмкою під кліщову призначена для вилучення готової поковки, а замки і контрзамки використовуються для запобігання зсуву верхньої та нижньої половинок штампу відносно один одного [6,7].

1.1.2 Вимоги до сталей для гарячого деформування

Штампові сталі гарячого деформування повинні мати певний комплекс експлуатаційних і технологічних властивостей; крім цього, до них

пред'являють відповідні вимоги економічного характеру. До експлуатаційних відносять властивості матеріалу готового інструменту після остаточної обробки; ці властивості повинні забезпечувати необхідну працездатність штампів в заданих умовах експлуатації. Аналіз причин виходу з ладу показує, що сталі, призначені для виготовлення штампів гарячого деформування, повинні задовольняти наступним експлуатаційним властивостям у відповідному діапазоні температур і часу роботи:

- високою теплостійкістю, яка характеризує здатність стали зберігати без значних змін структуру і властивості (Сталь 5ХНМ: $T = 590^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4$ год, HRC 37);
- високим опором пластичній деформації (Сталь 5ХНМ: $\sigma_{0.2} = 600$ МПа);
- високою зносостійкістю;
- високою разгаростійкістю або термовтомним опором (опором термічної втоми) в умовах циклічних температурно-силових впливів;
- високим опором крихкому руйнуванню, за допомогою якого оцінюють міцність сталі при динамічному навантаженні або в умовах високої нерівномірності прикладання навантаження (в'язкість сталей для гарячого деформування повинна бути не нижче $30 \dots 35 \text{ Дж/см}^2$ (при температурі 20°C) і 50 Дж/см^2 (при температурі експлуатації) при твердості HRC 46).

Іноді до експлуатаційних властивостей сталі для штампів гарячого деформування умовно відносять також такі показники, як твердість, опір малій пластичній деформації, опір втоми, опір зім'яттю, теплопровідність, коефіцієнт термічного розширення, окалиностійкість, стійкість проти адгезії, величину зерна сталі, температури критичних точок тощо .

Деякі з цих показників побічно характеризують основні експлуатаційні властивості штампувальних сталей. Так, наприклад, твердість і опір зім'яттю характеризують міцність і опір пластичній деформації штампових сталей, пластичність - опір крихкому руйнуванню, окалиностійкість і стійкість проти адгезії - опір окислювальному зношенню і зносу захоплюванням другого роду.

У той же час величина зерна, температури критичних точок, коефіцієнт термічного розширення основний вплив роблять при обробці інструменту, а не при його експлуатації, тому їх слід віднести до технологічних властивостей.

До технологічних відносять властивості матеріалу для штампів гарячого деформування, що забезпечують можливість обробки інструменту з заданими експлуатаційними властивостями при мінімальних витратах. Стали для штампів гарячого деформування повинні мати наступні технологічними властивостями:

- загартованістю, що визначає здатність сталі отримувати мартенситну структуру і надавати інструменту високі твердість і міцність;

- прогартованість - це властивість оцінює здатність сталі отримувати необхідну структуру і властивості по перетину інструменту певних розмірів (сталь 5ХМН прогартовується повністю в перерізі до 400...500 мм);

- здатністю забезпечувати мінімальну деформацію інструменту при термічній обробці;

- стійкістю проти перегріву при термічній обробці; ця властивість штампової сталі сприяє отриманню дрібного зерна, а, отже, високих в'язкості і опору крихкому руйнуванню;

- стійкістю проти окислення і знеуглецювання при термічній обробці; при цьому забезпечується отримання бездефектного поверхневого шару гравюри штампа;

- стійкістю проти утворення тріщин при гартуванні і шліфуванні;

- ковкістю, здатністю до формозміни в процесі виготовлення штампова заготовок;

- задовільною оброблюваністю, що забезпечує мінімальні витрати при виготовленні гравюр, висока якість їх поверхневого шару після фінішних операцій.

При виготовленні штампувального інструменту з використанням лиття, наплавлення, хіміко-термічної обробки, видавлювання та інших специфічних

технологічних процесів коло вимог, що пред'являються до штамповим матеріалами, розширюється. Так, наприклад, сталі для литих штамів повинні мати хорошу текучість і малу схильність до утворення тріщин у виливках; малу стійкість до утворення тріщин повинні мати і сталі для штамів з наплавленими робочими ділянками гравюри.

До економічних вимог, що пред'являються до штамповим сталей, відносять досить низьку вартість сталі і її недефектність. Економічна ефективність застосування різних марок штампової сталі багато в чому залежить від стійкості і конструкції інструменту, а також характеру ковальсько-штампувального виробництва; в зв'язку з цим вартість штампової сталі може грати і другорядну роль.

Разом з тим слід зазначити, що в ряді випадків при призначенні штампової сталі деякі технологічні властивості виступають як другорядні. Так, наприклад, можуть бути знижені вимоги до оброблюваності сталі різанням сталі в тому випадку, якщо прості гравюри штамів можна виготовити за допомогою твердосплавного або алмазного металорізального інструменту, а складні гравюри - шляхом електроерозійної обробки. При відповідному обладнанні термічних ділянок можна звести до мінімуму окислення і знеуглецювання штамів. За рахунок застосування спеціальних технологічних заходів (нарізання гравюри в штампі після остаточної термічної обробки, використання ступінчастого або ізотермічного гартування тощо.) можна значно зменшити викривлення штампового інструменту.

Особливо важливо враховувати технологічні властивості штампових матеріалів при підвищених вимогах до якості виготовлення штамів; останнім характерно для технологічних процесів точного гарячого штампування: закритого штампування і витискування, автоматичного і високошвидкісного штампування. Крім того, при виготовленні великогабаритного штампового інструменту потужних молотів і пресів особливу увагу приділяють таким технологічними властивостями, як прогарованість, гнучкість тощо..

Термін експлуатації штампового оснащення можна істотно підвищити за рахунок надання матеріалу штампів відповідних експлуатаційних властивостей. Так, для зменшення інтенсивності зношування штампів сталь, що застосовується для виготовлення штампового оснащення, повинна мати високу зносостійкість і теплостійкість, для зменшення пластичної деформації (зминання) штампів - високою міцністю і теплостійкістю, для запобігання поломок або утворення великих тріщин - високим опором крихкому руйнуванню і міцністю, нарешті, для зменшення числа і розмірів розгарних тріщин - високою прогартованістю.

Однією з основних властивостей сталі для штампів гарячого деформування є теплостійкість. Вибір теплостійкості для штампів різного призначення проводять в залежності від температури нагрівання поверхневого шару штампів і тривалості теплового впливу. Чим вище температура нагрівання і тривалість теплового впливу на штамп, тим більшу теплостійкість повинен мати штамповий матеріал [7,8].

1.2 Серійні сталі для виготовлення штампів для гарячого деформування

За умовами роботи і рівнем основних властивостей сталі підрозділяють на три основних групи: помірної теплостійкості і підвищеної в'язкості; підвищеної теплостійкості і в'язкості; високої теплостійкості.

- Сталі помірною теплостійкості і підвищеної в'язкості (5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 5ХГМ, 4ХМФС, 4ХМНФС, 3Х2МНФ, 5Х2МНФ) відносять до доефектоїдної (до 0,8% С) групи. Вміст карбідоутворювальних елементів в сталях мінімальний (до 7...9%), що виключає утворення карбідної неоднорідності навіть у великих перетинах. У невеликих кількостях (до 3%) можуть утворюватися більш термостійкі карбіди Me_6C , MeC , M_{23}C_6 , що спричиняють вторинне тверднення. Тому теплостійкість сталей невисока.

Сталі 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 5ХГМ зберігають межу плинності до 1000 МПа при нагріванні до 350...375°C, а сталі 4ХМНФС, 3Х2МНФ, 5Х2МНФ при нагріванні до 400...425°C внаслідок карбідів Me_6C , MeC , M_{23}C_6 .

- Сталі підвищеної теплостійкості і в'язкості (4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ, 3Х3М3Ф) відносять до заевтектоїдних, так як вміст первинних карбідів в них мінімальний. У відпаленому стані частина фази карбиду (Me_6C , MeC , M_{23}C_6) становить 6...12%. Теплостійкість сталей підвищується зі збільшенням в структурі кількості карбідів Me_6C , MeC , тобто при підвищенні концентрації вольфраму, молібдену і ванадію.

- Сталі з високою теплостійкістю (4Х2В5МФ, 5Х3В3МФС, 2Х6В8М2К8) відносять до заевтектоїдних. Сталі 4Х2В5МФ і 5Х3В3МФС утворюють групу сталей з карбідним зміцненням, а сталі типу 2Х6В8М2К8 - з карбідоінтерметаллідним. Вміст фази карбиду в сталях 4Х2В5МФ і 5Х3В3МФС становить 10...13% (Me_6C , MeC), в сталі 2Х6В8М2К8 тільки 6...7% (Me_6C), також додатково міститься інтерметаліди (Fe, Co) γW_6 . Серед серійних високотеплостійких штампових сталей найбільш поширеною групою є сталі з карбідним зміцненням, їх максимальна теплостійкість сягає 660 – 680°C. Характерною особливістю даної групи сталей є підвищений вміст вольфраму або суми вольфраму та молібдену у кількостях 3 – 6% в сталях типу 5Х3В3МФС (ДИ – 23) та 4Х2В5МФ (ЭИ959), 8 – 10% в сталі типу 3Х2В8Ф. При нагріванні вище 680...690°C знеміцнення штампових сталей типу 5Х3В3МФС різко зростає, що характерно для усіх сталей, що входять до цієї групи. Ця обставина свідчить про те, що для сталей на основі α – заліза з карбідним зміцненням температури розігріву близько 690...700°C є межевими [9,10].

Подальше підвищення теплостійкості можливе при створенні дисперсійно-твердіючих сталей з інтерметаллідним або комплексним зміцненням. Прикладом є сталі типу 2Х6В8М2К8 (ЭП745), 3Х10В7М2К10 та Х2В6М6К12Н2. Ці сталі зберігають твердість HRC 38...40 при нагріванні до

температур 720...750°C при достатньо високій міцності та задовільній пластичності [11].

Основною зміцнювальною фазою в сталях 3X2B8Ф та 5X3B3МФС є карбіди M_6C та MC ; в сталях 2X6B8M2K8 (ЭП745) та 3X10B7M2K10 – карбіди типу M_2C та невелика кількість інтерметалідів типу $(Fe,Co)_7W_6$.

Вказані сталі обробляються на вторинну твердість, максимум твердості для них відповідає температурам відпуску 550...600°C. Найбільш високу вторинну твердість (до HRC 52...54) та теплостійкість зі сталей з карбідним зміцненням має сталь 5X3B3МФС, внаслідок більшої насиченості аустеніту вуглецем та карбідоутворюючими елементами, особливо ванадієм, після нагрівання під гартування і, як наслідок, виділенням більшої кількості карбідів типу MC при наступному відпуску. Сталі 2X6B8M2K8 та 3X10B7M2K10 також схильні до вторинного твердіння при відпуску головним чином внаслідок виділення карбідів типу M_2C та мають приблизно однакову максимальну твердість HRC 55...56. Теплостійкість цих сталей, особливо 2X6B8M2K8, набагато вища ніж у сталі 3X2B8Ф (730 та 660°C відповідно), що викликано більш оптимальним вмістом в них хрому та додатковим легуванням кобальтом. Карбід M_6C , що є основним у зміцнювальній фазі відпаленої сталі 2X6B8M2K8, збагачений хромом і більш легко розчиняється в аустеніті при нагріванні під гартування. Це забезпечує переведення в твердий розчин значної кількості вольфраму, молібдену, хрому та вуглецю. Після гартування з оптимальної температури сталь 2X6B8M2K8 містить в твердому розчині близько 8% вольфраму та молібдену (в сумі), що майже у два рази більше відповідного значення (для вольфраму) в сталі 3X2B8Ф [12].

Найбільш високу теплостійкість (до 750...760°C) сталі на основі α – заліза отримують у випадку, якщо основною зміцнювальною фазою в них є інтерметаліди типу $(Fe,Co)_2W$ та $(Fe,Co)_7W_6$, які виділяються при більш високих температурах відпуску (600 ... 650°C) і мають більшу стійкість проти коалесценції ніж карбіди типу M_2C та MC . Так, безвуглецева сталь

типу X2B6M6K12H2 зберігає твердість HRC 40 після нагрівання до 750°C. Збільшення вмісту кобальту в ній до 15% підвищує вторинну твердість на 2...3 одиниці HRC та теплостійкість на 10...20°C при одночасному зниженні в'язкості [13].

Підвищене легування сталей 2X6B8M2K8 та 3X10B7M2K10 карбідоутворюючими елементами та кобальтом знижує ударну в'язкість та пластичність. Тому при експлуатації інструментів з цих сталей необхідно особливо ретельно стежити за температурами підігріву перед початком роботи, які не повинні перевищувати 500... 600°C [14,15].

Для сталей з карбідним зміцненням корисно виконувати дворазовий відпуск для підвищення їх в'язкості. Температуру другого відпуску обирають на 30...40°C нижче, а тривалість на 25...30% менше, ніж для першого. Для сталей 2X6B8M2K8 та 3X10B7M2K10 рекомендовано проводити попередній відпуск при 340...360°C тривалістю 1,5...2 години для виділення карбіду цементитного типу, що сприяє більш рівномірному розподілу карбіду M_2C , який утворюється під час основного більш високого відпуску [15].

Важливою перевагою сталей 2X6B8M2K8 та 3X10B7M2K10 є їх висока окалиностійкість, яка забезпечується підвищеним вмістом хрому, це значно підвищує зносостійкість при нагріванні вище 700°C.

Сталі 2X6B8M2K8 та 3X10B7M2K10, що можуть експлуатуватися до температур 720...750°C, використовують для малогабаритних матриць гарячого пресування жароміцних металів та сплавів з високим опором пластичній деформації. В цьому випадку їх обробляють для підвищення зносостійкості та міцності на підвищену твердість (HRC 52...54). Більш широке використання знаходить раціонально легована сталь 2X6B8M2K8, яка містить кращий комплекс властивостей. Стійкість пресових інструментів з цієї сталі в 4...10 разів вище, ніж зі сталі 3X2B8Ф [15].

