

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства


Пояснювальна записка до дипломної роботи

магістра
Освітньо-кваліфікаційної рівня

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство
Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс
автомобілів»

на тему: «Розробка технологічного процесу для підвищення
в'язкості відновлених шатунів»»

Шифр **MPTAM 2318039. 000 ПЗ**

Виконала: студента 2-го курсу, група МТВАм 22-1  П.О. Левчук
Інженер, проєктант

Керівник *к.т.н., доц. каф. ТАМ.*  О.С. Дробот
Інженер, проєктант

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ *д.т.н., проф.*
 О.В. Лиса
Інженер, проєктант

18 12 2023 р.

Хмельницький, 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

21 жовтня 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Левчуку Павлу Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи) _____

Розробка технологічного процесу для підвищення в'язкості відновлених шатунів

керівник проекту (роботи) Дробот О.С., к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, місце роботи

Затверджено наказом університету від 15 серпня 2023р. № 28 (Д30)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру 10 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніка – економічні показники роботи підприємства.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Розділ 1. Аналіз стану проблеми; Розділ 2. Огляд літературних джерел; Розділ

3. Експериментальна частина; Розділ 4. Практична частина

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання_----

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Проблема
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2023</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10.2023</i>	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11.2023</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11.2023</i>	
5	<i>Оформлення презентації магістерської роботи</i>	<i>1.12.2023</i>	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	<i>5.12.2023</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.12.2023</i>	

Студент

Керівник проекту (роботи)




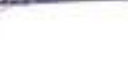
[Handwritten signature]
 ПІСЬО
[Handwritten signature]
 ПІСЬО

Левчук П.О.
 Ініціали, прізвище

Дробот О.С.
 Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Актуальність роботи.....	7
Мета і задачі досліджень.....	
Об'єкт і предмет досліджень.....	
Наукова новизна отриманих результатів.....	
Практична значущість отриманих результатів.....	
Апробація результатів роботи.....	
Публікації.....	
Структура і об'єм роботи.....	
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ.....	9
1.1. Умови та принцип роботи шатуна поршневого двигуна автомобіля.....	9
1.1.1. Аналіз дефектів.....	14
1.1.2. Матеріали для виготовлення шатунів.....	16
1.1.3. Технологічні процеси зміцнення шатунів.....	18
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	20
2.1. Вплив термічної обробки на властивості матеріалів.....	20
2.1.1. Теоретичне обґрунтування вибору виду термічної обробки.....	20
2.1.3. Структурні перетворення під час відпуску.....	25
2.2. Опір руйнуванню і методи його оцінювання.....	28
2.2.1. Методи інтегрального оцінювання опору руйнуванню.....	32
2.2.2. Випробування на в'язкість руйнування.....	34
2.2.3. Вплив різних факторів на в'язкість руйнування сталей.....	37

MP TAM 23.18039. 000 ПЗ											
Змі.	Арг.	№ докум.	Підпис	Дат.							
					Розробка технологічного процесу для підвищення в'язкості відновлених шатунів						
											
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center;">Лит.</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Арк.</td> <td style="width: 60%; text-align: center;">Акрившів</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">72</td> </tr> </table> ХНУ група МТВАм 22-1	Лит.	Арк.	Акрившів		4	72
Лит.	Арк.	Акрившів									
	4	72									
											

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	42
3.1. Методика проведення експериментальних досліджень.....	42
3.1.1. Методика проведення мікроструктурних досліджень.....	43
3.1.2. Методика проведення випробувань на ударну в'язкість.....	44
3.1.3. Методика проведення фрактографічних досліджень.....	46
3.1.4. Контроль якості проведених досліджень.....	47
3.2. Результати експерименту.....	53
3.2.1. Вибір режиму гартування.....	53
3.2.2. Вибір режиму відпуску загартованих шатунів.....	58
3.2.3. Структура і властивості шатунів після гартування.....	62
3.2.4. Структура і властивості шатунів після відпуску.....	64
ВИСНОВКИ	
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	66
ДОДАТКИ.....	68

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Гіднос.	Дата		5

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....

3.1. Методика проведення експериментальних досліджень.....

3.1.1. Методика проведення мікроструктурних досліджень.....

3.1.2. Методика проведення випробувань на ударну в'язкість.....

3.1.3. Методика проведення фрактографічних досліджень.....

3.1.4. Контроль якості проведених досліджень.....

3.2. Результати експерименту.....

3.2.1. Вибір режиму гартування.....

3.2.2. Вибір режиму відпуску загартованих шатунів.....

3.2.3. Структура і властивості шатунів після гартування.....

3.2.4. Структура і властивості шатунів після відпуску.....

ВИСНОВКИ „„„„„„„„„„„„„„„„„„„.....

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

ДОДАТКИ.....

					<i>МРТАМ 2318039.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Відновлення деталей є основним джерелом ефективності авторемонтного виробництва. Більшість деталей має залишковий ресурс і може бути використано повторно в результаті проведення порівняно невеликого об'єму робіт по їх відновленню. Більшість сучасних машин, механізмів і устаткування, як і інші види технічних пристроїв із тривалими термінами експлуатації, є відновлюваними, тобто дефекти, що виникли при експлуатації і перешкоджають виконанню обумовлених конструкцією і службовим призначенням функцій, можуть бути усунені засобами ремонту. Ремонтне виробництво — особливий вид обслуговування машин, що має справу з нерівномірністю спрацювання поверхонь їх деталей і нестабільністю посадок і регулювання. У ремонтному виробництві можна виділити наступні основні стадії робіт: діагностування; розбірно-мийні роботи; відновлювальні роботи; складання; контроль та випробування. Відновлення деталей – це технологічний процес відновлення їх працездатності і технічного ресурсу шляхом повернення геометричних параметрів і механічних властивостей, що змінилися за час експлуатації, і доведення їх до нормативних значень. Відновлення деталей є основним джерелом ефективності авторемонтного виробництва.

Деталі втрачають свою працездатність в результаті зношування, механічних і корозійних пошкоджень, а також внаслідок втоми металу. Проте більшість з них має залишковий ресурс і може бути використана повторно в результаті проведення порівняно невеликого об'єму робіт по їх відновленню. Витрати на відновлення деталей в умовах сучасних авторемонтних підприємств (АРП) залежать від конструктивно-технологічних особливостей деталей і характеру їх дефектів 10 – 50% від вартості нових деталей. Економічна ефективність відновлення деталей в порівнянні з їх виготовленням визначається багатьма чинниками. При відновленні деталей значно зменшуються витрати на матеріали. Якщо

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наукова новизна отриманих результатів: режими термічної обробки шатунів із сталі 40ХГНМ.

Розробка технологічного процесу термічної обробки для покращення властивостей відновлених шатунів.

Практична значущість отриманих результатів - підвищення в'язкості та довговічності відновлених шатунів

Апробація результатів роботи

Публікації:

1. Дробот О.С.¹, Вольт О.С.¹, Підгайчук С.Я.², Яворська Н.М.¹, Левчук П.О.¹// Аналіз складу та властивостей металоплакуючих мастил для вузлів тертя./ IX Міжнародна науково–практична конференція «Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування» **МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ TERMM-2023** (ТЕЗИ) 30 травня – 1 червня 2023 року м. Луцьк С. 120 -122.

2. Rudyk O. Formation of professional training of automobile profile specialists / O. Rudyk, O. Horbachuk, P. Levchuk, V. Tsimar // Розвиток сучасної освіти і науки: результати, проблеми, перспективи. Том XIV: Виміри сталого розвитку в теорії та практиці / [Ред.: Я. Гжесяк, І. Зимомря, В.Ільницький]. Конін – Ужгород – Перемишль – Херсон: Посвіт, 2023. – С. 92-93.

<https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/14679>

Структура і об'єм роботи: робота складається з чотирьох розділів, має об'єм 72 сторінки.

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Умови та принцип роботи шатуна поршневого двигуна автомобіля

Призначення шатунів та їх види.

Кривошипно - шатунний механізм (КШМ) призначено для перетворення обертово – поступального руху поршня в обертовий рух і навпаки.

Принцип дії КШМ.

Поршень під дією тиску газів здійснює поступальний рух у бік колінчатого вала. З допомогою кінематичних пар «поршень-шатун» і «шатун-вал» поступальний рух поршня перетворюється в обертовий рух колінчатого вала (рис.1.1)

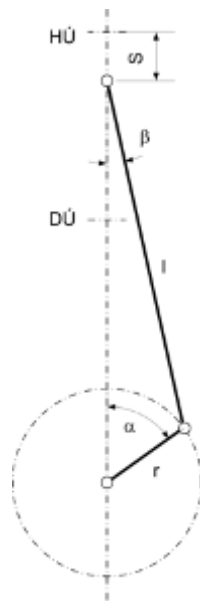


Рисунок 1.1 Принцип дії кривошипно-шатунного механізму

Кривошипно-шатунний механізм використовується в двигунах внутрішнього згорання, поршневих компресорах, поршневих насосах, ковальсько-пресових машинах, лісопильних машинах і т. д.

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 2318039.000 ПЗ				

Кривошипно-шатунний механізм (КШМ) — одна з головних систем ДВЗ, яка перетворює обертово - поступальне переміщення поршня в обертовий рух колінчатого вала. Складається з рухомих та нерухомих елементів, кріпильних, шатунних, корінних підшипників. За допомогою кінематичних пар «поршень-шатун» і «шатун-вал» поступальний рух поршня перетворюється в обертовий рух колінчатого вала. Є конструктивно складним вузлом. Шатуни в автомобілях – це деталь шатунно-поршневої групи, що сприймає тиск газів від поршня й передавальне зусилля колінчатому валу [2,3]

Шатун являє собою стрижень двотаврового перерізу (рис.1.2) має дві головки. У верхню головку запресовують із натягом бронзову втулку



Рисунок 1.2 - Шатун

Верхньою головкою шатун кріпиться до поршня, через поршневий палець, а нижньою — рознімною головкою — кріпиться до шатунної шийки колінчатого вала. Нижня головка рознімна. Її окрема частина — кришка б. Кріплення кришки до шатуна забезпечується високоміцними болтами (рис.1.3) [5].

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

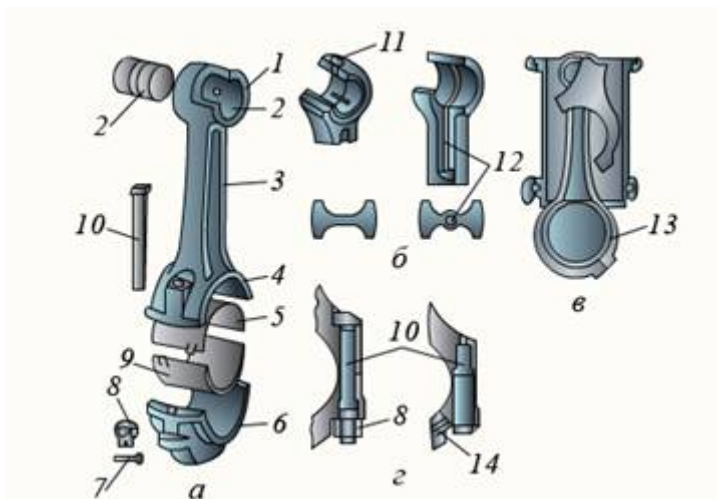


Рисунок 1.3 - Шатуни:

а — деталі шатуна; б — перетин стрижня шатунів і підведення мастила до поршневого пальця; в — косий роз’єм нижньої головки шатуна; г — способи фіксації кришки нижньої головки шатунів: 1 — верхня головка шатуна; 2 — втулка верхньої головки; 3 — стрижень шатуна; 4 — нижня головка шатуна; 5 — вкладиші шатунного підшипника; 6 — кришка нижньої головки шатуна; 7 — шплінт; 8 — корончата гайка; 9 — фіксуючий вусик вкладиша; 10 — шатунний болт; 11 — отвір для мастила; 12 — канал для підведення мастила в тілі шатуна; 13 — трикутні шліці в стику нижньої головки шатуна; 14 — стопорна шайба

У нижню головку шатуна встановлюють підшипники ковзання — вкладиші. Від зсуву вкладишів у головці шатуна, у процесі роботи, утримують вусики 9, що входять у пази, розташовані на одній стороні шатуна.

Розрізняють шатуни з прямим розніманням нижньої головки та з косим розніманням.

