

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему Оптимізація параметрів процесу термічної
обробки для болтів зі сталі 30

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ІФз 219

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ А.О

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник

ФАСОЛЬ Є.О

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно – фізичний
Кафедра Фізичне матеріалознавство
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«_____» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)
ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Оптимізація параметрів процесу термічної обробки для болтів зі сталі 30

керівник проєкту (роботи) ст.викладач Фасоль Єлизавета Олександрівна

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «18» квітня 2023 року № 122

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12.06.2023

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) ескіз болта кріпильного М30, вимоги до матеріалу, хімічний склад сталі 30.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) характеристика та умови експлуатації виробу. вимоги до матеріалу, номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення, характеристика матеріалів виробів, розробка режимів та технології термічної обробки, технічний контроль попередження та виявлення дефектів, технічний контроль попередження та виявлення дефектів, спеціальна частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Ескіз деталі та характеристики сталі 30, механічні властивості сталі 30, графік термічного оброблення болтів зі сталі 30, аналіз причин руйнування болта зі сталі 30

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ФАСОЛЬ Є.О, ст.викладач		
2	ФАСОЛЬ Є.О, ст.викладач		
3	ФАСОЛЬ Є.О, ст.викладач		
4	ФАСОЛЬ Є.О, ст.викладач		
5	ФАСОЛЬ Є.О, ст.викладач		
6	ФАСОЛЬ Є.О, ст.викладач		
7	ФАСОЛЬ Є.О, ст.викладач		
	ТКАЧ Д.В, доцент, к.т.н		

7. Дата видачі завдання «15» квітня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробу. Вимоги до матеріалу	19.04.2023	
2	Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення	26.04.2023	
3	Характеристика матеріалів виробів	15.05.2023	
4	Розробка режимів та технології термічної обробки	25.05.2023	
5	Технічний контроль попередження та виявлення дефектів	30.05.2023	
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	01.06.2023	
7	Аналіз причин руйнування болтів зі сталі 30	05.06.2023	

Студент(ка)

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи: 49с., 10 табл., 8 рис., 4 дод., 16 джерел.

БОЛТИ КРІПЛЕННЯ, УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, 30ХГСА, КОНТРОЛЬ, МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ЗАХИСНА АТМОСФЕРА, ЗНЕВУГЛЕЦЮВАННЯ

Об'єкт розробки – болти кріплення зі сталі 30

Метою дипломної роботи є розробка оптимального процесу термічної обробки болтів зі сталі 30 враховуючи умови експлуатації.

Необхідні властивості болтів зі сталі 30 забезпечується раціональним підбором режиму термічної обробки. Попередньо розроблена маршрутна технологія виготовлення деталі, яка включає попередню, основну та додаткову обробку, які виконуються з урахуванням вимог до механічних властивостей та структури сталі 30.

Застосування післяопераційного контролю властивостей та мікроструктури на різних етапах термічної обробки дозволяє виявити можливі дефекти та забезпечити високу якість виготовлених болтів.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки	6
Вступ.....	7
1 Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	9
2 Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення.....	12
3 Характеристика обраного матеріалу	15
4 Розробка режимів та технології термічної обробки	21
5 Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів	31
6 Техніка безпеки при термічній обробці металевих сплавів.....	35
7 Аналіз причин руйнування болтів зі сталі 30.....	38
Висновки	44
Перелік джерел посилань	45
Додаток А Ескіз деталі та характеристики сталі 30.....	47
Додаток Б Механічні властивості сталі 30.....	48
Додаток В Графік термічного оброблення болтів зі сталі 30.....	49
Додаток Г Аналіз причин руйнування болта зі сталі 30.....	50

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

HRC – твердість за Роквелом;

HB – твердість за Брінелем;

σ_T – границя плинності;

σ_B – границя міцності;

δ_5 – відносне видовження;

ψ – відносне звуження;

A_3, A_4 – температури поліморфного перетворення заліза;

л.е. – легувальні елементи;

ТО – термічна обробка;

$A_{\text{зал.}}$ – Аустеніт залишковий;

М – мартенсит.

ВСТУП

В умовах сьогодення, де високоякісні та надійні металеві вироби використовуються у різних сферах, збільшується попит на оптимізовані процеси виробництва для досягнення високої якості та ефективності. Одним з ключових елементів виробництва металевих виробів є процес термічної обробки, який дозволяє досягти необхідних механічних властивостей та забезпечити оптимальну структуру матеріалу.

У дипломному проєкті зосереджено увагу на оптимізації параметрів процесу термічної обробки для болтів, виготовлених зі сталі 30. Сталь 30 є широко застосовуваним матеріалом у виробництві болтових з'єднань, оскільки вона поєднує в собі високі характеристики міцності та зносостійкості.

Оптимізація параметрів термічної обробки має на меті забезпечення оптимальної комбінації механічних властивостей, таких як міцність, твердість та пластичність, для досягнення високої якості та довговічності болтових з'єднань. Однак, цей процес є складним, оскільки вимагає уваги до різних факторів, таких як температура нагрівання, час витримки та швидкість охолодження.

Метою цього дипломного проєкту є дослідження та оптимізація параметрів процесу термічної обробки для болтів зі сталі 30 з метою досягнення оптимальних механічних властивостей та забезпечення надійності виробів. Для досягнення цієї мети будуть використовуватися різноманітні дослідні методи, такі як експериментальні випробування, металографічний аналіз та математичне моделювання.

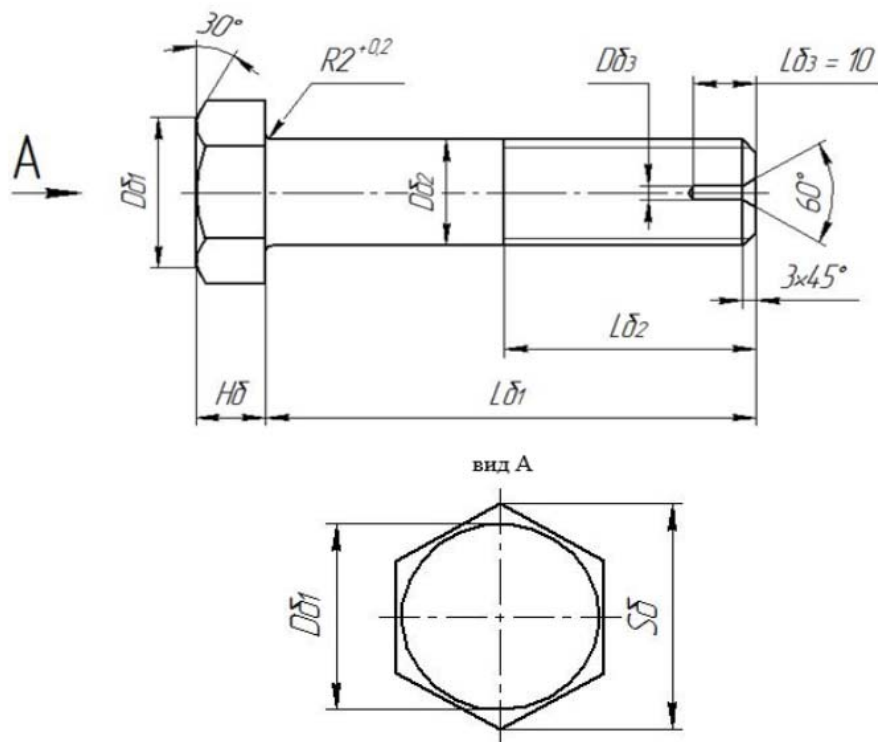
Очікується, що результати не тільки розширять наші знання про вплив параметрів термічної обробки на властивості сталі 30, але й запропонують

практичні рекомендації щодо оптимальних умов виготовлення болтів з використанням цього матеріалу.

Застосування оптимізованих параметрів термічної обробки для виробництва болтів зі сталі 30 може призвести до поліпшення якості продукції, зниження витрат та забезпечення надійності з'єднань у різних галузях промисловості.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

Болт кріплення – це елемент з'єднання, який використовується для кріплення двох або більше деталей разом. Він складається з циліндричного стержня з зовнішнім різьбленням та головкою з шестигранним отвором або зірочкою для зручності затягування [1]. Ескіз болта наведено на рисунку 1.1.



$D_{\delta 1}$ – діаметр головки болта; $D_{\delta 2}$ – діаметр стрижня болта; $L_{\delta 1}$ – довжина стрижня болта; $L_{\delta 2}$ – довжина різбової частини болта; H_{δ} – висота головки болта; S_6 – болт спеціальний;

Рисунок 1.1 – Ескіз болта кріплення М30

Болти кріплення використовуються в різних галузях, включаючи будівництво, машинобудування, автомобільну промисловість, а також у

побутових сферах. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як конструкційна сталь, алюміній, титан або нержавіюча сталь, залежно від призначення та умов експлуатації [2].

Для з'єднання з болтом кріплення використовуються спеціальні гайки. В залежності від вимог до міцності та навантаження, яке необхідно витримати, болти можуть бути звичайними, з підвищеною міцністю, з повним різьбленням або частковим.

Болти кріплення є важливим елементом будь-якої конструкції або машини, і їх правильне використання та обслуговування допоможуть забезпечити безпечну та ефективну експлуатацію.

Умови експлуатації болта кріплення залежать від декількох факторів, таких як матеріал, з якого виготовлений болт, його розміри та максимальне навантаження, яке він може витримати [3].

Для ефективної експлуатації болта кріплення необхідно враховувати наступні умови:

- монтаж. Болт має бути правильно змонтований та затягнутий згідно зі специфікаціями виробника, щоб уникнути пошкоджень болта або матеріалу, до якого він кріпиться;

- матеріал. Болти кріплення мають бути виготовлені з високоякісних матеріалів, таких як сталь високої міцності, титан або нержавіюча сталь, залежно від вимог до міцності та стійкості до корозії;

- навантаження. Болти кріплення мають бути розраховані на максимальне навантаження, яке вони можуть витримати, згідно зі специфікаціями виробника. Навантаження може змінюватися в залежності від температури, вологості, часу експлуатації та інших факторів;

- обслуговування. Болти кріплення мають періодично перевірятися на затягнутість та наявність пошкоджень або зносу. У разі виявлення проблем з болтом, його слід замінити;

- умови навколишнього середовища. Болти кріплення мають бути відповідно захищені від вологи, корозії та інших агресивних середовищ, які можуть пошкодити їх[2].

