

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗНТУ, інженерно-фізичний
(повне найменування інституту, назва факультету)
Фізичне матеріалознавство
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Оптимізація технології термічної обробки деталей кріплення електродів із застосуванням методів манування експерименту

Виконав: студент VI курсу, групи ІІ-213м
спеціальності (напряму підготовки)

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Животен О. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Віщесенко В. С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Волков Т. П.

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Інженерно-фізичний
 Кафедра Фізичне матеріалознавство
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність матеріалознавство
 (код і назва)
 Напрямок підготовки Фізичне матеріалознавство
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ФМ

12 грудня 2018 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Шевотен Олександр Анатолійович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Оптимізація технології термічної обробки деталей кріплення електровозів із застосуванням методів напівважкого експерименту.
 керівник проекту (роботи) Володимир Валерійович Ситак
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 18 10 2018 року № 264

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 13 грудня 2018р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) критичні деталі балів, кін. част. ст. 40х, 40х, 45; т.о. матеріал конструкції

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Літературний огляд. Аналіз умов роботи деталей кріплення електровозів з метою підвищення їх надійності.

2. Матеріали та методи дослідження

3. Особливості виготовлення, обробки та контролю виробів.

4. Економічна частинка

5. Охорона праці та безпека у виробничих умовах

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Ескиз бази кріплення, а.р. та вимірюв. ст. 40х

2. Маршрут технології виготовлення бази кріплення ст. 40х

3. Кін. част. план ст. 40х, що виготовляється в розкритті

4. Часові проф. дані; 5. Матриця; 6. Додаток до розкриття

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1.	Вішнігелю В. С. доцент		
2.	Вішнігелю В. С. доцент		
3.	Вішнігелю В. С. доцент		
5.	Цесєров О. В. доцент ОПІНС		
4.	Цесєрова В. В. доцент, канд. ПТБФ	24.09.18	28.11.18
Н.І.	Жукав Р. В. к.т.н. доцент		

7. Дата видачі завдання 05.09.2018р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Літературний огляд, аналіз наукових робіт з питань організації експлуатації існуючих систем водопостачання	07.09.2018р.	
2.	Матеріали та методи дослідження	16.09.2018р. 25.09.2018р.	
3.	Розробка технології, обробка та аналіз результатів дослідження експлуатації систем водопостачання	30.09.2018р. 20.10.2018р.	
4.	Складання звіту	25.10.2018р. 10.11.2018р.	
5.	Оформлення праці та внесення у відповідні системи	12.11.2018р. 24.11.2018р.	

Студент

 (підпис)

Керівник проекту (роботи)

 (підпис)

 (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: с., 21 рис., 15 табл., 28 джерел.

Метою кваліфікаційної магістерської дипломної роботи на тему «Оптимізація технології термічної обробки деталей кріплення електровозів із застосуванням методів планування експериментів» є підвищення експлуатаційного ресурсу болтів кріплення електровозу зі сталі 40Х через регулювання значення границі плинності встановленням певного значення температури відпуску.

Завдання розглядаємої дипломної магістерської роботи – проаналізувати умови експлуатації деталей кріплення; обрати оптимальний спосіб їх виготовлення; розглянути хімічний склад сталей, що використовують для виготовлення болтів; підібрати відповідну термічну обробку, що дозволить отримати задовільний рівень властивостей; обрати методи досліджень контролю якості виробів. Із застосуванням математичного моделювання шляхом варіювання обраного критерію провести дослідження можливості компенсування негативного впливу зовнішніх факторів. В розділі, присвяченому охороні праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, необхідно розглянути основні заходи з охорони праці при розробці технологічного процесу виготовлення деталей кріплення електровозів. В економічній частині необхідно зробити обґрунтування доцільності використання обраної термічної обробки розглядаємих болтів кріплення.

РІЗЬБОВІ З'ЄДНАННЯ, БОЛТ, ХОЛОДНА ВИСАДКА, СТАЛЬ 40Х,
ТЕРМІЧНЕ ПОЛІПШЕННЯ, СОРБІТ ВІДПУСКУ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ,
РУЙНІВНІ ТА НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

ЗМІСТ

Завдання на проект.....	
Реферат.....	
Вступ.....	
1 Літературний огляд. Аналіз умов роботи деталей кріплення електровозів з метою підвищення їх терміну експлуатації.....	
2 Матеріали та методики досліджень.....	
2.1 Характеристика матеріалів, що розглядаються в роботі	
2.2 Перевірка якості поверхні прокату та готових виробів, їх геометрії та форми.....	
2.3 Контроль макроструктури.....	
2.4 Оцінка якості мікроструктури.....	
2.5 Контроль механічних властивостей прокату та готових деталей кріплення.....	
2.6 Неруйнівні методи контролю деталей кріплення.....	
3 Особливості виготовлення, обробки та контролю відповідальних деталей кріплення електровозів.....	
3.1 Номенклатура та маршрутна технологія виготовлення деталей кріплення.....	
3.2 Особливості хімічного складу матеріалів, термічної обробки та структури деталей кріплення електровозів.....	
3.3 Контроль якості деталей кріплення.....	
3.4 Застосування математичного моделювання з метою стабілізації границі плинності сталі 40X.....	
4 Економічна частина.....	
4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій.....	
4.2 Техніко-економічні розрахунки.....	
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	

5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	
5.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях (НС).....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	

ВСТУП

З'єднання деталей за допомогою різьби є одним із найстаріших та найбільш розповсюджених видів роз'ємного з'єднання. До нього відносяться з'єднання за допомогою болтів, гвинтів, шпильок та ін. [1]

За допомогою різьби отримують нерухомі з'єднання, які забезпечують точну фіксацію відносного положення деталей. До показників якості різьбових нерухомих з'єднань відносять: статичну міцність, втомну міцність, стопорні властивості та їх стабільність. Різьбові з'єднання застосовуються в будь-якій галузі промисловості, тому вони підлягають впливу широкого діапазону навантажень, температур, вологості, пилу тощо.

В силових агрегатах машин 80% різьбових з'єднань безпосередньо впливають на їх працездатність при експлуатації. Для відмови машини достатньо одного недотягнутого або перетягнутого різьбового з'єднання в одному з відповідальних вузлів: наприклад, в коробці передач, кривошипно-шатунному механізмі тощо.

Підвищення якості та ефективності виробництва деталей кріплення є актуальною проблемою промисловості. При цьому в умовах сучасних ринкових відносин виробництво повинно бути спрямованим на виготовлення деталей кріплення прогресивних конструкцій в поєднанні з низькою собівартістю та високим рівнем якості продукції. Відмітною ознакою та основою технічного рівня прогресивних деталей кріплення є їх багатофункціональність, яка дозволяє відмовитися від допоміжних деталей з'єднання, забезпечити самостопоріння та надійність зборки, а також сприяє механізації та автоматизації операцій збирання, знижує трудомісткість зборки та технічного обслуговування вузлів.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.

АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛЕЙ КРІПЛЕННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В цьому розділі розглядаються особливості умов роботи деталей кріплення в електровозах (зокрема болтів).

Електровоз уявляє собою локомотив з електричними тяговими двигунами, який отримує живлення (електричну енергію) через струмознімач від контактної мережі. [2] Електрична тяга, на відміну від автономної тяги (з використанням тепловозів), має такі переваги: більший коефіцієнт корисної дії; дозволяє підвищити пропускну здатність ділянок залізничної дороги завдяки розробці електровозів високої потужності; має менший шкідливий вплив на довкілля порівняно з роботою тепловозної тяги; дозволяє економити енергетичні ресурси завдяки рекуперації електричної енергії. [3]

Електровози складаються з механічного, електричного та пневматичного (гальмівного) обладнання. [2,3]

Механічна частина електровозу призначена для реалізації тягових та гальмівних сил, які розвиваються електровозом під час роботи, для встановлення необхідного електричного та пневматичного обладнання, а також для розміщення локомотивної бригади та забезпечення безпечних умов керування електровозом. [3]

Механічне обладнання електровозу включає до себе кузов, рами візків, ресорне підвішування, колісні пари із буксами, тягову зубчасту передачу, зчепні прилади та гальмівну важільну передачу.

Всі вузли механічної частини електровозу в процесі експлуатації та при ремонті підлягають впливу різного роду навантажень. Наприклад, на нерухомий електровоз вже діє навантаження, що створюється масою його обладнання (в декілька десятків тон). При просуванні електровозу із потягом його екіпажна частина сприймає та передає тягові (або гальмівні) зусилля від

електровозу до складу (стиснення та розтягу), а також сприймає динамічні навантаження, котрі виникають при проходженні електровозом кривих та нерівних ділянок шляху. З урахуванням цих факторів до екіпажної частини електровозу висувають жорсткі вимоги: всі її частини повинні відповідати умовам міцності при найбільш несприятливому поєднанні діючих сил.