					<i>МРТАМ 2318039.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

У першому випадку болти закручуються за допомогою гайок і шплінтуються, а в другому — вкручуються в тіло шатуна з попередньо встановленою стопорною шайбою. Схему роботи кривошипно-шатунного механізму показано на рис 1.4

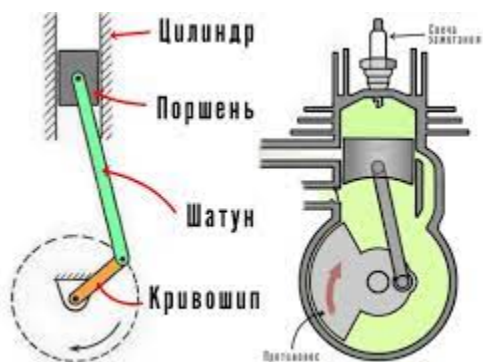


Рисунок 1.4. Схема роботи кривошипно-шатунного механізму

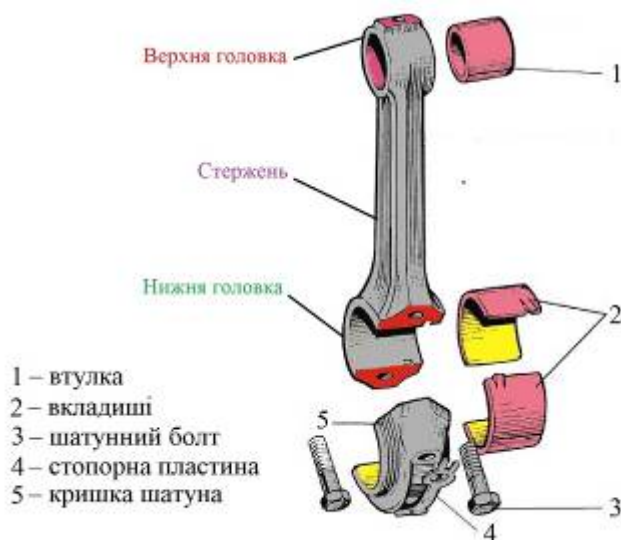


Рисунок 1.5 - Деталі шатунного механізму

Шатун складається з таких основних частин:

- верхня головка
- стержень
- нижня головка

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Верхня головка нерознімна. Для зменшення тертя шатуна з поршневим пальцем у верхню головку запресовують підшипник, виготовлений у вигляді бронзової або сталевий втулки з шаром бронзи. Мащення поршневого пальця здійснюється завдяки отворах у верхній головці, які вловлюють краплі масла.

Стержень шатуна для більшої міцності двотавровий і переходить у нижню та верхню головки. Така конструкція забезпечує необхідну міцність і жорсткість при мінімальній масі.

Нижня головка рознімна, оскільки охоплює шатунну шийку колінчастого вала. Площина розняття нижньої головки перпендикулярна до осі симетрії шатуна (дизелі Д-21А, Д-120, Д-37Е, Д-144, Д-240) або розміщена під кутом 45° до вертикальної осі шатуна (дизелі Д-65, А-41, СМД-60). Такий розріз дозволяє виймати поршень із шатуном через верхній отвір гільзи циліндра. Площина розняття зубчаста, у вигляді трикутних шліців, які фіксують кришку відносно головки і розвантажують шатунні болти [1,4,7].

Види шатунів

У кривошипно-шатунний механізм багатоциліндрового двигуна входять блок циліндрів, головки циліндрів з ущільнювальними прокладками, поршні, поршневі кільця, поршневі пальці, шатуни, колінчастий вал, маховик, піддон картера. Верхня головка шатуна має бронзову втулку з отвором для змащування. Найпростіші шатуни можуть не мати вкладишів нижньої головки як наприклад, алюмінієві шатуни пускових двигунів, авіадвигуни дронів тощо (рис.1.6).

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

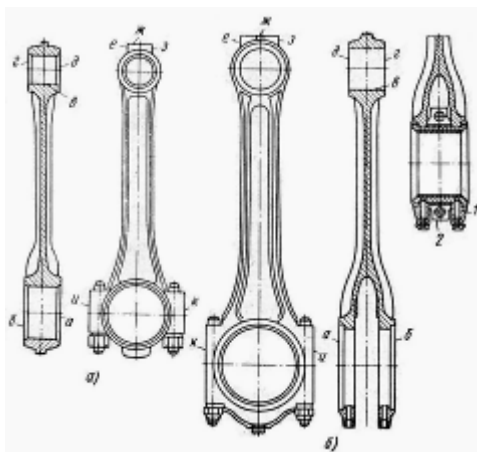


Рисунок 1.6. Шатуни автомобільних двигунів:

а – рядкових; б - V - подібних

Шатун під час роботи здійснює два види руху – обертові, де з’єднується нижня головка з колінчатим валом, і обертово - поступальні в місці з’єднання верхньої головки з поршнем. Під час експлуатації двигуна на шатун постійно діють високі навантаження [4] .



Рисунок 1.6. Кривошипна головка

1.1.1. Аналіз дефектів шатунів

Шатун працює переважно на розтяг - стискання. Шатун повинен мати високу утомну міцність, жорсткість для запобігання втраті стійкості стержня

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

при стисканні, мінімальну масу для зменшення динамічних навантажень на шийки колінчатого вала; бути технологічним та конструктивно простим.

Основними видами пошкоджень шатунів є деформація стрижня, знос зазору у верхній головці, знос зазору в нижній частині головки; вигин і скручування шатуна; знос отворів нижньої головки шатуна; знос отворів у бронзовій втулці шатуна.

Недопустимими є такі дефекти: знос отворів під поршневий палець чи під установочний розмір шатунних вкладок колінчастого валу.

Відновленню підлягають шатуни, які зазнали незначного вигину чи скручування під час експлуатації. Такі шатуни піддають правці під пресом. Відновленню підлягають ліжка нижньої головки шатунів, якщо їх поверхня має сліди зносу. Такі поверхні піддають електролітичному осталоюванню. Заміні підлягають шатуни, які мають тріщини (в головці чи стержні), обрив болтів і стержня тощо.

Причинами поломки шатунів можуть бути: недостатня зносостійкість деталей. В разі виникнення таких обставин як зіткнення поршня з головкою блока, гідроудару чи попадання в камеру абразивних речовин, шатун може вигнутись чи навіть повністю зруйнуватись (рис.1.7). Підшипники нижньої головки зношуються внаслідок незадовільного змащування (відбувається зминання вкладишів). Якщо змащування задовільне, то причиною руйнування може бути знос самих підшипників. Причинами руйнування шатуна або його згинання можуть також бути засмічення фільтрів, недостатній рівень моторного масла і його несвоєчасна заміна, втрата мастилом робочих властивостей, попадання в циліндр забруднень і абразивів [2,6].

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.7- Руйнування шатуна від гідроудару

1.1.2. Матеріали для виготовлення шатунів.

Під час роботи шатуни піддаються циклічним навантаженням, які сприймають від поршнів, внаслідок дії газів та сил інерції. Такі умови роботи вимагають від матеріалів шатунів високих показників міцності та утомної міцності [12, 13]. Для шатунів малообертових двигунів використовують, переважно, вуглецеві сталі: для стрижнів - сталь 35, для головок - сталь 25, 35, для шатунних болтів - сталь 30. У багатообертових двигунах в залежності від ступеня напруженості для стрижнів і кришок застосовують вуглецеву сталь 45, леговані сталі 40Х, 45Х, 30ХНМА, 45М2, 45Г2 50Г2 , 35Г2, 50, 40Г , 50 Сталь 45, 40Х, 40ХГТ, 40ХГР, 30ХЗМФ, 45ХН2МФА, 38Х2Н2МА , 25Х2Н4МА, 18ХНМА, 18Х2Н4ВА і 40ХНМА. Для шатунних болтів використовують сталі 20ХН3А і 18Х2Н4ВА [5,10].

Втулки поршневих головок шатунів виготовляють із бронз марок БрАЖ-9-4, БрОЦ-2, БрОЦС 4-4-2,5.

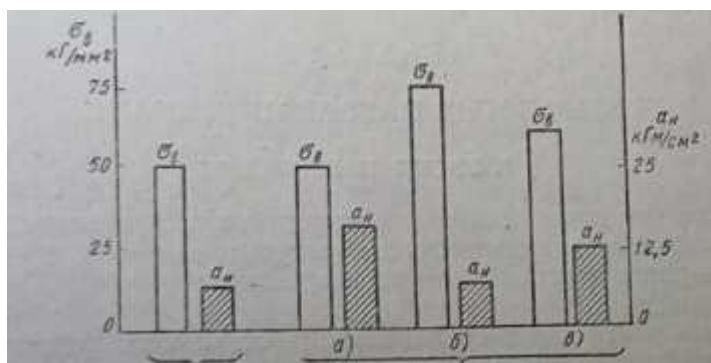
					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Великогабаритні шатуни і інші деталі для забезпечення високої в'язкості та прогартовуваності (для дизелебудування) використовують сталі марок 50ХН, 40ХН, 60ХГ, 45ХН, 40ХН 25ХГСА, 20ХГСА, 40ХМФА.

Хромонікелеві типу 12ХН3А застосовують після цементації для внутрішнього діаметра головок, що працюють із роликowymi вальницями. Алюмінієві шатуни зустрічаються в пускових двигунах, що дозволяє використовувати вставні вкладиші, штамповані титанові шатуни застосовують на швидкохідних перегонових моторах. Шатунні болти виготовляють із якісних легованих сталей.

Сталі для шатунів повинні мати високі показники прогартовуваності, оскільки шатун працює переважно на розтяг – стискання, тому серцевина його перерізу повинна мати однакоvu з поверхневими шарами міцність і високу в'язкість.

Використання легованих сталей дозволяє одержати більш однорідну структуру в деталях значно більшого перерізу (діаметром до 150 – 200 мм). Легуючі елементи також сприяють подрібненню зерна, що підвищує ударну в'язкість. Вплив легуючих елементів на властивості сталі (рис.1.8).



Вуглецева легована сталь

Рисунок 1.8 – Діаграма зміни механічних властивостей вуглецевої та легованої сталі.

Легуванням сталі різними елементами в різних кількостях і використанням відповідної термічної обробки можна отримати, порівняно з вуглецевою сталлю, більшу в'язкість при однаковій міцності (рис.1.8 , а), більшу міцність при однаковій в'язкості (рис.1.8 , б) або більш високі показники міцності та в'язкості (рис.1.8 , в).

1.1.3. Технологічні процеси зміцнення шатунів.

Для зміцнення шатунів використовують конструкторські та технологічні методи. Для цього збільшують радіус переходу, кут загострення верхньої головки шатуна. Такий конструкторський захід підвищує циклічну міцність шатуна. Для підвищення утомної міцності застосовують полірування поверхні, або її наклеп шляхом дробоструминної обробки. До технологічних заходів належать види термічної обробки, механічна обробка.

Для надання шатунам заданих експлуатаційних властивостей використовують технологічні заходи - гартування і високий відпуску [17,18,21]. Це можливо у випадках, коли шатун не зазнав руйнувань. Шатун, який зазнав під час експлуатації деформації, зміни геометрії підлягає заміні. Недопустимими є такі дефекти: знос отворів під поршневий палець чи під установочний розмір шатунних вкладок колінчастого валу.

Шатун переважно під час роботи піддається розтягуванню – стисканню, отже серцевина перерізу повинна мати міцність таку як і поверхневі шари. Досягають таких властивостей такими заходами:

- проведенням гартування та високого відпуску;
- обмеженням товщини перерізу (двотавр);
- вибір сталі з потрібною кількістю легуючих елементів.

Якщо шатуни працюють у досить легких не напружених умовах, то їх виготовляють з менш легованих сталей і піддають нормалізації.

					<i>МРТАМ 2318039.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо шатун працює з вальницями кочення, які вимагають високої твердості доріжок, то шатуни виготовляють з сталей, які піддають цементації (тільки діаметри під вальницю).

Правильний вибір матеріалу забезпечує шатуну потрібну міцність. Сприяє цьому також вибрана технологія виготовлення шатунів – гаряче об’ємне штампування та подальша термічна обробка [9, 16, 17,19].

Підвищення утомної міцності шатунів досягають поліруванням поверхні. Використовують також процес дробоструминного нагартування, внаслідок якого поверхня зміцнюється виникненням наклепу.

Шатунні болти та гайки виготовляють також з якісних легованих сталей і піддають термічній обробці та поверхневому зміцненню.

Висновки

Аналіз умов роботи та види дефектів шатунів свідчать, що додатковим резервом підвищення експлуатаційних властивостей шатунів є удосконалення технології їх виготовлення та режимів термічної обробки.

					<i>МРТАМ 2318039.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>19</i>

високими показниками міцності та ударної в'язкості. Для реалізації цієї задачі ретельно підбирають склад сталі та оптимізують режими термічної обробки. За технологічними властивостями вибрані сталі повинні мати високу прогартовуваність.