Загалом, правильне обслуговування та відповідне використання допоможуть зберегти болти кріплення в ефективному стані.

Враховуючи вищенаведені умови експлуатації болта кріплення М30, до матеріалу для його виготовлення висувають ряд вимог: $\sigma_B \geq 560$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 440$ МПа, $\delta \geq 18\%$, $KCU \geq 230$ Дж/см², твердість HRC 32. Отже, для виготовлення таких деталей доцільно використовувати конструкційні поліпшувальні сталі.

2 НОМЕНКЛАТУРА ВИРОБІВ ТА МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

Технологія виготовлення виробів на машинобудівних, інструментальних та спеціальних заготівельних підприємствах є важливою складовою процесу виробництва. Вона передбачає логічну послідовність технологічних операцій, які виконуються з метою отримання високоякісних виробів з відповідними характеристиками та властивостями матеріалу.

Номенклатура – це перелік виробів, які обробляються у виробничому підрозділі. У таблиці 2.1 наведено номенклатуру деталей у відділенні, що обробляються у відділенні.

Таблиця 2.1 – Номенклатура виробів, які зазнають термічного поліпшення

№ п/п	Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Разміри виробу, мм				Вимоги до матеріалу
				B	d	l	D	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Болт кріплення	30	0.5	-	21	80	30	$\sigma_B \geq 560$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 440$ МПа, $\delta \geq 18\%$, $KCU \geq 230$ Дж/ см ² , твердість HRC 32

Маршрутна технологія являє собою рух заготовок по цехам та відділенням підприємства, в ній зазначаються виконувані операції, які

можуть повторюватися але мати різне призначення, режими та забезпечувати зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей. В розробці маршрутної технології приймають участь фахівці тих цехів, в яких відбувається обробка даного виробу. Вона може включати десятки операцій. Маршрутну технологію виготовлення болта кріплення наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Маршрутна технологія виготовлення болта кріплення

№	Назва операції	Цех(дільниця)	Призначення
1	2	3	4
1.	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, відсутності дефектів термообробленого прокату (прутків)
2.	Заготівельна	Заготівельний цех	Отримання заготовок із прокату (порізка)
3.	Механічне оброблення	Механічний цех	Надання заготовці необхідної форми та розмірів, обточення, фрезерування.
4.	Термічна обробка	Термічний цех	Отримання необхідної структури та властивостей (гартування + високотемпературний відпуск)
5.	Остаточне механічне оброблення	Механічний цех	Надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості,

			відповідно робочому кресленню
7.	Антикорозійна обробка	Спеціальна ділянка механічного цеху	Обробка деталей у антикорозійному розчині.
8.	Контроль	Механічний цех	Повний контроль виробу згідно робочого креслення

Виходячи з таблиці 2.1 проведемо пояснення операцій:

Вхідний контроль проводиться для контролю хімічного складу, розмірів, макроструктури та відсутності дефектів гарячекатаного прокату.

Заготівельна операція проводиться для того, щоб отримати заготовки необхідного розміру для болтів.

Механічне оброблення проводять на установках ЧПУ для надання деталі необхідних розмірів, виконують обточення, фрезерування шліцьових канав, проточок.

Термічна обробка полягає у проведенні гартування за температур вище A_{C1} з охолодженням у маслі, далі відпускання при температурах $550 \pm 20^\circ\text{C}$ з охолодженням у воді для надання необхідної структури.

Остаточне механічне оброблення полягає у наданні остаточних розмірів деталі, шліфуванні поверхні, поліруванні.

Антикорозійна обробка проводиться для захисту деталі від впливу агресивного середовища, а саме води, розчинів солей, яке може виникнути в процесі експлуатації верстату

Контрольна операція забезпечує повний контроль виробу у відповідності з робочим кресленням.

Отже, аналіз схеми маршрутної технології дозволяє виділити ті операції процесу, які приводять до зміни структури та властивостей. До таких відноситься термічна обробка.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАНОГО МАТЕРІАЛУ

В якості матеріалу для болтів кріплення зазначено сталь 30. Сталь конструкційна вуглецева якісна. Хімічний склад, температури критичних точок та механічні властивості наведені в таблицях 3.1 – 3.3 відповідно.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 30, % мас., ДСТУ 7806 – 2013

Марка сталі	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
30	0,27- 0,35	0,17- 0,37	0,50- 0,80	не більше				
				0,030	0,035	0,25	0,30	0,30

Таблиця 3.2 – Температури критичних точок сталі 30, °C[4]

Марка сталі	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁	M _п
30	730	820	796	680	380

Таблиця 3.3 – Механічні властивості сталі 30 після оптимального режиму термічної обробки [4]

Марка сталі	Режим термічної обробки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	KCU, Дж/см ²	HB
30	Гартування 860...880°C відпуск 550...600°C.	560	390	28	150- 230	138- 158

Не зважаючи на досить складний багатокомпонентний склад, основними елементами, що впливають на технологічні та механічні властивості, крім заліза і вуглецю, виступають кремній і марганець.

Марганець вводять у сталь для розкислювання $FeO + Mn \rightarrow MnO + Fe$, тобто. для усунення оксиду заліза. Марганець добре розчиняється у фериті

та цементиті. Забезпечує підвищення міцності і стійкості до зносу сталі 30. Він сприяє покращенню зварювальних властивостей та здатності сталі витримувати ударні навантаження. Марганець підвищує стійкість аустеніту та збільшує ступінь його переохолодження. Зменшує критичну швидкість гартування, тому сталь, що містить марганець, прогартовується значно глибше

Кремній також вводиться в сталь для розкислення. Повністю розчинний у ферит; сильно підвищує границю плинності сталі, що знижує здатність сталі до пластичної деформації. Він також сприяє покращенню оброблюваності різанням та здатності сталі зберігати свою міцність при високих температурах. Загальний характер впливу кремнію на механічні властивості поліпшувальної сталі має деякі риси подібності із впливом його на властивості фериту. Кремній сильно уповільнює процес укрупнення карбідів при відпусканні і тому збільшує стійкість сталі проти відпуску, сприяючи досягненню при однаковій температурі відпуску вищих показників міцності. Також кремній модифікує кристалічну структуру металу, підвищуючи величину ударної в'язкості.

Присутність міді та нікелю в невеликих кількостях кілька покращує пластичність і прогартованість[5].

Випадковими домішками в сталі можуть бути практично будь-які елементи, що випадково потрапили в сталь зі скрапу, природно-легованої руди або розкислювача.

Прихованими шкідливими домішками в сталі є гази (водень, азот, кисень). Шкідливі домішки сірка, фосфор і гази присутні практично у всіх сталях і залежно від типу сталі вони можуть впливати на властивості по-різному.

Сірка утворює із залізом хімічну сполуку сульфід заліза FeS . Сульфіди значно знижують ударну в'язкість та пластичність. Крім того, наявність сірки в сталі може призвести до руйнування зливка при пластичній деформації

(ковка, прокат). Це явище отримало назву червоноламкість. У системі Fe-FeS утворюється евтектика, що має низьку температуру плавлення.

Фосфор суттєво знижує пластичність та ударну в'язкість сталі, особливо при низьких температурах. Фосфор підвищує поріг холодноламкості, це погано, тому що сталь крихко руйнується за більш високих температур. Так, якщо поріг холодноламкості підвищився до 20°C і вище, сталь стає крихкою вже при кімнатній температурі[5].

Гази навіть у незначній кількості помітно погіршують властивості сталі. Кисень, азот утворюють крихкі сполуки (оксиди та нітриди), що призводить до підвищення порога холодноламкості та зниження ударної в'язкості. Присутність водню викликає утворення флокенів (тонкі тріщини овальної або округлої форми) у катаних заготовках і великих поковках, це сильно окрихчує сталь. Сталь піддається термічному поліпшенню. Поліпшення застосовується для подрібнення структури, а також для отримання найкращого поєднання міцності та в'язкості конструкційної сталі. Зміна механічних властивостей сталі марки 30 в залежності від температури відпускання показано на рисунку 3.1.

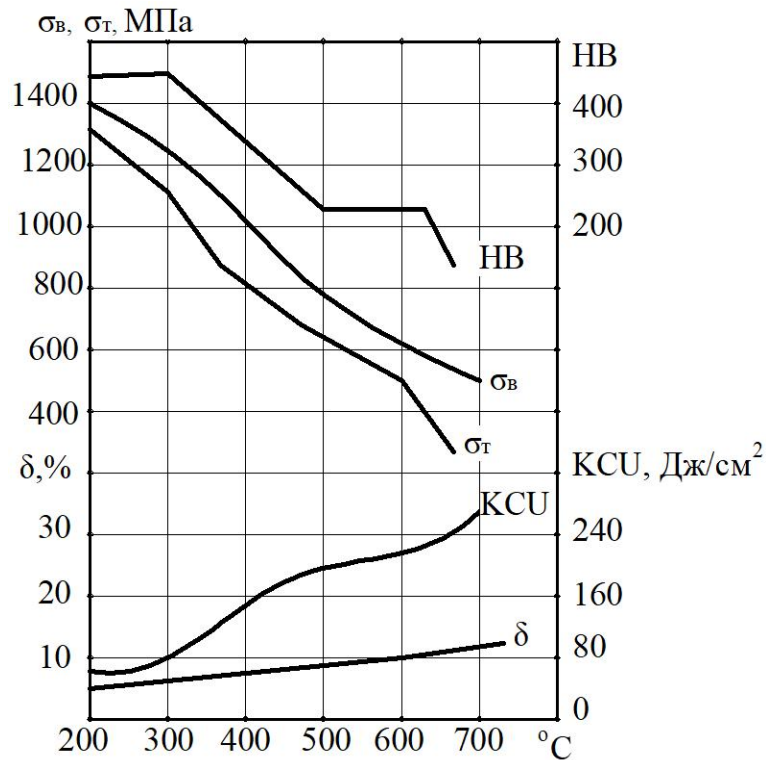


Рисунок 3.1 – Залежність механічних властивостей сталі 30 від температури відпускання[6]

При підвищенні температури відпуску до 200...300°C відбуваються зміни в структурі: залишковий аустеніт перетворюється на відпущений мартенсит. При подальшому підвищенні температури до 300...400°C в вуглецевої гартованої сталі повністю завершується процес виділення вуглецю з твердого розчину. Карбід Fe_2C перетворюється на цементит Fe_3C . В результаті відпуску при 300...400°C відбувається розпад мартенситу і утворюється структура, що складається з фериту, в якому будуть рівномірно розподілені найдрібніші кристали цементиту. Така структура називається трооститом. Твердість трооститу приблизно HRC 45...50.