Для забезпечення нормальної та безаварійної роботи необхідно, щоби усе механічне обладнання знаходилося в технічно справному стані. [3]

Болтові з'єднання використовуються при з'єднанні половин кожуха зубчастої передачі, при кріпленні такого кожуха до остову тягового електродвигуна (ТЕД); при приєднанні шапки моторно-осьових вальниць (МОВ) також до остову ТЕД; підвіски ТЕД до рами візка і тому подібне. [3]

Болт є одною з основних деталей кріплення (рис.1.1), він уявляє собою стрижень з різьбою для гайки на одному кінці та головкою на іншому. Болтами скріплюють деталі невеликої товщини та при частих збираннях та розбираннях з'єднань. В болтових з'єднаннях використовують шайби (кільцева деталь кріплення), котрі розміщують під гайки, головки болтів для збільшення опорної поверхні та її захисту від пошкоджень. [4] Гайка – деталь з різьбовим отвором, яку накручують на болт; вона має форму, що пристосована для захоплення ключом або рукою. [5] Всі деталі різьбових з'єднань по формі та розмірам стандартизовані. [4]

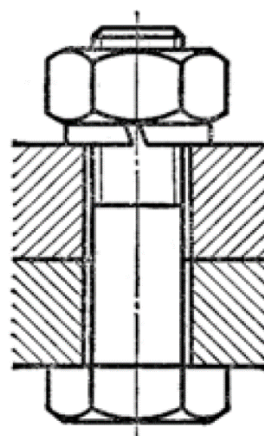


Рисунок 1.1 – Болтове з'єднання

Основною перевагою болтового з'єднання є те, що при його наявності не потрібно нарізати різьбу в деталях, які з'єднують. Це є особливо важливим в тих випадках, коли матеріал деталі не може забезпечити достатню міцність та довговічність різьби. [1]

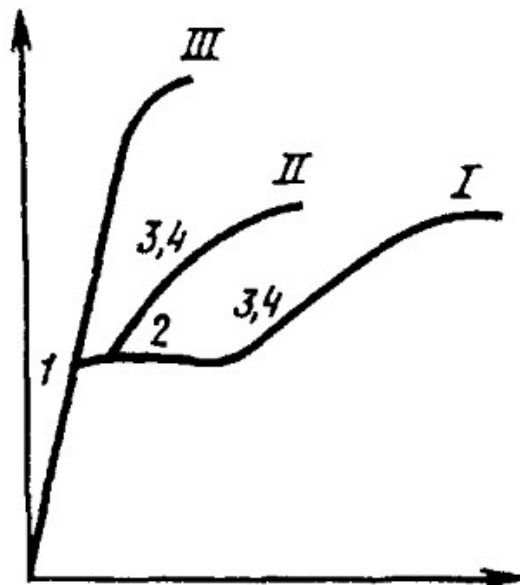
До недоліків болтового з'єднання відносять: обидві сполучаємі деталі повинні мати місця для розташування гайки або головки болта; при закручуванні та відкручуванні гайки необхідно утримувати головку болта від провертання; в порівнянні з гвинтовим болтове з'єднання дещо збільшує масу виробу та в більшому ступені спотворює його зовнішні обриси. [1]

Всі різьби кріплення задовольняють умові самогальмування навіть без врахування додаткового тертя на торцях гайки або головки болта. Однак, як показує досвід експлуатації, при змінному та ударному навантаженні спостерігається ослаблення різьби. Воно пов'язане із коливаннями зсуву деталей, що з'єднуються, при яких болт згинається і витки болта ковзають по виткам гайки. Оскільки для ковзання елемента витку в бік затягування вимагається більша сила, ніж для ковзання протилежного елемента витка в бік ослаблення, то створюється обертовий момент розкручування, в тому числі і якщо коливання з'єднаних деталей відбувається в границях дотичних контактних деформацій. Ослаблення також пов'язане зі зменшенням або місцевим зняттям корисних сил тертя в різьбі в результаті послідовних поперечних стиснень та розширень болтів від змінного осьового навантаження та зміни температури, від пружних коливань вздовж осі болта, що викликають місцеве послаблення різьби.

Робота болтового з'єднання на зсув складається з чотирьох етапів, які на рис.1.2 [6] позначені відповідно цифрами 1, 2, 3, 4. Перший етап полягає в подоланні сил тертя, які неминуче виникають під впливом навантажень. Поки їх подолати не вдалося, болти працюють тільки на розтяг, і з'єднання володіє необхідним ступенем пружності. Якщо зсувні сили сягають певного значення, вони долають силу тертя. Це початок другого етапу роботи, який характеризується зсувом з'єднання на величину, що дорівнює зазору, який

існує між поверхнею стрижня болта та поверхнею отвору. На початку третього етапу зсувна сила в основному впливає на поверхню болта, завдяки тиску на неї крізь поверхню отвору. Із часом, через певні обмеження, що викликані наявністю в конструкції болта таких елементів як головка і гайка, болт розтягується та згинається. Сила тертя втрачає свій вплив, і з'єднання вступає до четвертого етапу, головною характеристикою якого є пружно-пластична робота. Розглянутий процес, як правило, завершується руйнуванням з'єднання, внаслідок зрізу болта або відриву головки. Також можливі варіанти виколу, або зминання однієї з поверхонь, які з'єднуються.

Сила зсуву



Зсув

Рисунок 1.2 – Етапи роботи болтового з'єднання на зсув (графік I □ для болтів грубої та нормальної точності; II – для болтів підвищеної точності; III – для високоміцних або стійких до зсуву болтів)

Для запобігання самовідкручування болтового з'єднання необхідно використовувати спеціальні засоби стопоріння. Так, наприклад, регулювальні гайки, які не повинні бути сильно затягнутими, потребують стопоріння навіть при спокійному навантаженні. Разом із цим необхідність стопоріння

різко зменшується при підвищенні податливості болта. Якщо він суттєво податливий, то самовідкручування не відбувається.

Використовують такі види стопоріння: 1) додаткове тертя; 2) спеціальними запірними елементами – шплінтами, шайбами; 3) пластичне деформування або приварювання після затягування.

Гайки болтів повинні стопоритися в різьбі або при їх стопорінні на деталь болт повинен додатково оберігатися від повороту. Гайки шпильок повинні стопоритися на корпус для запобігання викручування шпильок. [5]

Для виготовлення деталей кріплення найчастіше використовують поліпшувальні вуглецеві та леговані сталі. Основними причинами руйнування болтових з'єднань із зазначених сталей при експлуатації є: 1) ослаблення з'єднання та в'язкого руйнування через недостатній запас міцності у випадку використання без термічного оброблення або при недостатньої твердості термічно оброблених деталей; 2) крихке руйнування через високу твердість, наявність поверхневого наклепу після холодної висадки, який не усунений рекристалізаційним відпаленням, або наявності у вихідній структурі структурно-вільного цементиту. [7]

Таким чином для даних деталей чим більш точно витримана твердість, а відповідно і міцність тим більший ресурс може відпрацювати болт у з'єднанні. Відповідно до цього задачею дослідження даної роботи було виявлення можливості звуження допустимого інтервалу твердості для вказаних деталей після термічної обробки.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика матеріалів, що розглядаються в роботі

В магістерській дипломній роботі розглядаються три марки сталі, з яких виготовляють деталі кріплення електровозів. Хімічний склад цих матеріалів та дані щодо критичних точок наведені відповідно в табл. 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталей 40, 45 [8], 40X [9]

Сталь	Вміст хімічних елементів в сталі у %, мас.								
	C	Si	Mn	Cr	P	S	Ni	Cu	As
40	0,37-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	≤0,25	≤0,035	≤0,040	≤0,25	≤0,25	≤0,08
45	0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	≤0,25	≤0,035	≤0,040	≤0,25	≤0,25	≤0,08
40X	0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	≤0,035	≤0,035	≤0,30	≤0,30	–

Таблиця 2.2 – Критичні точки сталей 40, 45 40X, °C [10]

Сталь	A _{C1}	A _{r1}	A _{c3}	A _{r3}	M _n
40	730	690	790	780	340
45	730	690	755	780	350
40X	743	693	815	730	325

Для проведення експериментів, що застосували з метою отримання математичної моделі використали плавки сталі 40X, хімічний склад яких наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад плавок сталі 40X, що використовувались у дослідженні з метою отримання математичної моделі

Масова частка хімічних елементів в сталі, %								
C	Si	Mn	Cr	P	S	Ni	Cu	As
0,37	0,25	0,69	0,80	≤0,035	≤0,040	≤0,25	≤0,25	≤0,08
0,44	0,30	0,50	0,80	≤0,035	≤0,040	≤0,25	≤0,25	≤0,08
0,37	0,28	0,56	1,10	≤0,035	≤0,035	≤0,30	≤0,30	≤0,08
0,44	0,31	0,64	1,10	≤0,035	≤0,040	≤0,25	≤0,25	≤0,08

Хімічний склад вуглецевих сталей 40 та 45 визначають згідно нижче наведених нормативних документів: ДСТУ 7749:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Загальні вимоги до методів аналізу», ДСТУ 7750:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Методи визначення загального вуглецю та графіту», ДСТУ 7751:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Методи визначення сірки», ДСТУ 7752:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Методи визначення фосфору», ДСТУ 7753:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Методи визначення кремнію», ДСТУ 7754:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Методи визначення марганцю», ДСТУ 7755:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Методи визначення миш'яку», ДСТУ 7756:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Методи визначення хрому», ДСТУ 7757:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Методи визначення міді», ДСТУ 7758:2015 «Сталь вуглецева і чавун нелегований. Методи визначення нікелю».

Хімічний склад легованої сталі 40X визначають згідно таких нормативних документів: ДСТУ ISO 15350:2004 «Сталь та чавун. Визначення загального вуглецю і сірки методом інфрачервоної спектроскопії після спалювання в індукційній печі (поточний метод)», ГОСТ 12347-77 «Стали

легированные и высоколегированные. Методы определения фосфора», ДСТУ ГОСТ 12348:2009 «Сталі леговані та високолеговані. Методи визначення марганцю», ГОСТ 12346-78 «Стали легированные и высоколегированные. Методы определения кремния», ГОСТ 12350-78 «Стали легированные и высоколегированные. Методы определения хрома», ГОСТ 12352-81 «Стали легированные и высоколегированные. Методы определения никеля», ГОСТ 12355-78 «Стали легированные и высоколегированные. Методы определения меди».

2.2 Перевірка якості поверхні прокату та готових виробів, їх геометрії та форми

Зовнішньому огляду, геометрії та форми піддають 100% прокату.

Контроль виробів більшості галузей промисловості починається з візуального огляду виробу неозброєним оком або за допомогою збільшувальних приладів (лупи, біноклярних мікроскопів). [11] Візуальна дефектоскопія дозволяє виявити на поверхні болтів тріщини напруження, штампувальні тріщини, сліди від інструменту тощо.