Прогартовуваність характеризує здатність сталі загартовуватись на потрібну глибину і визначається як відстань від поверхні виробу до шару, де структура складається з 50 % мартенситу. На рис. 2.1 показано розподіл швидкостей охолодження різних зон циліндричного зразка [5].

Швидкості охолодження різні внаслідок різних умов тепловідводу на поверхні і в об'ємі зразка.

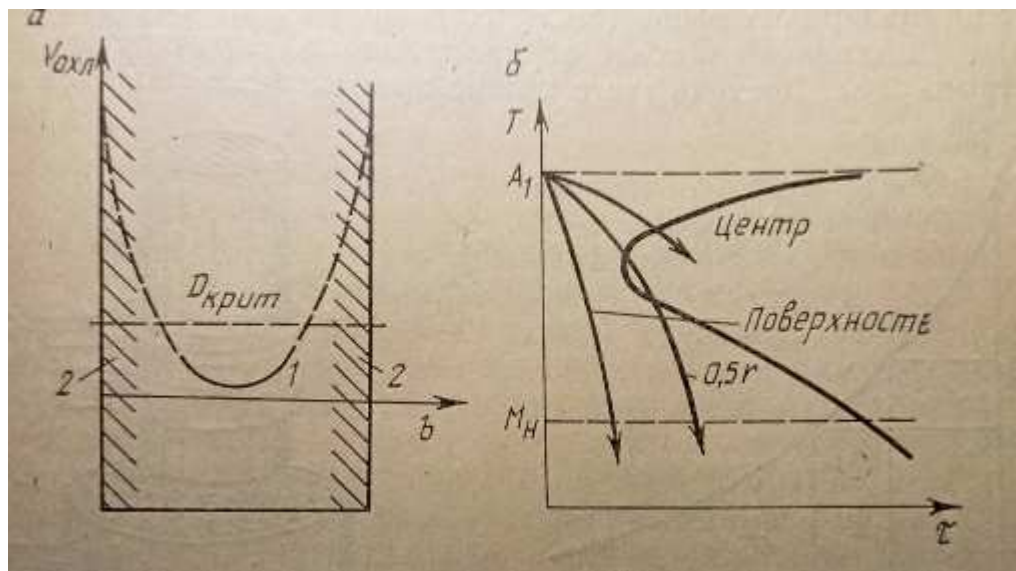


Рисунок 2.1 – Залежність швидкості охолодження циліндричного зразка від його товщини (а) і положення кривих охолодження на діаграмі перетворення аустеніту (б):

1 – незагартована зона; 2 – загартована зона

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 2318039.000 ПЗ				

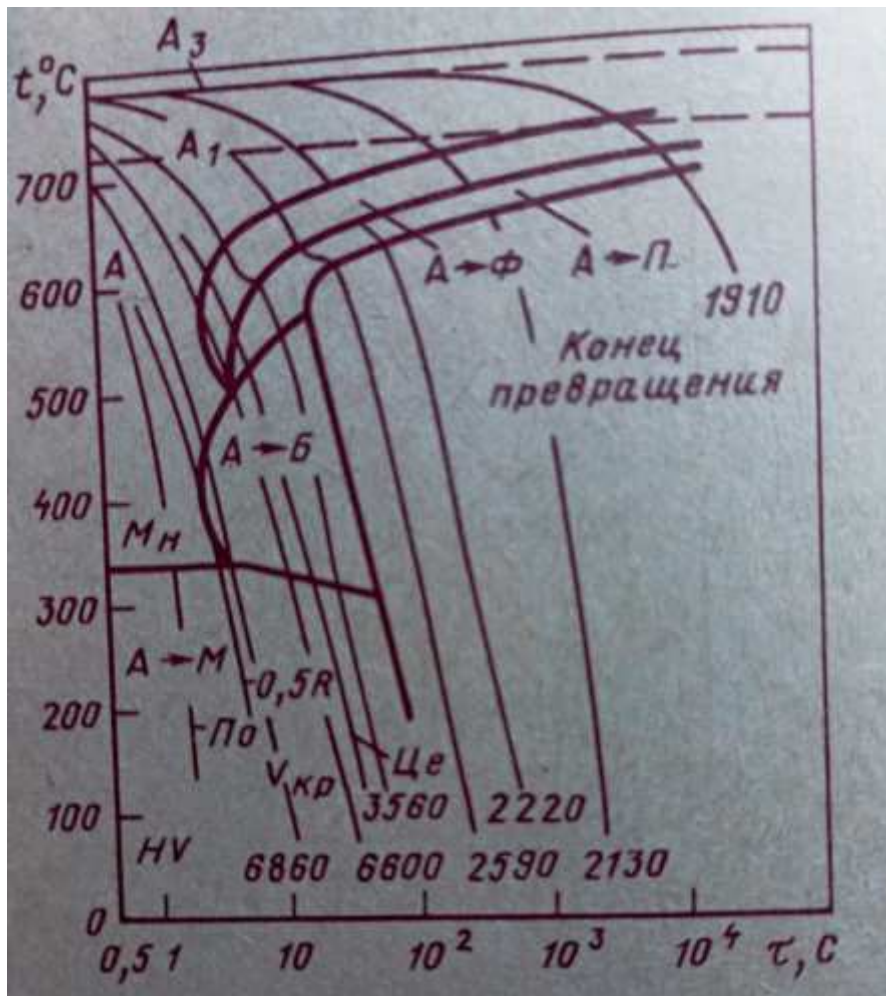


Рисунок 2.2 – Термокінетична діаграма для сталі 45 [10]:

По - поверхня; *Це* - центр

З допомогою термокінетичних діаграм можна аналізувати цю здатність сталі та визначати її, якщо відомі криві охолодження деталі, яку загартовують, в різних точках (рис.2.2). На термокінетичну діаграму для сталі 45 нанесені криві охолодження при охолодженні у воді деталі типу вал в точках, розміщених на поверхні (*По*) і в центрі (*Це*), на відстані $0,5R$ від поверхні вала (R – радіус вала). Ці криві одержують експериментальним чи розрахунковим способом. В даному випадку криві розміщені так, що за вказаних умов охолодження на поверхні і на відстані $0,5R$ від неї буде утворюватись тільки мартенситна структура, а в центрі валу – суміш перліту та бейніту. Іноді на термокінетичних діаграмах записують значення

											Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 2318039.000 ПЗ						22

можливо отримати однорідні високі механічні характеристики по перерізу деталі, підвищені показники в'язкості [28].

2.1.2. Види відпуску та їх призначення

Шатуни після гартування піддають відпуску. Відпуск є завершальною операцією термічної обробки сталі. Мета відпуску – отримати заданий комплекс механічних властивостей, а також повністю чи частково усунути гартівні напруження. Практика термічної обробки використовує три види відпуску: низький, середній і високий. Загальна схема всіх видів відпуску: нагрівання загартованих виробів, витримка їх при заданій температурі і охолодження. Вплив температури відпуску на властивості сталі показана на (рис. 2.5, 2.6) [17, 24]

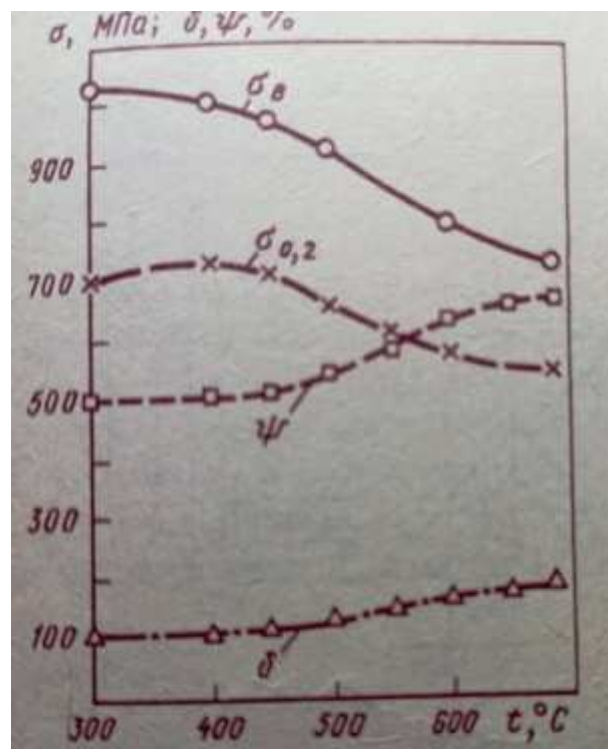
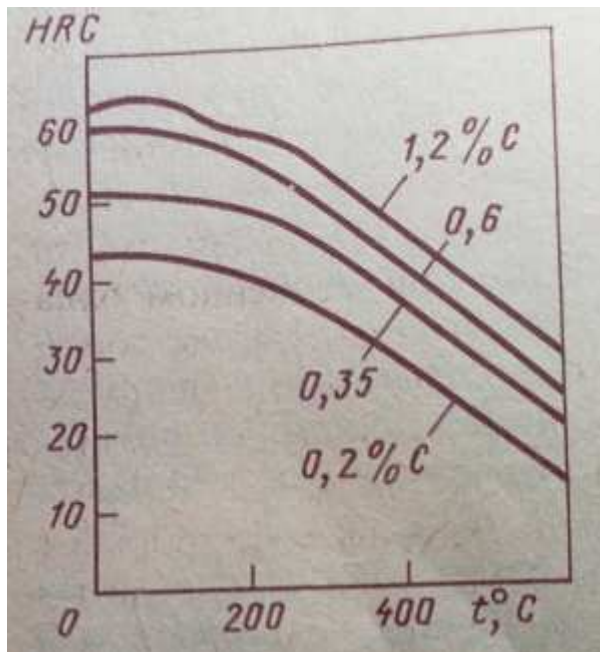
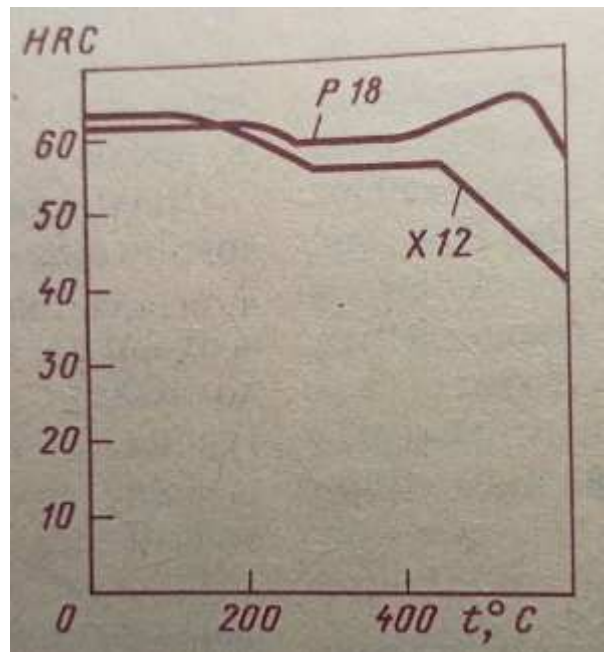


Рисунок 2.5 – Вплив температури відпуску на механічні властивості конструкційної вуглецевої сталі 45.



a



б

Рисунок 2.6 - Зміна твердості загартованих вуглецевих (*a*) та високолегованих (*б*) сталей після відпуску

Низький відпуск проводять для вуглецевих і низьколегованих сталей (з яких виготовляють ріжучий та вимірювальний інструмент). Вироби нагрівають до 150...200 °С, витримують протягом 1...1,5 години в залежності від розмірів та охолоджують на повітрі. Загартована сталь після низького відпуску має структуру мартенситу відпуску, твердість майже не зменшується порівняно з твердістю загартованої сталі (HRC 58...63), а міцність і в'язкість підвищуються. Низькому відпуску піддають вироби після поверхневого гартування та хіміко-термічної обробки.

Середній відпуск призначають для вуглецевих та легованих сталей, із яких виготовляють пружини, ресори і деякі види штампового інструменту. Температура нагрівання 350...500 °С, тривалість витримки від 1...2 до 3...8 годин в залежності від маси деталей. Охолодження на повітрі. Під час середнього відпуску мартенсит загартованої сталі переходить у тростит

відпуску з твердістю HRC 40...50 з найкращим поєднанням межі пружності та межі витривалості.

Високий відпуск призначають для середньо вуглецевих конструкційних сталей, для яких поєднання його з гартуванням (поліпшення) забезпечує найкраще поєднання міцності і в'язкості. Температура відпуску 500...680°C, витримка 1..8 годин в залежності від розмірів деталі і охолодження на повітрі (для легованих сталей – у воді чи маслі з метою попередження відпускнуї крихкості). Структура загартованої сталі після високого відпуску - сорбіт відпуску з орієнтовною твердістю HRC 25..30.