Найбільше використання серед сталей з карбідним зміцненням знайшла сталь 5X3B3МФС, яка має більшу теплостійкість ніж сталі 3X2B8Ф та 4X2B5МФ, при цьому вона не поступається за показниками міцності при

кімнатній температурі сталям з інтерметалідним зміцненням 2Х6В8М2К8 та 3Х10В7М2К10. Тобто серед серійних високотеплостійких штампових сталей сталь 5Х3В3МФС має найкраще поєднання механічних властивостей та коштовності, оскільки у порівнянні з іншими сталями вона є економно легованою.

1.3 Вплив легувальних елементів на властивості штампових сталей

Властивості інструментальних сталей визначаються змістом окремих фаз і елементів структури стали, пропорційні кількості розчинених легуючих елементів ростуть твердість і межа плинності.

Для легування штампова сталей найбільш широко використовують хром, вольфрам, молібден, ванадій, кремній, нікель, марганець, а також кобальт, титан, ніобій.

Основні властивості сталей, такі як міцність, в'язкість, зносостійкість визначаються хімічним складом, при цьому стали легують декількома елементами, але без збільшення їх загальної концентрацій або навіть при сумарному її зменшенні [16].

Взаємозв'язок між властивостями обумовлена тим, що крім прямого впливу на ті чи інші характеристики, легування надає і непрямий вплив. Так, наприклад, зменшення схильності до росту зерна при нагріванні (чутливість до перегріву), що досягається за рахунок введення в сталь елементів, що утворюють важкорозчинні карбіди, позитивно позначається і на міцності.

Легування хромом забезпечує прогартованість, та здатність зберігати високу твердість при високому відпуску. Хром є неминуче основним легувальним карбідоутворювальним елементом в штампових сталях. Карбіди представлені переважно частинками $M_7C_3(Cr_7C_3)$ і невеликою кількістю $M_{23}C_6(Cr_{23}C_6)$, $MC (VC)$, а також M_3C при високому вмісті вуглецю.

Кількість карбідів визначається вмістом в сталі вуглецю та легувальних елементів (рисунок 1.3). За впливом на структуру і властивості слід розрізняти карбіди, розчинні в аустеніті та нерозчинені, тобто первинні - які кристалізуються з рідини (MC , M_2C , M_6C) і вторинні - що виділяються при дисперсійному твердінні - ($M_{23}C_6$, M_6C).

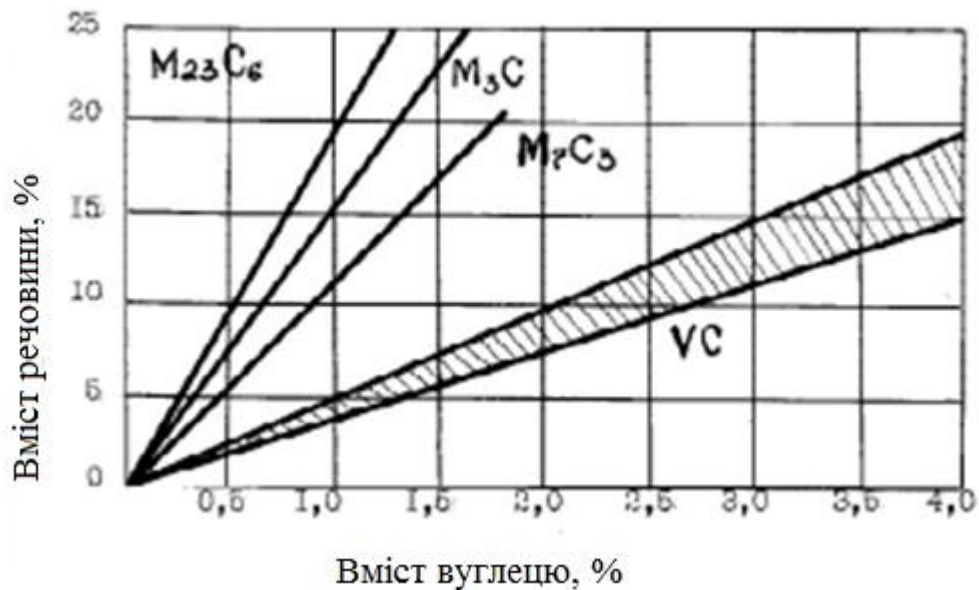


Рисунок 1.3 – Кількість карбідів в сталі в залежності від вмісту вуглецю

Насичення аустеніту забезпечує прогартованість та загартованість, а при значному насиченні сильними карбідоутворювачами: хромом, вольфрамом, молібденом, ванадієм створює, крім того, умови для розвитку дисперсійного твердіння при відпусканні та забезпечення теплостійкості, що супроводжується підвищенням твердості на HRC 3...10. В'язкість при цьому знижується. Ступінь окрихчення залежить від умов виділення карбідів: по межах або по об'єму зерна.

Карбідну неоднорідність можна знизити на 1...2 бали гомогенізаційним відпалом при високій температурі 1150...1250°C, коли надлишкові вторинні карбіди розчиняються в аустеніті. Для запобігання виділенню карбідів по границям зерен необхідно прискорене охолодження до

600...700°C, яке ефективно для заготовок середніх і малих перерізів (50...60 мм для сталей типу ХВГ і до 50 мм для вуглецевих). більш радикальним вирішенням проблеми є раціональний вибір складу сталі з мінімальними змістом карбідів в великогабаритних штампах [16].

Вольфрам і молібден є хімічними аналогами і впливають майже однаковим чином на перетворення в сталях, відмінність полягає в тому, що молібден знижує температури перетворень як при первинній кристалізації, так і при гартуванні і відпусканні; температурний інтервал затвердіння сталі з молібденом вужче, ніж у вольфрамової сталі, тому евтектика литої молібденової сталі має більш тонку будову. Карбіди в такій евтектиці, а також в деформованій сталі більш дрібні, що покращує в'язкість сталі у порівнянні з одержаних із вольфрамових сталей. Крім того, молібден треба розглядати як горофільний елемент. Він ускладнює розподіл карбідів по межах зерен при дисперсійному твердінні. Таке поліпшення граничних шарів зерна дозволяє отримати більш високу в'язкість. Треба врахувати, що молібден підсилює знеуглецювання при його вмісті більше 3%. У зв'язку з цим зміст молібдену приймається в цих сталях 2...3% [17].

Легування ванадієм необхідно для подрібнення зерна і зменшення чутливості до перегріву. Однак в штампових сталях його масова частка не повинна бути високою (від 0,4% до 1,4%). Підвищення концентрації ванадію в мартенситі підсилює дисперсійне твердіння при відпусканні, підвищує вторинну твердість та опір пластичній деформації, але одночасно сильно погіршує в'язкість і міцність. Крім того, через високу твердість карбіду ванадію VC сталь погано шліфується. Тому його зміст не повинен перевищувати 3,0% навіть в сталях підвищеної зносостійкості [18].

Окрім карбідів в структурі штампових сталей можливо утворення інтерметалідних фаз. Інтерметалідні фази утворюються і виконують роль зміцнювальних в високолегованих сталях з низьким вмістом вуглецю. Утворюються в процесі первинної кристалізації і розчиняються в аустеніті при високих температурах 1200...1300°C та виділяються при старінні, чим

спричиняють дисперсійне твердіння, яке в свою чергу значно підвищує твердість (на HRC 20...40). Температури дисперсійного твердіння залежать від матеріалу механічної основи та типу інтерметалідів, що виділяються: 500...550°C для $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_2(\text{Mo}, \text{W})_6$ та $(\text{Ni}, \text{Fe}, \text{Cr})_3(\text{Ti}, \text{Al})$; 580...650°C для $(\text{Fe}, \text{Co})_2(\text{W}, \text{Mo})_6$ [19].

1.4 Термічна обробка сталей для виготовлення молотових штамів

Термічна обробка сталей для виготовлення молотових штамів є відповідальною операцією. Після ізотермічного відпалу і механічної обробки їх нагрівають під гартування до 820...880°C, застосовуючи засипки і обмазки для оберігання від окислення і знеуглецювання, так як час нагрівання може становити 20...25 год. Для зниження термічних напружень невеликі штампи охолоджують на повітрі, інші після підстижування до 750...780 C в маслі способом переривчастого гарту. Чи не остиглі повністю штампи переносять в піч для відпускання.

Також для заготовок великих штамів проводять відпал з метою усунення флокеночутливості і подрібнення зерна аустеніту сталей проводять при 760...790°C для сталей 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ, при 790...820°C для сталі 5ХНВС, при 800...820°C для сталей 4ХМФС, 5Х2МНФ і при 820...840°C для сталі 3Х2МНФ. Час витримки при відпалі 1 годину плюс 1,5 хвилини на 1 мм товщини.

Оптимальні температури гартування встановлюють на основі певного співвідношення між твердістю і зерном аустеніту, розмір якого суттєво впливає на ударну в'язкість сталі. Для молотових штамів з найменшою стороною не більше 200...250 мм при отриманні після гартування структури мартенситу бажано мати зерно аустеніту не крупніше 9...10 номера. При більшому розмірі штамів, коли утворюється змішана бейнітно- мартенситна

структура, кращий комплекс властивостей досягається при зерні аустеніту не крупніше 11 номера. Температуру відпустку призначають в залежності від габаритів штампа і умов експлуатації. Утворення верхнього бейніту при гартуванні штампів висотою понад 300 мм знижує твердість і теплостійкість. При цьому в сталях 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС зберігається, а сталей 4ХМФС, 3Х2МНФ, 5Х2МНФ зменшується (бейнітна крихкість). Тому необхідно проводити відпустку. Для сталей 5ХНМ, 5ХГМ проводять середній відпустку, а для сталей 5ХН, 4ХМФС, 5Х2МНФ - високий відпустку.

Сталі 5ХНМ (5ХНВ) характеризуються невисокою стійкістю проти зростання зерна аустеніту, так як їх карбідна фаза представлена в основному легкорозчинні частинками типу M_3C . До більш високих температур (980...1020°C) зберігають дрібне зерно сталі 4ХСМФ і 5Х2МНФ, що містять у структурі поряд з цементитом карбіди типу M_6C і MC . Твердість після гартування підвищується до певних температур аустенітизації, відповідних найбільш інтенсивному розчиненню карбідів. При подальшому зпідвищення температури (понад 900..950°C для сталей 5ХНМ, 3Х2МНФ і 1000...1050°C для сталей 4ХСМФ, 5Х2МНФ) змінюється мало або знижується внаслідок збільшення в структурі кількості залишкового аустеніту.

Зазвичай штампи зі сталей цієї групи для отримання необхідних міцності, теплостійкості і в'язкості нагрівають під гартування до температур, що забезпечують збереження зерна аустеніту не крупніше №9...10. Однак ці рекомендації справедливі в основному для невеликих молотових штампів (стороною, діаметром не більше 200...250 мм) зі структурою мартенситу після гартування або більших пресових штампів з неглибокою робочої гравіюрою, що працюють без ударних навантажень. Для великогабаритних молотових штампів зі змішаною бейнітно-мартенситною структурою після гартування, неминуче отриманою при уповільненому охолодженні після аустенітизації і значно знижуючи - в'язкість сталі, вони потребують уточнення. У цьому випадку (штампи зі стороною діаметром понад 200 мм)

найкраще поєднання міцності, теплостійкості і в'язкості сталей досягається після отримання зерна аустеніту не крупніше № 10-11.

Структура сталей після гартування визначається їх хімічним складом і умовами охолодження після аустенітизації, залежними в свою чергу від розмірів штамів, охолоджуючої здатності середовища [20].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі досліджується сталь для виготовлення молотових штамів для гарячого деформування 5ХНМ. Хімічний склад наведено в таблиці 2.1, згідно ГОСТ 2591-2006 [21].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад штампової сталі 5ХНМ, % мас.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0.5-0.6	0.1-0.4	0.5-0.8	1.4-1.8	≤0.03	≤0.03	0.5-0.8	0.15-0.3	≤0.3

Дослідні зразки стали виплавляли в печі з графітовим нагрівачем. В якості шихти використовували відходи прокату і ковальського виробництва сталі 5ХНМ. Температура розплаву, яка контролюється платина – платинородієвою термопарою складала 1620...1650°C.

Проводили термічну обробку: ізотермічний відпуск, гартування 850 – 860°C, охолодження в маслі, відпуск 560°C. Температури критичних точок наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Температури критичних точок сталі 5ХНМ, °C

A _{c1}	A _{c3}	A _{r3}	A _{r1}	Mn
730	780	640	610	230

Далі вирізали зразки для подальших дослідів.

2.1 Дослідження ударної в'язкості

Дослідження на ударний згин проводилось згідно ГОСТ 9454- 82 [22].

Випробування ударним згином проводять на спеціальній машині-маятниковому копрі, який показано на рисунок 2.1. Зразок 8 встановлюють на двох опорах 9 надрізом в середину станини 7. Маятник 6 з ножом 5 підіймають на певну висоту (кут) та закріплюють кріпленням 4. Відпущений маятник, розбиваючи зразок, підіймається та стрілка 3 шкали 2 вказує на кут його злету. Зупиняють маятник ремнем 10, натягуючи останній рукояткою 1. Роботу удару визначають за шкалою маятникового копра.

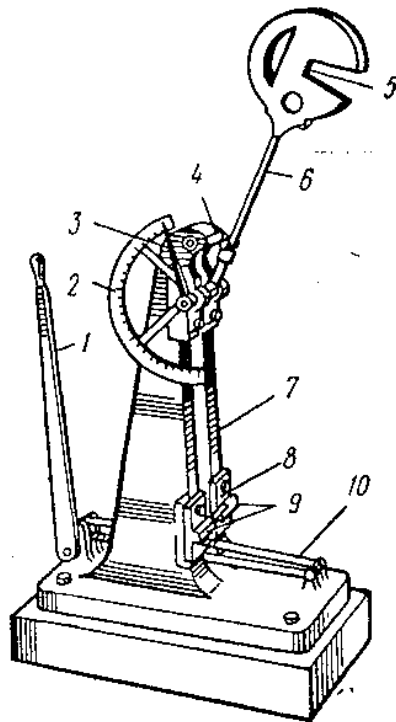


Рисунок 2.1 – Схема маятникового копра

При випробуванні металів на удар визначають ударну в'язкість, яку позначають КС. Ударна в'язкість КС - це відношення роботи К руйнування стандартного зразка до площі його поперечного перерізу F в місці надрізу

$KC = K/F$, Дж/м² В даному випробуванні використовували зразки Менаже перерізом 10×10 мм, довжиною 55 мм із U – подібним надрізом (рисунок 2.1).