Якість поверхні прокату перевіряють оглядом без застосування збільшувальних приладів, за необхідності зачищують або протравлюють поверхню. Глибину розташування дефектів на поверхні прокату визначають контрольною зачисткою. Для прокату зі спеціальним обробленням поверхні діаметром до 3 мм включно огляд проводять за збільшенням $\times 10$. [8]

Геометричні розміри та форму прокату перевіряють згідно з ДСТУ 6026:2008/ГОСТ 26877-2008 «Металопродукція. Методи вимірювання відхилів форми» за допомогою вимірювальних інструментів згідно з ДСТУ ГОСТ 162:2009 «Штангенглибиноміри. Технічні умови», ДСТУ ГОСТ 166:2009 «Штангенциркули. Технические условия», ДСТУ ГОСТ 427:2009 «Линейки измерительные металлические. Технические условия», ДСТУ «Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови», ДСТУ ГОСТ 6507:2009

«Микрометры. Технические условия», ГОСТ 5378-88 «Угломеры с нониусом. Технические условия», ГОСТ 3749-77 «Угольники проверочные 90⁰. Технические условия». [8],[9]

В готових виробах не повинні спостерігатися тріщини, пошкодження різьби, сліди інструменту тощо. Геометрія та форма повинні відповідати вимогам.

2.3 Контроль макроструктури

Для отримання якісних виробів необхідно проводити контроль макроструктури як прокату, так і готових деталей кріплення.

Контролюють макроструктуру прокату розміром 40 мм та більше методом травлення на темплетях або на зламі зовнішнім оглядом без використання збільшуваних приладів згідно з ГОСТ 10243-75 «Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры». Контролюють макроструктуру прокату, виготовленого з безперервнолитої заготовки, у частині таких дефектів, як лікваційні смуги, крайові точкові забрудненості, осьова ліквіація. Не повинні бути присутніми розкатані пухирі, флокени.

Контролюють макроструктуру прокату розміром менше ніж 40 мм на заготовці чи на профілі проміжного розміру після оброблення тиском або після кування безперервнолитої заготовки контрольованої плавки. Результати контролювання поширюють на всі виготовлені з неї вироби.

Допустимо застосовувати методи ультразвукового контролювання для сортового прокату згідно з ДСТУ EN 10308:2015 «Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль сталевих сортового прокату». [8],[9]

В готових болтах в макроструктурі повинна чітко виявлятися волокниста будова. Волокна болта, що виготовлений куванням і висадкою, відповідають його конфігурації. Волокна ж болта, виточеного із заготовки, розташовані паралельно його осі, що призводить до різкого зниження ударної в'язкості в місці переходу від головки до стрижня.

2.4 Оцінка якості мікроструктури

Прокат підлягає перевірці мікроструктури – визначають ступінь його забрудненості неметалевими вкрапленнями (ГОСТ 1778-70 «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений»), визначають бал зерна (ГОСТ 5639-82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна»), наявність знеуглецьованого шару (ГОСТ 1763-68 «Сталь. Методы определения глубины обезуглероженного слоя»). [8],[9]

Оцінку якості мікроструктури готових виробів проводять металографічним методом. На виробках, які перевіряються, перпендикулярно осі виготовляють мікрошліф. Шліф по можливості повинен бути виконаний на гладкій частині стрижня, яка безпосередньо примикає до різьбової частини. Для болтів з різьбою до головки шліф виконується на відстані одного діаметру від опорної поверхні головки. [12]

2.5 Контроль механічних властивостей прокату та готових деталей кріплення

Прокат піддають перевірці механічних властивостей. При випробуванні на розтяг визначають границю міцності, границю плинності, відносне видовження та відносне звуження (ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение»). Проводять випробування на ударний згин (ГОСТ 9454-79 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах»). Визначають твердість за Бринеллем (ГОСТ 9012-59 «Метод измерения твердости по Бринеллю»).

Переваги руйнівних методів контролю:

- методи спрямовані безпосередньо на визначення надійності контрольованого виробу; дозволяють імітувати умови, наближені до експлуатаційних;

- дозволяють отримати кількісні характеристики контрольованого параметру та встановити строки експлуатації виробу до руйнування при заданих навантаженнях.

Основні недоліки руйнівних методів контролю:

- проводяться на обмеженій частині виробів з партій; цінність отриманих результатів залежить від стабільності параметрів виробів в партії;

- використання цих методів контролю призводить або до повного руйнування контрольованого виробу, або до значного погіршення його робочих характеристик;

- руйнівні методи непридатні для контролю в умовах експлуатації виробу;

- такі методи дуже трудомісткі та вимагають великих витрат часу висококваліфікованого персоналу, тому вони є економічно не вигідними та використовуються для обмеженої кількості деталей та вузлів.

Визначальний вплив на надійність болтів мають рівень їх механічних властивостей (границя міцності, відносне видовження та звуження, ударна в'язкість), що визначаються режимами термічної обробки. Основною із вказаних характеристик є границя міцності, яка контролюється по верхній границі. Надмірно міцні болти, що мають завищену твердість, схильні до уповільненого крихкого руйнування й тому вимагають більш ретельного контролю та більш частого обстеження з'єднань.

Для контролю механічних властивостей деталей кріплення на заводі-виробнику від кожної партії відбирають по 5 зразків для кожного виду випробувань.

Болти випробовують на розтяг, визначення ударної в'язкості, розрив на косій шайбі, випробування на міцність з'єднання головки зі стрижнем, на

визначення коефіцієнту закручування і на твердість (ГОСТ 1759.4-87 «Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний»).

В таблиці 2.4 представлені механічні властивості сталей 40, 45 та 40X після термічного поліпшення.

Таблиця 2.4 – Механічні властивості сталей 40, 45 та 40X після рекомендованого режиму термічної обробки [10, 13]

Сталь	Режим термічної обробки	σ_B , МПа	δ , %	KCU, Дж/см ²	HRC
40	Гартування 830...850 ⁰ С, вода + високий відпуск 580...620 ⁰ С	≥ 660	≥ 16	≥ 60	≥ 20
45	Гартування 820...850 ⁰ С, вода + високий відпуск 580...620 ⁰ С	≥ 730	≥ 16	≥ 60	≥ 25
40X	Гартування 840...860 ⁰ С, масло + високий відпуск 600...640 ⁰ С	1000...1040	≥ 9	≥ 40	32...39

2.6 Неруйнівні методи контролю деталей кріплення

Неруйнівними методами контролю є методи контролю за непрямими ознаками, які не змінюють (на відміну від руйнівних методів) якості, параметрів, характеристик, експлуатаційних властивостей виробу. Вихідною інформацією для неруйнівних методів контролю є викликані наявністю в виробі дефектів аномалії в фізичних параметрах, що реєструються (наприклад, спотворення потоку теплового випромінювання; зміна забарвлення спеціальних контролюючих покриттів; розсіювання, відбиття та поглинання ультразвукових або електромагнітних хвиль тощо). За характером аномалій роблять заключення про наявність дефектів в виробі, їх

особливостях (тип дефекту, розміри, форма, місце розташування) та причинах виникнення.

До переваг неруйнівних методів контролю можна віднести:

- визначення та вимірювання основних параметрів виробу можна проводити в процесі його виробництва, випробування, експлуатації або ремонту без порушення режиму функціонування та зміни його характеристик;

- можливість контролю якості в динамічному режимі;

- можливість виявлення прихованих (глибинних) дефектів типу повітряних раковин, відшаровувань в багат шаровій конструкції тощо, визначення ступеню небезпеки знайдених дефектів;

- використання багатьох неруйнівних методів контролю як профілактичного заходу, який здатний запобігти катастрофічному руйнуванню виробу;

- неруйнівні методи контролю володіють високою точністю, надійністю та чутливістю;

- вартість неруйнівних методів контролю нижче, ніж вартість руйнівних методів, при вимірюванні таких самих параметрів виробів.

Однак є і недоліки неруйнівних методів контролю:

- такі методи, як правило, є непрямими методами;

- вплив різних дефектів на строк експлуатації не може бути встановленим за допомогою неруйнівних методів контролю;

- результати випробувань мають переважно якісний характер, а не кількісний;

- результати більшості методів неруйнівного контролю вимагають кваліфікованого розшифрування і великої підготовчої роботи. [11]

Серед різноманітних видів неруйнівного контролю на залізничному транспорті (зокрема для виявлення дефектів болтів) найбільш широко використовують магнітопорошковий, струмовихровий та акустичний

(ультразвуковий) методи неруйнівного контролю. Для проведення неруйнівного контролю використовують спеціальні прилади – дефектоскопи.

Магнітопорошковий метод (ДСТУ 2954-94 «Сталь. Методи магнітного контролю») використовується для виявлення дефектів типу тріщин як тих, що виходять на поверхню, так і розташованих на невеликій глибині під поверхнею (до 2 мм) на деталях з феромагнітних матеріалів. Цей метод базується на виявленні магнітних полів розсіювання над дефектами за допомогою магнітних частинок. Контроль складається з двох етапів: намагнічування матеріалу і нанесення магнітних частинок. При намагнічуванні виробів в місцях із поверхневими дефектами, виникають пари магнітних полюсів, які діють подібно маленьким магнітам, що утримують на поверхні магнітний порошок. Внаслідок цього виникає видиме зображення дефекту; тобто можна з'ясувати розташування та довжину дефекту. Через те, що ширина смужки з осілого порошку значно більша за ширину дефекту, можна визначити наявність дуже дрібних дефектів.

До переваг магнітопорошкового методу можна віднести його високу чутливість, наочність, можливість здійснення контролю деталей різноманітної форми на будь-якій стадії обробки, простоту. Як недоліки цього методу можна відмітити залежність його чутливості від багатьох факторів: характеристик поля, що намагнічує, властивостей матеріалу, якості магнітних порошоків та суспензій і т.п. [14, 15]

Струмовихровим методом (ГОСТ 24289-80 «Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения») можна контролювати як магнітні, так і немагнітні матеріали, але обов'язково струмопровідні. Струмовихрова дефектоскопія заснована на збудженні в металевих контрольованих виробах вихрових струмів змінним магнітним полем датчика дефектоскопу. Вихрові струми створюють своє поле, яке протилежне за знаком збуджуючому. В результаті взаємодії цих полів змінюється повний опір котушки датчика, що і фіксує індикатор. Показання індикатору залежать від електропровідності, магнітної проникливості металу, розмірів виробу, а також від зміни

електропровідності, що виникає через структурну неоднорідність або порушення суцільності металу, що і використано при розробці струмовихрових (електроіндуктивних) дефектоскопів. Датчики струмовихрових дефектоскопів виготовляють у вигляді котушок індуктивності, всередині яких поміщують виріб або які накладають на виріб.