2.1.3. Структурні перетворення під час відпуску

Під час відпуску відбувається декілька процесів. Основним є розпад мартенситу - виділення вуглецю у вигляді карбідів. Відбувається розпад залишкового аустеніту, коагуляція карбідів, зменшується недосконалість кристалічної будови *a* – твердого розчину та залишкові напруження.

Фазові перетворення під час відпуску поділяють на три перетворення в залежності від змін питомого об'єму сталі.

Перше перетворення . Із мартенситу виділяється частина вуглецю у вигляді метастабільного *e*- карбіду, який має гексагональну решітку, і хімічний склад, близький до Fe₂C. Дуже дисперсні кристали *e* – карбіду когерентні з решіткою мартенситу (рис.2.7) [23].

											Арк.
											27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 2318039.000 ПЗ						

Друге перетворення. При температурі 250°C починається перетворення

e – карбиду в цементит; когерентність решіток твердого розчину і карбиду зникає. В мартенситі залишається всього 0,2 % вуглецю. Одночасно відбувається розпад залишкового аустеніту на суміш кристалів низько вуглецевого мартенситу і дисперсних карбідів. Структуру сталі, що утворилась внаслідок першого і другого перетворення називають відпущеним мартенситом.

Третє перетворення. Завершуються розпад мартенситу і карбідне перетворення. З мартенситу виділяється весь вуглець у вигляді карбідів, він переходить в ферит. Ферито - карбідна суміш, що утворилась при завершенні третього перетворення досить дисперсна і має таку ж саму твердість, як тростит (її називають троститом відпуску). Цементит має форму тонких пластин.

При нагріванні до більш високих температур у вуглецевих сталях відбуваються зміни структури, які не базуються на фазових перетвореннях: змінюється форма, розміри карбідів і структура фериту. Підвищення температури сприяє коагуляції: кристали цементиту укрупнюються, а форма кристалів поступово наближається до сферичної. Досить суттєво ці процеси відбуваються при 450 – 650 °С. Ферито – цементитну суміш, яка утворюється при цих температурах називають сорбітом відпуску (рис. 2.9).

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

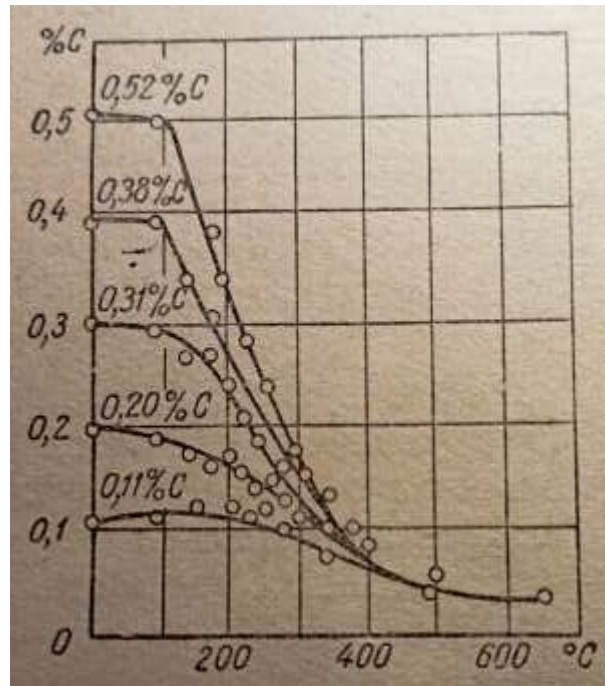


Рисунок 2.9 – Залежність вмісту вуглецю в α – твердому розчині від температури відпуску

При підвищенні температури відпуску ударна в'язкість збільшується.

Комплексну термічну обробку, яка складається з повного гартування і високого відпуску конструкційних сталей, називають *поліщенням* [5].

Показники механічних властивостей поліпшувальних легованих сталей після термічної обробки (поліщення) наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Марка сталі	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ %	ψ %	КСУ, Дж/см ²
40Х	1000	800	10	6	45
50Х	1100	900	9	4	40
30ХГСА	1100	850	10	5	45
40ХН	1000	800	11	7	45
40ХНМА	1100	950	12	8	50
38ХН3МА	1200	1100	12	8	50

руйнування, так і її складових, які залежать від швидкості зародження та розповсюдження тріщини [10, 17].

2.2.1. Методи інтегрального оцінювання опору руйнуванню

Більшість експериментаторів використовують в якості показників опору руйнуванню різні механічні характеристики, які визначаються під час стандартних випробувань на розтяг, стискання згинання тощо. Наприклад, $\sigma_{0,2}$ розглядають як величину опору руйнуванню на стадії розвитку малих пластичних деформацій, S_k - як величину опору руйнуванню на стадії розвитку шийки. Серед традиційних характеристик опору руйнуванню найбільш універсальною є ударна в'язкість, яку оцінюють за ДСТУ EN 100-2006 на призматичних зразках з надрізом, які руйнують на маятникових копрах (рис. 2.10).

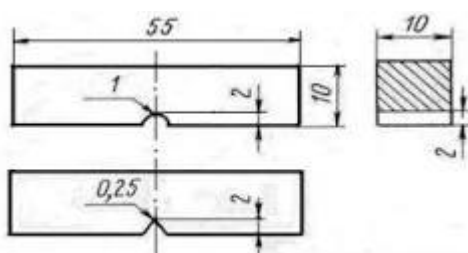


Рисунок 2.10 - Форма зразків для випробувань на ударну в'язкість

Практичне матеріалознавство довело, що величина ударної в'язкості при кімнатній температурі випробувань не може визначати величину опору руйнуванню матеріалів при різних жорстких умовах випробувань (наприклад, при знижені температури) і в багатьох випадках не може виявити різні структурні і металургійні фактори, які впливають на погіршення експлуатаційних характеристик [16].

Зумовлено це тим, що під час в'язкого руйнування, яке відбувається при кімнатній температурі випробувань, чутливість до структурних факторів, які

						МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			32

визначають окрихчення, різко знижується. Однак зміна умов навантаження, яке сприяє крихкому руйнуванню, дозволяє виявити негативний вплив тих чи інших структурних факторів. Така зміна умов може бути досягнута зниженням температури випробувань, яка забезпечує для металів з О.Ц.К. решіткою можливість виявлення в'язко - крихкого переходу. Таким чином визначають температуру холодноламкості, яка досить адекватно відображає схильність сталей до небезпечного крихкого руйнування за різних екстремальних умов експлуатації. Температуру холодноламкості не можна розглядати як константу матеріалу, вона залежить від конфігурації і розмірів зразків, гостроти надрізу та виду випробувань. Визначення положення порогу холодноламкості для сталей з підвищеним вмістом вуглецю є складним процесом (рис 2.11) .

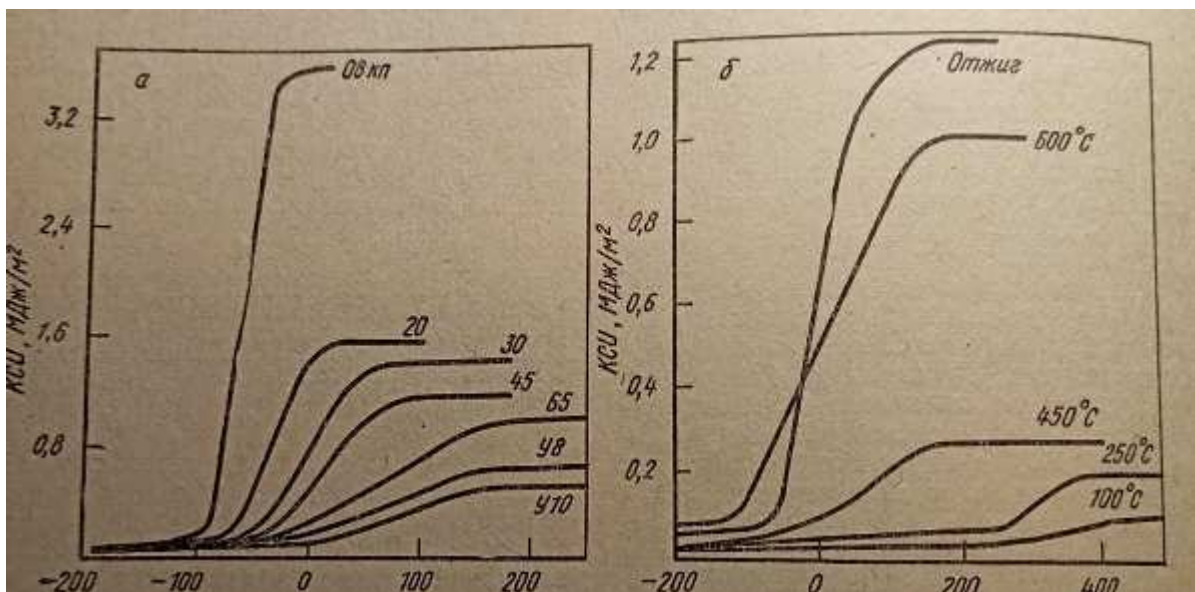


Рисунок 2.11 - Криві холодноламкості : а – нормалізовані вуглецеві сталі ;
б – сталь ШХ15 після відпалу і гартування з відпуском.

Це свідчить про необхідність проведення фрактографічного аналізу та визначення межі холодноламкості.

2.2.2. Випробування на в'язкість руйнування

Технічне матеріалознавство доволі часто використовує випробування на в'язкість руйнування [26, 27]. Такі випробування мають за основу закони лінійної механіки руйнування (згідно робіт Гріффітса). Вперше на основі енергетичного підходу він показав, що причиною різкої невідповідності реального і теоретичного опору руйнування твердих тіл може бути наявність в них малих дефектів (тріщин), які сприяють виникненню концентрації напружень, що сягають в локальних об'ємах теоретичної міцності. Локальні напруження пропорційні коефіцієнту інтенсивності напружень K , який залежить від величини σ - номінального напруження, яке оцінюють в тілі без урахування тріщини; a - довжини тріщини; b – параметра, який залежить від форми тіла і геометрії тріщини. Розрізняють три основних види навантаження тіл з тріщинами (відрив, поздовжній зсув, поперечний зсув). Перший (відривний) вид зміщення берегів тріщини реалізується під час найбільш небезпечного крихкого руйнування. Тому всі інженерні методи оцінювання в'язкості руйнування стосуються цього методу. Ірвін вважав, що K_{Ic} є константою матеріалу. Як з'ясували пізніше рівень цієї характеристики залежить від товщини зразків, при збільшенні товщини зменшується внаслідок змін у вершині тріщини плоско - напруженого стану на більш небезпечне для реалізації крихкого руйнування плоско - деформований стан, досягаючи при цьому певного мінімального значення K_{Ic} (рис. 2.12)

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 2318039.000 ПЗ					34

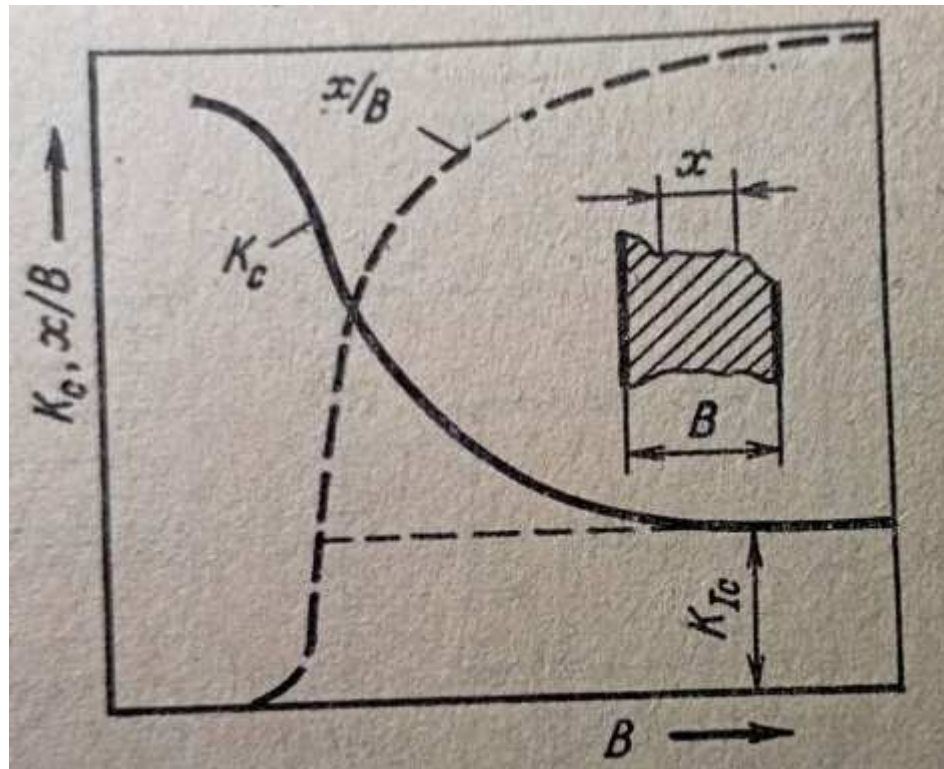


Рисунок 2.12 – Зміна K_c і долі крихкого зламу в залежності від товщини зразка з тріщиною.