При підвищенні температури відпуску до 450°C і більше відбуваються суттєві зміни як у структурі, так і у властивостях загартованої сталі, зумовлені збільшенням цементитних частинок: дрібні частки коагулюють із більшими. Такий процес називається коагуляцією цементиту. При температурі відпускання понад 450°C частки цементиту стають настільки великими, що їх легко можна розрізнити при спостереженні під мікроскопом. Таку ферито-цементитну структуру, отриману в результаті гартування та

відпускання при зазначеній температурі, називають сорбітом. Таким чином, сорбіт відрізняється від трооститу тільки тим, що частинки цементиту в ньому більші. Твердість сорбіту приблизно HRC 30...45. Із підвищенням температури відпускання до 600...650°C, то частинки цементиту збільшуються настільки, що структура на вигляд буде наближатися до звичайного перліту, який був до гартування. Перліт, отриманий після гартування та відпуску, має більш однорідну дрібнодисперсну будову[6].

Розглянемо перетворення в сталі на прикладі термодинамічної діаграми для сталі 30 (рис.4.2). На діаграмі присутні декілька областей перетворення. Це перетворення $A \rightarrow \Phi + \Pi$, $A \rightarrow B$, $A \rightarrow M$. Області мінімальної стійкості аустеніту зсунуті праворуч через розчинені в аустеніті вуглець, хром та марганець. На діаграмі присутня область гомогенного аустеніту.



Рисунок 3.2 – Діаграма термодинамічного розпаду переохолодженого аустеніту сталі 30 [7]

Розрахуємо критичну швидкість охолодження для сталі 30 (див. рис.3.2).

$$V_{кр} = (t_n - t_{мин.ст.А.})/\tau_{мин.ст.А} \quad (3.1)$$

де t_n – температура нагрівання; $t_n = 890^\circ\text{C}$;

$t_{мин.ст.А.}$ - температура мінімальної стійкості аустеніту; $t_{мин.ст.А} = 650^\circ\text{C}$;

$\tau_{мин.ст.А}$ – час до мінімальної стійкості аустеніту. $\tau_{мин.ст.А} = 10\text{с}$.

$$V_{кр} = (890^\circ\text{C} - 650^\circ\text{C}) / 10\text{с} = 24^\circ\text{C/с}$$

4 РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Технологія термічної обробки – складова частина технологічного процесу виготовлення металевого виробу, яка забезпечує отримання необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей, якості цього виробу тощо.

Вибір основних операцій термічної обробки необхідно здійснювати таким чином, щоб технологія була високопродуктивною, забезпечувала б найбільш раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів і головне – високу якість продукції[8].

У таблиці 3.3 було наведено рекомендований режим термічної обробки для болтів зі сталі 30. Він полягає у проведенні гартування від температур $870 \pm 10^\circ\text{C}$ з охолодженням у маслі, та подальше відпускання при температурі $550 \pm 10^\circ\text{C}$ з охолодженням у воді, що запобігає виникненню явища відпускнуї крихкості II-го роду [9]. Такий комплекс операцій називають поліпшення. На рис. 3.1 зазначено графік термічної обробки болтів зі сталі 30.

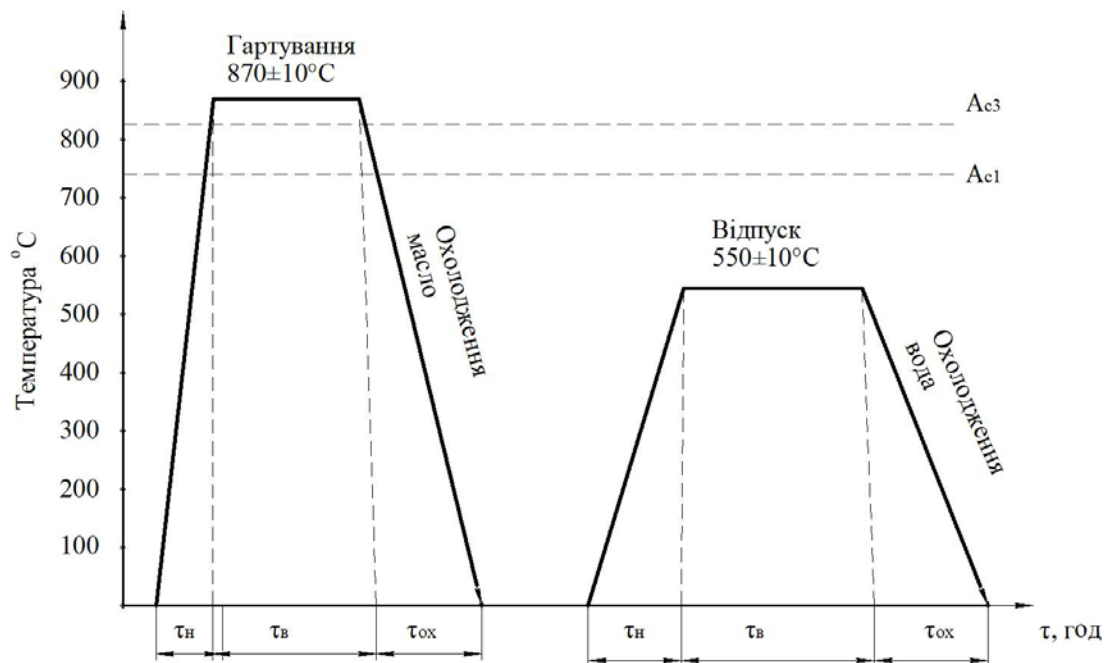


Рисунок 4.1 – Графік режиму термічної обробки болта зі сталі 30

Гартування проводять при температурі 870 ± 10 °С Перетворення, що відбуваються в сталі 30 при нагріванні вихідної рівноважної структури $\Phi + \text{Ц}$. При температурі A_{C1} сталі відбувається перетворення структури в аустеніт. Зерна аустеніту зароджуються головним чином на границях фаз фериту і цементиту. В інтервалі температур $A_{C1}-A_{C3}$ відбувається поліморфне перетворення фериту в аустеніт. Витримка при $860 \dots 880$ °С призводить до завершення фазових перетворень та вирівнювання температури за перерізом виробу[9].

Охолодження проводять у маслі, для того щоб швидкість охолодження перевищила критичну для отримання структури мартенситу. Мартенситне перетворення розвивається у сталях із високою швидкістю ($\approx 1000 \dots 7000$ м/с) в інтервалі температур $M_n \dots M_k$. Введення легувальних елементів змінює положення точок M_n і M_k . В даній сталі, введення кремнію їх підвищує. В результаті гартування сталі 30 її структура може мати крім мартенситу та деяку кількість залишкового аустеніту. Отриманий мартенсит являє собою пересичений твердий розчин вуглецю в α -залізі і має тетрагональну кристалічну ґратку. Атоми вуглецю займають переважно октоедричні пори.

Утворення в результаті гартування мартенситу призводить до великих залишкових напружень (може призводити до жолоблення тонких деталей), підвищення твердості, міцності, проте при цьому зростає схильність до крихкого руйнування, що вимагає проведення високотемпературного відпускання при температурі 550 ± 10 °С, метою якого є отримання структури сорбіт відпуску[9]. Такий відпуск проводять для отримання оптимального співвідношення між міцністю та в'язкістю. В сорбіті відпуску цементит має форму коротких пластинок з заокругленими краями або сфероїдальну форму, що забезпечує більш високу в'язкість сталі. Розглянемо послідовність процесів під час відпускання з підвищенням температури. До 80 °С дифузійна рухливість мала і розпад мартенситу відбувається повільно. Перше перетворення при відпусканні відбувається при температурах $80 \dots 250$ °С і призводить до формування структури відпущеного мартенситу[9]. Внаслідок

цього суттєво зменшуються ступінь тетрагональності мартенситу, зменшується його питомий об'єм, знижуються залишкові напруження. Друге перетворення при відпусканні розвивається в інтервалі температур 250...300°C і складається з наступних етапів: перетворення залишкового аустеніту в суміш відпущеного мартенситу; розпад відпущеного мартенситу: ступінь його пересиченості зменшується до 0,15...0,2%. Третє перетворення під час відпускання відбувається у інтервалі 350...500°C. При цьому закінчується розпад відпущеного мартенситу, що призводить до зменшення розмірів деталі. Формується ферито-карбідна суміш, зменшується густина дислокацій, суттєво знижується залишкові напруження; підвищення температури відпускання вище 400°C активізує процес зміни форми та розмірів карбідів (коагуляція: дрібні кристали розпадаються, а великі – збільшуються; сфероїдизація), що призводить до зменшення дисперсності ферито-цементитної суміші (знімається фазова наклеп) [9].

До додаткових операцій можна віднести промивання виробу від мастил; контрольні операції.

Промивання здійснюється як перед термічним обробленням, так і в процесі здійснення термічного оброблення.

Мета – видалення забруднень з поверхні виробу. Основний розчин для промивання: 5 – 8% водного розчину Na_2CO_3 , $t = 80...95\%$.

Для промивання використовують баки або машини (основне обладнання). В машинах розчин під тиском великим струменем подається на виріб, і за 10...15 хв. здійснюється його високоякісне очищення.

Допоміжне обладнання забезпечує роботу основного та додаткового обладнання (обладнання для охолодження гартівної рідини, обладнання для створення розчинів для гартування тощо). Виріб на допоміжному обладнанні не обробляється[9].