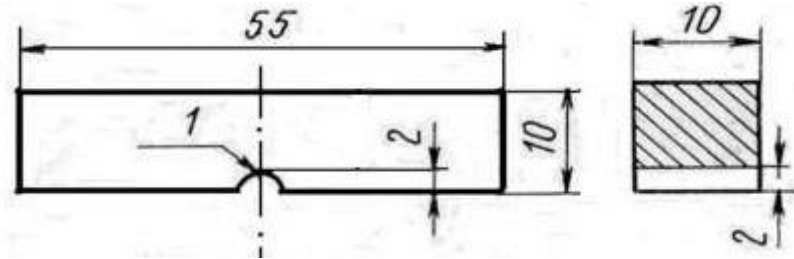


Рисунок 2.2 – Зразок із U – подібним надрізом для випробування на ударний згин

При випробуванні зразків з $L=55$ мм відстань між опорами повинна бути 40 мм. Згинаючий ніж має перетин у вигляді трикутника з кутом при вершині 30° та радіусом заокруглення 2 мм.

При проведенні випробування висуваються наступні вимоги:

- при вирізання заготовок метал зразків не повинен піддаватися наклепу та нагріву, які змінюють властивості металу;
- риски на поверхні концентратора виду U, видимі без використання збільшувачих пристроїв, не допускаються;
- зразок повинен вільно лежати на опорах копра. Встановлення зразка відбувається за допомогою шаблону, який забезпечує симетричне розташування концентратора відносно опор з похибкою не більше $\pm 0,5$ мм;
- удар маятника повинен приходиться з боку, протилежного концентратору, в площині його симетрії;
- якщо в результаті випробування зразок не зруйнувався повністю, то показник якості матеріалу вважається не встановленим.

2.2 Випробування твердості

Твердість HRC вимірювали у відповідності із ГОСТ 9013 – 76 [23]. Для визначення твердості за Роквелом застосовували прилад типу ТК-2 (твердомір конусний). За індентор було обрано алмазний конус з кутом при вершині 120° , із $P_0 = 98\text{Н}$, $P_1 = 1373\text{Н}$, $P = 1471\text{Н}$. Твердість за Роквелом виражається в одиницях умовної шкали і визначалася як різниця глибин проникнення індентора після попереднього (P_0) та основного (P_1) навантаження. Для вимірювання твердості можна використовувати зразки з наступними розмірами $10 \times 10 \times 20$ мм або $10 \times 10 \times 30$ мм (рисунок 2.3).

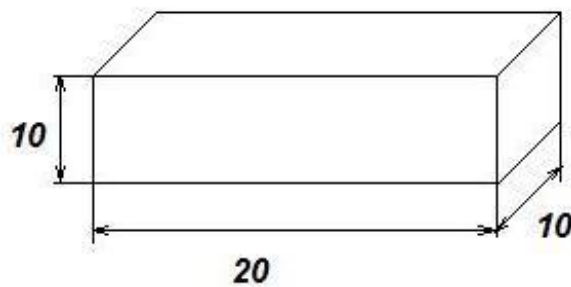


Рисунок 2.3 – Зразок для випробування на твердість

До проведення випробування висуваються наступні вимоги:

- 1) Випробування проводять при температурі 20°C .
- 2) Під час випробування пристрій повинен бути захищеним від ударів та вібрацій.
- 3) Опорні поверхні робочого столика-підставки та зразка повинні бути очищеними від сторонніх речовин. Зразок повинен лежати на підставці стійко, без зміщення та прогину під час випробування.
- 4) Перші три вимірювання після зміни наконечника, робочого столика або підставки є пробними і не записуються в протокол випробування.
- 5) Межа вимірювання твердості за шкалою С: 20-67 одиниць.
- 6) При вимірюванні твердості повинні бути дотримані наступні умови:

- перпендикулярність навантаження, що діє, до випробовуваної поверхні зразка виробу;
- плавне прикладання попереднього навантаження P_0 ;
- плавне прикладання протягом 2-8 с основного навантаження до максимального значення;
- плавне зняття через 2 с основного навантаження після різкого уповільнення руху стрілки індикатора.

7) Відлік результатів вимірювання твердості за шкалою індикатора з їх округленням до 0,5 ділення шкали проводять при дії попереднього навантаження P_0 , що продовжується.

8) Відстань між центрами двох сусідніх відбитків або від центру відбитку до краю зразка повинно складати не менше 3 мм, якщо в нормативно-технічній документації на металопродукцію не встановлені інші вимоги.

9) Кількість відбитків при визначенні твердості по Роквелу вказують в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

2.3 Дослідження мікроструктури

Приготування металографічних шліфів зазвичай складається з наступних операцій: вирізання зразка і підготовки поверхні, шліфування, полірування, травлення.

Шліфування починається з абразивної обробки. Абразивна обробка шліфів полягає в тому, що зрізаються нерівності поверхні абразивними частинками; обробку проводять в декілька стадій, поступово зменшуючи зернистість цих частинок.

Шліфування починають на папері з більшим абразивним зерном (№ 60), потім переходять на шліфування папером з більш дрібним зерном і

закінчують на папері № 220 ... 280. Шліфують зразок, злегка притискаючи його до шліфувального диску. Кожен раз при переході на більш тонкий папір зразок очищають від наждачним пилом, повертаючи на кут 90° , і шліфують до тих пір, поки не зникнуть сліди попередньої обробки.

Після тонкої шліфовки зразок промивають струменем води для видалення частинок абразиву і піддають поліруванню.

Механічне полірування проводять на спеціальному полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий фетром або сукном. Диск верстата змочують полірувальною рідиною, що складається з води, в якій в підвішеному стані знаходяться частинки полірувального порошку (окису алюмінію або окису хрому). Зразок не слід сильно притискати до диска. Полірування триває 8 ... 10 хвилин, іноді і дещо більше, що залежить від стану поверхні до полірування, а також властивостей сплаву і поліруючої рідини.

Полірування закінчують після того, як мікрошліф набуває дзеркальної поверхні. Потім шліф промивають водою, витирають фільтрувальним папером і розглядають під мікроскопом при збільшенні в 100...150 разів. На полірованому шліфі добре виявляються неметалеві включення, мікропори і тріщини, а також фази, твердість яких значно відрізняється від твердості основною структурною складовою. Мікроструктуру досліджували на оптичному та растровому електронних мікроскопах.

Растровий електронний мікроскоп (РЕМ) призначається для дослідження і аналізу мікроструктурних характеристик сплавів. Він дозволяє одержувати зображення мікрорельєфу поверхні зразків з високою роздільною здатністю і значною глибиною різкості, а також проводити аналіз хімічного складу дослідженої ділянки зразка з використанням рентгенівського мікроаналізатора. Електроннооптичну схему РЕМа зображено на рис. 2.4.

Електрони з вольфрамового катода, розжареного до 2430°C , прискорюються в електричному полі, створеному різницею потенціалів (до 50 кВ) між катодом 1 і анодом 3. За допомогою конденсорних лінз 5 і 6 та

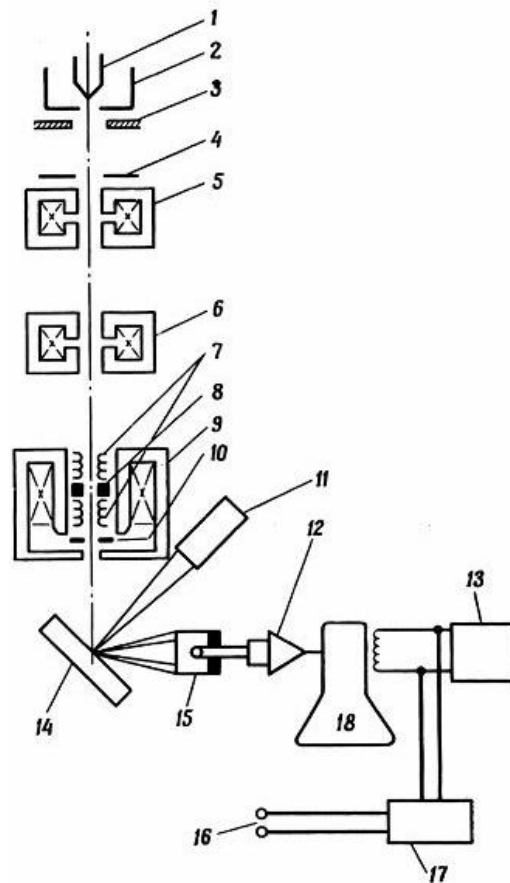
об'єктивної лінзи 9 пучок електронів формується у вузький зонд розміром 0,1-3 мкм. Змінюючи струм у лінзах, здійснюють регулювання інтенсивності та фокусування зонда на поверхні зразка 14 за рахунок взаємодії магнітного поля лінз з пучком електронів.

Вузький сфокусований пучок електронів може бути нерухомим, або розгортатися в растр за допомогою генератора сканування 13 та відхиляючої системи 7. Синхронно із скануванням зонда на екрані електроннопроменевої трубки (ЕПТ) 18 формується зображення.

При взаємодії первинних електронів із зразком відбуваються такі процеси: відбиття електронів внаслідок пружного розсіяння, поглинання електронів, поява вторинних електронів та утворення характеристичного рентгенівського випромінювання.

Відбиті електрони – це пружнорозсіяні електрони з такою ж довжиною хвилі, як і у первинних, бо зміна траєкторії їх розповсюдження у зразку відбувається із незначною втратою енергії. Слабозв'язані електрони, після непружної взаємодії з первинними електронами, емітують із зовнішніх оболонок атомів зразка, тому їх називають вторинними електронами. При взаємодії первинних електронів із електронами внутрішніх оболонок атомів зразка також виникає характеристичне рентгенівське випромінювання. Енергія рентгенівських квантів електронів, а саме довжина хвилі, є характеристикою хімічного елемента.

Вторинна електронна емісія виникає поблизу місця падіння зонда від усіх точок складного рельєфу. За допомогою детектора 15, встановленого біля зразка, сигнали від електронів, що виходять з поверхні зразка, перетворюються в електричні імпульси. Після проходження через підсилювач 12, вони передаються в модулятор електроннопроменевої трубки 18. Сканування електронного зонда по поверхні об'єкта і променя на екрані ЕПТ здійснюється синхронно від генератора сканування 13 і тому кожній точці на зразку відповідає точка на екрані ЕПТ.



1 – катод; 2 – фокусуючий електрод; 3 – анод; 4 – діафрагма; 5,6 – конденсорні лінзи; 7 – котушка подвійного відхилення; 8 – стигматор; 9 – об’єктивна лінза; 10 – діафрагма для обмеження розміру пучка; 11 – детектор рентгенівського випромінювання; 12 – підсилювач; 13 – генератор сканування; 14 – зразок; 15 – детектор вторинних електронів; 16 – клеми для підключення відхиляючої системи; 17 – блок регулювання збільшенням; 18 – ЕПТ

Рисунок 2.4 – Схема електронної оптики растрового електронного мікроскопа з мікроаналізатором

При переміщенні зонда, у відповідності зі зміною локальних властивостей зразка (частинки інших фаз, рельєф поверхні і т. інше), змінюється кількість розсіяних електронів і відповідно змінюється яскравість точки на екрані ЕПТ, тобто виникає контраст і створюється зображення поверхні зразка.

В РЕМі використовують два види контрасту: контраст від хімічного складу, що залежить від атомного номеру елементів, і топографічний контраст, який визначається рельєфом поверхні зразка.

Контраст від хімічного складу виникає тому, що ділянки з великим атомним номером будуть більш яскравішими, бо кількість розсіяних електронів пропорційна атомному номеру елемента. Топографічний контраст, на відміну від попереднього, пов'язаний з розташуванням рельєфної поверхні під різними кутами до напрямку падіння зонда. Більша кількість електронів буде реєструватися від тих ділянок рельєфу, що мають більший кут між нормаллю до поверхні ділянки (в точці падіння первинного пучка) і його напрямком.

Враження об'ємності структури поверхні пояснюється великою глибиною зображення РЕМа. Цей вид контрасту використовується при вивченні зламів.

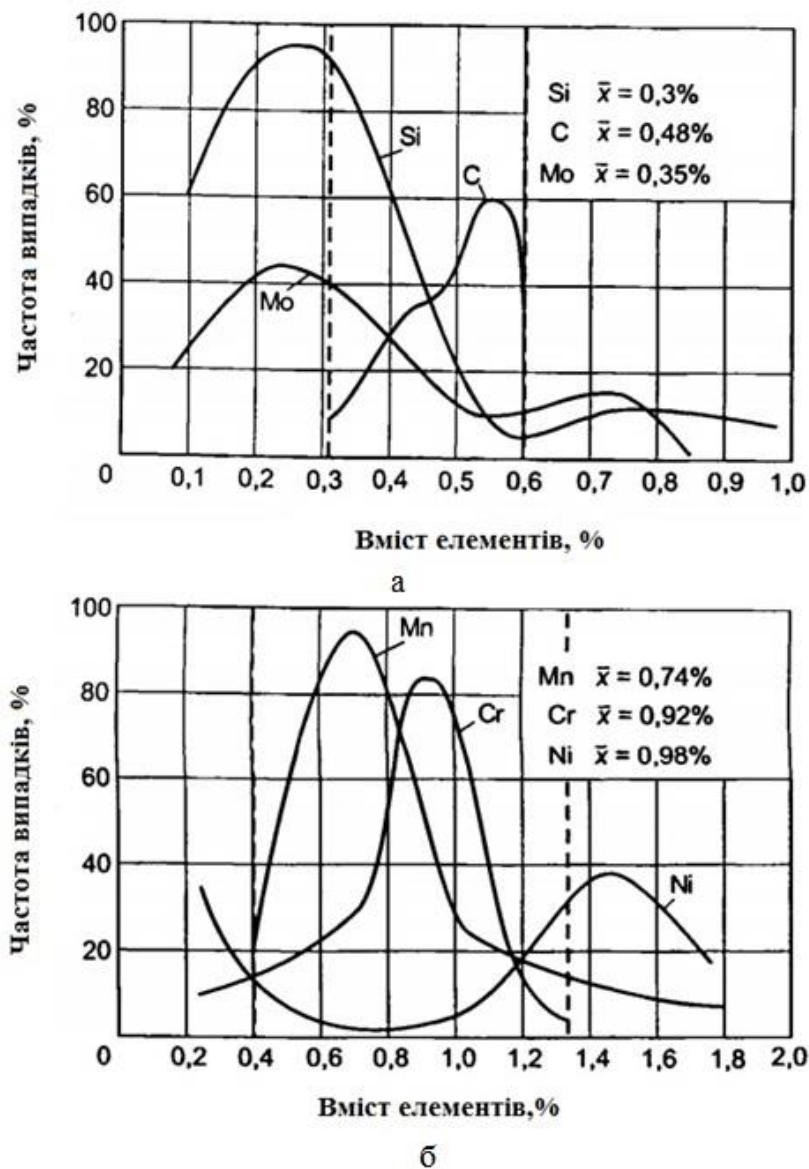
При реєстрації струму поглинання контраст зображення буде протилежним контрасту у відбитих (розсіяних) та вторинних електронах.