Виходячи з цього, можна розглядати в'язкість руйнування при плоскій деформації K_{Ic} при заданих температурно - швидкісних умовах навантаження в якості важливого параметра, який можна використати при ранжуванні матеріалів за їх опором крихкому руйнуванню.

Визначення в'язкості руйнування

Випробування проводять на зразках наведених на рис. 2.13, а і б.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2318039.000 ПЗ

Арк.

35

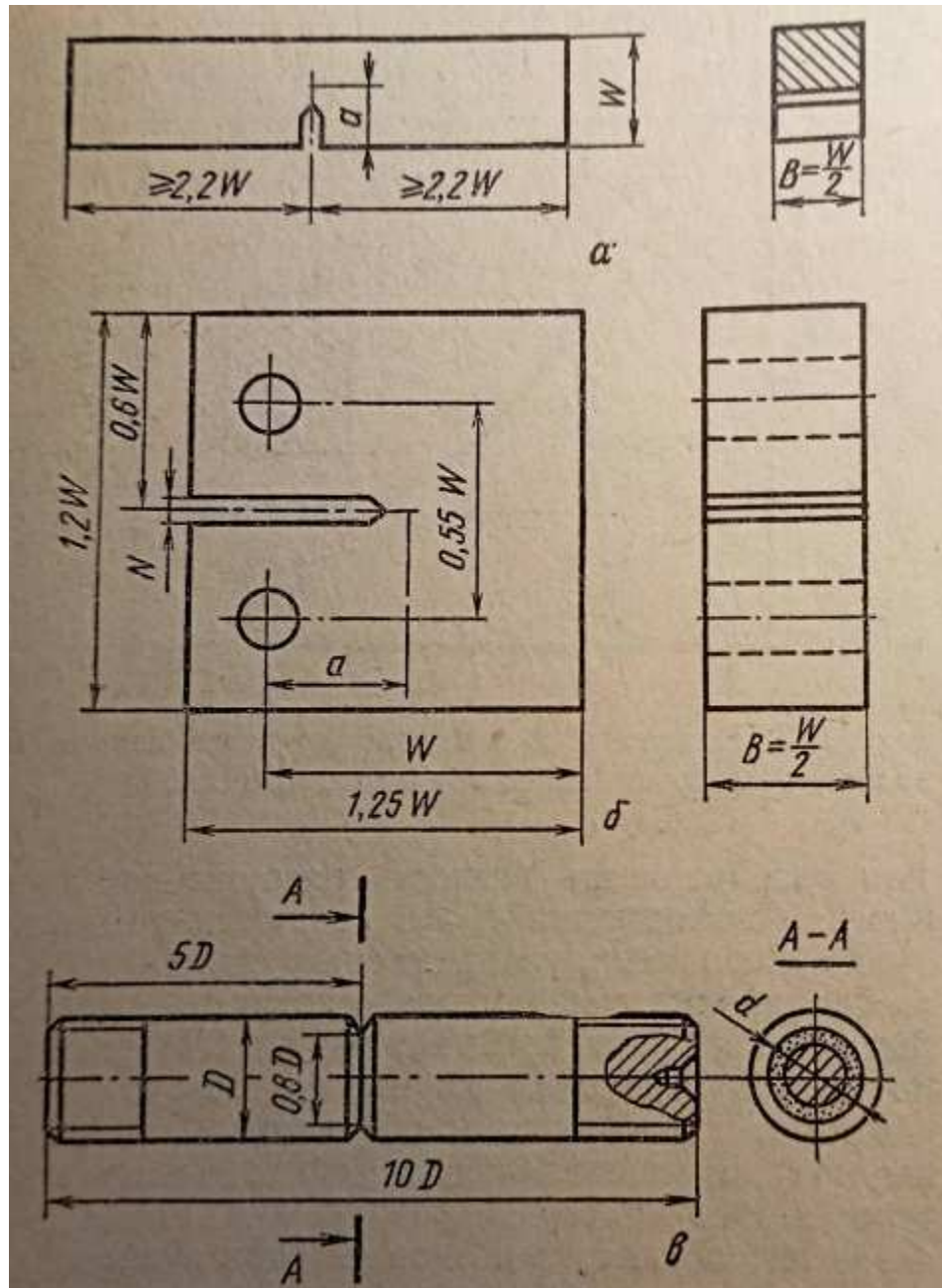


Рисунок 2.13 – Типи зразків для визначення K_{Ic} і співвідношення їх розмірів:
a – для випробувань на згин; *б* - для випробувань на не центровий розтяг;
в - циліндричний зразок для випробувань на розтяг.

Зразки мають характерний гострий надріз, який закінчується наведеною утомною тріщиною. Довжина надрізу з тріщиною має бути $a = (0,45 - 0,55)W$. Особливість визначення в'язкості

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

руйнування полягає в тім, що достовірність значень K_{Ic} регламентується розмірами зразка, який досліджують; вони залежать від вихідної величини K_{Ic} згідно умов a і $B > 2,5 (K_{Ic} / \sigma_{0,2})^2$. Розміри зразків вибирають орієнтуючись на значення K_{Ic} , при відомих значеннях $\sigma_{0,2}$ і E матеріалу, що випробується. Приклади співвідношення параметрів в'язкості руйнування і межі текучості для конструкційних сталей наведені в таблиці 2.3 [20].

Таблиця 2.3 Класифікація сплавів за міцністю.

Співвідношення	Числові значення					
$\sigma_{0,2} / E$	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010
$(K_{Ic} / \sigma_{0,2})^2$ мм	36	26	17	10	4,5	1,5

Підготовлені зразки з наведеною тріщиною піддають руйнуючим випробуванням на стандартних машинах.

2.2.3 Вплив різних факторів на в'язкість руйнування сталей

Показник K_{Ic} залежить від температури випробувань, швидкості навантаження під час випробувань, металургійних і структурних факторів, складу сталі (рис.2.14; 2.15) [21].

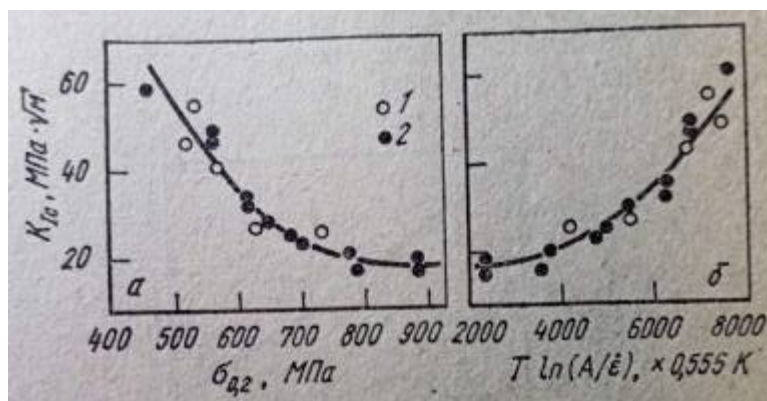


Рисунок 2.14 - В'язкість руйнування сталі типу 20 як функція межі текучості (а) і параметра $T \ln(A/e)$ (б):

1 – статичне навантаження; 2 – динамічне навантаження (K_{Ic})

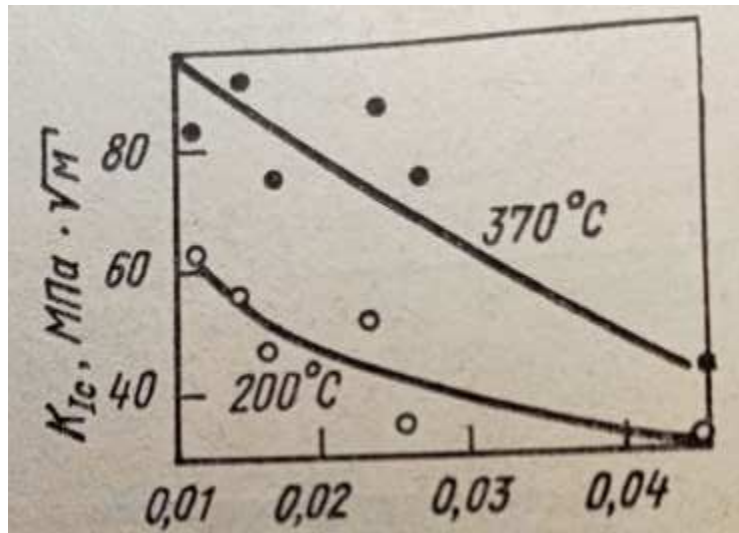
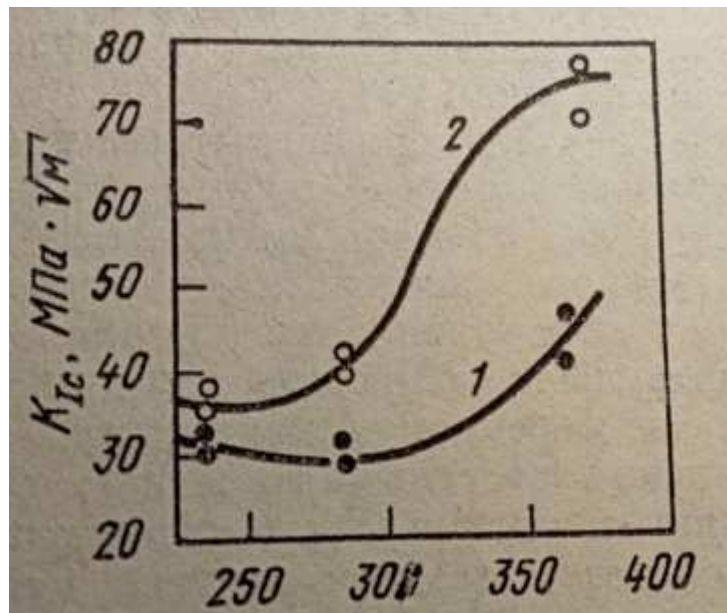


Рисунок 2.16 - Вплив сумарного вмісту сірки та фосфору на в'язкість руйнування сталей типу 40XН2М при температурах відпуску 200 та 370°C



Температура відпуску, °C

Рисунок 2.17 - Вплив способу виплавки сталі на в'язкість руйнування сталей типу 40X2М:

1 – відкрита плавка; 2 – вакуумно-дугова плавка

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2318039.000 ПЗ

Арк.

39

Згідно моделі Спіцига [8] неметалеві включення стають центрами утворення пор при руйнуванні сталей за в'язким мікромеханізмом, а частота таких включень, яка формує частоту ямок в зламі, контролює рівень K_{Ic}

Характер впливу легування конструкційних сталей на K_{Ic} такий: хром, ванадій, ніобій, титан і тантал сприяють подрібненню зерна (за рахунок утворених карбідів), що підвищує K_{Ic} . Нікель і марганець (до 1%) також подрібнюють зерно. Розкислення сталей алюмінієм також підвищує K_{Ic} (внаслідок подрібнення зерна). Легуючі елементи, які зміцнюють тверді розчини, знижують в'язкість руйнування сталей. Легуючі елементи, які утворюють в сталях дисперсні фази, які гальмують пластичну деформацію, зменшують K_{Ic} . Сталі мартенситно - старіючі (МСС) та метастабільні аустенітні сталі (МАС) – тріп - сталі після гартування та старіння мають високі значення K_{Ic} , які значно перевершують цей показник для традиційних сталей (табл. 2.4).

Таблиця 2.4. В'язкість руйнування високоміцних конструкційних сталей

Марка сталі	$\sigma_{0,2}$, МПа	K_{Ic} , МПа
H18K8M3	1380	110 - 175
H18K8M3	1725	98 - 163
H18K8M3	2070	90 - 140
45X2HM	1795	90 - 98
40XH2M	1570	60 - 65
40X5MФ	1570	38

З причини високої вартості МСС та МАС сталей їх використання обмежене, проводяться дослідження по розробці нових видів зміцнюючої обробки для досягнення кращого поєднання міцності та в'язкості руйнування для більш дешевих сталей.