Для основної термообробки обираємо піч СНЗ-3.6.2/10: С – електрична, Н – камерна, З – захисне середовище (контрольоване), з шириною 300мм, довжиною 600мм, висотою 200мм робочого простору з максимальною

температурою нагріву до 1000°C. Робоче середовище ендогаз ($\text{CO} \sim 19\%$, $\text{H}_2 \sim 41\%$, решта N_2).

Розробимо схему садки. Садкою називають сукупність виробів, які одночасно перебувають в печі. Вироби в піч завантажуються на двох піддонах розмірами 300×300 мм.

Вироби розташовуються в садці регулярно на певній відстані один від одного, а іноді насипом.

В даний тип печей вироби завантажуються на піддонах. Габаритні розміри болта становлять: 53 мм (h) та 80 мм (l). На рис. 5.1 показано схему садки болтів в обраній печі для термообробки.

Розрахуємо, скільки виробів розташується по ширині робочого простору (по одній стороні піддону)[10].:

$$n_{\text{ш}} = \text{Ш}/b \quad (4.1)$$

де Ш – сторона піддону, 300мм;

b – ширина виробу 53 мм;

$$n_{\text{ш}} = (300-10)/(53+26,5) = 3,64 \approx 3 \text{ шт.}$$

Розрахуємо кількість виробів, що вміщуються по довжині робочого простору печі[10].:

$$n_{\text{д}} = \text{Д}/l \quad (4.2)$$

де Д- довжина робочого простору, 600мм;

l – довжина заготовки, 80 мм;

$$n_{\text{д}} = 600 - 10/(80+40) = 4,9 \approx 4 \text{ шт}$$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 3 \cdot 4 = 12 \text{ шт}$$

Визначимо кількість ярусів

$$n_{\text{яр}} = (200 - 10) / (53 + 26,5) = 2,4 \approx \text{яруси}$$

Тобто загальна кількість виробів в печі 24.

Розрахуємо масу садки:

Щоб розрахувати масу садки, треба визначити масу одного болта, який поміщують у піч:

$$m = V \cdot \rho \quad (4.3)$$

де V – об'єм заготовки,

ρ – густина сталі з якої виготовляється заготовка (сталь 30), $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$

$$m = \frac{3,14 \cdot 0,03^2}{4} \cdot 0,08 \cdot 7850 = 0,443 \text{ кг} = 443 \text{ г}$$

Проте, враховуючи конструкцію болта маса 500 г.

Розрахуємо масу садки [10].:

$$M_c = N \cdot m = 24 \cdot 0,5 = 12 \text{ кг}$$

Щоб розрахувати час, за який відбувається термічна обробка, скористаємось такими формулами. Загальна тривалість нагрівання $\tau_{\text{заг.}}$, хв., визначається за формулою [10]:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{ох}}, \quad (4.4)$$

де τ_n – час нагрівання до заданої температури, хв.;

τ_b – час витримки при технологічній температурі, хв.;

τ_{ox} – час охолодження при заданих параметрах, хв.

Для визначення часу нагрівання τ_n можна використовувати методику приблизного розрахунку. Ця методика базується на тому, що садка металу складається з простих за формою виробів (куля, циліндр, призма і т.ін.) при нескладному їх розташуванні в один або декілька шарів з забезпеченням певних відстаней між виробами і без урахування негативної дії нерухомих прошарків нагрівального середовища. Тоді тривалість нагрівання визначається за формулою [10]:

$$\tau_n = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}} \quad (4.5)$$

де S – характеристичний розмір виробу, мм;

k – коефіцієнт форми;

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

$L_{\text{л}}$ – коефіцієнт легування сталі, хв/мм.

Час витримки τ_b , хв., при заданій температурі береться з таблиць.

Гартування. Розрахуємо час нагріву до температури 870 °С., характеристичний розмір виробу, $S=15$ мм (половина діаметру), коефіцієнт форми ($k=1$), коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання $f=2.2$, коефіцієнт легування сталі $L_{\text{л}}=0,96$ [10].

$$\tau_n = 15 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 0,96 = 38,68 \text{ хв}$$

Час витримки при температурі 870 °С визначається як:

$$\tau_{b1} = 1,5 \text{ хв на 1 мм товщини} = 22,5 \text{ хв}$$

Час охолодження від температури витримки до кімнатної температури:

$$\tau_{ox} = (t_{п.} - t_{к.}) / V_{ox}$$

де $t_{п.}$ – температура початку охолодження, °C. $t_{п.} = 870$ °C,

$t_{к.}$ – температура кінця охолодження, °C. $t_{к.} = 20$ °C,

V_{ox} – швидкість охолодження в маслі, °C/год. $V_{ox} = 50$ °C/с.

$$\tau_{ox} = (t_{п.} - t_{к.}) / V_{ox} = (870 - 20) / 50 = 17 \text{ с} = 0,28 \text{ хв}$$

Однак, з урахуванням того, що за 0,28 хвилин охолodиться лише поверхня виробу, треба збільшити час охолодження до 5 хвилин.

Загальний час гартування становить:

$$\tau_{заг} = \tau_{н.} + \tau_{в.} + \tau_{ox} = 38,68 + 22,5 + 5 = 66,18 \text{ хв}$$

При високотемпературному відпусканні - характеристичний розмір виробу $S = 15$ мм (половина діаметру), коефіцієнт форми $k = 1$, коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання $f = 2,2$, коефіцієнт легування сталі, хв/мм, $L_{л} = 0,96$ [10]

$$\tau_{н.} = 15 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 0,96 = 31,68 \text{ хв}$$

Час витримки приймається 1,5 хв на 1мм товщини + 10хв та становить 32,5 хв.

$$\tau_{ox.} = (550 - 20) / 200 = 2,65 \text{ с} = 0,044 \text{ хв}$$

Проте за 0,044 хвилин охолodиться лише поверхня виробу, треба збільшити час охолодження до 5 хвилин

Загальний час відпуску становить:

$$\tau_{\text{заг.}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{ох}} = 31,68 + 32,5 + 5 = 69,18 \text{ хв}$$

Раціональне використання контрольних операцій дозволяє попередити появу браку і надає можливість оцінити якість продукції, що обробляється.

Контрольні операції на різних етапах виробництва дозволяють виявити дефекти або неправильності ще до завершення всього процесу. Це дозволяє вчасно втрутитися і виправити проблему, запобігаючи виникненню бракованих виробів.

При виконанні гартування контролюють всі основні технологічні параметри процесу: тривалість та температуру нагрівання, температуру масла для гартування, температуру охолоджуючих середовищ.

Передбачається три види контролю:

- вхідний, при цьому визначається марка сплаву, хімічний склад (за допомогою стилоскопів), стан поверхні, форма і розміри;
- поточний (поопераційний), здійснюється після виконання основних та додаткових операцій;
- вихідний (завершальний), на цьому етапі перевіряються параметри виробів, які передбачені робочим кресленням;

Аналіз результатів контрольних операцій дозволяє виявити причини виникнення дефектів або проблем і вжити заходи для їх попередження у майбутньому. Це сприяє постійному вдосконаленню процесу виробництва і підвищенню якості продукції.

Під час виконання термічної обробки необхідно дотримуватись маршрутної технології, яка оформлюється у вигляді технологічної карти. Карта технологічного процесу термічної обробки представлена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Карта технологічного процесу термічної обробки болта М30 зі сталі 30

Ескіз виробу			Технічні вимоги до матеріалу			
Див. рис 1.1			Матеріал	Властивості		Структура
			Сталь 30	$\sigma_B \geq 560$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 440$ МПа, $\delta \geq 18\%$, КСЧ ≥ 230 Дж/см ² , HRC 32		Структура Сорбіт відпуску
№ п/п	Операція	Обладнання (прилади)	Умови нагрівання	Умови охолодження	Кіл-ть виробів	Умови оброблення та контролю
1	2	3	4	5	6	7
1	Контроль вхідний	Стилоскоп, вимірювальні інструменти				3% від партії. 100% - стан поверхні та розмірів
2	Гартування	СНЗ – 3.6.2/10	$t_{\text{п}} = 20$ °С $t_{\text{к}} = 870 \pm 10$ °С $\tau_{\text{н}} = 38,68$ хв ендогаз		2 Піддо-ни садка, n=24шт	Контролюється температуратривалість нагрівання, садка
2.1	Нагрівання					
2.2	Витримка	СНЗ- 3.6.2/10	$t_{\text{в}} = 870 \pm 10$ °С $\tau_{\text{в}} = 22,5$ хв ендогаз		Піддо-ни садка, n=24шт	Контролюється температура та тривалість витримки, садка
2.3	Охолодження	Гартівний бак ЗБК-400		$t_{\text{п}} = 870$ °С $t_{\text{к}} = 20$ °С, масло $\tau_{\text{ох}} = 5$ хв.	Піддо-ни садка, n=24шт	Контролюється температура та тривалість охолодження
3.	Промивання	Мийний бак				Використання лужного розчину
4.	Контроль поточний (твердість, мікрострукт	ТК, металографічний мікроскоп				Контроль твердості та номера зерна

	у-ра: Свід.	МІМ-7				
--	-------------	-------	--	--	--	--

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
5.	Високий відпуск:					
5.1	Нагрівання	CH3 – 3.6.2/10	$t_{\text{п}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}} = 550 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{н}} = 38,68\text{ хв}$		2 Піддо-ни садка, n=24 шт	Контролюється температура та тривалість нагрівання, садка
5.2	Витримка	CH3 – 3.6.2/10	$t_{\text{в}} = 550 \pm 10^{\circ}$ $\tau_{\text{в}} = 32,5\text{ хв}$		Піддо-ни садка, n=24 шт	Контролюється температура та тривалість витримки, садка
5.3	Охолодження	Гартівний бак		$t_{\text{п}} = 550^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}} = 20^{\circ}\text{C}$, вода $\tau_{\text{ох}} = 5\text{ хв.}$	Піддон и садка, n=24 шт	Контролюється температура та тривалість охолодження
6.	Контроль вихідний	Металографічний мікроскоп МІМ-7, УВМ-10 .				$\sigma_{\text{в}} \geq 560\text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} \geq 440\text{ МПа}$, $\delta \geq 18\%$, KCU $\geq 230\text{ Дж/см}^2$, HRC 32

При суворому дотриманні всіх технологічних параметрів і при правильному проведенні процесу термічної обробки отримують якісні вироби, що відповідають заданим вимогам

5 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ

Висока якість продукції забезпечується правильно проведеним вхідним, міжопераційним та завершальним контролем.