Збільшення зображення, одержаного в РЕМі, дорівнює відношенню лінійних розмірів растра на екрані ЕПТ і растра на зразку. Розмір растра на об'єкті можна регулювати зміною сили струму в растрових котушках. Загальне збільшення коливається в широкому діапазоні від 50 до 200 тис. разів і значно перекидає діапазон збільшення світлового мікроскопа [24].

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз впливу легування на структуру та властивості сталі 5ХНМ

В роботі розглядається сталь 5ХНМ, хімічний склад наведений в таблиці 2.1. Сталь використовується для виробництва молотових штампів, для штампів швидкісного штампування, вставок для ковальських машин.



а - Mo, Si, C; б – Cr, Mn, Ni

Рисунок 3.1 – Розподіл хімічних елементів у виборці сталей 5ХНМ

На рисунку 3.1 показано частотний розподіл основних елементів по зробленій вибірці марок сталей з нормативних документів і патентів. Як видно з рисунка, для штампових сталей гарячого деформування класу 5ХНМ вміст таких елементів, як вуглець, кремній і молібден, знаходиться в основному в інтервалі 0,3...0,6% при середньому значенні x близько 0,4%, а вміст марганцю, хрому та нікелю - в основному в інтервалі 0,40...1,35% при середньому значенні близько 0,9%. Саме ці елементи і визначають фізико-механічні властивості сталі в готовому виробі. Розглянемо вплив зазначених хімічних елементів сталі, розділивши їх на дві групи. До першої групи входять Ni, Mn, Co, C, N і Si, які розширюють область твердих розчинів на основі γ -заліза, в другу - елементи, що звужують область, а в певних концентраціях - вклинюють її повністю. До цих елементів відносяться Cr, W, Mo, V, Ti, Al, S, P, Nb, Zr. Крім того, слід коротко розглянути особливості зміни концентраційних і температурних меж існування α - і γ - фаз в сталях, що містять різну кількість вуглецю. Всі елементи, зазвичай присутні в складі штампових сталей, за винятком ванадію, зменшують концентрацію вуглецю в евтектоїді (перліті). Найбільш сильний вплив на стан точки S на діаграмі Fe-C надають молібден і вольфрам. Поряд з розподілом легувальних елементів на групи за впливом їх на поліморфні перетворення заліза основу класифікації може становити схильність цих елементів до карбідоутворення; Ni, Co, Mn і Si власних карбідів в у сталях не утворюють, інші елементи за ступенем спорідненості до вуглецю можна розташувати в порядку їх зростання у вигляді ряду: Fe, Cr, Mo, W, V, Ti, Nb, Zr.

Отже, хром збільшує міцність сталі, утворюючи карбіди, і впливає в поєднанні з вуглецем, нікелем, молібденом, бором і титаном. Молібден і вольфрам збільшують теплостійкість. Молібден замінює вольфрам і в поєднанні з хромом підвищує прогартованість. Ванадій покращує рівномірність розподілу хімічних елементів в сталі. При збільшенні вмісту ванадію можна підвищувати вміст нікелю. При вмісті хрому в межах 1,5 ... 2,0% хороший ефект дає збільшення змісту ванадію, молібдену, нікелю

(до 0,8% кожного). Кремній і кобальт сприяють збереженню дрібного зерна при нагріванні і підвищують теплостійкість. Позитивний ефект забезпечує поєднання кремнію (0,6...0,8%) і кобальту (0,5...0,8%). Нікель і марганець збільшують прогартованість, що важливо для великогабаритних штамів, і підвищують ударну в'язкість. Бор, титан і нікель утворюють карбіди, нітриди і бориди, збільшують межу витривалості сталі. Цирконій і в меншій мірі ніобій і титан підвищують вторинну стійкість і теплостійкість. Як видно з рис. 3.1, розподіл елементів не завжди підпорядковується нормальному закону розподілу. Вважаючи, що при великому масиві даних ми маємо незначну помилку в обраній гіпотезі, приймаємо наступне. Знайдений розподіл не випадковий і базуються на великому емпіричному досвіді. Якщо привести розподіл хімічних елементів до безрозмірного вигляду $x_i - \bar{x}$ то, наклавши їх один на одний, можна виділити області розподілу елементів. З використанням отриманих результатів визначимо фізично обґрунтовані співвідношення елементів, а також їх інтервали різних елементів. Отримані співвідношення наводяться в готовому вигляді:

$$0.55 \leq \frac{V+Ti}{C} \leq 1.5 \text{ при } C = 0.40 \dots 0.55; Ti = 0,1 \dots 0,2; V = 0,2 \dots 0,4$$

$$4 \leq \frac{Mn+Ni}{Ti} \leq 60 \text{ при } Mn = 0.40 \dots 1.5; Ni = 0.4 \dots 1.5; Ti = 0.05 \dots 0.2;$$

$$2 \leq \frac{Cr+Mo}{Co} \leq 10 \text{ при } Co = 0.2 \dots 0.5; Cr = 0.5 \dots 1.2; Mo = 0.5 \dots 0.8;$$

$$0.6 \leq \frac{Ni+Mo}{Ti+B} \leq 10.5 \text{ при } Ni = 0.4 \dots 0.9; Mo = 0.3 \dots 0.6; Ti = 0.05 \dots 0.2;$$

$$B = 0.0015 \dots 0.002;$$

$$3.5 \leq \frac{Si+Co}{100 B} \leq 9.3 \text{ при } Si = 0.5 \dots 0.9; Co = 0.2 \dots 0.5; B = 0.0015 \dots 0.002.$$

Штампова сталь, що містить вуглець, кремній, марганець, хром, нікель, молібден, ванадій, алюміній, титан, бор і залізо, що відрізняється тим, що додатково містить цирконій при наступному співвідношенні компонентів, %

(по масі): вуглець 0,46 ... 0,58; кремній 0,18 ... 0,40; марганець 0,45 ... 0,75; хром 0,8 ... 1,2; нікель 1,3 ... 1,7; молібден 0,35 ... 0,65; ванадій 0,18 ... 0,25; алюміній 0,01...0,04; титан 0,02...0,04; бор 0,001...0,003; цирконій 0,02...0,04; залізо - решта. У сталі цієї марки необхідно витримувати таке співвідношення ванадію, титану, вуглецю і цирконію:

$$0.43 \leq \frac{V + Ti}{C} \leq 0.50; \quad 8.7 \leq \frac{Ti + Zr}{100C} \leq 13.8.$$

Таким чином розраховано склад сталі, яка призначена для виготовлення інструментів для гарячого деформування. Механічні властивості сталі при 600°C $\sigma_b = 900$ МПа, HRC 42...44 [25].

3.2 Вплив модифікування на структуру та властивості сталі 5XНМ

Окрім раціоналізації хімічного складу сталі 5XНМ, для стабілізації структури сталі проводять модифікування. В якості модифікаторів вводились В (бор) – 0,023%; Се (цезій) – 0,03%, Sr (стронцій) – 0,03%, Ва (барій) – 0,03%; Са (кальцій) – 0,03%. За результатами досліджень встановлено, що при модифікуванні литої сталі, на її твердість та теплостійкість найбільш ефективно впливають бор та титан. Поверхнево-активні елементи (барій, кальцій, стронцій, церій) суттєво підвищують ударну в'язкість та підвищують технологічні властивості (рідкотекучість, знижують усадку).

Таблиця 3.1 – Вплив модифікування на твердість та технологічні властивості сталі 5ХНМ

Твердість HRC				Рікотекучість λ , мм	Усадка ϵ , %	Кількість неметалевих включень шт/мм
Лиття	Відпал	Гартування	Відпуск			
43	22	53	47	300	2.2	135
42	22	54	48	350	1.7	48
43	21	53	47	345	1.8	61
41	23	55	49	335	1.9	67

Таблиця 3.2 – Вплив модифікування на міцність та ударну в'язкість сталі 5ХНМ

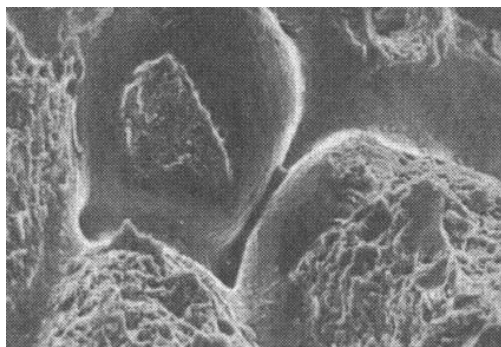
σ^{600} , МПа	Ударна в'язкість КСУ, кДж/м ²
124	164
128	360
124	331
126	345

Також слід зазначити, що найбільш ефективного впливу надають церій і барій. Підвищення ударної в'язкості обумовлено рядом чинників: серед них більш однорідний розподіл легуючих елементів по структурі модифікованої сталі, про що свідчать результати мікрорентгеноспектрального аналізу немодифікованої і модифікованої сталі. Модифікування барієм сприяє рівномірному розподілу хрому, нікелю, ванадію, молібдену. Підвищується

дисперсність структурних складових, їх - твердого розчину, карбідних включень, що встановлено металографічним аналізом за допомогою світлового і електронного мікроскопів як в литому, так і термообробленому станах результати мікрорентгеноспектрального аналізу структурних складових показують, що титан в досліджуваних сталях входить до складу карбідів, розташованих по межах зерен, і не проявляє інокулюючого впливу.

Підвищення ударної в'язкості внаслідок модифікування пов'язано зі зменшенням кількості неметалевих включень. Зниження забрудненості сталі домішками підтверджується зображенням поверхні мікрошліфів немодифікованої і модифікованої сталі в характеристичному рентгенівському випромінюванні ряду елементів. У модифікованій сталі кількість домішок значно нижче. Рафінуюча дія модифікаторів проявляється в тому, що вони утворюють хімічні з'єднання з киснем, сіркою, фосфором.

Аналіз зруйнованих ударних зразків вказує, що в литій немодифікованій сталі наявний внутрішньозеренний крихкий характер руйнування. Руйнування відбуваються по крупним карбідам, що містять титан та неметалеві вкраплення (рисунок 3.2 а).



а

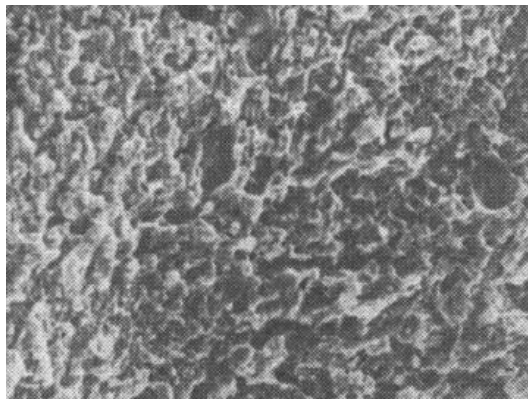


б

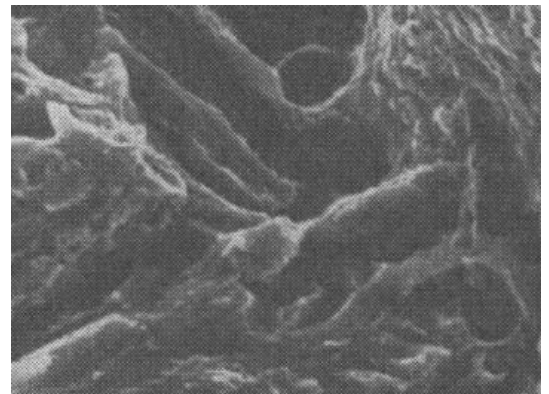
а - $\times 1000$; б - $\times 2500$

Рисунок 3.2 – Поверхня руйнування сталі 5ХНМ, модифікованою бором та титаном

На мікрофрактограмах присутні ділянки сколу, також вторинні розкриті тріщини по межах зерен. На деяких ділянках між фасетками сколу, відповідними міждендритними, більш легованими ділянкам, фіксуються перемички в'язкого руйнування. Присутні неметалеві включення оксидного характеру, що містять титан, що свідчить про те, що частина титану, що використовується для мікролегування, йде на розкислення. Перемички в'язкого руйнування є центральними ділянками дендритів, в яких розчинено меншу кількість вуглецю і легувальних елементів, що слугує причиною їх відносно високої в'язкості (рисунок 3.2 б). Характер руйнування литої сталі значно змінюється в результаті модифікування. Так, на мікрофрактограмах зразків сталі, модифікованої церієм, спостерігаються ділянки переважно вузького ямкового руйнування. Зміна механізму руйнування характерно для всіх обраних модифікаторів. Підвищення в'язкості спричинено рафінування металу (на мікрофрактограмах є невелика кількість включень, що містять модифікатори), подрібненням структурних складових. Для зламів характерна відсутність великих карбідів, в тому числі і містять титан (рисунок 3.3, а, б).



а



б

а - $\times 1000$; б - $\times 2500$

Рисунок 3.3 - Поверхня руйнування сталі 5ХНМ, модифікованою стронцієм та барієм

Змінюючи характер кристалізації, модифікуючи елементи впливають на перерозподіл легувальних елементів між твердим розчином і карбідною фазою. Про це свідчить підвищення вмісту легувальних елементів в матриці модифікованої сталі [26].