Висновки

Аналіз літературних джерел показав, що забезпечити мінімальні витрати на матеріал, зменшити масу шатуна можливо вибором раціональної марки сталі з оптимальним вмістом легуючих елементів. Завдяки термічній обробці є можливість сформувати необхідні міцність, твердість, в'язкість.

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Методика досліджень

3.1.1. Обладнання для термічної обробки

Операції термічної обробки виконувались в нагрівальних електричних печах. Для гартування і відпуску використано камерну піч (рис. 3.1).



Рисунок 3.1– Камерна піч для нагрівання при термічній обробці

Піч зручна в обслуговуванні, має невеликі розміри: площа поду – 2-3 м². Піч має одне вікно для завантаження та вивантаження заготовок. Нагрівання в печі забезпечує рівномірне нагрівання, мінімальну тривалість нагрівання заготовок до заданої температури, що сприяє мінімальному утворенню окалини. Піч використовують для термічної обробки однорідних за формою і розмірами виробів. Для вимірювання температури в нагрівальних печах переважно застосовують термопари. Максимальна температура нагрівання в печі 1150°C. У комплект установки печі входять: піч, штовхач для пересування піддонів, виштовхувачі, піддони, прилади теплового контролю і автоматики [11].

3.1.2. Методика проведення мікроструктурних досліджень

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Мікроструктура сталі 40ХГНМ після термічної обробки досліджувалась на зразках, які мали форму паралелепіпеда (рис.3.2)

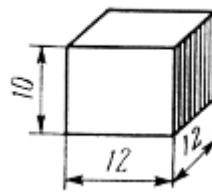


Рис. 3.2 - Зразки для дослідження

Поверхню зразків піддавали шліфуванню на наждачному папері та поліруванню. Всі підготовчі операції проводили таким чином, щоб звести до мінімуму можливу деформацію поверхні і нагрівання зразка. В якості травника вибрано 4 - % розчини азотної кислоти в спирті [23].



Рисунок 3.3 - Полірувальний станок SAPHIR -550

Мікроструктуру досліджували на металографічному мікроскопі при збільшенні у 500 раз.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2318039.000 ПЗ

Арк.

43



Рисунок 3.4 - Цифровий мікроскоп XS - 3330 LED
MICROmed (з камерою 5Мп.)

3.1.3. Методика проведення випробувань на ударну в'язкість

Ударна в'язкість є одним з основних показників, які визначають схильність сталі до крихкого руйнування та застосування її в машинобудуванні. Високі показники ударної в'язкості забезпечують можливість роботи такої сталі при значних ударних навантаженнях чи мінусових температурах. Головна перевага ударної в'язкості полягає в її високій чутливості до зміни структури сталі після термічної обробки, причому цю залежність при статичних

Випробування на ударну в'язкість виконували на копрі (рис. 3.6) з використанням зразків спеціальної форми (рис. 3.5). Зразки для випробувань мали надріз типу V, (радіуси концентратора $0,25 \pm 0,025$ мм). Розміри зразків біля надрізу вимірювали з точністю до 0,1 мм. За даними вимірювань вираховували площу поперечного перерізу [26].

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Робота до руйнування зразка вимірювалась в Дж/см². Випробування на ударну в'язкість засноване на руйнуванні зразка з надрізом посередині за один удар маятника масою P , який падає з певної висоти H (рис. 3 б). При падінні він руйнує зразок і піднімається на висоту h . Роботу K , витрачену на руйнування зразка, визначали за формулою:

$$K = P (H - h); Pl (\cos \beta - \cos \alpha), \text{ Дж} \quad (3.1)$$

де P вага маятника, в кг;

H – висота підйому центру ваги маятника до удару в м;

h - висота підйому маятника після удару в м;

l - довжина маятника (відстань від його осі до центру тяжіння, м;

α і β – кути підйому маятника відповідно до та після руйнування зразка в градусах.

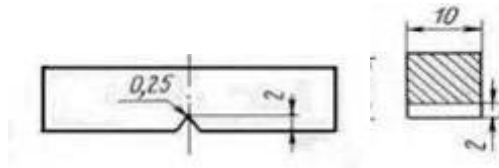


Рисунок 3.5 – Форма зразків для випробувань на ударну в'язкість

Значення ударної в'язкості KC визначають за формулою

$$KC = K / F,$$

де K - робота, яка витрачена на руйнування зразка, Дж

F - площа поперечного перерізу зразка в місці надрізу, см²

датчиком білого світла (рис.3.7). Контроль здійснювали по еталонному шатуну. Еталонний шатун розміщували в пристосуванні, всі індикатори виставляли на «0». Після цього еталонний шатун замінювали на відновлений, за відхиленням стрілок на індикаторах визначали наявність дефектів (вигина, скручування).



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд координатно-вимірювальної машини КВМ 3Д (640x600x500 АХІОМ ТОО)

За допомогою вимірювального мікроскопу проведені високоточні вимірювання розмірів та форми отворів у шатуні (рис.3.8).

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



Рисунок 3.8 - Вимірювальний мікроскоп ММ-200

Наявність внутрішніх дефектів шатунів (тріщини та інші несприятливі дефекти, що можуть впливати на якість та довговічність виробу) виявляли за допомогою ультразвукового дефектоскопа (рис.3.9).



Рисунок 3.9 - Ультразвуковий дефектоскоп

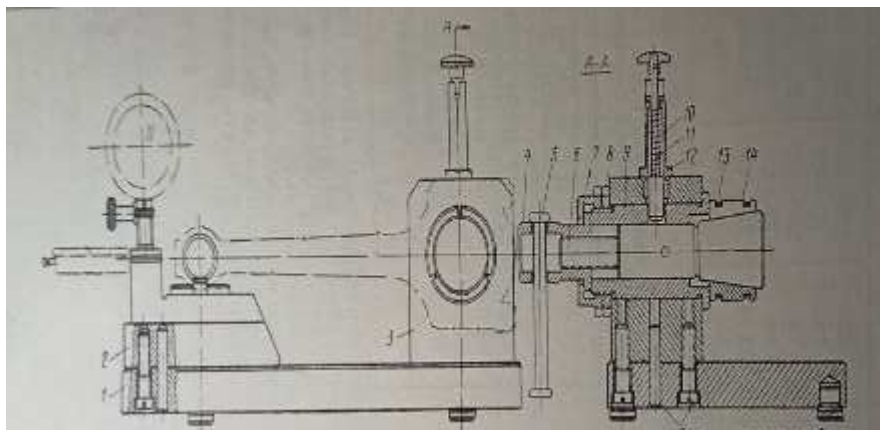
При проведенні випробувань на міцність та деформацію шатунів під навантаженням використовували динамометр аналоговий пружинний універсальний (2 кг) PROTETER NK-20 (рис.3.10)

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



Рисунок 3.10 - Дінамометр аналоговий пружинний

Шатун з встановленим пальцем перевіряється на паралельність осей верхньої і нижньої головки на пристосуванні (рис.3.11). Оправка, на яку надівають шатун, має відповідати розміру отвору в нижній головці шатуна. З'єднання поршня з шатуном виконують за умови, що шатун нагрітий до температури 55 – 75 °С (80 – 100 °С для деяких авто) за допомогою пристосування (рис. 3.12).



					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

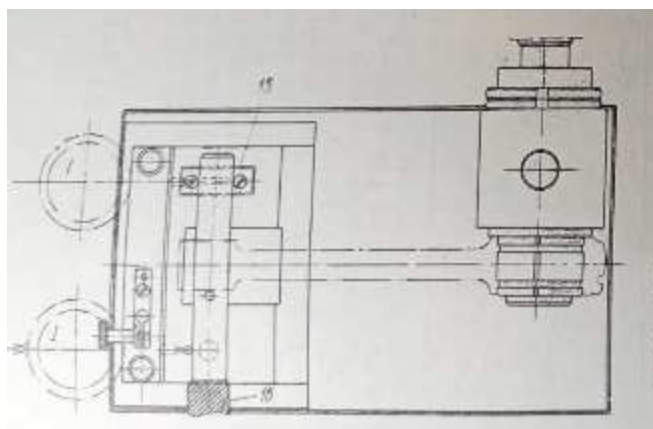


Рисунок 3.11 - Пристосування для перевірки шатуна на перекіс і скручування :

1 – плита; 2 – накладка; 3 – стійка; 4 – гайка; 5 – ручка; 6 – конус; 7 – 8 – гайки; 9 – втулка; 10 – пружина; 11 – фіксатор; 12 – корпус ; 13 – пружина; 14 – сектор; 15 – ніж; 16 – палець ; 1 – П – індикатори.

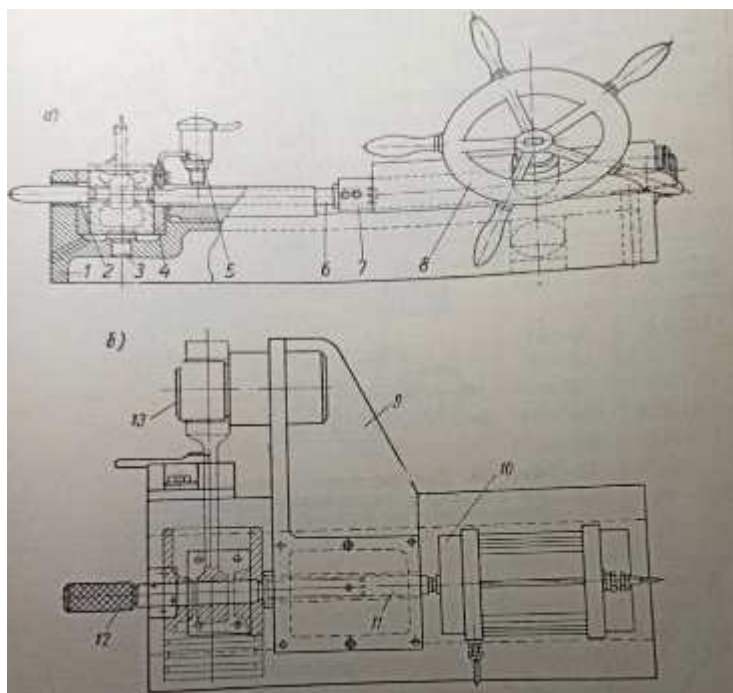


Рисунок 3.12 – Пристосування для запресування поршневого пальця:

а – ручне; б – пневматичне

1 – корпус; 2 – напрямна; 3 – палець опорний; 4 – втулка; 5 – маслянка; 6 – штовхач; 7 – рейка; 8 – маховик; 9 – корпус; 10 – пневматичний циліндр; 11 – шток; 12- оправка; 13 – палець пристосування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2318039.000 ПЗ

Арк.

50

З'єднаний поршень з шатуном перевіряють на перпендикулярність осі поршня до осі нижньої головки шатуна на пристосуванні (рис.3.13), та на наявність мікротріщин (рис.3.14). Шатун нижньою головкою надівають на цангу 2, затискання якого здійснюють з допомогою пневматичного пристрою. Поршень встановлюють на нерухому 3 і рухому 5 призми. Рухома призма притискається до поршня пружиною 4 і її положення фіксується індикатором 6. Перевірку здійснюють за різницею показів індикатора, при установці комплекту в двох положеннях, з поворотом на 180° відносно осі поршня. Допускається неперпендикулярність на довжині 100 мм не більше 0,08 мм. Неперпендикулярність визначають за формулою :

$$D = a l / 100,$$

де a – різниця показів індикатора;

l – відстань між призмами.

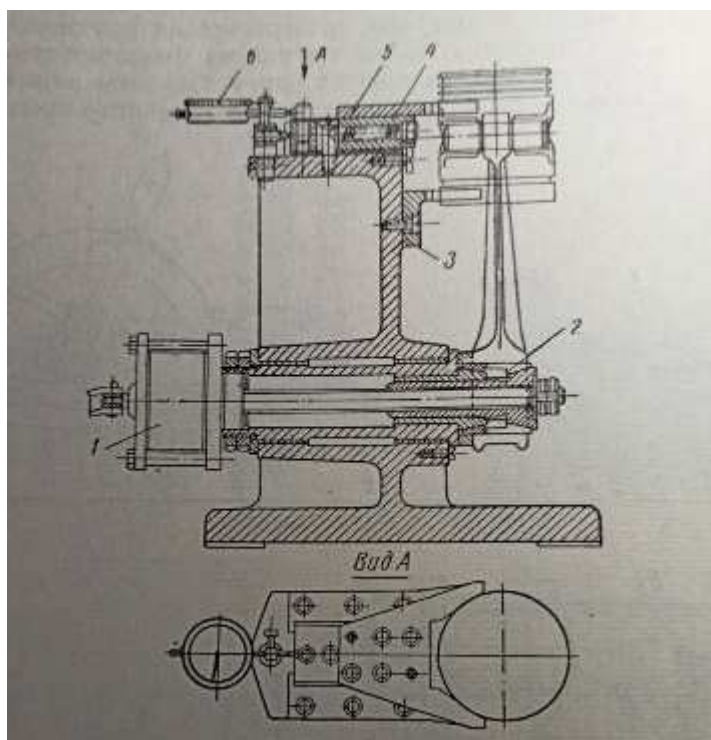


Рисунок 3.13 – Пневматичне пристосування для перевірки перпендикулярності осі поршня до осі отвору великої головки шатуна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2318039.000 ПЗ

Арк.