Вхідний контроль охоплює перевірку матеріалів, що використовуються для виготовлення виробу та хімікатів, що призначені для його термічної обробки. Ретельне виконання вхідного контролю робить неможливим появу неякісної продукції на виробництві. Вхідним контролем визначається хімічний склад матеріалу виробів і його відповідність робочому кресленню, а також відсутність внутрішніх та зовнішніх дефектів форми та розмірів.

Міжопераційний контроль технологічних процесів термічної обробки полягає в: перевірці готовності термічного обладнання і оснащення до виконання технології термічної обробки; вимірювання, регулювання і запис робочих температур автоматичними терморегуляторами у печах з заданою точністю; точне виконання витримок при виконанні операції нагріву й охолодження виробу; періодичне контролювання хімічного складу контрольованих атмосфер; попередній контроль окремих параметрів виробу.

Поточний: контролюються усі параметри операцій температура, час, схема садки та витрати, тиск, середовище при охолодженні його температура, структура та властивості виробів після виконання операцій.

Вихідний: є обов'язковою операцією, тому що після термічної обробки здійснюється механічне оброблення. Це означає, що вироби повинні передаватись із необхідними структурами та властивостями.

Основними видами контролю якості виробу після термічної обробки є: 1) візуальний контроль для виявлення тріщин, оплавлення, короблення та інших поверхневих дефектів; 2) визначення твердості виробу; 3) контроль мікроструктури на якість відпуску в кількості 2-3% від садки; 4) перевірка

деформації виробу. В таблиці 5.1. представлені основні види дефектів болта М30, що можуть виникнути в результаті термічної обробки.

Таблиця 5.1 – Дефекти, їх види, причини появи, заходи по запобіганню та усуненню

№	Вид дефекту	Причина появи	Заходи по запобіганню	Заходи по усуненню
1	2	3	4	5
Гартування				
1.	Тріщина	1.1.Неметалеві включення та інші концентратори напружень; 1.2.Завищена швидкість охолодження при гартуванні; 1.3.Завищена швидкість нагрівання; 1.4.Завищена температура гартування	1.1.Ретельно перевіряти матеріали виробів на наявність грубих неметалевих включень; 1.2.Використання оптимального гартівного середовища; 1.3.Схдинкове нагрівання із регламентованою швидкістю; 1.4.Дотримання оптимальної температури гартування, схдинкове охолодження	Дефект не виправний.
2.	Занижена твердість	1.Занижена температура гарту; 2.Занижений час витримки при раціональних температурах;	1.,2. Термічна обробка із дотриманням раціональної температури та часу;	1.,2. Відпал та гарт за раціональним режимом.

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
		3.Знеуглецювання 4. Охолодження зі швидкістю менше критичної.	3.Проведення гартування в розплаві солей; захисному середовищі; вакуумі; 4.Охолодження у відповідному середовищі зі швидкістю вище критичної;	3.Дефект невивправний 4.Повторне гартування в раціональному середовищі.
3.	Крупне зерно	1.Перегрів (завищена температура гартування та час гартування).	1.Дотримання заданих температур і часу;	1.Відпал або високотемпературний відпуск і повторний гарт.
4.	Короблення	1.Нераціональне розташування виробів в садці. 2.Охолодження із підвищеною швидкістю;	1.дотримання схеми садки при її формуванні. 2. Гартування у відповідному середовищі.	У випадку деталі болт дефект невивправний
Відпускання				
1.	Понижена твердість	1.Невідповідні температури та тривалість відпуску.	1. Дотримання технології.	1.Повторні гартування та високотемпературний відпуск.
2.	Твердість завищена	1. Недотримання відповідної температури та тривалості;	1.Виконання у відповідності із технологічним процесом	1.Повторне відпускання при більш високій температурі.

Кінець таблиці 5.1

1	2	3	4	5
3.	Відпускна крихкість II-го роду	1.Уповільнене охолодження	1.Використання прискореного охолодження.	Повторний відпуск

Кінцевий контроль термічного оброблення виробу.

Якість виробів повинна бути забезпечена суворим дотриманням і контролем (переважно автоматизованим) всіх технологічних параметрів при гартуванні та відпусканні (операційний контроль).

Остаточний контроль якості болтів повинен передбачати вибіркову або суцільну перевірку всіх параметрів, передбачених кресленнями виробу й технічних умов на термічну обробку, включаючи візуальну перевірку зовнішніх дефектів і якості очищення поверхні інструментів, визначення деформації (биття або кривизни). Крім того, перевіряють твердість, а також відсутність тріщин. Вибірково (2...3% деталей від партії) перевіряють мікроструктуру після відпуску[11].

6 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ

При виконанні операцій термічної обробки болтів зі сталі 30, а саме гартування при 870°C та високотемпературного відпускання при 550°C, необхідно дотримуватися чітких інструкцій, оскільки можливе виникнення небезпечних ситуацій, які можуть загрожувати здоров'ю працівників. Розглянемо основні з них.

Небезпеки, які пов'язані з порушенням роботодавцем вимог щодо створення безпечних і нешкідливих умов праці шляхом належного облаштування робочих місць і виробничих, санітарно-побутових та інших приміщень на підприємстві, безпечного використання працівниками засобів праці, забезпечення навчання працівників і залучення їх до вирішення питань охорони праці.

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

- усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Положення про порядок проведення навчання" затверджено наказом держнагляду охорони праці»;

- вимоги щодо облаштування робочих зон передбачають справний робочий стан устаткування і захисних пристроїв, сприяння безпечних умов для усунення виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників, можливість регулярного контролю і перевірок здатності функціонування захисних засобів і пристроїв, призначених для запобігання небезпеці або їх усунення [12].

Шляхи пересування в робочій зоні включаючи сходи, стаціонарні переходи, аварійні виходи повинні бути позначенні відповідними знаками, мати дороговкази, бути розташовані і мати такі розміри, щоб прохід або

проїзд був легким і безпечним. Наприклад: підлоги приміщень не повинні мати нерівностей, отворів або небезпечних ухилів, двері аварійних виходів повинні відкриватись назовні і замикатись, так щоб у випадку необхідності будь-яка особа могла легко і швидко їх відкрити без застосування додаткових засобів, захаращеність робочих зон, шляхів пересування, аварійних виходів категорично забороняється [12].

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.

Виробниче приміщення повинно мати достатню площу і висоту для раціонального планування відповідно до СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

Недостатня підготовка робітників може бути обумовлена недостатніми знаннями за фахом, відсутність знань технології і експлуатаційній документації, що може призвести до аварійних ситуацій.

Особи, молодші за 18 років, не допускаються до роботи з джерелами іонізуючого випромінювання. Контроль за опроміненням персоналу регламентується відповідним розділом Основних санітарних правил України.

Можливість ураження електричним струмом у наслідок несправності електрообладнання, яке використовується під час виконання дослідницьких робіт або виробництва, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електротравм різного ступеню або навіть до летального наслідку.

Для уникнення ураження електричним струмом згідно ПУЕ - 2017 "Правила улаштування електроустановок":

- всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки та у відповідності з НПАОП.0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» отримати 2-3 групу з електробезпеки. Періодично один раз на рік необхідно перевіряти опір заземлення, який не повинен перевищувати 4 Ом. Якість заземлення перевіряється щорічно з оформленням акту відповідно нормативних вимог.

- періодично, не рідше ніж два рази на рік, передбачається перевіряти справність контактів електроз'єднань, штепсельних вилок з'єднувальних провідників. В тому випадку, якщо при дотику до не струмопровідних частин електроприводу відчувається електричний струм, передбачається вимикання приладу від електромережі. Ремонт електричного обладнання проводять особи, котрі мають кваліфікаційну групу (не менше III групи) з електробезпеки;

- усі ремонтні роботи на мікроскопі проводять тільки після повного відключення від електричної мережі. При зміні катоду після розкриття електронної гармати перед тим, як доторкнутися рукою до фокусуючого електроду, треба зняти заряд з катодного вутла шляхом його заземлення;

- усі ремонтно-монтажні роботи або огляд високовольтних частин мікроскопу проводити не менш, ніж двома особами.

Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачено використовувати подвійну ізоляцію провідників [12].

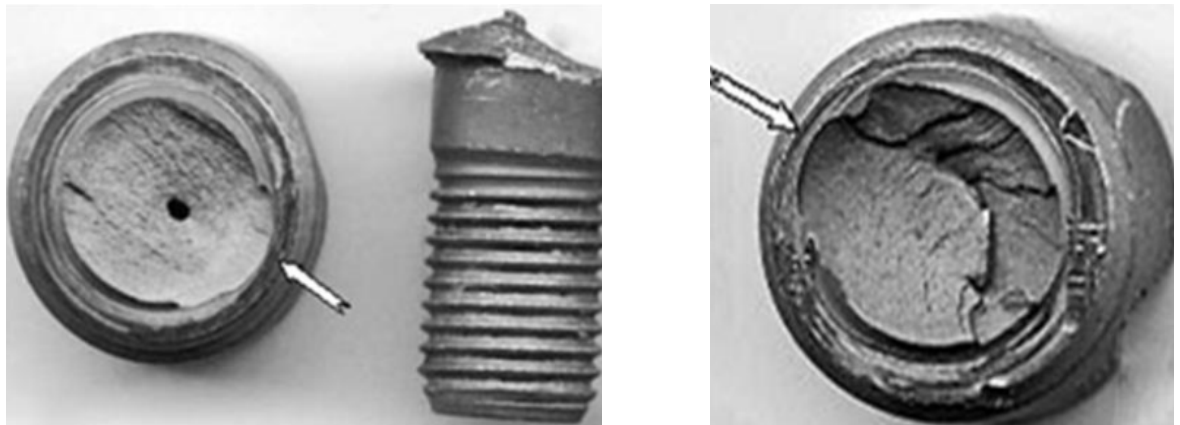
7 АНАЛІЗ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ БОЛТІВ ЗІ СТАЛІ 30

Металеві кріпильні вироби входять до складу практично всіх складних механізмів або конструкцій. Надійність кріпильних з'єднань під час експлуатації залежить як від якості матеріалів, з яких вони виготовлені, так і від якості їх установки, відповідності обраного типу кріплення діючим навантаженням. Руйнування невеликої деталі в у випадку застосування в авіаційній техніці може призвести до серйозних наслідків. У процесі експлуатації у складі готових машин, обладнання, вузлів і металоконструкцій на кріпильні деталі діють зовнішні сили, які можуть стискати, розтягувати, а також деформувати форму самих виробів. Зовнішні навантаження можуть відбуватися поступово або вприскореному режимі[1, 13].