3.3 Маршрутна технологія виготовлення виробів зі сталі 5ХНМ

Технологія виготовлення виробів на машинобудівних, інструментальних, спеціальних заготівельних підприємствах являє собою логічну послідовність технологічних операцій. Маршрутна технологія-це рух заготовок по цехам та відділенням підприємства, в ній зазначаються операції, які виконуються при виробництві, вони можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими і забезпечують зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей. У розробці маршрутної технології приймають участь фахівці тих цехів, в яких відбувається обробка даного виробу. Вона може включати десятки операцій. Схема маршрутної технології наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Схема маршрутної технології виготовлення ролика для накочування рифлення

№ п/п	Назва операції (комплексу операцій)	Цех (дільниця), де виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів поковок

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
2	Попереднє механічне оброблення	Механічний цех	Надання деталі необхідних форми та розмірів
3	Попередня термічна обробка	Термічне відділення ковальського цеху	Ізотермічний відпал для отримання однорідної структури, перерозподілу легувальних елементів, зменшення кількості напружень та твердості.
4	Механічна обробка	Механічний цех	Обробка робочих частин штампу.
5	Термічна обробка	Термічний цех	Гартування та високий відпуск для отримання заданих робочим кресленням властивостей матеріалу, виконання вимог щодо геометрії заготовки.
6	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Ручне шліфування і надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості у відповідності із робочим кресленням
7	Вихідний (завершальний) контроль	Механічний цех	Контроль відсутності дефектів на поверхні готового виробу; перевіряється мікроструктура та механічні властивості.

Операції 4, 6 виконуються слюсарями. Слюсарі беруть участь й у механічній обробці, виконуючи розмічальні й проміжні слюсарні роботи, а в деяких випадках - нескладні верстатні роботи.

Звичайний технологічний процес виготовлення роликів складається з наступних основних операцій: виготовлення заготівлі, попередньої механічної обробки, чорнового шліфування, гартування, відпуску, чистового шліфування профілю, доведення профілю, заточення.

Термічна обробка заготівель забезпечує кращу оброблюваність їх на наступних операціях, зменшує деформації при загартуванні й підвищує стійкість робочих частин.

Щоб усунути поверхневі напруження, що виникають у результаті грубої механічної обробки проводять попередню термічну обробку, заготовки з легованих інструментальних сталей піддають ізотермічному відпалу.

Шліфуванням доводочними бормашинками можна доводити поверхню роликів безпосередньо на робочому місці слюсаря

3.4 Термічна обробка молотових штамтів виготовлених зі сталі 5ХНМ

Режим термічної обробки сталі 5ХНМ перш за все в попередній термічній обробці, а саме в ізотермічному відпалі. Відпал проводиться в наступній послідовності: вихідна структура $P + K_I + K_{II}$; спочатку відбувається нагрівання вище A_1 , при цьому проходить перетворення перліту на аустеніт, при 860 ± 10 відбувається гомогенізація аустеніту, потім охолодження із піччю до 710 ± 10 , витримка, далі знову охолодження із піччю до 550 , після чого садка виноситься на повітря і там відбувається подальше охолодження, структура $P_{\text{зерн}} + K$. Остаточна термічна обробка полягає в підігріванні, наступному гартуванні і відпуску.

Виріб великої маси для того щоб не утворилися тріщини через перепад температур спочатку підігрівають до 700 ± 10 . Після підігрівання роблять витримку для вирівнювання температур по всьому перерізу виробу.

Після прогрівання виробу садку нагрівають до більш високих температур, а саме $850 \pm 10^\circ\text{C}$ і гартують. Після витримки виробу охолоджуються у маслі. При гартуванні в сталі відбуваються наступні перетворення: із вихідної структури, що уявляє собою $P_{\text{зєрн}}$ при нагріванні вище температури $A_{\text{с1}}$ відбувається перетворення перліту в аустеніт; подальше підігрівання призводить до розчинення карбідів і протіканню процесу гомогенізації аустеніту. При охолодженні нижче лінії $M_{\text{п}}$ відбувається перетворення аустеніту на мартенсит, проте він не повністю перетворюється і тому після завершення операції гарту отримується структура $M_{\text{Г}} + A_{\text{зал}} + K_{\text{Г}}$.

Після гартування для зняття внутрішніх напружень сталь піддають високому відпуску при температурі 550 ± 10 . Температуру відпуску обирають із умов отримання максимальної міцності і ударної в'язкості, вона не повинна бути настільки високою, щоб визвати процеси розпаду залишкового аустеніту і коагуляції карбідів, що виділяються, які сприяють зниженню ударної в'язкості. В результаті такої обробки (підігрівання + гартування + високий відпуск) поверхня буде мати твердість HRC 43 і структуру $S_{\text{від}}$.

Для попередньої термообробки обираємо піч СНЗ – 6.6.4/10 – електрична камерна піч із нерухомим подом та захисним робочим середовищем. Параметри цієї печі наступні: ширина – 600 мм, довжина – 600 мм, висота – 400 мм; максимальна температура, до якої нагрівається піч, складає 900°C .

У даний тип печей виробу завантажуються на піддонах. Схема садки зображена на рисунку 3.4. Розраховуємо кількість виробів що вміщуються по ширині робочого простору печі СНЗ-6.6.4/10:

$$n_{\text{ш}} = \text{Ш} / (d + d/2)$$

де Ш - ширина робочого простору, 600мм;

d – діаметр деталі, 52мм;

$$n_{\text{ш}} = 600 / (52 + 26) \approx 7 \text{ шт.}$$

Розрахуємо кількість виробів, що вміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{ш}} = \text{Д} / (d + d/2),$$

де Д- довжина робочого простору, 600мм;

d – діаметр деталі, 52мм;

$$n_{\text{д}} = 600 / (52 + 26) = 7 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 7 \cdot 7 = 49 \text{ шт.}$

Розраховуємо кількість виробів, які можуть бути розташовані у робочому просторі печі по висоті. Розташовуємо піддони у 2 яруси.

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{\text{яр}} \cdot 2 = 49 \cdot 2 = 98 \text{ шт.}$$

Розрахуємо масу садки : $M_c = N \times m = 98 \cdot 0,15 = 14,7 \text{ кг,}$

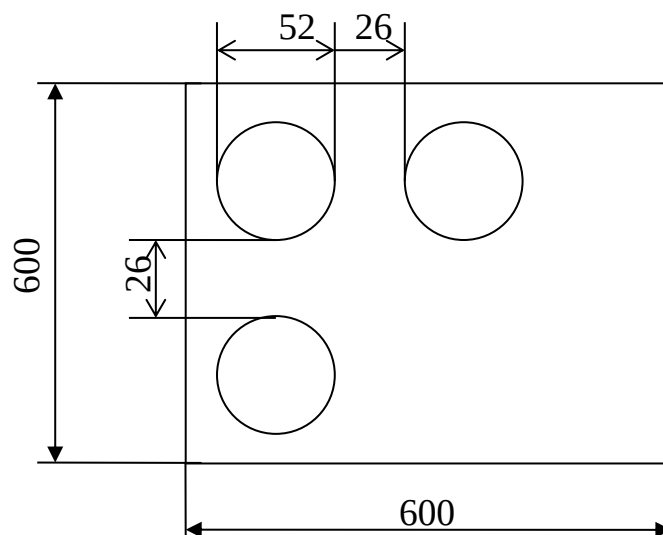


Рисунок 3.4 – Схема садки печі СНЗ - 6.6.4/10

Підігрівання виробу проводять у тій же самій печі, а саме СНЗ - 6.6.4/10, тобто схема та маса садки залишаються такими ж як і при попередній термообробці, але враховуючи те, що для проведення подальшого нагрівання під гартування ця садка повинна бути перенесена в піч СВС – 6.9.4,5/13, тому для цього схему і масу садки приймаємо такою як і для печі-ванни.

Гартування штамів зі сталі проводять у електродних печах типу СВС – 6.9.4,5/100.

Параметри цієї печі наступні: ширина – 600 мм, довжина – 900 мм, висота – 450 мм; максимальна температура, до якої нагрівається піч, складає 900°C.

Розраховуємо кількість виробів, що поміщуються по ширині робочого простору печі СВС-6.9.4,5/900:

$$n_{\text{ш}} = \text{Ш} / (d + d/2),$$

де Ш- ширина робочого простору, 600мм;

d – діаметр заготовки, 52мм;

$$n_{\text{ш}} = 600 / (52 + 26) = 7 \text{ шт.}$$

Розрахуємо кількість виробів, що поміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{ш}} = \text{Д} / (d + d/2),$$

де Д - довжина робочого простору, 900мм;

d – діаметр заготовки, 52мм;

$$n_{\text{д}} = 900 / (52 + 26) = 11 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 7 \cdot 11 = 77 \text{ шт.}$

В печі одночасно необхідно розташовувати вироби у два яруси. В такому випадку в печі одночасно розташовується кількість виробів рівна:

$$N = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{я}} = 77 \cdot 2 = 154 \text{ шт}$$

Розрахуємо масу садки : $M_{\text{с}} = N \cdot m = 154 \cdot 0,15 = 23,1 \text{ кг,}$

де m – маса штапу, кг.

Далі для зняття залишкових напружень проводиться високотемпературний відпуск, для якого використовується піч СВС – 6.9.4,5/900. Параметри цієї печі такі самі як і для гартування, тільки змінюється максимальна температура, до якої нагрівається піч. Таким чином схема та маса садки зберігаються такими ж як і для гартування.

Режим термічної обробки складається з наступних параметрів: швидкість нагрівання, температура нагрівання, час витримки та швидкість охолодження.

В більшості випадків швидкість нагрівання не обумовлюється, тобто вона є величиною технічно довільною.

Для попередньої термічної обробки, а саме ізотермічного відпалу використовується піч СНЗ - 6.12.4/10.

Розрахуємо час проведення відпалу, який розраховується за формулою:

$$t_{\text{заг}} = t_{\text{н}} + t_{\text{в1}} + t_{\text{ох1}} + t_{\text{в2}} + t_{\text{ох2}} + t_{\text{ох3}};$$

де $t_{\text{н}}$ – час нагрівання до заданої температури, хв.;

$t_{\text{в}}$ – час витримки при технологічній температурі, хв.;

$t_{\text{ох}}$ – час охолодження до заданої температури, хв..

Швидкість нагрівання приблизно 100°C/год. Необхідно нагріти до 860°C, таким чином $t_{\text{н}} = (860-20)/100 = 8,4 \text{ год} = 504 \text{ хв.}$

Час витримки при заданій температурі можна вважати таким, що отримується з розрахунку 1,5 – 2 хв./мм – для сталі 5ХНМ. Таким чином $t_{\text{в1}} = 14 \text{ хв.}$

Потім садку охолоджуємо з піччю до 710°C.

$$t_{\text{ох1}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}}$$

де $t_{\text{п}}$ – температура початку охолодження, °C. $t_{\text{п}} = 860^\circ\text{C}$,

$t_{\text{к}}$ – температура кінця охолодження, °C. $t_{\text{к}} = 710^\circ\text{C}$,

$V_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження із піччю, °C/год. $V_{\text{ох}} = 40^\circ\text{C/год.}$

$$t_{\text{ох1}} = (850-720)/40 = 3,75 \text{ год.}$$

Витримка при цій температурі узгоджується з діаграмою ізотермічного розпаду аустеніту сталі Як видно, щоб аустеніт повністю перетворився у перліт його необхідно витримувати приблизно 3 години, тобто $t_{в2} = 180$ хв.

Далі – охолодження із піччю зі швидкістю $50^{\circ}\text{C}/\text{год.}$ до 550°C .

$$\tau_{ох2} = (t_{п.} - t_{к.})/V_{ох.} = (710 - 550)/50 = 3,2 \text{ (год.)}$$

Далі – охолодження на повітрі зі швидкістю $5^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

$$\tau_{ох3} = (t_{п.} - t_{к.})/V_{ох.} = (550 - 20)/5 = 106 \text{ (с.)} = 1,77 \text{ (хв.)} = 0,03 \text{ (год.)}$$

$$\text{Тоді } t_{заг} = 8,4 + 14/60 + 3,75 + 3 + 3,2 + 0,03 = 18,61 \text{ год.}$$

Після ізотермічного відпалу отримується структура $P_{зерн.}$

Для підігрівання також використовується піч СНЗ - 6.12.4/10 .

Нагрівання відбувається до температури 680°C . Швидкість нагрівання також приблизно $450^{\circ}\text{C}/\text{год.}$ Тоді $t_{н1} = (680 - 20)/450 = 1,47$ год.

Витримка при цій температурі обирається з довідникових матеріалів в залежності від прогартовуваності сталі і розміру заготовки, і для штампу виготовленого зі сталі 5ХНМ витримка $t_{в1} = 20$ хв.

Далі вироби переносяться у піч СВС – 6.9.4,5/900 де відбувається їх гартування.

Розрахуємо час проведення гартування за формулою:

$$t_{заг} = t_{н1} + t_{в1} + t_{н} + t_{в} + t_{охол}$$

де $t_{н}$ – час нагрівання до заданої температури, хв.;

$t_{в}$ – час витримки при технологічній температурі, хв.;

$t_{охол}$ – час охолодження виробів, хв.

Для визначення часу нагрівання $t_{н}$, можна використовувати методику приблизного розрахунку. Ця методика базується на тому, що садка металу складається з простих за формою виробів (куля, циліндр, призма тощо.) при нескладному їх розташуванні в один або декілька шарів з забезпеченням певних відстаней між виробами і без урахування негативної дії нерухомих

прошарок нагрівального середовища. Тоді тривалість нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_n = S \cdot k \cdot f \cdot L,$$

де S – характеристичний розмір виробу, мм;

k – коефіцієнт форми;

f – коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв.;

L – модифікований коефіцієнт легування, хв./мм

$$L = f(c/\lambda),$$

де c – теплоємність, кДж/(кгК);

λ – теплопровідність, Вт/(мК)

Так як виріб представлений у вигляді циліндру з наскрізним отвором, то характеристичний розмір дорівнює половині товщини стінки деталі, а саме $S = 7$ мм.