51

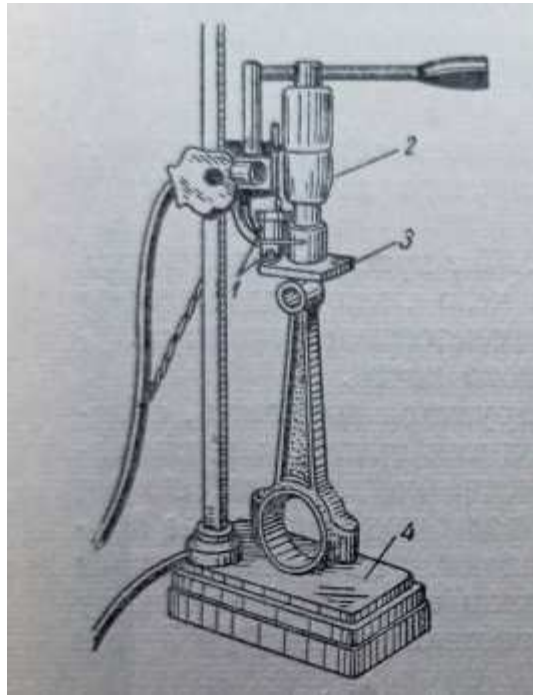


Рисунок 3.14 – Прилад для циркулярного намагнічування

- 1 – кнопка магнітного пуску; 2- рухома головка ; 3 – контактний диск;
4 – контактна плита

Електрохімічну промивку деталей застосовують в тих випадках, коли необхідно очистити поверхні деталі від окалини, оксидних плівок або солей. Деталь на підвісці поміщають у ванну з електролітом і створюють різницю потенціалів між промивною деталлю (анодом) і корпусом ванни (катодом). Після закінчення промивання деталь промивають під теплим душем, видаляючи залишки електроліту, і просушують потоком теплого повітря. Якість промивки контролюють наступними способами: оглядом із застосуванням оптичних приладів; оглядом фільтруючих елементів промивної установки; хімічним аналізом промивної рідини після промивки; зважуванням домішок, що з'явилися в промивній рідині; спеціальними лічильниками частинок, що містяться в рідині після промивання деталі.

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

3.2. Результати експерименту

3.2.1. Вибір режиму гартування

Термічна обробка шатунів має забезпечити високі показники міцності та в'язкості. Шатун виготовлено із сталі 40ХГНМ - сталь комплексно легована, що забезпечить їй підвищену прогартуваність. Легуючі елементи впливають на формування властивостей сталі (прогартуваність, в'язкість тощо) після термічної обробки. Легуючі елементи визначають розмір зерна аустеніту, його стійкість при переохолодженні, структуру мартенситу, властивості фериту і карбідної фази тощо.

Хром - карбідотвірний елемент, уповільнює дифузію вуглецю в аустеніті, тим сприяє подрібненню зерна при нагріванні аустеніту, підвищує температури нагрівання сталі для гартування (підвищує критичні точки A_{c3} та A_{c1}), зсуває криву ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту праворуч, що збільшує стійкість переохолодженого аустеніту і зменшує критичну швидкість охолодження та збільшує прогартуваність сталі. Хром ефективно впливає на механічні і фізичні властивості сталі, розчиняючись в фериті і утворюючи дрібні карбіди, а також впливаючи на дисперсність одержуваної структури і коагуляцію структурних складових, він підвищує твердість і міцність сталі, межі пружності і текучості, не знижуючи характеристики пластичності, а навпаки, сприяє підвищенню характеристик пластичності (відносного видовження та відносного звуження), ударної в'язкості. На твердість фериту хром мало впливає, найбільш суттєво хром підвищує твердість та міцність мартенситу. Марганець – розчиняється в цементиті, зміцнює ферит, зменшуючи його в'язкість, підвищує прогартуваність сталі.

Нікель, некарбідоутворюючий елемент, знижує критичні точки сталі A_1 і A_3 . Він позитивно впливає на ударну в'язкість та пластичність цементованого шару і серцевини. При нагріванні для термічної обробки

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

нікель не впливає на ріст зерна аустеніту. Під час цементації нікель прискорює дифузію вуглецю в аустеніті при 950°C . Нікель є дефіцитним легуючим елементом, тому використання нікелю обмежують [5].

Молібден – карбідотвірний елемент, зменшує схильність аустенітного зерна до росту, зберігає дрібнозернисту структуру при нагріванні сталі. Зменшує схильність сталі до відпускнуї крихкості. Сталі з молібденом після високого відпуску охолоджують на повітрі.

Хром, нікель молібден суттєво підвищують стійкість аустеніту, збільшуючи прогартовуваність.

Сталь 40ХГНМ - доєвтектоїдна. Для доєвтектоїдних сталей температура нагрівання для проведення гартування вибирається за такими умовами: $t_{\text{н}} = A_{\text{с}3} + 30 \dots 50^{\circ}\text{C}$. Критична точка $A_{\text{с}3}$ для сталі 40ХГНМ - 774°C , отже температура нагрівання для гартування - $775 + 50 = 825^{\circ}\text{C}$. За даними ДСТУ 7806 - 2015 вибираємо рекомендовану температуру 840°C .

Термічна обробка складається з трьох етапів: 1) нагрівання до заданої температури; 2) витримки при температурі нагрівання; 3) охолодження.

З можливих способів нагрівання (рис.3.15) вибираємо режим (б):

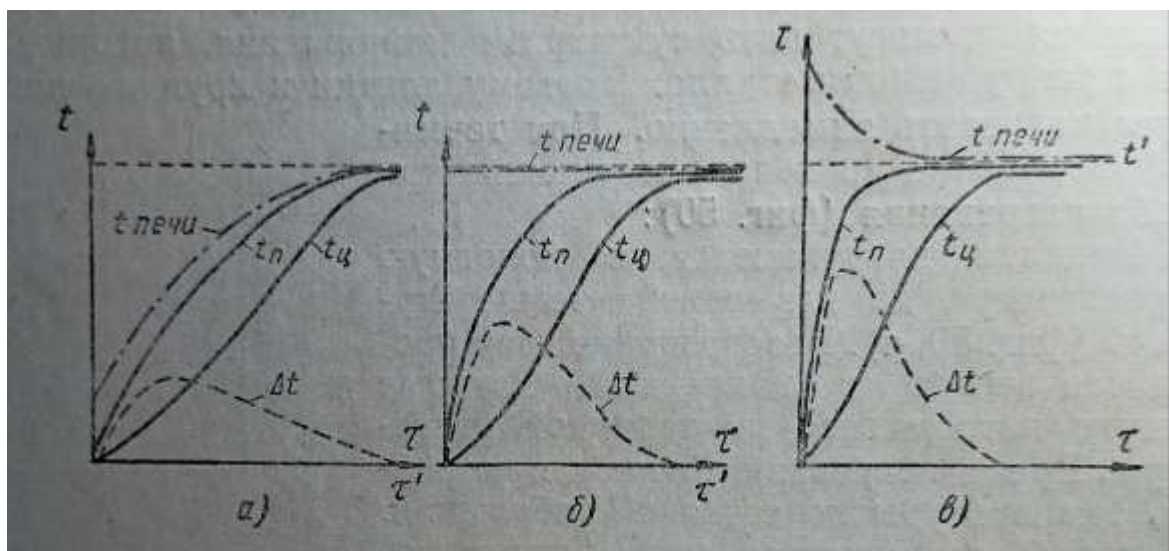


Рисунок 3.15 - Три принципово різні режими нагрівання деталі в печі:

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 2318039.000 ПЗ					54

t - задана температура нагрівання; t_n - температура поверхні; $t_{ц}$ - температура центру;

Δt - різниця температур між поверхнею і центром; $t_{печи}$ - температура печі;

t' - час прогрівання для випадків a , b , v .

Вибір тривалості нагрівання t_n :

$$t_n = a * D, \quad (3.2)$$

a - коефіцієнт, який визначають експериментально, сек/мм.

D - діаметр виробу в мм.

Для виробів квадратного чи прямокутного перерізу величину D замінюємо на товщину H . [16]

Значення коефіцієнту a в залежності від умов нагрівання і форми виробу вибираємо з таблиці 3.1 [30].

Таблиця 3.1. Значення коефіцієнту a .

Нагрівальний агрегат	Температура печі, °С	Коефіцієнт a		
		Для круглого перерізу	Для квадратного перерізу	Для прямокутного перерізу
Електропіч	800	40 - 50	50 - 60	60 - 75
Соляна ванна	800	12 - 15	15 - 18	18 - 22
Свинцева ванна	800	6 - 8	8 - 10	10 - 12
Соляна ванна	1300	6 - 8	8 - 10	10 - 12

За формулою 3.2. знаходимо тривалість нагрівання за умови всебічного нагрівання.

$$t_n = a * H$$

$$t_n = 50 * 90 = 4500 \text{ сек. (1 година і 15 хвилин) .}$$

Час витримки при заданій температурі вибираємо - 2 хвилини (згідно рекомендацій для легованої сталі).

Таблиця 3.2. Орієнтовні норми витримки зразків діаметром (товщиною) більше 3 мм під час нагрівання для гартування до 750 – 900°C [8].

Нагрівальний агрегат	Витримка в сек на 1 мм діаметра чи найменшої товщини	
	Для вуглецевих і низьколегованих сталей	Для легованих сталей
Електрична піч	50 - 80	70 - 90
Соляна ванна	20 - 25	25 - 30
Свинцева ванна	6 - 8	8 - 10

Вибір охолоджувального середовища.

Швидкість охолодження є одним з головних факторів, які визначають результати гартування. Вибір різних швидкостей охолодження нагрітої сталі досягається використанням різних охолоджуючих середовищ. Згідно рекомендацій (таблиця 3.3, [8]) вибираємо для шатунів охолоджуюче середовище – масло.

Таблиця 3.3. Швидкість охолодження в різних середовищах

Охолоджувальне середовище	Швидкість охолодження (в °C/сек) в інтервалі температур	
	550 - 650 °C	200 – 300 °C
Вода при 18 °C	600	270
при 50 °C	100	270
10 % - вий розчин кам'яної солі у воді	1100	300
Мінеральне масло	150	30

Згідно діаграмі ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту сталі 40ХГНМ (рис.3.16) температура початку мартенситного перетворення M_p – 290°C, кінець при кімнатній температурі. Отже, ця сталь не буде мати залишкового аустеніту більше за 5%. Критична швидкість охолодження у сталі 40ХГНМ невелика ($V_{кр.} = 90 - 100$ °C / сек). Масло забезпечить критичну швидкість охолодження для сталі 40ХГНМ. Воно є помірним охолодником. Масло охолоджує деталі з відносно малими швидкостями в інтервалі високих і низьких температур. Масло, нагріваючись під час охолодження в ньому деталей, майже не змінює своїх охолодних властивостей. Для досягнення найкращих охолодних властивостей масло підігрівають до 70...80 °C. Для якісного охолодження деталей, попередження браку при гартуванні такого як «м'які плями чи пістрявість» в охолодних баках з маслом передбачена його циркуляція. Після гартування призначаємо високий відпуск.

°C 800

700
600
500
400
300
200
100
0

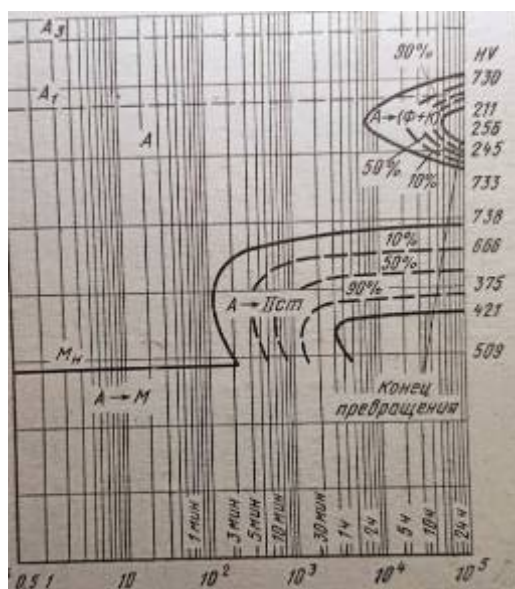


Рисунок 3.16 - Діаграма ізотермічно перетворення аустеніту для сталі 40ХГНМ

Масляне охолодне середовище створює рівномірні умови охолодження сталі в усьому інтервалі температур (від т. A_{r1} до точки M_p). Застосування

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

більш високі механічні властивості ніж після відпалу. Це пояснюється будовою сорбіту відпуску, який формується після високого відпуску. Сорбіт відпуску має зернисту будову, що забезпечує йому більш високий комплекс властивостей.