Головною перевагою такого методу є його універсальність: є можливість знаходження поверхневих тріщин глибиною в декілька мікрон при їх протяжності в декілька десятих часток міліметра, оцінювати внутрішні напруження, визначати глибину шарів хіміко-термічної обробки з точністю до 3% тощо. [11]

Акустичний метод неруйнівного контролю (ГОСТ 24289-80 «Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения») заснований на реєстрації параметрів пружних хвиль, що виникають або збуджуються в об'єкті. Найчастіше використовують пружні хвилі ультразвукового діапазону (з частотою коливань вище 20 кГц). Особливістю цього методу є те, що в ньому використовують та реєструють не електромагнітні, а пружні хвилі, параметри яких тісно пов'язані із такими властивостями, як пружність, густина, анізотропія тощо. Такий вид контролю можна використовувати для усіх матеріалів, які добре проводять акустичні хвилі: метали, пластмаси, кераміка тощо. До його переваг також можна віднести те, що він є достатньо простим.

Електронний устрій, тобто п'єзоелектричний перетворювач, поміщується на поверхні матеріалу, і в нього через перетворювач спрямовуються ультразвукові хвилі. Для кращого проникнення хвиль необхідно забезпечити добрий контакт між перетворювачем та поверхнею матеріалу.

Хвилі посилаються всередину матеріалу через дуже малі проміжки часу (від однієї до трьох мілісекунд). Така хвиля проходить крізь матеріал, відбивається від меж матеріалу та тріщин, якщо вони зустрічаються на її шляху. Відбита хвиля повертається назад до перетворювача. Після отримання

першої хвилі тут же посиляється така ж друга. Процес повторюється приблизно 500000 разів в секунду. Під час акустичного контролю якості перетворювач пересувається по поверхні. Кожна відбита хвиля буде відображена на дисплеї. Також на дисплеї відображуються сигнали, що відбиті від меж матеріалу та від внутрішніх дефектів.

Недоліками є необхідність акустичного контакту перетворювача, підвищені вимоги до чистоти поверхні виробу, вплив сторонніх шумів на результати вимірювань, вплив температури виробу тощо. [16]

3 ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ, ОБРОБКИ ТА КОНТРОЛЮ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ КРІПЛЕННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

В даній роботі з метою виявлення підвищення ресурсу роботи деталей кріплення, зокрема, болтів було проведено теоретичний аналіз їх номенклатури (щоб мати уявлення про розміри цих деталей), матеріалів з яких вони виготовляються і технологія виготовлення вказаних деталей кріплення та виявити можливості стабілізації властивостей вказаних деталей.

3.1 Номенклатура та маршрутна технологія виготовлення деталей кріплення

Номенклатура – це перелік виробів, які обробляються у виробничому підрозділі. Нижче в табл. 3.1 наведена номенклатура деталей кріплення, що використовуються в електровозах.

Таблиця 3.1 – Номенклатура виробів

Найменування деталей	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Розміри виробу, мм		Кількість виробів на електровоз, шт.	Вимоги до матеріалу
			d	l		
1	2	3	4	5	6	7
Болт електровозу підвісний	40	6,55	41	608	8	20...22 HRC
Болт для з'єднання половин кожуха зубчастої передачі М30×100	40	0,70	30	118,7	12	20...22 HRC
Болт кріплення кожуху до вальницевого щиту М30×150	40	1,00	30	168,7	8	20...22 HRC
Болт електровозу підвісний	45	8,2	58	650	4	23...25 HRC
Болт кріплення шапки МОВ М36×150	45	1,50	36	172,5	8	23...25 HRC
Болт кріплення кронштейну до остову ТЕД М42×130	45	1,82	42	156	12	23...25 HRC

Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6	7
Болт для з'єднання половин кожуха зубчастої передачі M42×150	45	2,10	42	176	8	23...25 HRC
Болт кріплення кожуху до остову ТЕД M42×160	45	2,25	42	186	4	23...25 HRC
Болт кріплення електровозу M20×130	40X	0,52	20	142,5	20	32...39 HRC
Болт кріплення електровозу M42×105	40X	1,55	42	131	16	32...39 HRC

Примітка: d – діаметр; l – повна довжина болта.

Болтове з'єднання використовується при з'єднанні половин кожуха зубчастої передачі, при кріпленні такого кожуха до остову тягового електродвигуна; підвіски тягового електродвигуна до рами візка і тому подібне. [3]

На рис. 2.1 та 2.2 показано відповідно ескіз заготовки та готового болта кріплення M20×130 зі сталі 40X.

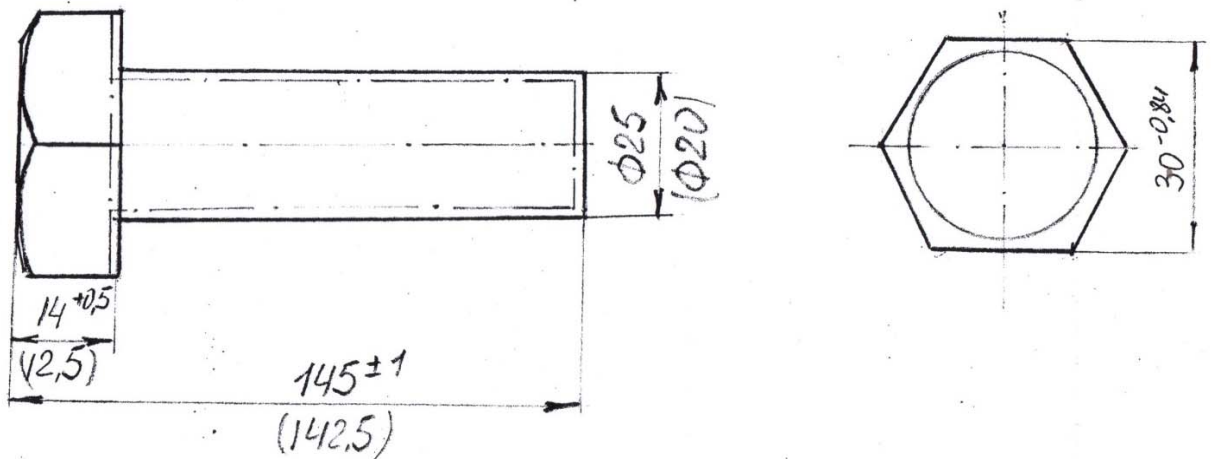


Рисунок 3.1 – Ескіз заготовки болта M20×130 зі сталі 40X [13]

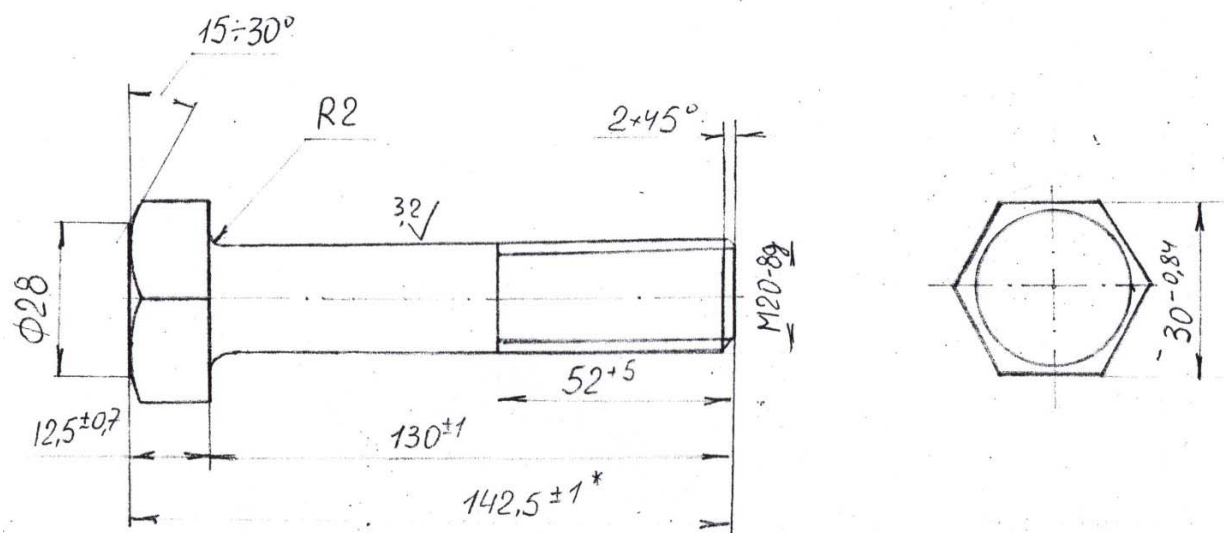


Рисунок 3.2 – Ескіз болта кріплення M20×130 зі сталі 40X [13]

В табл. 3.2 наведено схему маршрутної технології виготовлення болта кріплення електровозу M20×130 зі сталі 40X.

Таблиця 3.2 – Схема маршрутної технології виготовлення болта кріплення зі сталі 40X

№ п/п	Назва операції (комплексу операції)	Цех (дільниця) де виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех або заготівельна дільниця ковальського цеху	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів відкаліброваної та відпаленої катанки (або гарячекатаного прутка)
2	Холодна висадка із обрубкою	Ковальський цех	Надання необхідної форми виробу, розмірів та створення сприятливої макроструктури
3	Основна термічна обробка	Термічне відділення механічного цеху	Отримання заданих робочим кресленням властивостей матеріалу, виконання вимог щодо геометрії заготовки (гартування + високотемпературний відпуск)

1	2	3	4
4	Механічне оброблення	Механічний цех	Надання деталі необхідної форми та розмірів. Нарізання різьби
5	Нанесення гальванічного покриття (цинкування)	Гальванічна ділянка механічного цеху	Захист від корозії

Як правило, як вихідну заготовку для болтів використовують катанку або гарячекатаний пруток, що має достатньо великі допуски та невисоку якість поверхні.