Аналіз причин передчасного виходу з ладу кріплення показує, що руйнування можуть бути викликані розвитком статичного або втомного руйнування, а також формуванням і зростанням корозійних ушкоджень. Одним із найпоширеніших типів руйнування болтів є перевантаження. Всі болти мають максимальне навантаження, яке вони можуть витримати до того, як почнуть ламатися. Втомне руйнування є наслідком циклових змінних навантажень. Характерна риса втомної поломки – майже повна відсутність деформації до зони руйнування. На початку тріщини зазвичай настільки дрібні, що їх важко виявити. Після досягнення тріщини мікроскопічних розмірів спостерігається їх інтенсивне зростання, що призводить до повного руйнування, різьбового з'єднання за малий проміжок часу. Корозія металів також може бути небезпечною. Поверхневі та точкові корозії впливають на різьблення внаслідок контакту з вологою або іншими елементами, що кородують. Оскільки болти часто несуть у собі високі навантаження, корозійне розтріскування одна із форм відмови, що призводить до руйнування.

Не менш важливим фактором працездатності кріпильного засобу є структурна стабільність матеріалів елементів конструкції в процесі всього терміну експлуатації. Термічна обробка призначена для забезпечення їх структурної стабільності у високоміцному стані. Графік термічної обробки наведено на рисунку 4.1, структура після гартування та відпуску сорбіт [13].

Руйнування болтів М30 зі сталі 30 (табл. 3.1), виявлено в процесі експлуатації. Після виявлення повністю відокремленої головки болта виконано огляд усіх фланців установки, у результаті якого виявлено дефектні болти з тріщинами, частина з яких зруйнувалася під час демонтажу (рис.7.1).



а)

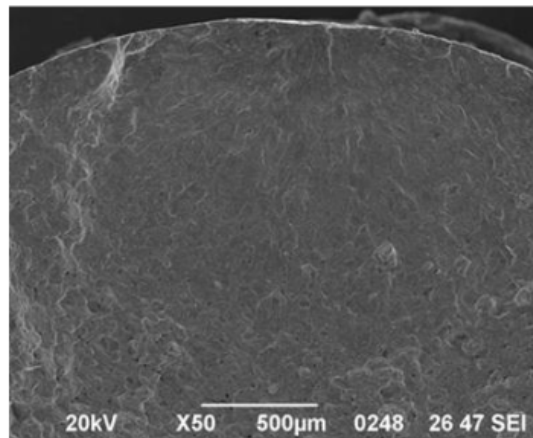
б)

а – зруйнований під час демонтажу; б – вигляд тріщини;

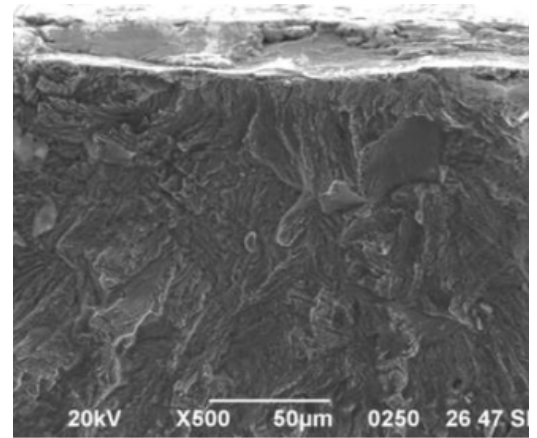
Рисунок 7.1 – Зовнішній вигляд зруйнованих болтів [14]

Особливістю руйнування болтів (рис. 7.1, а) є траєкторія руху тріщини, орієнтована в тіло головки болта з виходом тріщини в порожнину шестигранника (під торцевий ключ) та виходом на опорну площину головки болта (позначено білою стрілкою). Виявлена особливість розвитку тріщин свідчить про збільшення поверхні руйнування дефектних болтів (рис. 7.2, б). Збільшення поверхні руйнування болтів супроводжується підвищенням енергоємності процесу руйнування, що, ймовірно, компенсується

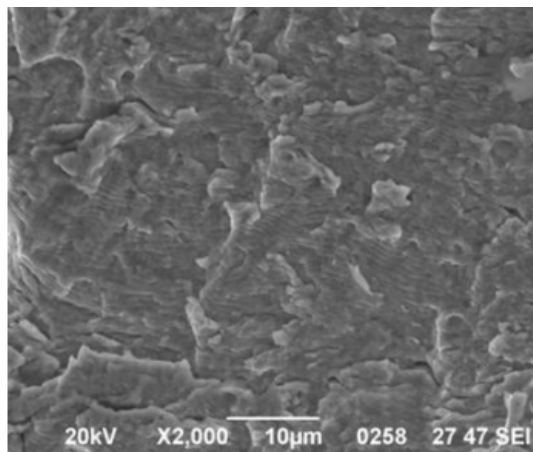
релаксацією пружних напружень безпосередньо в головці болта. Особливість руйнування болтів характеризується переважно фасетковим станом рельєфу зламу. Рельєф зламу наведено на рисунку 7.2.



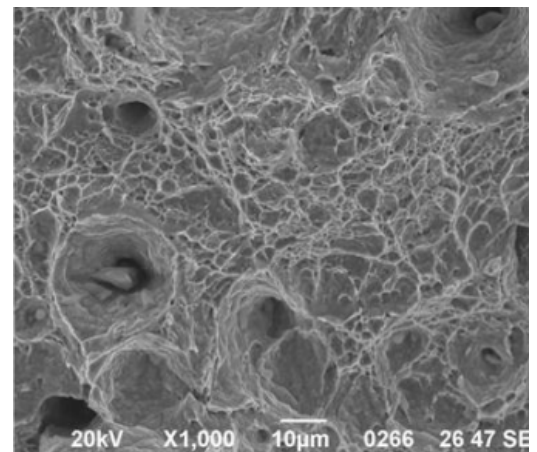
а)



б)



в)



г)

а – осередкова зона; б – крихкі фасетки біля осередку; в – втомні борозенки; г – в'язкі ямки завершення руйнування;

Рисунок 7.2 – Характерний вид злому сталі 30 [14]

У осередковій зоні формувалася віялоподібний рельєф, при цьому спостерігали поодинокі безрельєфні ділянки. У міру видалення від осередку руйнування відзначено формування втомних плато, борозенок та вторинного розтріскування за ними. У ході руйнування при випробуванні у

центральної частини зламів утворилися макролінії зупинки зростання тріщини. У доломі руйнування розвивалося із утворенням ямкового рельєфу.

Осередок початку руйнування знаходиться в місці переходу поверхні стрижня болта в опорну поверхню головки болта. Тут діють дотичні напруження зрізу, спрямовані паралельно осі болта в тіло головки, та дотичні напруження кручення, спрямовані тангенціально до поверхні стрижня, що утворилися при загвинчуванні болта. Поперечний перетин болта навантажено напруженнями розтягу. Поверхня тріщини зародка є продовженням поверхні стрижня болта вглиб тіла головки на 1,5 – 2,0 мм, на ділянці шириною 4– 5 мм, по дузі кола. Вона виникла під дією дотичних напружень зрізу та кручення у місці сильного концентратора. Потім поверхня тріщини змінила свій напрямок, з паралельною на перпендикулярну осі болта, і під дію напружень розтягу, поширилася в різні сторони від вогнища зародження тріщини по поперечному перерізу.

Для технічної міцності виробів потрібне розташування волокна прокатки паралельно контуру деталі (рисунок 7.3).

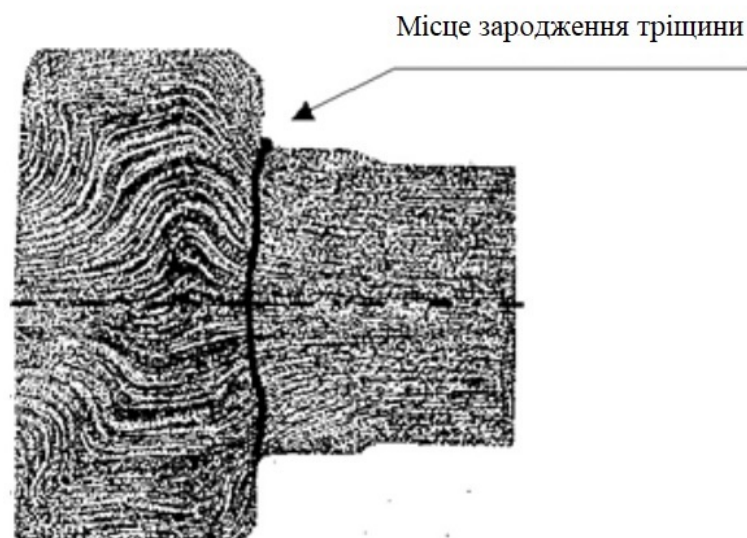


Рисунок 7.3 – Схема розташування волокон болта [15]

Як видно із рисунку 7.3 по різні боки від осі болта представлений різний характер розташування волокон, що утворилися при гарячій посадці

головки болта. У нижній половині рисунка видно, щопоблизу опорної поверхні волокна спрямовані паралельно осі болта і збігаються з напрямком дії напружень зрізу в головці, а в верхній половині опорної частини головки перпендикулярно осі та дії напружень зрізу. Тому зародкова тріщина утворилася не по всій окружності поверхні стрижня, а тільки на тій частині дуги, де дотичні напруження зрізу збіглися з напрямком волокон.