Коефіцієнт форми обирається з таблиці і він дорівнює $k = 2$.

Коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання також обирається з таблиці і він дорівнює $f = 2,2$.

Модифікований коефіцієнт легування дорівнює $L = 0,27$ хв./мм.

Тоді можна розрахувати тривалість нагрівання: $\tau_n = 7 \cdot 2 \cdot 2,2 \cdot 0,27 = 8,316$ хв.

Час витримки при високих температурах повинен забезпечити завершення процесу розчинення надлишкових фаз. Також тривалість витримки залежить від ступеня неоднорідності, від розмірів дендритів, складу сплавів та дифузійної рухомості елементів. τ_b вибирається технологічно, з урахуванням діаграм ізотермічного розпаду з забезпеченням необхідних перетворень. Занадто великі витримки під час гартування

недоцільні, так як вони малоефективні та призводять до надмірних витрат електроенергії і до невиправданого зменшення продуктивності. Підвищення температури гарту діє набагато ефективніше, ніж збільшення часу витримки.

Для визначення часу витримки при технологічній температурі необхідно звертатися до довідникової літератури, звідки визначаємо, що $t_v = 5$ хв.

Важливим параметром ТО є швидкість охолодження з температур гартування. Вона повинна бути достатньою для запобігання виділення надлишкових фаз або забезпечувати мінімальну кількість фази, що виділяється при охолодженні з достатнім ступенем пересиченості твердого розчину використовуємо охолоджувач – масло, тобто швидкість охолодження достатньо невисока.

Далі розраховуємо час, який витрачено для охолодження виробу після гартування. Цей час можна розрахувати за формулою:

$$t_{\text{охол}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / v_{\text{ох}}$$

де $t_{\text{охол}}$ – час витрачений на охолодження після гартування, хв.

$t_{\text{к}}$ – кінцева температура виробу,

$t_{\text{п}}$ – початкова температура виробу,

$v_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження, $^{\circ}\text{C}/\text{хв}$.

Швидкість охолодження в маслі становить $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Виріб охолоджується від температури 850°C , до кімнатної температури, тобто до 20°C . Отже:

$$t_{\text{охол}} = (850 - 20) / 50 = 16,6 \text{ с} = 0,27 \text{ хв}.$$

Таким чином можна розрахувати час проведення гартування за формулою:

$$t_{\text{заг}} = 88,2 + 20 + 8,316 + 5 + 0,27 = 121,856 \text{ хв}$$

Високотемпературне відпускання проводять при температурі $550 \pm 10^{\circ}\text{C}$ в печі СВС–6.9.4,5/600. Таким чином час витрачений на відпуск розраховується за формулою:

$$t_{\text{відп}} = t_{\text{н}} + t_{\text{в}} + t_{\text{охол}}$$

де $t_{\text{відп}}$ – час проведення операції відпуску, хв.;

$t_{\text{н}}$ – загальна тривалість нагрівання, хв.;

$t_{\text{в}}$ – час витримки при технологічній температурі, хв.

$t_{\text{охол}}$ – тривалість охолодження, хв.

Загальна тривалість нагрівання розраховується за тією ж формулою як і при гартуванні. Її складова саме час нагрівання розраховується за формулою, в якій такі показники, як характеристичний розмір, коефіцієнт форми та коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої залишаються такими ж, а саме $S = 7$ мм, $k = 2$, $f = 2,2$. В розрахунках замінюється лише модифікований коефіцієнт легування $L = 0,48$ хв/мм.

Тоді можна розрахувати тривалість нагрівання: $t_{\text{н}} = 7^2 \cdot 2,2 \cdot 0,48 = 14,784$ хв.

Час витримки при відпуску береться з довідникової літератури. Час складає 120 хвилин.

Далі розраховуємо час який затрачено для охолодження виробу після відпуску.

Охолодження виробу після відпуску відбувається на повітрі, тобто швидкість охолодження складає 5 °C/хв., до кімнатної температури.

Тоді час витрачений на охолодження дорівнює: $t_{\text{охол}} = (550 - 20)/5 = 106$ хв.

Тоді час за який проводиться операція відпуску розраховується за формулою: $t_{\text{заг}} = 14,784 + 120 + 106 = 240,078$ хв.

Мікроструктура сталі 5ХНМ після гартування наведена на рисунку 3.5

Після гартування структура штампової сталі для гарячого деформування є пересичений α -розчин (мартенсит) і невелика кількість надлишкових карбідів і залишкового аустеніту.

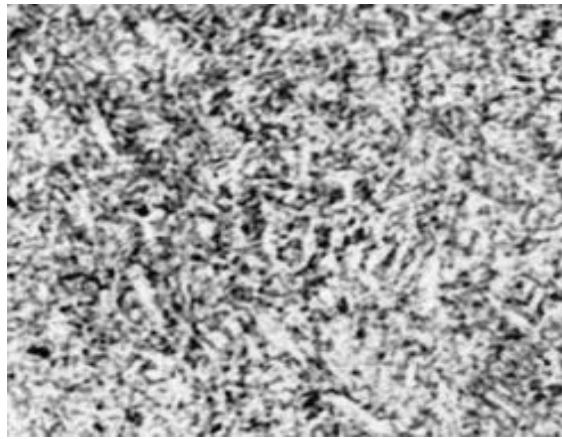


Рисунок 3.5 – Мікроструктура сталі 5ХНМ після гартування

Мікроструктура сталі 5ХНМ після високого відпуску наведена на рисунку 3.6 .

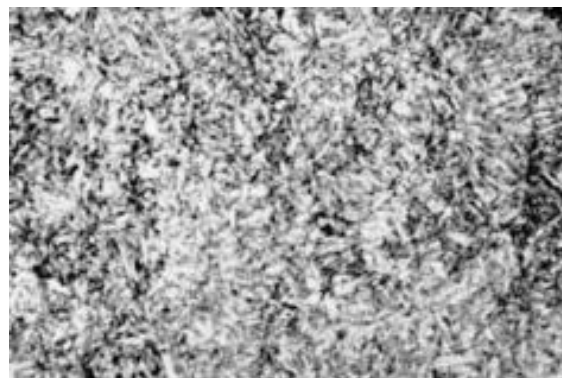


Рисунок 3.6 – Мікроструктура сталі 5ХНМ після високотемпературного відпускання

Структура штампової сталі після високотемпературного відпускання складається з троостосорбіту або сорбіту і надлишкових карбідів. Така структура забезпечує найкращі показники механічних та експлуатаційних характеристик.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Характеристика ринку штампових сталей

Із розвитком сучасного машинобудування та металургії, виробництвом та використанням в більших об'ємах конструкційних матеріалів, багато з яких важко оброблюються, інтенсифікація процесів обробки тиском неминує супроводжується зниженням стійкості інструменту.

Як відомо стійкість інструментів для оброблювання металів в багато чому зумовлює продуктивність машинобудівних підприємств. Таким чином використання більш сучасних та якісних матеріалів, які забезпечують більшу стійкість інструментів, в конкретному випадку інструментів для гарячого штампування інструменту забезпечує економічну стабільність підприємства.

Дане дослідження дозволяє проаналізувати хімічний склад сталі, модифікувати структуру, а стабілізувати термічну обробку сталі 5ХНМ, що в свою чергу підвищує механічні властивості та стійкість інструменту.

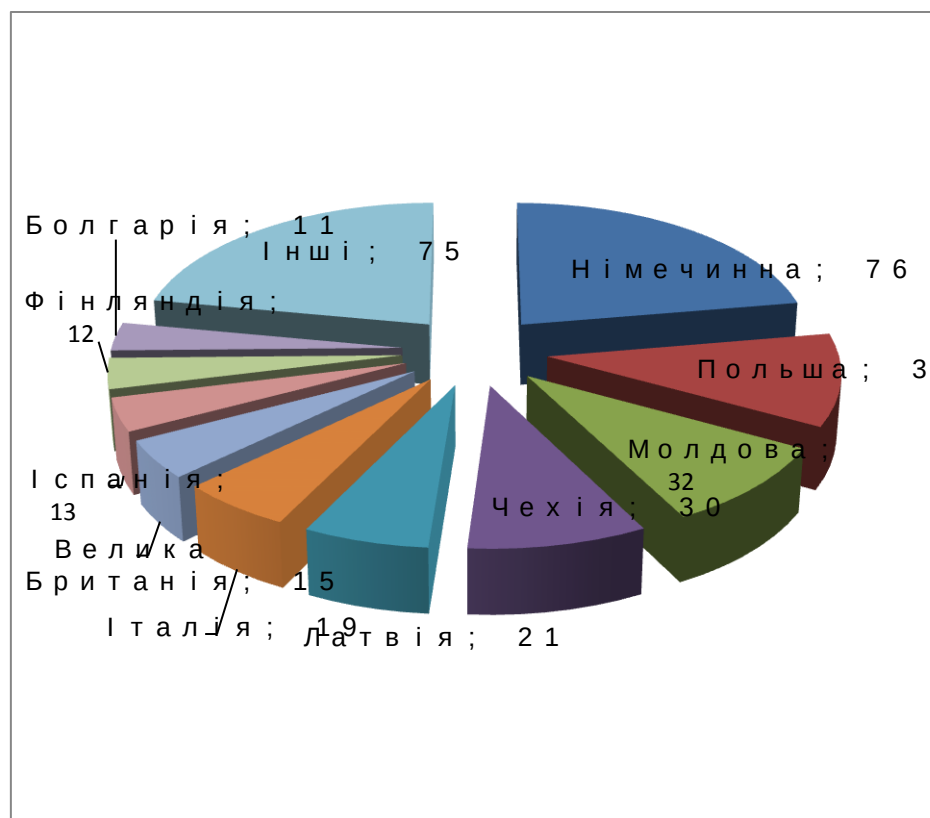


Рисунок 4.1 – Ринок збуту сплаву в Європі

На російському ринку кількість підприємств набагато більша серед них Єкатеринбургський металургійний завод, Уральський трубний завод «Уралтрубпром», Московський трубний завод «Филит» тощо.

У зв'язку із ситуацією, яка склалася в Україні останнім часом, продаж товарів до Росії значно ускладнився, проте є підприємства в Європі та Азії, які можуть придбати запропоновані сплави.

Великим попитом сплави на нікелевій основі для пресового інструменту можуть скористатися на підприємствах Азії. Близько 800 підприємств можуть співпрацювати із Україною.

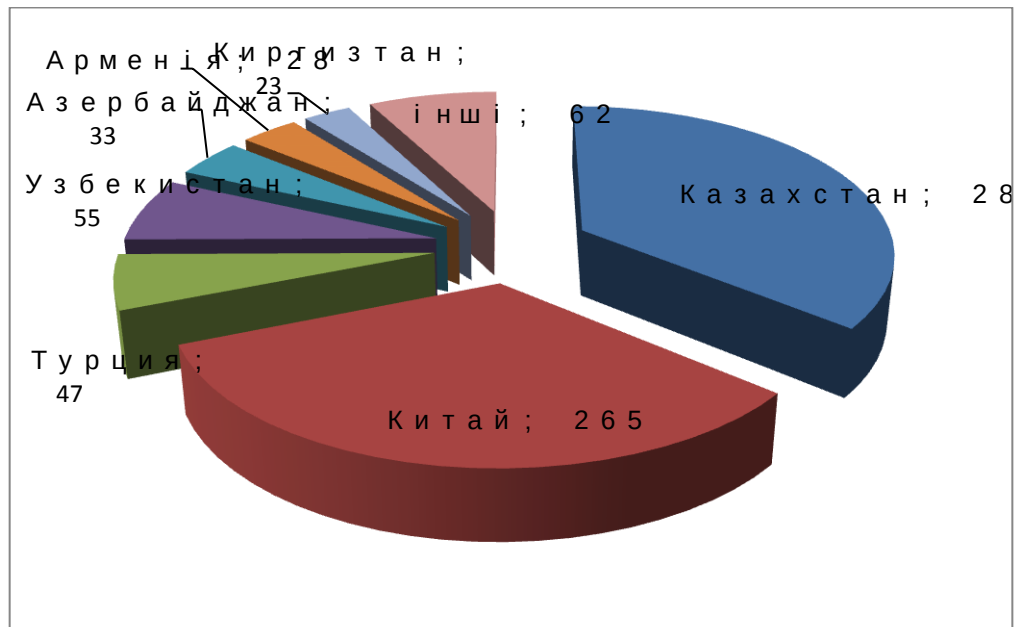


Рисунок 4.2 – Ринок збуту сплаву в Азії

Таким чином близько 360 підприємств в Європі з них в Німеччині 70, Польщі 30, Фінляндії 10 тощо, можуть скористатися послугами українських науковців, що в свою чергу підвищує рівень українського виробництва. Проаналізувавши ринок можна зробити висновок, що сплав, який досліджується в даній роботі є конкурентоспроможним та буде користуватися попитом за межами України.

4.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою цього розділу розрахунок собівартості виробництва деталей із сталі 5ХНМ В таблиці 4.1 вказані техніко-економічні показники виробу.

Таблиця 4.1 — Техніко-економічні показники виробів

Показник	Виріб
1. Молотовий штамп	5ХНМ
2. Технологія виготовлення	Відрізання заготовки від сортового прокату, обробка різанням, полірування
3. Програма випуску, т.	3

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок. Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 — Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, хвилин	Розряд робітника	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Відрізання	30	II	60	30
Обробка різанням	40	III	65	40
Шліфування	40	II	65	40
Усього	110	—	—	110

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою:

$$ЗД = \frac{ЗО}{100} \cdot 40\% = \dots \text{ грн}$$

де K_d – процент додаткової заробітної плати

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою:

$$ВС = (ЗО + ЗД (44+14,75) 18,475) \cdot 0,22 = 77,255 \cdot 0,22 = 16,99 \text{ грн}$$

де ПП – премії з прибутку (50%), грн.;

$K_{вс}$ – % відрахування на соціальні заходи.

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою:

$$ЗВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100} = 36,95 \cdot \frac{400}{100} = 147,8 (\text{ з р})$$

де α – % загальновиробничих витрат.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно-управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці, техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 400% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100} = 36,95 \cdot \frac{400}{100} = 147,8 (\text{ з р})$$

де β – % адміністративних витрат

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою:

$$ВЗ = С_v \cdot \frac{\gamma}{100} = 214,97 \cdot 0,02 = 4,3 (\text{ з р})$$

де C_v – собівартість виробнича, грн.;

γ – % витрат на збут .