Одним з основних методів холодної пластичної деформації, що використовується для отримання деталей кріплення, є метод холодної висадки. Висадка головки болта забезпечує безперервну течію волокон металу, повторюючи зовнішні обриси головки, не перериваючись в галтелі, що сприяє зміцненню головки болта (рис.3.3).

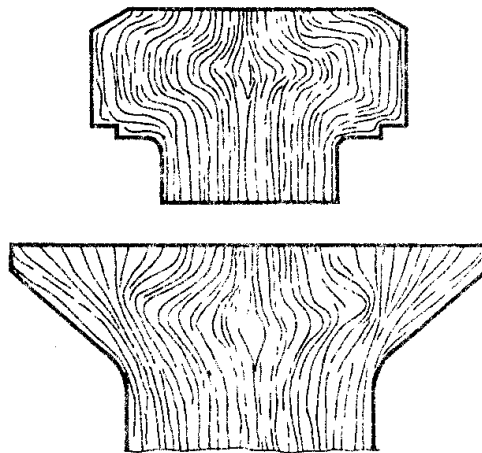


Рисунок 3.3 – Розташування волокон металу висадженої головки болта

Метал заготовок, який використовується при холодній висадці, повинен володіти стабільністю механічних властивостей та високою технологічною деформівністю. На поверхні матеріалу повинні бути відсутні дефекти. [17]

Операція калібрування катанки (або гарячекатаного прутка) дозволяє отримати для виготовлення деталей кріплення точність. При цьому поверхневі дефекти можуть видалятися шляхом обточування прокату до зняття шару близько 2 мм товщиною. Вважають, що для холодної висадки найбільш сприятливою структурою металу є зернистий перліт. Для отримання такої структури проводять безокислювальний відпал в шахтній печі. Контрольована захисна атмосфера дозволяє запобігти знеуглецюванню поверхні виробів та забезпечити стабільність механічних властивостей. [17]

Важливою операцією при виготовленні болтів є зміцнювальна термічна обробка, що складається, як правило, з гартування та високотемпературного відпускання (тобто термічного поліпшення) на сорбіт відпуску.

Найбільш слабким конструктивним елементом болта є різьба. Експериментально встановлено [18], що границя витривалості суттєво залежить від метода виготовлення різьби. Сприятливим є вплив пластичних деформацій при накатуванні різьби на опір втомі з'єднань; це пояснюється створенням залишкових напружень. При правильно обраних режимах накатування опір втомі підвищується на 20...50%.

Якщо термообробку проводити після накатки різьби, то в такому випадку накатанна різьба втрачає переваги, оскільки при нагріванні відбувається усунення корисних залишкових напружень (рис.3.4). Також при термічній обробці готових болтів може відбуватися знеуглецювання поверхневих шарів, що знижує границю витривалості з'єднань із накатанною різьбою до значень, властивих для з'єднань із нарізаною різьбою.

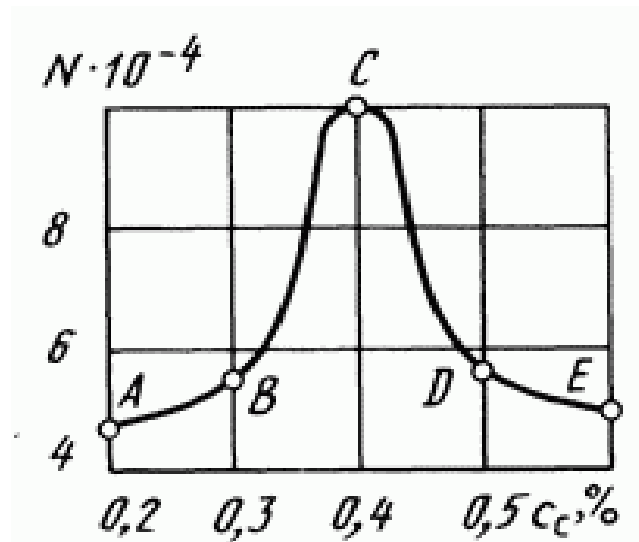


Рисунок 3.4 – Залежність довговічності з'єднання від масової частки вуглецю C_s в поверхневому шарі різьби

Після термічної обробки матеріал має підвищену твердість, тому нарізання різьби проводять за допомогою твердосплавних матеріалів. Твердосплавний інструмент дозволяє проводити обробку заготовок твердістю до HRC 50, а абразивний – до HRC 70. Якщо таку операцію неможливо виконати через технічні, організаційні або економічні причини, то різьбу виконують за дві операції:

- обробка різьби до термічної обробки;
- фінішна операція після термічної обробки.

Для захисту від корозії вироби піддають нанесенню гальванічного покриття – цинкуванню.

3.2 Особливості хімічного складу матеріалів, термічної обробки та структури деталей кріплення електровозів

Матеріал, з якого виготовляють болти, повинен володіти достатньою міцністю та пластичністю, рівномірними механічними характеристиками та хімічним складом, а також повинен бути бездефектним. [19] Для

виготовлення деталей кріплення найчастіше використовують поліпшувальні вуглецеві та леговані сталі. [7]

В табл. 2.1 наведений хімічний склад поліпшувальних сталей 40, 45 та 40Х, призначених для виготовлення болтів кріплення, в табл. 2.2 – дані щодо критичних точок цих сталей, в табл. 2.3 – їх механічні властивості після рекомендованого режиму термічної обробки.

З точки зору мінімізації вартості кращою є сталь 40Х. Ця сталь є стандартизованою [9], вона традиційно є найбільш використовуваною для деталей кріплення; економне легування хромом та раціональний вміст вуглецю дозволяє виготовляти достатньо легко якісні вироби з необхідним комплексом властивостей. Макроструктура гарячекатаного прокату однорідна, без усадкової пористості, розшарувань, не має тріщин та інших дефектів, що можна побачити неозброєним оком на поперечних темплетях після травлення. [20]

Сталь 40Х у відпаленому стані відноситься до доевтектоїдного структурного класу, а в нормалізованому – до перлітного.

Хром є легувальним елементом сталі 40Х. Розчиняючись в твердому розчині, він викривлює кристалічну ґратку, що сприяє підвищенню міцності та твердості сталі. В кількості до 1,5 % підвищує в'язкість та незначно зменшує пластичність сталі. Хром частково розчиняється в цементиті. Прогартовуваність сталей типу 40Х сталей невелика. [7]

Кремній та марганець відносяться до корисних домішок в сталі. Вони переходять в сталь в процесі її розкислення при плавці шляхом поєднання з FeO, і у вигляді окислів переходять в шлак. Ці процеси поліпшують властивості металу, зокрема кремній при розкисленні підвищує густину зливка; кремній, що залишився у складі сталі підвищує границю плинності. Марганець підвищує міцність, майже не знижуючи пластичності сталі та різко зменшує червоноламкість сталі (крихкість при високих температурах, що виникає під впливом сірки).

Сірка – шкідлива домішка в сталі. З залізом утворює сполуку FeS , яка майже не розчинна у твердому розчині, але розчиняється в рідкому металі. Ця сполука утворює легкоплавку евтектику з температурою плавлення 988°C , яка розташовується по межах зерен. При нагріванні сталі до температур $1100\ldots 1200^{\circ}\text{C}$ ця евтектика розплавляється, внаслідок чого порушується зв'язок між зернами, в результаті при деформації сталі в місцях знаходження евтектики з'являються надриви та тріщини; це явище має назву червоноламкості. Також сірчані вкраплення сильно понижують механічні властивості, особливо ударну в'язкість, пластичність та границю витривалості. Крім того утруднюється процес зварювання та погіршується корозійна стійкість.

Фосфор також є шкідливою домішкою. Розчиняючись у фериті, він сильно спотворює кристалічну ґратку та підвищує границю міцності та плинності, але зменшує пластичність та в'язкість. Зниження в'язкості тим суттєвіше, чим більше в сталі вуглецю. Шкідливий вплив фосфору посилюється тим, що він має велику схильність до ліквації. Внаслідок чого в середині зливка є місця збагачені фосфором, що мають дуже понижену в'язкість. [21]

На рисунку 3.5 наведена діаграма термокінетичного розпаду переохолодженого аустеніту сталі 40Х. [22]

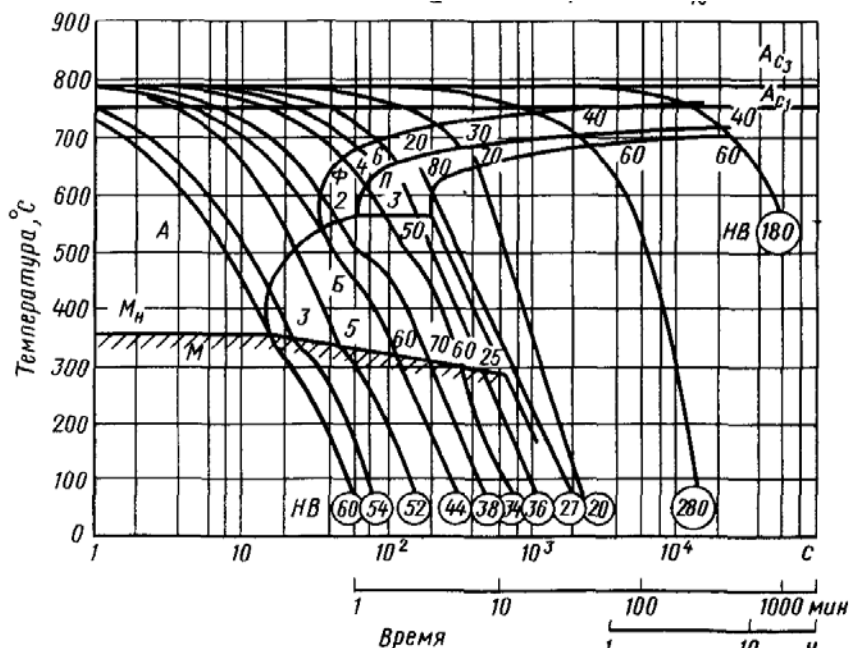


Рисунок 3.5 – Діаграма термокінетичного розпаду переохолодженого аустеніту сталі 40Х. Цифри в кружках – твердість продуктів розпаду (HRC); цифри без кружків – кількість структурної складової після перетворення

З приведеної на рис. 3.5 діаграми термокінетичного розпаду переохолодженого аустеніту сталі 40Х витікає, що легувальний елемент хром розділяє діаграму на два мінімуми стійкості аустеніту: окремо виділяється перлітне та бейнітне перетворення та діаграма зсувається праворуч, тобто збільшується стійкість переохолодженого аустеніту, а отже і прогартовуваність сталі. Збільшена прогартовуваність дозволяє при гартуванні використовувати більш м'яке середовище, ніж для вуглецевих сталей (тобто масло).