Для надання сталі заданої в'язкості після гартування призначаємо високий відпуск. Час витримки в печі вибираємо згідно [10] таблиця 3.4.

Таблиця 3.4. Рекомендовані режими витримки під час відпуску

Умовна товщина виробу мм	Тривалість витримки в хвиликах при температурі			Умовна товщина виробу мм	Тривалість витримки в хвиликах при температурі		
	300°C	300-400°C	400°C		300°C	300 - 400°C	400°C
До 20	140	40	30	70	190	90	80
30	150	50	40	80	200	100	90
40	160	60	50	90	210	110	100
50	170	70	60	100	220	120	110
60	180	80	70	-	-	-	-

Час витримки розраховано із таких умов:

1- при температурі відпуску < 300°C 2 години + 1 хвилинка на 1 мм умовної товщини;

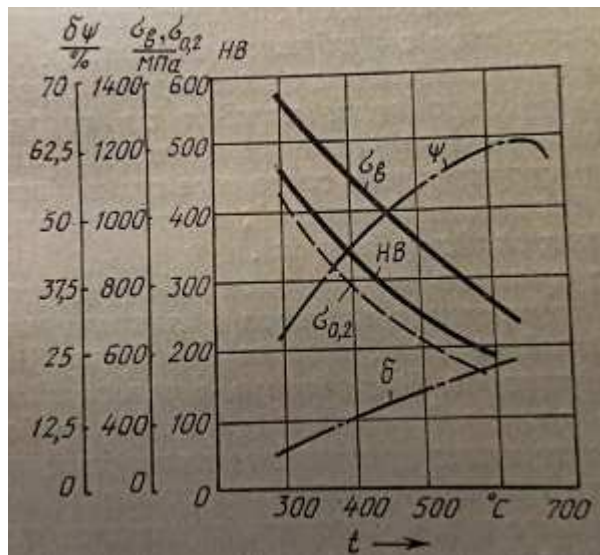
2 - при температурі відпуску 300 – 400 °C 20 хвилин + 1 хвилинка на 1 мм умовної товщини;

3 - при температурі відпуску > 400°C 10 хвилин + 1 хвилинка на 1 мм умовної товщини.

Для температури відпуску 600°C тривалість витримки в печі розраховуємо так: 10 хв. + 1 хв на 1 мм умовної товщини.

10 хв + 70 хв = 80 хвилин.

											Арк.
											59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 2318039.000 ПЗ						



Температура відпуску, °С

Рисунок 3.17 - Вплив температури відпуску на механічні властивості сталі 40ХГНМ.

Високі показники ударної в'язкості можна сталі 40ХГНМ будуть досягнуті проведенням після гартування високого відпуску при температурі 600°С (рис.3.17).

Поліпшення є оптимальною зміцнюючою обробкою шатунів так, як саме ця обробка, внаслідок якої формується сорбіт відпуску (феритно-карбідна суміш зернистої будови), забезпечує отримання необхідного комплексу властивостей- високих показників міцності ($\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{0,2}$), утомної міцності (σ_{-1}), пластичності (δ , ψ), ударної в'язкості (КС), тріщиностійкості (G_{1c} , K_{1c} , K_{Cp}).

3.2.3. Структура і властивості шатунів після гартування

Для проведення гартування шатуни нагрівали до 840°С, при цій температурі вихідна ферито-перлітна структура перетворюється на аустеніт. Витримка при цій температурі вибрана такою, щоб не відбулось росту зерна і аустеніт зберіг дрібнозернисту структуру. Після витримки шатуни охолоджували в маслі. Після охолодження в маслі сталь набуває структури мартенситу (рис.3.18). Згідно мартенситній діаграмі (рис. 3.19) в сталі

											Арк.
											60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 2318039.000 ПЗ						

40ХГНМ кількість залишкового аустеніту невелика. Твердість сталі HRC 56-58 [29]. Сталь з такою структурою має високі показники міцності, твердості, але низькі значення ударної в'язкості, які не відповідають заданим.



Рисунок 3.18 - Структура сталі після гартування

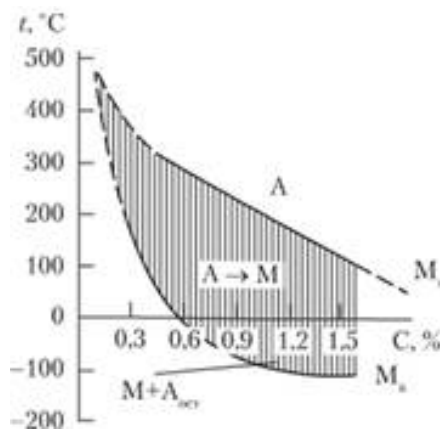


Рисунок 3.19 - Мартенситна діаграма

Мартенситне перетворення відбувається бездифузійним шляхом і тому після охолодження сталі з аустенітною структурою, утворюється пересичений твердий розчин вуглецю в α – залізі. Решітка α – заліза містить стільки вуглецю, скільки його було в аустеніті (для сталі 40ХГНМ – 0,4%). Така кількість вуглецю для решітки α - заліза є занадто великою, тому

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 2318039.000 ПЗ					61

решітка a – заліза спотворюється і набуває замість кубічної форми форму тетраедра (рис. 3.20)

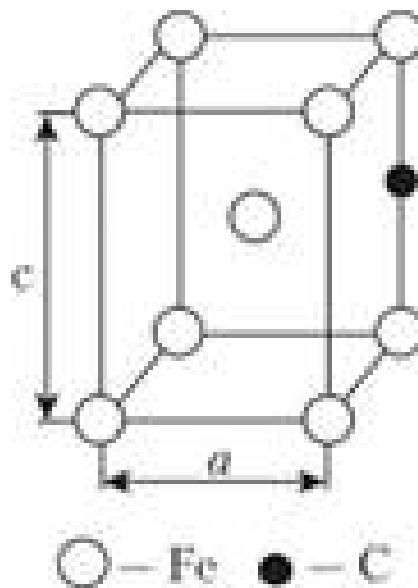


Рисунок 3.20 - Елементарна гратка мартенситу

Перетворення аустеніту на мартенсит супроводжується значним зміщенням атомів металу в просторі, але без обміну місцями і без значної зміни відстані між атомами. Для надання сталі заданої в'язкості після гартування проведено високий відпуск.

3.2.4. Структура і властивості шатунів після відпуску

Високотемпературний (високий) відпуск проводили при 600°C . Структура сталі після високого відпуску — сорбіт відпуску. Високий відпуск створює найкраще співвідношення міцності і в'язкості сталі. Гартування з високим відпуском у порівнянні із нормалізацією або відпалом підвищує міцність, границю текучості, відносне звуження і особливо ударну в'язкість сталей. Тривалість високого відпуску - 2 години.

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таблиця 3.5. Властивості сталі 40ХГНМ після поліпшення

Марка сталі	Властивості					
	межа текучості $\sigma_{0,2}$ МПа	межа міцності $\sigma_{в}$ МПа	Відносне видовження δ %	Відносне звуження ^ч %	Твердість НВ, МН/м ²	Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ²
40ХГНМ	850	1000	12	55	269	100

Структура сталі 40ХГНМ після гартування і високого відпуску сорбіт відпуску (рис.3.21).



Рисунок 3.21– Структура сталі 40ХГНМ після поліпшення

Показники ударної в'язкості сталі 40ХГНМ після проведеної термічної обробки 90 - 100 Дж/см².

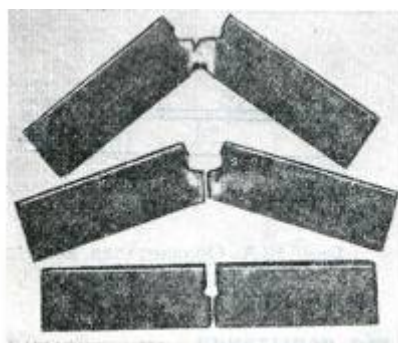




Рисунок 3.22. Зразки для фрактографічного аналізу після випробувань на ударну в'язкість

За результатами фрактографічного аналізу злам належить до в'язкого (рис.3.22), поверхня характеризується «волокнами» - зернами, витягнутими під дією пластичної деформації, що відбулась перед руйнуванням. Такий характер зламу свідчить про досить високі показники в'язкості досліджуваної сталі.

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ.

Розроблений режим термічної обробки для підвищення в'язкості відновлених шатунів (температура нагрівання для гартування, спосіб нагрівання, охолоджуюче середовище та температура відпуску) забезпечують показники ударної в'язкості відновлених шатунів в межах 90 - 100 Дж/см². Такі показники відповідають технічним вимогам на деталі типа «шатун».

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захарчук О.В. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Олег Вікторович Захарчук. – Луцьк РВВ Луцького НТУ. 2017.- 140 с.
2. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2007. - 348 с.
3. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. –К.: Вища школа, 2007. –527с.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник. –К.: Знання-Прес, 2004 –478с.
5. Афтандіянц Є.Г. Матеріалознавство: підручник / Є.Г. Афтандіянц, О.В. Зазимко, К. Г. Лопатьмо. - Херсон: ОЛДІ - плюс; К.: Ліра -К, 2013.- 612с.
6. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. Основи творення машин / за редакцією О. В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України. — Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл. [ISBN 978-966-2989-39-7](#)
7. Garret W. Balich, Conrad R.Aschenbach The gasoline 4-stroke engine for automoboles [Архівовано 8 травня 2014 у Wayback Machine.] University of Notre Dame, 2004. — 156 p.
8. Нотт Дж. Основи механіки руйнування: Пер. з англ. , - 1978 - 256 с.
9. Говорун Т. П. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях) : навч. посіб. / Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 163 с. ISBN 978-966-657
10. Матеріалознавство [Текст]: підручник / [Дяченко С. С., Дощечкіна І. В., Мовлян А. О., Плешаков Е. І.] ; ред. С. С. Дяченко ; Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т. — Х. : ХНАДУ, 2007. — 440 с. — [ISBN 978-966-303-133-0](#)

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

11. Будник А. Ф. [Типове обладнання термічних цехів та дільниць: Навчальний посібник.](#) — Суми: Вид-во СумДУ, 2008. — 212 с. [ISBN 978-966-657-185-7](#)

12. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко
Автомобільні двигуни: Підручник. — К.: Арістей, 2006. — 476 с. — ISBN 966-8458-26-5

13. Кисликов В. Ф., Луцик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. — К.: Либідь, 2006. — 400 с. — ISBN 966-06-0416-5

14. ДСТУ ISO 6506 – 1 : 2007. Металеві матеріали. Визначення твердості за Брінеллем.

15. ДСТУ ISO 6508 – 1 : 2013. Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом.

16. Інженерне матеріалознавство: підручник для студентів ВНЗів / О.М. Дубовий, Ю.О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедєва, С.М. Самохін В.О. Нац. ун-т кораблебудув. ім. адмірала Макарова. - Миколаїв: НУК, 2009. - 444с.

17. Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями - підручник для студентів вищих навчальних закладів / В.З. Куцова, , М.А. Ковзель , О.А. Носко. - Дніпропетровськ: НМетАУ - 2008 . 349 с.

18. Матеріалознавство: підруч. для студентів ВНЗ / Т. М. Мещерякова, Р. А. Яцюк, О. А. Кузін, М. О. Кузін ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка», Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — Дрогобич: Коло, 2015. — 400 с. : іл. — Бібліогр.: с. 395—397 (40 назв). — [ISBN 978-617-642-102-3](#)

19. Ahn, D.-G. (2013) Hardfacing technologies for improvement of wear characteristics of hot working tools: A Review. International J. of Precision Engineering and Manufacturing, 14 (7), 1271–1283. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12541-013-0174-z>

30. Відновлення деталей машин та конструкцій: Конспект лекцій. / Укладач І.В. Смірнов. - К.: НТУУ«КПІ», 2012. – 147 с.

31. Електронна бібліотека університету. Доступ до ресурсу: http://lib.khnu.km.ua/asp/php_f/page_lib.php.

32. Репозитарій ХНУ. Доступ до ресурсу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/?locale=uk>.

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					МРТАМ 2318039.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70