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 — Калькуляція собівартості механічної обробки і ціни виробу

	Статті витрат	Сума, грн.
1	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	44
2	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	14,78
3	Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	15,44
4	Загальновиробничі витрати	147,8
5	Собівартість виробнича	214,97
6	Адміністративні витрати	147,8
7	Витрати на збут	4,3
8	Собівартість повна	367,07

Економічний ефект від виготовлення інструменту розраховується за такою формулою:

$$E_e = K \cdot C_1 - C_2 = 8 \cdot 214,97 - 1,2 \cdot 367,07 = 3837,83 \text{ (грн)}$$

де K – коефіцієнт підвищення стійкості сплаву (K=8);

C₁ – собівартість виготовлення матриці із звичайним складом;

C₂ – собівартість виготовлення матриці із вдосконаленим хім. складом.

Економічний ефект від зменшення кількості металу на виготовлення інструменту розраховується за такою формулою:

$$E = C_6 \cdot \ddot{O} - C_n = 3 \cdot 0,02985 - 0,375 \cdot 0,93570 = 48866,25 \text{ (з р)}$$

де C_6 – собівартість виготовлення пуансону із звичайною ТО, грн./т;

C_n – собівартість виготовлення виготовлення матриці із вдосконаленою ТО, грн./т;

K – коефіцієнт підвищення стійкості ($K=8$)

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В розділі наводяться заходи з охорони праці при дослідженні сталей для виготовлення молотових штампів для гарячого штампування.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки які пов'язані з порушенням роботодавцем вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцем охорони праці працівників» [27]. А саме: облаштування робочих зон, що може бути пов'язано з відсутністю або непрацездатністю захисних пристроїв, втратою конструкційної міцності будівель та споруд.

б) Можливість ураження електричним струмом при виконанні досліджень внаслідок порушень правил з електробезпеки, несправності електроспоживачів, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту.

в) Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків для подальшої термічної обробки, дослідження мікроструктури зразків з використанням абразивного інструменту.

г) Небезпеки які пов'язані із дією іонізуючого випромінювання при дослідженні структури на растровому електронному мікроскопі. .

д) Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення» [28] що призводить до зниження працездатності.

е) Небезпеки які пов'язані з обробкою результатів досліджень з використанням ПК внаслідок підвищеної інтенсивності та напруженості праці.

є) Небезпеки які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях зокрема при пожежах або при порушеннях процедури.

5.2 Заходи забезпечення безпеки

а) Згідно вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено [27]:

На підприємстві повинні бути створені для кожного працівника здорові і безпечні умови праці. При цьому необхідно дотримуватись таких основних принципів запобігання небезпекам:

- виключення небезпек, якщо це є можливим і реальним;
- обмеження небезпек, яких уникнути неможливо;
- усунення небезпек у їх першоджерелах, виключення або максимальне обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників;
- забезпечення пріоритету колективних засобів захисту над індивідуальними;
- врахування людського фактору, зокрема під час вибору засобів виробництва, технології, організації праці, устаткування робочих місць тощо.

Працівники мають бути проінформовані та проінструктовані щодо дій, необхідних у разі виникнення на підприємстві аварійних ситуацій, пов'язаних з безпосередньою загрозою для їх життя і здоров'я, та про вжиті або такі, що мають бути вжитими, запобіжні і захисні заходи.

Роботодавець забезпечує повну і вичерпну інформацію працівників та їх уповноважених представників з питань охорони праці про можливі небезпечні ситуації, про вжиті заходи для їх запобігання або їх ліквідації та про дії працівників у аварійних ситуаціях.

Для забезпечення належного виконання цих заходів роботодавець призначає відповідальних осіб, забезпечує їх підготовку і спорядження відповідно до небезпечності виробництва, масштабів і специфіки підприємства. Виробничі приміщення повинні мати достатню площу та висоту для раціонального планування робочих зон та місці відповідно до СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания» [29].

б) Для виключення можливості ураження електричним струмом передбачено:

Всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки.

Усе технічне обладнання повинно бути заземлено з опором заземлюючого контуру 4 – 10 Ом (ПУЕ-2017) [30]. Обов'язковим є щоденна перевірка щільності заземлювачів, не рідше як 2 рази на рік перевірка контактів та електричних з'єднань, ремонт обладнання проводять особи які мають кваліфікаційну групу не менше 3. Передбачається використання тільки подвійної ізоляції провідників (ПТБЕ) класу IP44.

Стосовно розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000В – не менше 3,5 м; більше 1000В – не менше 6 м). Усі неізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огорожені, відкриття можливо тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

в) Для виключення механічних травм при підготовці зразків передбачено: При необхідності проведення токарної, фрезерної, шліфувальної обробки обов'язковим є виконання інструкцій з експлуатації та техніки безпеки при використанні відповідного обладнання. Відносно безпеки виконавців обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту: окуляри (ГОСТ 12.4.013-85), спецодяг (ГОСТ 12.4.049-78) та спецвзуття (ГОСТ 28507-99). У відповідності з НПАОП 28.0-1.30-12 «Правила охорони праці під час роботи з абразивними інструментами» [31]: При установці абразивного круга необхідно між фланцями і кругом встановити прокладки з картону або другого еластичного матеріалу товщиною 0,5 – 1мм. Перед початком роботи круг, встановлений на станок повинен бути перевірений на ходу при робочому числі обертів.

Роботу можна починати тільки впевнившись в тому, що круг не має биття, а биття шпинделя шліфувального станка не перевищую 0,03 мм.

Захисний екран повинен бути заблокований з пусковим механізмом який виключає можливість пуску станка при піднятому екрані.

На підприємствах де застосовується абразивний інструмент повинні бути інструкції:

- по установці і експлуатації абразивного інструменту;
- по випробуванні кругів на міцність.

Для підтримки виробів які подають до шліфувального круга вручну, повинні застосовуватися підручники або пристосування які їх замінюють. Підручники повинні переміщатись, що дозволяє встановлювати їх встановлювати в необхідному положенні по мірі стирання круга.

Заходи захисту при використанні абразивного інструменту: абразивні кола повинні мати штамп про випробування на експлуатаційну надійність. Кожний верстат повинен мати табличку зі значенням допустимої колової швидкості, що дає змогу використовувати тільки ті абразивні кола, допустима колова швидкість яких в межах зазначених на табличці.

г) Зовнішнє опромінення — це дія на організм іонізуючих випромінювань від зовнішніх відносно нього джерел випромінювання. Під дією іонізуючих випромінювань в організмі людини відбувається іонізація молекул і атомів тканини, порушується хімічна структура сполук, утворюються сполуки, не властиві живій клітині, що в свою чергу призводить до її відмирання. Зміни фізичних і біологічних процесів в організмі залежно від дози опромінювання. Для попередження шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати будь-яку можливість опромінювання організму дозами, які перевищують гранично допустимі. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені і т. ін.); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості. Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими джерелами випромінювання, основні зусилля необхідно направити на попередження переопромінення персоналу шляхом:

- збільшення відстані між джерелом випромінювання і людиною(захист відстанню);
- скорочення тривалості роботи в зоні випромінювання (захист часом); екранування джерела випромінювання (захист екранами).

5.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

д) Освітлення в приміщенні повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення» [28]: Освітленість від системи загального освітлення повинна складати не менше 200 лк при розрядних лампах і 100 лк при лампах розжарювання. Створювати освітленість більше 750 лк при розрядних лампах і 300 лк при лампах розжарювання дозволяється тільки за наявності обґрунтування;

Освітленість від світильників загального освітлення в системі комбінованого підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості.

При суміщеному освітленні для приміщень громадських будинків з боковим освітленням при розрахунковому значенні КПО (коефіцієнт природного освітлення), яке дорівнює або менше 80 % від нормованого значення, освітленість від загального штучного освітлення слід підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості.

Штучне освітлення може бути двох систем - загальне та комбіноване.

Робоче освітлення слід передбачати для всіх приміщень будинків, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей та руху транспорту. Для приміщень, які мають зони з різними умовами природного освітлення та різними режимами роботи, повинно передбачатись окреме керування освітленням таких зон. За необхідності частина світильників робочого або аварійного освітлення може бути використана для чергового освітлення.

Нормовані характеристики освітлення в приміщеннях і зовні будинків може забезпечуватись як світильниками робочого освітлення, так і спільним з ним освітленням світильниками безпеки і (або) евакуаційного освітлення. Для освітлення приміщень слід використовувати, як правило, найбільш економічні розрядні лампи. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп. Для місцевого освітлення, крім розрядних джерел світла, рекомендується використовувати лампи розжарювання, в тому числі галогенні. Застосування ксенонових ламп у приміщеннях не дозволяється.

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10 % нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення. При цьому освітленість повинна бути не менше 200 лк при розрядних лампах, не менше 75 лк - при лампах розжарювання. Створювати освітленість від загального освітлення в системі комбінованого більше 500 лк при розрядних лампах і більше 150 лк при лампах розжарювання допускається тільки за наявності обґрунтувань. Нормою освітлення для приміщень дослідницької лабораторії є 300лк.

Розрахунок освітленості приміщення дослідницької лабораторії

1. Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки Φ_{Σ}

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot A \cdot B \cdot K_z \cdot z}{\eta}$$

де E_n – рівень нормованого загального освітлення, лк;

A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

K_z – коефіцієнт запасу;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{300 \cdot 8 \cdot 15 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,62} = 31935 \text{ лм}$$

2. Вибір світильника та відповідної лампи

Обираємо світильник типу ЛПП та лампу ЛХБ ($\Phi_{\text{л}}=2840\text{лм}$).

3. Розрахунок кількості світильників та ламп

$$N_{\text{св}} = \Phi_{\Sigma} / \Phi_{\text{л}}$$

$$N_{\text{св}} = 31935 / 2840 = 11,24 = 12 \text{ штук}$$

4. За умови встановлення двох ламп в один світильник отримуємо 6 світильників по 2 лампи.

5. Перевірка емпіричним методом

На рисунку 5.1 зображено схему розташування світильників

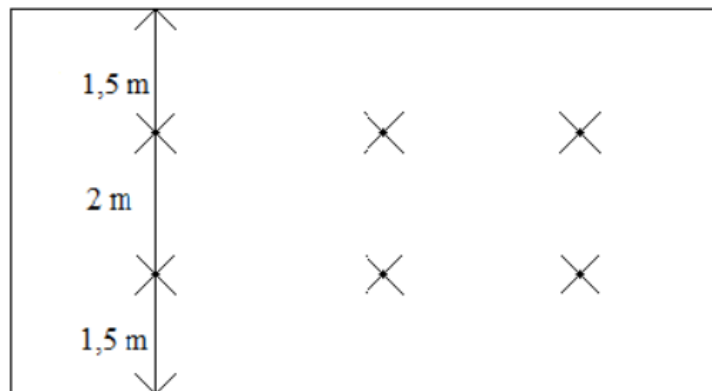


Рисунок 5.1 – Схема розташування світильників

6. Чисельна перевірка типу світильника і кількості стандартних ламп

$$E_p = (-10\% \dots +20\%) \cdot E_n$$

Розраховуємо загальну розрахункову освітленість

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \eta}{A \cdot B \cdot K_3 \cdot z} \Rightarrow E_p = \frac{2840 \cdot 12 \cdot 0,62}{8 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}$$

Загальна розрахункова освітленість становить 320 лк, що потрапляє в інтервал $E_p = 270 \leq 320 \leq 360$ лк. Отже, рівень освітленості задовільний.

е) Небезпеки які пов'язані з обробкою результатів з використанням ПК зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі. Відповідно до СанП 2.2.2.542-96 «гігієнічні вимоги для персональних електророзрахункових машин» [32].

Режим праці та відпочинку повинен організовуватися від виду категорії трудової діяльності яка поділяється на 3 групи:

- робота зі зчитувальною інформацією за попереднім запитом по сумарному числу опрацьованих знаків. Гранична кількість 60 тисяч знаків.
- сумарна кількість набору знаків при безперервній роботі не більше 20 тисяч знаків. При роботі з регламентованими перервами (15 хв/год) не більше 40 тисяч знаків.
- сумарний час безпосередньої роботи з комп'ютером в режимі діалогу при безперервній роботі не більше 4 годин, а при роботі з перервами не більше 6 годин.

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці:

Параметри мікроклімату і чистоти повітря у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ визначені для певної категорії фізичних осіб згідно вимог

ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні вимоги мікроклімату виробничих приміщень». Захист користувачів ПК від шуму, згідно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій будинків і споруд від шуму» [33]. Захист користувачів ПК від вібрації, згідно ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої

загальної та локальної вібрації» [34]. Вимоги до режиму праці й відпочинку при роботі з ПК, згідно ДСанПІН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

5.4 Заходи з пожежної безпеки та режими функціонування системи цивільного захисту

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки в умовах надзвичайної ситуації та забезпечення безпеки в разі виникнення надзвичайних ситуацій «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [35]

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» [36] та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [37] та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» [29]. Тобто указати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо).

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо) [38].

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації;

З огляду на пожежну небезпеку, передбачити первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів), відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 [39].

Виробничі приміщення можуть бути обладнані стаціонарними установками автоматичного пожежогасіння. Комплекс протипожежних заходів для приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості. Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної

сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика. Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м^2 , тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м^2 площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасників – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м. [19].

5.4.2 Режими функціонування системи цивільного захисту

Система управління цивільного захисту в залежності від прогнозованої або реальної надзвичайної ситуації може функціонувати в наступних режимах:

- Режим повсякденного функціонування – встановлюється при нормальних виробничо-промислової, радіаційної, сейсмічної, гідрологічної, техногенної, пожежної обстановках та при відсутності епідемій.
- Режим підвищеної готовності – встановлюється тимчасово в частковому або повному обсязі у разі виникнення загрози НС (надзвичайної ситуації) для окремих територій.
- Режим НС – встановлюється тимчасово в частковому або повному обсязі у разі виникнення НС будь-якого характеру на окремих територіях.