Технологічні режими термічної обробки сталей та сплавів, призначених для виготовлення деталей кріплення, є відпрацьованими і в більшості випадків є стандартизованими. Однак реалізація їх в конкретних умовах виробництва має низку особливостей через те, що товщина більшої кількості деталей кріплення часто менша за 16 мм.

Головною особливістю є те, що дрібні деталі піддаються термічній обробці водночас в великих кількостях, партіями. Якість кожної деталі в

партії визначається непрямим шляхом – вибіркоvim контролем (якщо практично неможливо здійснити суцільний контроль) або перевіркою спеціальних зразків, що проходять термічне оброблення разом із деталями (якщо неможливо здійснити випробування самої деталі). У зв'язку із цим технологічний процес, обране обладнання та організація виробництва повинні гарантувати отримання заданих властивостей кожної деталі.

Об'єм деталі в декілька сотень або навіть тисяч разів менший за об'єм робочого простору виробничих печей та гартівних баків; тому питання розміщення деталей в робочому просторі печі під час нагрівання, переміщення їх з печі в гартівну ванну та спосіб занурення в гартівну рідину мають вирішальний вплив на якість продукції та продуктивність труда.

Для отримання необхідних властивостей різьбових деталей в достатньо вузькому діапазоні необхідно ретельно відпрацьовувати технологічний процес термічної обробки та дотримуватися специфічних вимог до обладнання. Важливими факторами, що впливають на якість термічної обробки деталей кріплення є такі:

- розміщення деталей в робочому просторі печі під час нагрівання;
- спосіб занурення деталей в гартівну рідину;
- інтенсивність охолодження деталей при гартуванні.

В умовах масового виробництва деталі не рекомендують розташовувати в декілька шарів в нерухомому стані, оскільки при цьому не забезпечується рівномірне нагрівання; з нагрівальної печі в ванну з гартівною рідиною деталі повинні потрапляти як можна швидше, щоби не відбулося неповне гартування. [17]

Рекомендованою термічною обробкою для болтів зі сталі 40Х, як зазначено в табл. 2.3, є термічне поліпшення, що складається з гартування при температурі 840-860⁰С у маслі та високому відпуску при температурі 600-640⁰С.

Детально розглянемо перетворення, що відбуваються при термічній обробці болтів зі сталі 40Х.

Гартування. Вихідна структура перед гартуванням – перліт зернистий (рис.3.6). При нагріванні до точки A_{c1} фазових перетворень немає. При A_{c1} починається перетворення перліту на аустеніт, що супроводжується подрібненням зерна. В інтервалі температур A_{c1} - A_{c3} відбувається поліморфне перетворення надлишкового фериту на аустеніт. При температурі гартування структура сталі – дрібнозернистий аустеніт. Витримка при температурі гартування $840-860^{\circ}\text{C}$ повинна забезпечити завершення фазових перетворень та вирівняти хімічний склад по тілу зерна. Далі – охолодження зі швидкістю вищою за критичну в маслі. По досягненні точки початку мартенситного перетворення M_{π} починається бездифузійне перетворення аустеніту на мартенсит. Структура після гартування – мартенсит + аустеніт залишковий (рис.3.7).

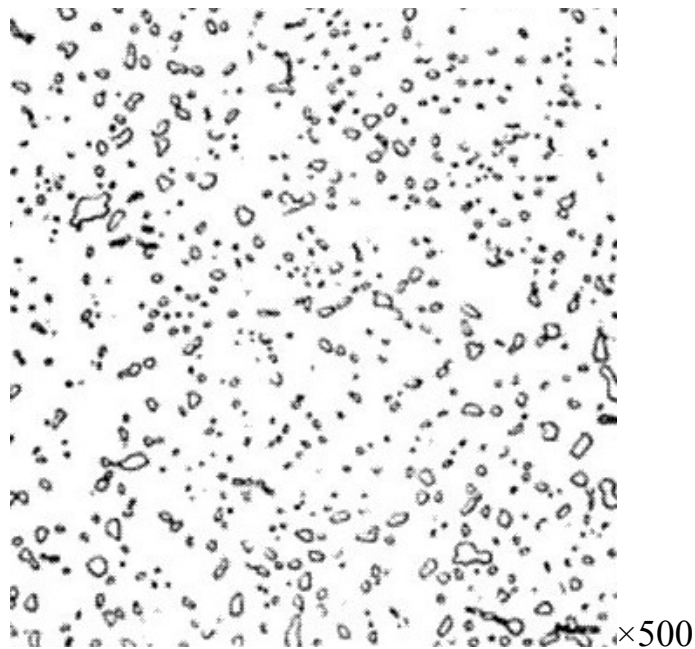


Рисунок 3.6 – Мікроструктура зернистого перліту сталі 40Х



×500

Рисунок 3.7 – Структура сталі 40Х після гартування

Високий відпуск. При високому відпуску загартованої сталі 40Х відбуваються процеси розпаду мартенситу, коагуляції карбідів і рекристалізації матриці.

В інтервалі від 80 до 200°C відбувається перше перетворення при відпусканні – розпад пересиченого твердого розчину, при цьому відбувається збіднення твердого розчину на вуглець і виділення ϵ -карбідів, що когерентно пов'язані з матрицею. У місці розташування такого карбїду твердий розчин збіднюється на вуглець, а деякі мікрооб'єми є пересиченими (80...150°C). В інтервалі температур 150...200°C усувається хімічна неоднорідність матричного розчину. Утворюється структура мартенситу відпуску.

В інтервалі від 200 до 300°C відбувається друге перетворення при відпусканні – перетворення аустеніту залишкового на маловуглецевий мартенсит із карбїдами цементитного типу; також продовжується розпад мартенситу із виділенням надлишкового вуглецю; вище 250°C починається карбїдне перетворення, що полягає в перетворенні метастабільного ϵ -карбїду на цементит.

При температурах 300...400°C відбувається третє перетворення при відпусканні, що полягає в перетворенні ϵ -карбїдів на карбїди цементитного типу, а також перехід мартенситу у ферит. Утворюється структура трооститу відпускання.

При нагріванні до температур вище за 400°C відбувається процес сфероїдизації та коагуляції карбідів (частинок цементиту), а також зворот та рекристалізація феритної матриці. Утворюється структура сорбіту відпуску (рис.3.8). [21]

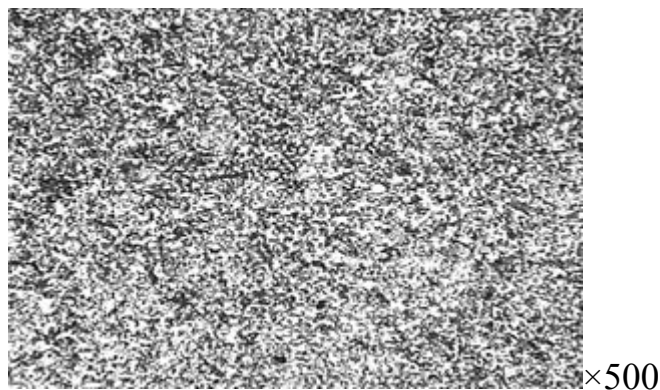


Рисунок 3.8 – Структура сорбіту відпуску

Відмітимо, що сталь 40Х є легованою, тому наявність хрому підвищує температуру другого та третього перетворень, зменшує швидкість коагуляції карбідів. [7, 21]

Як приклад, нижче приведені описання процесу термічної обробки заготовок болтів зі сталі 40Х, що використовується на Запорізькому електровозоремонтному заводі:

1. Гартування. Заготовки болтів (партія 30 штук) разом із зразками (2 штуки) для перевірки механічних властивостей, викласти на піддон в один шар та завантажити в попередньо розігріту камерну піч до центру камери. Температура печі – 840...850°C. Температуру печі контролювати автоматичним потенціометром КСПЗ-П.

Вирівняти знижену при завантаженні температуру печі та витримати при цій температурі 1 годину.

За допомогою кліщів та крюка дістать піддон з деталями разом із зразками та одразу занурити у масляну ванну з включеним стислим повітрям (для рівномірного охолодження масла). Тримати у маслі до повного охолодження, температура масла повинна бути в межах 40...90°C.

Температуру масла контролювати термометром манометричним ТКП-160Cr-M2-УХЛ2.

2. Високий відпуск. Після гартування викласти деталі у баддю та за допомогою крану завантажити у розігріту шахтну піч, температура печі 600...640⁰С. Температуру печі контролювати автоматичним потенціометром КСПЗ-П.

Вирівняти знижену при завантаженні температуру печі до 600...640⁰С та витримати при цій температурі 1 годину.

Дістати деталі з печі та охолодити на спокійному повітрі.

Контролеру ВТК перевірити твердість болтів, вона повинна бути 32...39 HRC (10% від партії).

Треба зазначити, що інтервал припустимої твердості досить широкий. Відомо, що чим вища твердість, а відповідно і міцність тим більший ресурс має даних деталей. Проте у разі перевищення вказаної максимальної твердості, а саме 39 HRC, підвищується ймовірність крихкого руйнування таких деталей. З даного аналізу випливає, що підвищення мінімального значення твердості до максимального, тобто звуження діапазону припустимої твердості, позитивно відіб'ється на міцності, а відповідно і на ресурсі болтів без підвищення ризику їх крихкого руйнування в умовах експлуатації.