Характер розташування волокон є наслідком нерівномірної течії металу при наборі головки через косий зріз торця на заготовки. Проте завихрення волокон немає і дефекти відсутні.

У процесах термообробки болтів виникають дефекти у вигляді нерівномірного розподілу твердості на різних ділянках поверхні загартованого металу. Відповідно до технічних вимог для болтів зі сталі 30 їх твердість після гартування та наступного відпустку повинна укладатися в межах HRC 30...34., проте в даному випадку твердість коливалася в межах HRC 25...40.

Аналіз реальних режимів термообробки, що проводиться у виробничих умовах термічного цеху, показав, що:

- нагрівання деталей, що здійснюється в електропечі опору, забезпечує досить рівномірний прогрів усієї завантаженої садки болтів, покладених на листовий піддон з отворами температура нагрівання відповідала заданому режиму;

- час перенесення нагрітих деталей разом з піддоном з печі в гартівний бак становить $20 \div 25$ секунд, і відповідає технологічній карті;

- розташування болтів у піддоні допускало їх взаємне торкання та торкання (контакт) з листовим піддоном з отворами, що зумовлювало можливе нерівномірне охолодження по довжині тіла болта;

- рівномірність прогріву в печі, що оцінюється середньою твердістю по довжині болтів, виявилось задовільною у всіх болтів, взятих у трьох зонах печі: біля задньої стінки; у середній садки; біля дверей.

Дефекти «плямистості», тобто нерівномірності розподілу твердості утворюються внаслідок наступних можливих причин:

- несприятлива структура, що формується в процесі попередньої термообробки перед гартуванням;
- нерівномірне охолодження в процесі загартування в окремих локальних місцях, що спричиняє у них неповне гартування.

Для усунення дефекту, що виникає при термообробці, можна рекомендувати наступні заходи:

- для виправлення структури та підвищення механічних властивостей внести зміни до режиму попередньої термічної обробки, призначивши замість повного відпалу нормалізацію. Нормалізація більш економічна і найпростіша операція термообробки, ніж відпал, так як витрачається менше часу на охолодження;

- внести зміни в конструкцію піддону для забезпечення більш рівномірного охолодження болтів та виключення контактів зіткнення їх при гартуванні [16].

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломної роботи було розглянуто наступні питання:

- умови експлуатації болтів М30, діючі напруження, середовище, температура тощо, на основі чого висунуто вимоги до матеріалу;
- зазначено номенклатуру виготовлення виробу, складено маршрутну технологію, яка включає в себе поетапний план виробництва, контролю та термічного оброблення болта кріпильного М30;
- зазначено хімічний склад сталі 30, механічні властивості для оптимального режиму термічної обробки, проаналізовано вплив хімічного складу на властивості та якість сталі, розглянуто вплив температури відпускання на механічні властивості;
- обрано обладнання для проведення основних та допоміжних операцій термічної обробки, розраховано кількість виробів у садці та її загальну масу, розраховано час проведення кожного етапу термічної обробки, складено технологічну карту;
- проаналізовано причини виникнення дефекту, контрольні операції та способи усунення;
- проаналізовані причини руйнування болтів, загальний вигляд руйнування вивчені топографії зламів та схема розташування волокон болта, висунуто рекомендації щодо уникнення утворення та розвитку тріщин та подовження терміну експлуатації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Романюк В. В. Вузлова жорсткість болтових з'єднань елементів металевих конструкцій/ В. В.Романюк, В. В Супрунюк//Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2018. – №. 36. – С. 172-179.
2. Романюк В. В.Вплив фактичної жорсткості болтових шарнірних з'єднань на несучу здатність елементів/В. ВРоманюк,Супрунюк, В. В., Т. Я Місюк //Редакційна колегія –2022.– С. 85.
3. Невдаха А. Ю.До розрахунку міцності різьбових з'єднань / В. О. Дубовик, А. Ю.Невдаха// Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2016. – №. 46. – С. 87-91.
4. Davis J. R. ASM SpecialityHandbookStainlessSteels (AsmSpecialtyHandbook) /J. R. Davis // ASM International – 1995. – 600 p.
5. Budinski K. G. Properties and Selection.Engineering Materials. Englewood Cliffs/ K. G.Budinski, M. K. Budinski // New Jersey: Prentice-Hall – 1992. – 817 p.
6. George E. Totten. SteelHeatTreatment - MetallurgyAnd Technologies / George E. Totten // CRC Press - 2006.- 1077 p.
7. Rajan T.V. Heattreatment: principlesandtechniques [Текст] / T.V Rajan C. P. Sharma // PHI LearningPvt. Ltd – 2011. – 611p.
8. Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування. Навчальний посібник / Уклад. С.П. Гожій // Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 104 с.
9. Greenberg J. H. IndustrialThermalProcessingEquipmentHandbook / J. H. Greenberg // AsmInternational. 1994.– 400 p.
10. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної бакалаврської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» освітня програма (спеціалізація) «Прикладне матеріалознавство» усіх форм

навчання. / Укл.: І.М. Лазечний, О.В. Климов, О.А. Глотка, Ю.І. Кононенко, О.В. Лисиця. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 57 с.

11. Typical Heat Treatment Defects Analysis and Countermeasures Part / Yan Cheng Pei Bian Zhu–1991.–480 p

12. Катренко Л. А. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум: навчальний посібник / Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Піскун – 2-ге вид., стер. – Суми: ВТД «Університетська книга» - 2007. – 496 с.

13. Salman K. D. Effect of quenching media on mechanical properties of medium carbon steel 1030 / K. D. Salman, B. A. Ahmed, I. N. Frhan // Journal of University of Babylon for Engineering Sciences. – 2018. – Т. 26. – №. 2. – С. 214–222.

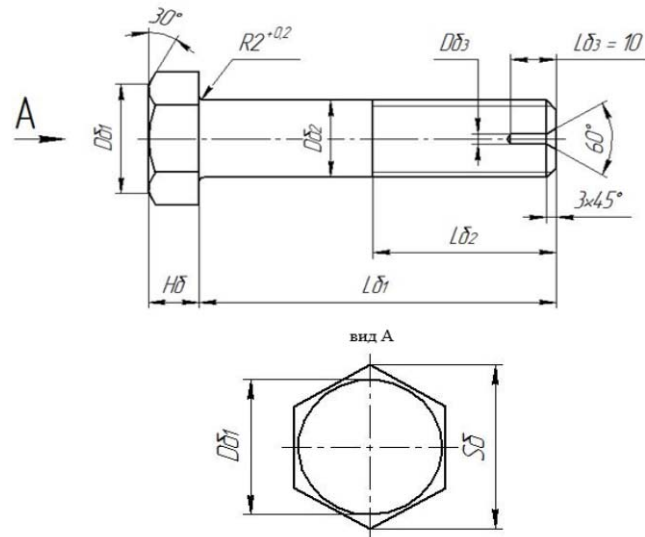
14. Martinez-Munoz P. E. Effect of tempering on the metallurgical, structural, and thermal properties of AISI/SAE 1030 steel / P. E. Martinez-Munoz // Materials Today Communications. – 2022. – Т. 31. – С. 103535.

15. Kadhim Z. D. Effect of quenching media on mechanical properties for medium carbon steel / Z. D. Kadhim // International Journal of Engineering Research and Application. – 2016. – Т. 6. – №. 8. – С. 26-34.

16. Motagi B. S. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of medium carbon steel / B. S. Motagi, R. Bhosle // International Journal of Engineering Research and Development. – 2012. – Т. 2. – №. 1. – С. 7-13.

ДОДАТОК А

ЕСКІЗ ДЕТАЛІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛІ 30



$D_{\delta 1}$ – діаметр головки болта; $D_{\delta 2}$ – діаметр стрижня болта; $L_{\delta 1}$ – довжина стрижня болта; $L_{\delta 2}$ – довжина різьбової частини болта; H_{δ} – висота головки болта; S_{δ} – болт спеціальний;

Рисунок А.1 – Ескіз болта кріплення М30

Таблиця А.1 – Хімічний склад сталі 30, % мас., ДСТУ 7806 – 2013

Марка сталі	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
30	0,27- 0,35	0,17- 0,37	0,50- 0,80	не більше				
				0,030	0,035	0,25	0,30	0,30

Таблиця А.2 – Температури критичних точок сталі 30, °C [4]

Марка сталі	A_{c1}	A_{c3}	A_{r3}	A_{r1}	M_{Π}
30	730	820	796	680	380

ДОДАТОК Б

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 30

Таблиця Б.3 – Механічні властивості сталі 30 після оптимального режиму термічної обробки [4]

Марка сталі	Режим термічної обробки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	KCU, Дж/см ²	HB
30	Гартування 860...880°C відпуск 550...600°C.	560	390	28	150-230	138-158