- Режим надзвичайного стану – встановлюється тимчасово в повному обсязі на території усієї країни або на окремих територіях на котрих введений особливий правовий статус.

Для практичної реалізації заходів захисту населення законодавством України передбачено:

- централізоване керівництво – централізовані органи виконавчої влади;
- забезпечення цивільного захисту на відповідних територіях – місцеві державні адміністрації;
- на об'єктах господарювання де чисельність працюючих більше 3000 осіб створені окремі підрозділи цивільного захисту; при чисельності 200 – 3000 чоловік призначаються посадові особи; до 200 осіб залучаються позаштатні фахівці; в учбових закладах при чисельності студентів більше 500 осіб – створюються штаби цивільного захисту де працюють посадові особи.

Сили цивільного захисту:

- Оперативно-рятувальна служба – складається з органів управління центрального підпорядкування, аварійно-рятувальних формувань спецпризначення.
- Аварійно-рятувальна служба – поділяється на державні, регіональні, комунальні та об'єктові. В залежності від специфіки виконуваних робіт поділяється на спеціалізовані та неспеціалізовані.
- Формування цивільного захисту – створюються для проведення великих обсягів робіт з ліквідації наслідків НС, а також для проведення відновлювальних робіт які потребують залучення великої кількості виконавців і техніки.

Поділяються на об'єктові та територіальні.

- Спеціалізовані служби цивільного захисту - об'єктові та територіальні та призначаються для проведення спеціальних робіт які потребують знання

та досвіду кваліфікованих фахівців та наявність майна спеціального призначення [40].

ВИСНОВОК

1. Проаналізовано умови експлуатації та конструкційні особливості молотових штамів. Розглянуті типові сталі та сплави для їх виготовлення, зазначено вплив легувальних елементів та термічної обробки на властивості типових сталей для гарячого штампування.
2. Розраховано вплив легування на властивості сталі 5ХНМ, запропоновано співвідношення вмісту елементів, яке більш задовольняє вимогам до експлуатації штампових сталей.
3. Окрім впливу легування на властивості 5ХНМ розглянуто вплив модифікування на структуру та відповідно механічні властивості штампової сталі 5ХНМ. Змінюючи характер кристалізації модифікатори впливають на перерозподіл легувальних елементів між твердим розчином та карбідною фазою. Про це свідчить підвищення вмісту легувальних елементів в матриці модифікованої сталі.
4. Розроблено маршрутну технологію вироблення молотових штамів зі сталі 5ХНМ. Розраховано час затрачений на термічну обробку.
5. Підраховано економічний ефект від проведення експерименту.
6. Розглянуті питання з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Брюханов А.П. Ковка и объемная штамповка. М.: Машиностроение, 1975. 408с.
- 2 Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в двух томах. Под ред. Сторожева М.В. М.: Машиностроение, 1967. 448с.
- 3 Охрименко Л.М. Технология кузнечно-штамповочного производства М.: Машиностроение, 1976. 560с.
- 4 Семенов Е.И. Ковка и объемная штамповка. М.: Высшая школа, 1972, 552с.
- 5 Штампы для горячего деформирования. Под ред. Тылкина, М.: Высшая школа. 1977. 496с.
- 6 Шнейберг В.М., Лкаро П.Л. Кузнечно-штамповочное производство ВАЗа. М.: Машиностроение, 1977. 302с.
- 7 Штампы молотовые формовочные для объемной штамповки. Общие технические условия. ГОСТ 21546-76. М.: Госком СССР по стандартам. 1983.
8. Матюхін А.Ю. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання та виготовлення штамів». Частина 2. Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. 46с.
9. Ковка и штамповка. Справочник. В4-х т. М. "Машиностроение", 1985. Т.1. 568 с.
10. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М. "Металлургия", 1975, 583 с.
11. Пикерин Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. М. Metallurgia. 1982, С. 84-85.
12. Скрынченко Ю.М., Позняк Л.А. Работоспособность и свойства инструментальных сталей. Киев. Наукова думка, 1979, с. 167.
13. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка. М.: Metallurgia. – 1982.

14. Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали: справочник. – Машиностроение, 1975.
15. Позняк Л. А., Тишаев С. И., Скрынченко Ю. М. Инструментальные стали: справочник. Позняк ЛА. М.: Металлургия. 1977. С. 168.
16. Григорьев С. Н. и др. Современные инструментальные материалы. 2017.
17. Спиридонова Т. Э., Алибеков С. Я. Современные инструментальные материалы. Редакционная коллегия. 2017. С. 129.
18. Натапов Б. С., Благовещенский Н. А. Термическая обработка металлов. Гос. научно-техн. изд-во лит-ры по черной и цветной металлургии, 1955.
19. Слосман И. В. Термическая обработка штампов из хромистой стали. *Известия Томского политехнического университета*. 1954. Т. 75. № 1.
20. Комаров О. С. и др. Материаловедение и технология конструкционных материалов. 2009.
21. ДСТУ 4746:2007/ГОСТ 2591-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный квадратный.
22. ГОСТ 9454-78 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
23. ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86) Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу (с Изменениями N 1, 2, 3, с Поправкой)
24. Конспект лекцій з дисципліни «Методи структурного аналізу матеріалів» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» денної і заочної форм навчання. Укл. О.А. Глотка, Л.П. Степанова. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. 90 с.
25. Стеблов А. Б., Ленартович Д. В. Стали для штампов горячего деформирования. – 2005.

26. Рудницкий Ф. И., Стасюлевич В. А., Траймак Н. С. Исследование влияния модифицирования на структуру, фазовый состав и свойства стали 5ХНМ в литом состоянии. *Л и т ь ё и м е 2006. № 4 (49). 2 и я*

27. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників: НПАОП 0.00-7.11-12. На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16. К. : МНС України, 2012. 116 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>. (Нормативно-правовий акт охорони праці).

28. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28-2018. На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Державні будівельні норми України).

29. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення: ДБН В.2.2-28:2010. – На заміну СНиП 2.09.04-87; чинний від 2011-10-01. К. : Мінрегіонбуд України, 2011. 31 с. (Державні будівельні норми)

30. Правила улаштування електроустановок: ПУЕ-2017. На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с. (Правила).

31. НПАОП 28.0-1.30-12 «Правила охорони праці під час роботи з абразивними інструментами».

32. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин: ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К. МОЗ України, 1998. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. (Державні санітарні правила та норми).

33. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку,: ДСН 3.3.6.037-99. Чинний від 1999-12-01. К. :МОЗ України, 1999.– URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>. (Державні санітарні норми).

34. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації: ДСН 3.3.6.039-99. Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999.

Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. (Державні санітарні норми).

35. Правила пожежної безпеки в Україні: НАПБ А.01.001-14. На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. К. : МВС України, 2014. 47 с. (Нормативний акт пожежної безпеки).

36. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT):ДСТУ EN 2:2014. – На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016. Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Державний Стандарт України).

37. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: ДСТУ Б В.1.1- 36:2016. На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Національний стандарт України).

38. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги :ДБН В.1.1-7:2016. На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Державні будівельні норми).

39. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників – На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23. – К. : МВС України, 2018. – 23 с. – (Правила).

40. Тексти (конспект) лекцій зі змістовного модуля «Охорона праці в галузі» для студентів Інженерно-фізичного факультету: усіх форм навчання Укл. : О.В. Нестеров. Запоріжжя : Каф. ОП і НС, НУ «Запорізька політехніка», 2020. 125 с

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Хімічний склад штампової сталі 5ХНМ, % мас.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0.5-0.6	0.1-0.4	0.5-0.8	1.4-1.8	≤ 0.03	≤ 0.03	0.5-0.8	0.15-0.3	≤ 0.3

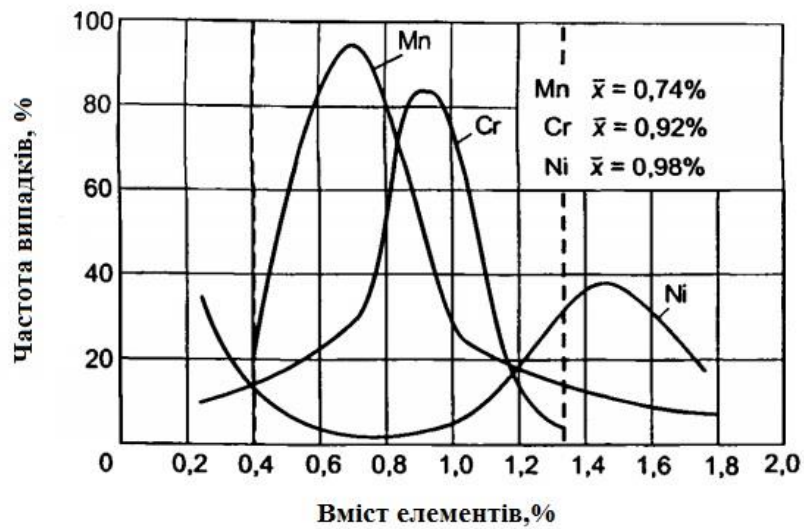
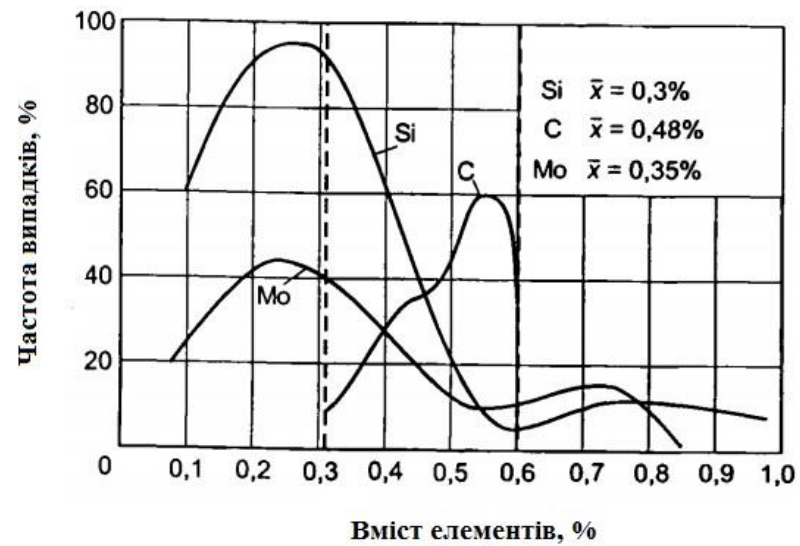
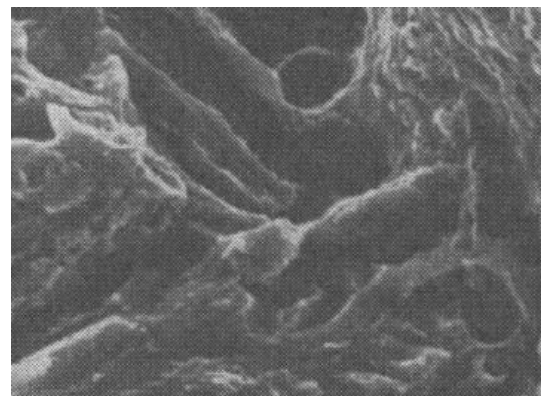
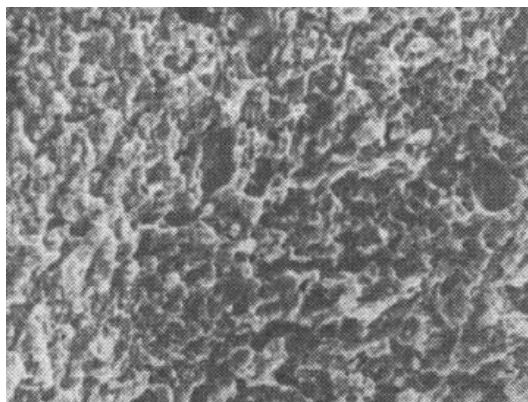


Рисунок А.1 – Розподіл хімічних елементів у виборці сталей 5ХНМ

Таблиця А.2 – Вплив модифікування на твердість та технологічні властивості сталі 5ХНМ

Твердість HRC після				Рідкотекучість λ , мм	Усадка ε , %	Кількість неметалевих включень шт/мм
Лиття	Відпал	Гартування	Відпуск			
43	22	53	47	300	2.2	135
42	22	54	48	350	1.7	48
43	21	53	47	345	1.8	61
41	23	55	49	335	1.9	67



а - $\times 1000$; б - $\times 2500$

Рисунок А.2 - Поверхня руйнування сталі 5ХНМ, модифікованою стронцієм та барієм

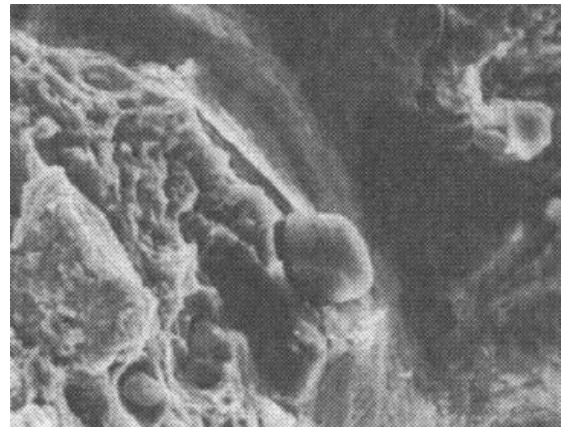
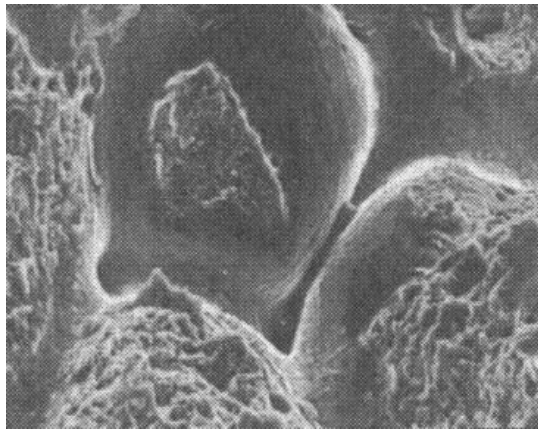


Рисунок А.3 – Поверхня руйнування сталі 5ХНМ, модифікованою бором та титаном