Виготовити зразки для перевірки механічних властивостей з такого матеріалу, що і болти. Перевірити механічні властивості (границю міцності, відносне видовження та ударну в'язкість).

У разі невідповідності будь-яких механічних властивостей партія деталей відправляється на повторну термічну обробку та перевірку механічних властивостей. [13]

Печі періодичної дії для здійснення термічної обробки (камерні та шахтні) є найбільш розповсюдженими у використанні; це пояснюється різноманітністю їх конструкції та призначення; зручністю у використанні; простоті в обслуговуванні. До недоліків таких печей відносять достатньо

низьку продуктивність; високі питомі витрати електроенергії та контрольованого газу. Вказані печі є немеханізованими. [23]

Для зменшення витрат часу на проведення термічної обробки, у випадку обробки великої кількості ідентичних виробів в умовах сталого процесу термообробки можна використовувати універсальне обладнання. Отримання необхідних властивостей при термічній обробці деталей кріплення на універсальному обладнанні вирішується створенням спеціального оснащення та пристосувань. Їх використання забезпечує ідентичні умови нагрівання та охолодження кожної деталі, причому чим менший переріз та маса виробів, тим вищими є вимоги, що висуваються до пристосувань та допоміжного оснащення.

На рис. 3.9 показана загальна схема сучасного автоматичного конвейєрного агрегату для здійснення термічного поліпшення болтів. Бункерний 1 та дозувальний 2 пристрій забезпечують укладання деталей в один ряд, що дозволяє провести їх рівномірне нагрівання. Додувальні пристрої 5 та 9 забезпечують охолодження деталей після високотемпературного нагрівання під гартування (4) в захисному середовищі або після відпускання (8). Ванна 6 призначена для охолодження в маслі або солях, а ванна 10 у воді або емульсії. Важливою операцією при здійсненні термічної обробки деталей кріплення є промивання деталей як перед аустенітизацією 3, так і перед відпусканням.

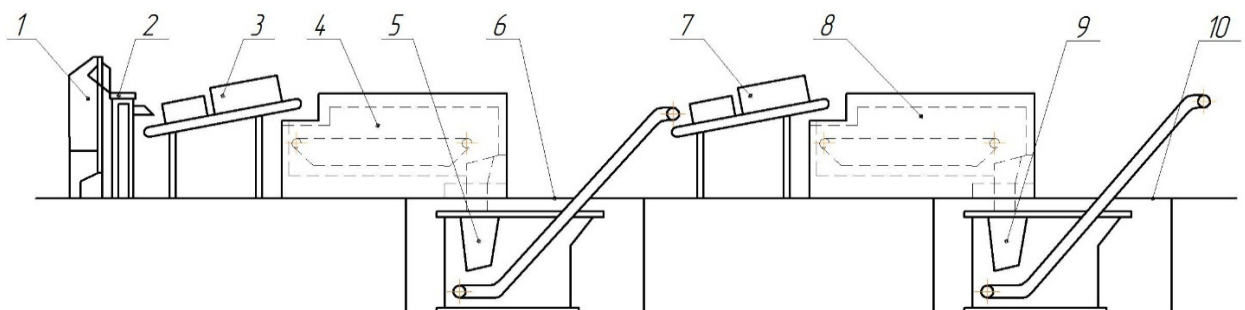


Рисунок 3.9 – Схема сучасного автоматичного конвейєрного агрегату для здійснення термічного поліпшення болтів

Підвищення строку експлуатації деталей кріплення досягається використанням захисних покриттів. За призначенням покриття деталей кріплення поділяють на три групи: захисні покриття, що використовують для підвищення опору корозії; захисно-декоративні покриття для надання деталям гарного зовнішнього вигляду; спеціальні покриття, що використовують для спеціальних цілей, наприклад, для забезпечення заданого коефіцієнта тертя, для здійснення функції підзмащувального шару.

Найбільш ефективними способами захисту сталевих деталей від корозії є гальванічне кадміювання та цинкування, яке ведуть в основному в кислих, ціаністих, аміакатних та лужних електролітах. [17]

З вище наведеного теоретичного аналізу видно, що в реальному виробництві для того, щоб стабілізувати властивості болтів, а відповідно підвищити їх ресурс, доцільно дослідити можливість стабілізації границі плинності сталі шляхом корегування для кожної її плавки температури відпуску.

3.3 Контроль якості деталей кріплення

Ефективна система контролю якості продукції дозволяє в більшості випадків здійснювати своєчасний та цілеспрямований вплив на рівень якості продукції, запобігати виникненню різних недоліків та збоїв в роботі, забезпечувати їх оперативне виявлення та ліквідацію з найменшими витратами ресурсів.

Виділяють такі види контрольних операцій за стадіями виробничого процесу:

- вхідний контроль. Призначений для перевірки якості сировини, матеріалів, напівфабрикатів, комплектувальних виробів, а також інструментів та пристосувань до початку виробництва;
- поопераційний (проміжний) контроль деталей, вузлів, заготовок тощо, який виконується під час технологічного процесу;

- приймальний (завершальний) контроль, якому піддають заготівки, деталі, збірні одиниці, готові вироби;
- контроль транспортування продукції;
- контроль зберігання продукції.

Контроль якості за особливостями перевірки (за характером впливу на контрольовану продукцію):

- руйнівний контроль, при якому подальше використання продукції неможливе;
- неруйнівний контроль.

Якість та надійність деталей кріплення в процесі експлуатації визначається якісним проведенням руйнівних та неруйнівних методів контролю.

Розглянемо основні види дефектів болтів. [12]

1. Тріщини. Уявляють собою руйнування, що виникають на межах або всередині кристалів, а також в місцях розташування неметалевих вкраплень в результаті перенапруження металу в процесі обробки. Якщо вироби з тріщинами підлягають нагріванню, то поверхня тріщини зазвичай покривається окалиною.

1.1 Тріщини напружень (рис.3.10) виникають в процесі термічного оброблення внаслідок термічних та деформаційних напружень. Тріщини напруження зазвичай розташовуються довільно на поверхні виробу.

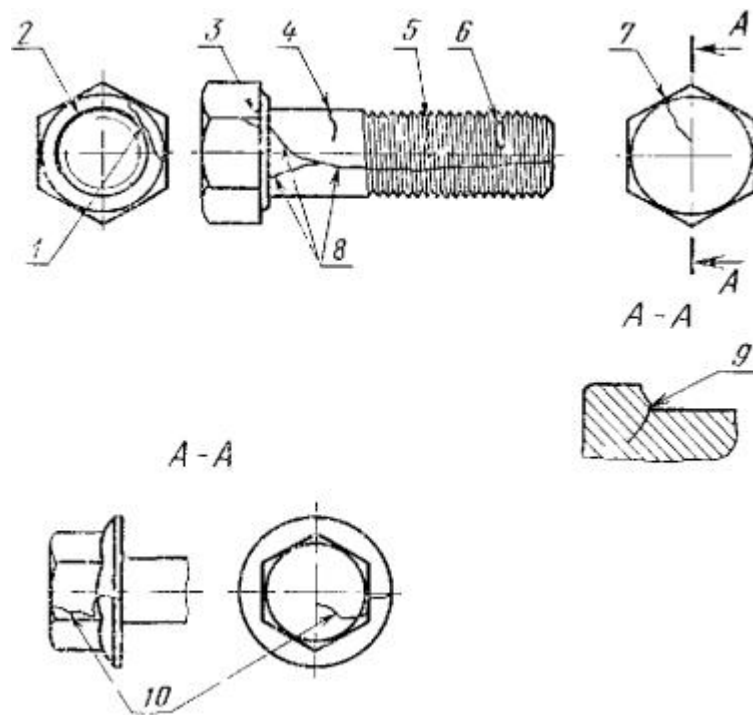


Рисунок 3.10 – Тріщини напружень в болтах: 1 – на опорній поверхні головки; 2 – на радіусі під головою болта; 3 – на ребрі шестигранника; 4 – в поперечному напрямі; 5 – во впадині різьби; 6 – на вершині різьби; 7 – на торці головки; 8 – в поздовжньому напрямку; 9 – з радіальним проникненням всередину радіуса під головою; 10 – тріщина напруження

1.2 Тріщини штампування. Можуть виникнути при відрізанні заготовки та подальшому штампуванні виробу. Вони розташовані в межах головки або кінця стрижня (рис. 3.11).

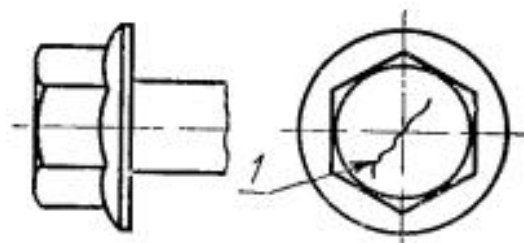


Рисунок 3.11 – Тріщина штампування на головці болта

2 Розкатані пухирі. Є дефектом вихідного матеріалу. Мають вигляд вузьких, в більшості випадків прямих або дещо зігнутих дефектів, що розташовуються вздовж стрижня або головки (рис. 3.12).

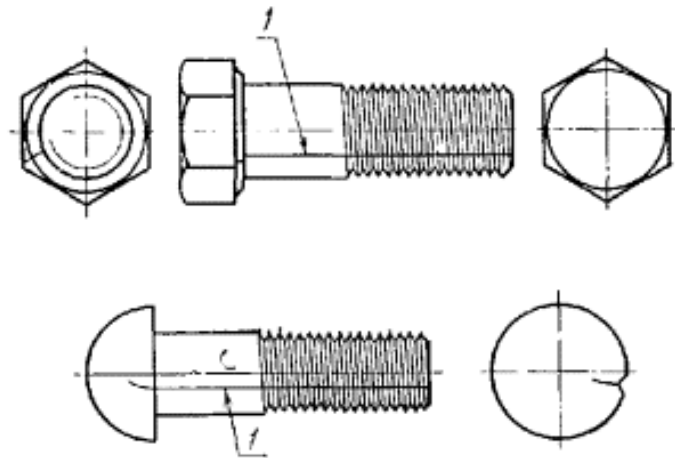


Рисунок 3.12 – Розкатані пухирі (1 – у вигляді дефекту, що розташовується по прямій або дещо зігнутої лінії)

3 Рванини. Є відкритими розривами в металі. Можуть виникати на поверхнях або кромках головки (рис.3.13).