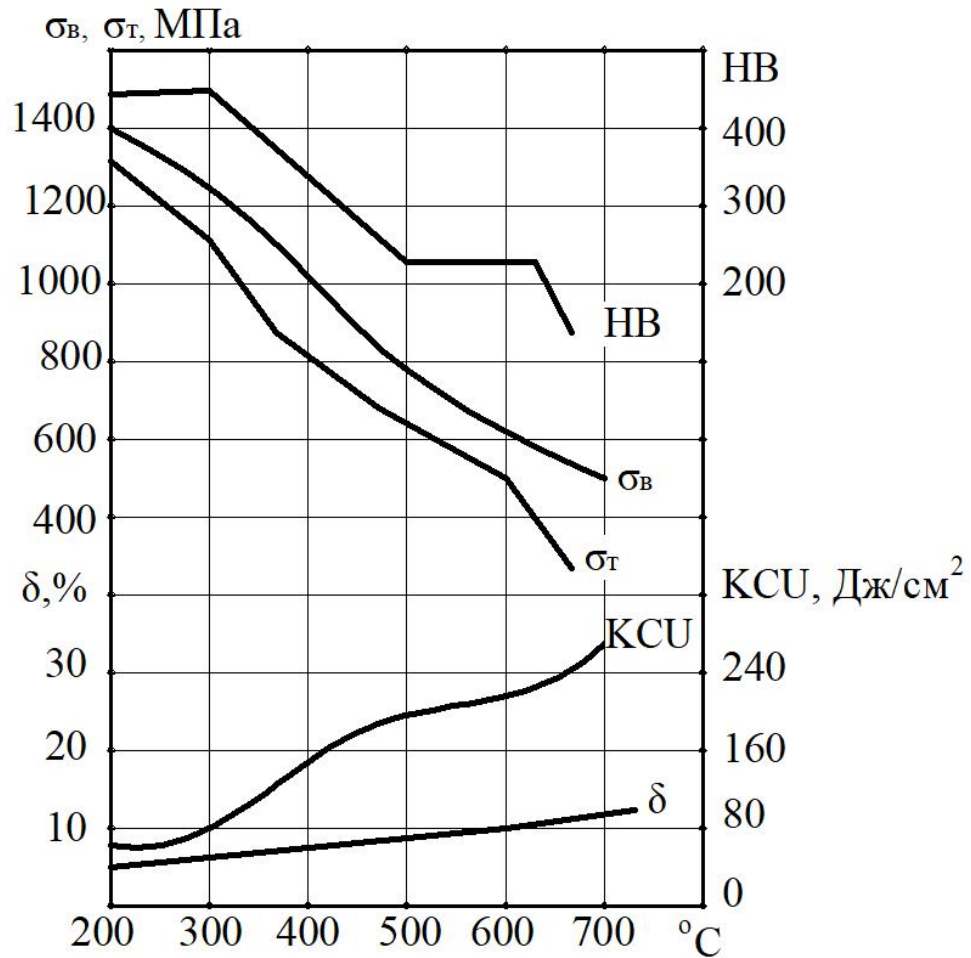


Рисунок Б.1 – Залежність механічних властивостей сталі 30 від температури відпускання

ДОДАТОК В

ГРАФІК ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ БОЛТІВ ЗІ СТАЛІ 30

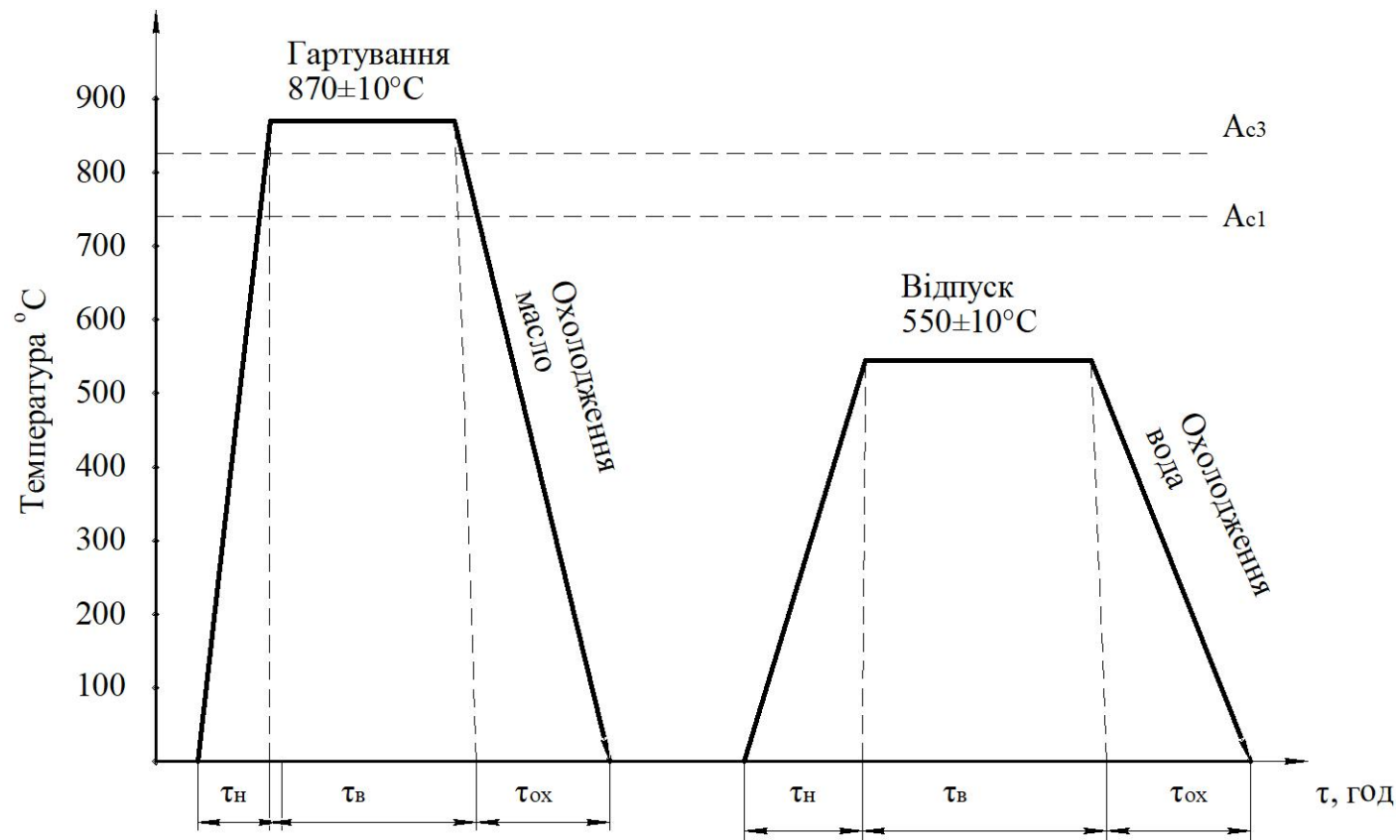
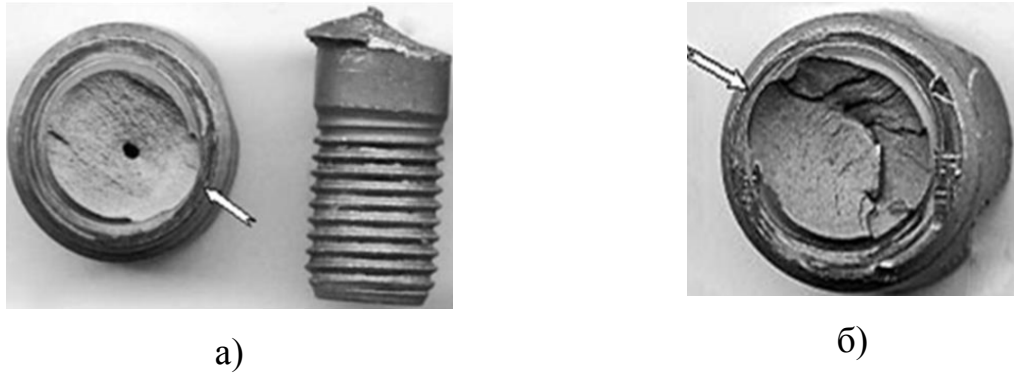


Рисунок В.1 – Графік режиму термічної обробки болта зі сталі 30

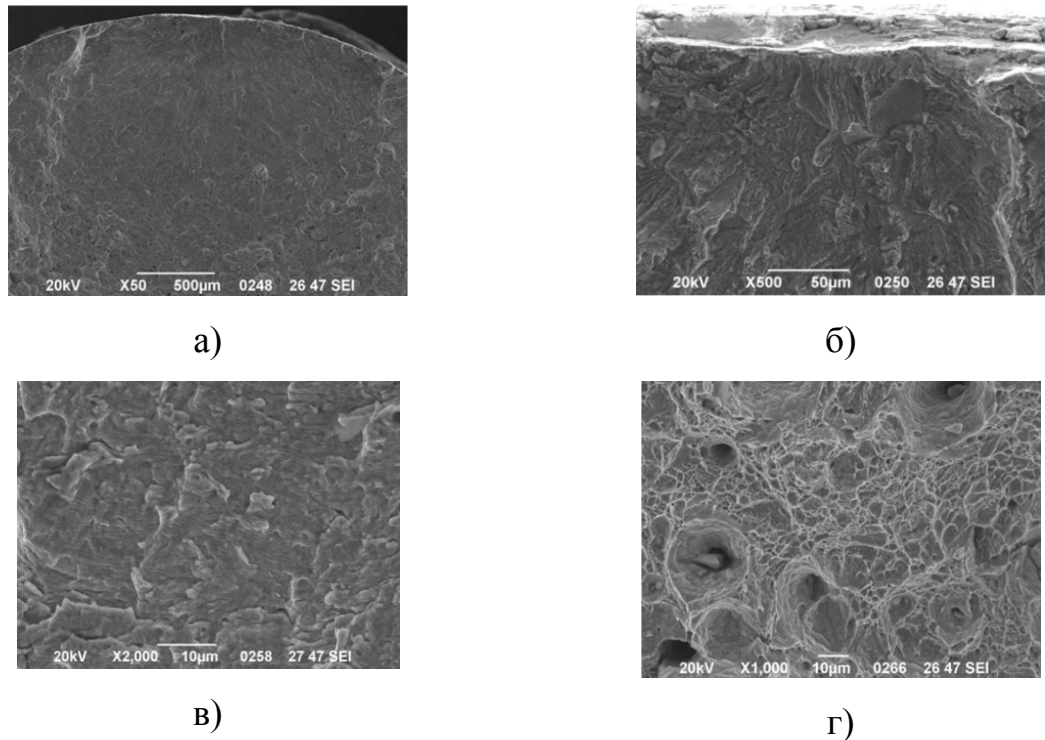
ДОДАТОК Г

АНАЛІЗ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ БОЛТА ЗІ СТАЛІ 30



а – зруйнований під час демонтажу; б – вигляд тріщини;

Рисунок Г.1 – Зовнішній вигляд зруйнованих болтів



а – осередкова зона; б – крихкі фасетки біля осередку; в – вторинні борозенки; г – в'язкі ямки завершення руйнування;

Рисунок Г.2 – Характерний вид злому сталі 30