4 Тріщини зсуву виникають на кромках круглих головок і розташовуються під кутом 45° до осі виробу. Можуть також виникати на гранях шестигранних головок (рис.3.13).

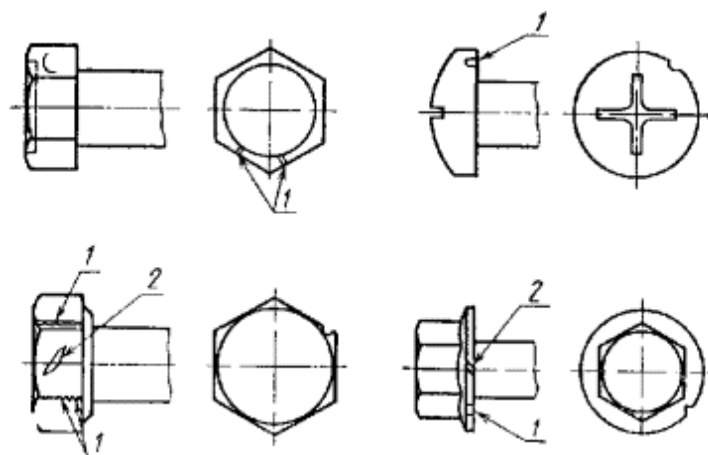


Рисунок 3.13 – Дефекти штампування: 1 – рванини; 2 – тріщини зсуву

5 Сліди інструменту. Є поздовжніми та кільцеподібними рисками невеликої глибини, що виникають внаслідок руху оброблювального інструменту (рис. 3.14).

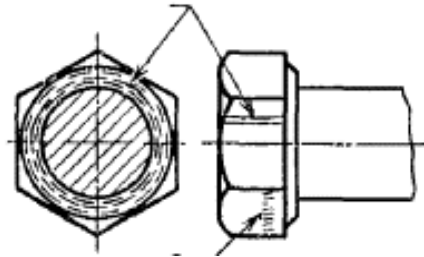


Рисунок 3.14 – Сліди від інструменту

6 Відколи – це виривання металу на гранях головки, що утворюється при обрізанні болтів з багатогранною головкою (рис.3.15).

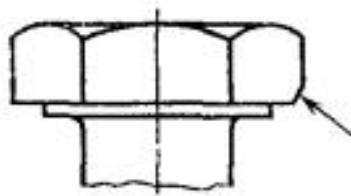


Рисунок 3.15 – Відкол металу на грані головки

7 Пошкодження різьби – це рванини або викришування за профілем різьби, що виникають при операціях накатування або нарізання різьби (рис. 3.16).

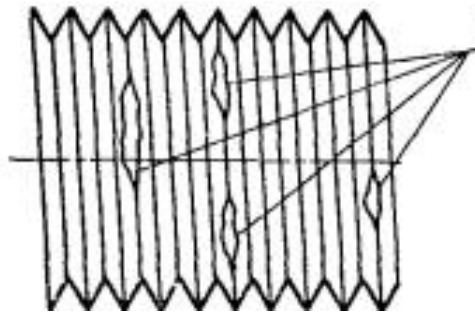
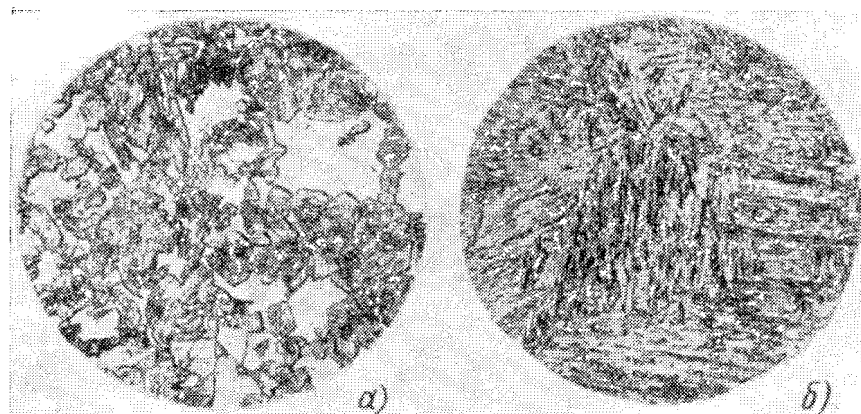


Рисунок 3.16 – Рванини або викришування за профілем різьби

8 Невідповідність структури після термічної обробки. [24].

8.1 Невідповідність структури після гартування. В результаті неякісно проведеного гартування можуть виникнути такі дефекти:

- недогрів. Якщо доевтектоїдну сталь нагріти до температури нижче точки A_{C3} , то частина фериту не перетвориться на аустеніт. Після гартування буде отримана структура, що складається з мартенситу та фериту (рис.3.17, а). Ферит, що має низьку твердість, буде зменшувати загальну твердість загартованої сталі. Такий дефект можна виправити відпаленням та проведенням гартування за оптимальним режимом;



а – недогрів при гартуванні; б – перегрів при гартуванні

Рисунок 3.17 – Структура доевтектоїдної сталі

- перегрів. Спостерігається, якщо сталь нагріли до температури набагато вищої за критичну або при оптимальній температурі була завищена тривалість витримки. При перегріванні відбувається ріст зерна аустеніту, а після гартування утворюється крупногочастий мартенсит (рис.3.17, б); така структура має підвищену крихкість. Перегріту сталь піддають відпалу та знову гартують;

- перепал. Якщо сталь нагрівають до температури, наближеної до температури плавлення, відбувається оплавлення і в зв'язку із цим окислення металу по межах зерен; сталь стає дуже крихкою. Це невиправний брак.

8.2 Невідповідність структури після високого відпуску. Основними дефектами структури після цієї операції термічної обробки можуть бути:

- структура трооститу відпуску замість сорбіту відпуску. Причиною утворення такої структури може бути недостатня температура або час витримки при відпусканні. Структура має завищену міцність та твердість, що підвищує імовірність крихкого руйнування болтів при експлуатації. Виправити цей недолік можна повторним відпусканням;

- утворення структури перліту зернистого. Структура складається з дуже скоагульованих частинок цементиту в феритній матриці; утворенню такої структури сприяє завищені температура та час витримки при відпусканні. Отримання такої структури призведе до значного пониження показників міцності та твердості, внаслідок чого не будуть забезпечуватися необхідні експлуатаційні властивості болтів.

Як зазначалося в підрозділі 2.5 дипломної роботи, вироби піддають перевірці механічних властивостей.

В результаті багаточисельних випробувань різьбових з'єднань на розтяг до руйнування встановлено, що найбільш часто зустрічається руйнування двох видів: обривання стрижня болта та руйнування різьби. Обрив стрижня болта завжди відбувається в найменшому поперечному перерізі – по різьбовій частині, по проточці тощо. Об'ємний напружений стан в зонах впадин різьби часто призводить до того, що стрижень болта в місці

обриву не набуває форми воронки, яка спостерігається при руйнуванні гладкого зразка із в'язкого матеріалу, а уявляє собою покритий тріщинами скол половини перерізу, який розповсюджується під кутом 45° та займає глибину 2...3 витки різби. В іншій частині перерізу спостерігається пластичний злам, що викликається розвиненими радіальними та осьовими деформаціями. Крихкий злам може виникнути в болтах із загартованої сталі, яка не підлягала відпусканню, або температура чи час відпуску були заниженими; також причиною такого дефекту може бути перегрів сталі при гартуванні. [18]

Якість та надійність деталей кріплення в процесі експлуатації визначається якісним проведенням руйнівних та неруйнівних методів контролю.

Контроль стану високоміцних болтів та з'єднуємих елементів проводиться візуально в перевірці наявності болтів в вузлах, а також у вибірковій перевірці їх натягу та збереження (відсутності тріщин тощо) з'єднуємих елементів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Список можливих дефектів з'єднань з високоміцних болтів

№ п/п	Дефект		Спосіб усунення
	неаварійний	аварійний	
1	2	3	4
1.	Відсутні болти менше 5 % в з'єднанні	Відсутні болти більше 5 % в з'єднанні	Встановити нові болти, провести затяжку на проектне зусилля контрольним ключем
2.	Менше 5 % болтів не затягнуті на проектне зусилля	Більше 5 % болтів не затягнуті на проектне зусилля	Провести дозатягування болтів контрольним ключем
3.	При контролі натягу болти с гайками повертаються	-	Встановити нові болти. Провести затяжку болтів на проектне зусилля контрольним ключем

1	2	3	4
4.	Щуп 0,3 мм проходить в зазор між елементами, що з'єднуються	-	Перевірити натяг болтів у вузлі. Провести натяг болтів до проектного зусилля. Стики пофарбувати по контуру
5.	Виявлені тріщини в тілі менше 5 % болтів, гайок або шайб в з'єднанні	Виявлені тріщини в тілі більше 5 % болтів, гайок або шайб в з'єднанні	Замінити пошкоджені болти, гайки або шайби. Провести затягування болтів на проектне зусилля контрольним ключем
6.	-	Виявлена тріщина в конструкціях, що з'єднуються	Виконати зусилля або заміну елемента у відповідності з рішенням авторів проекту

В процесі інструментальної перевірки контролюється натяг болтів (табл.3.4). Контроль натягу болтів здійснюється по моменту закручування динамометричними ключами. Момент закручування, прикладений до гайки або головки болта, повинен бути не меншим за величину, вказану в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Момент закручування, що повинен бути прикладений до гайки або головки болта

Границя міцності, МПа	Діаметр болтів, мм	Зусилля натягу болтів, кН	Момент закручування, Н·м	
			К = 0,18	К = 0,12
1100	16	121	349	232
	20	188	677	451
	22	233	922	615
	24	271	1170	780
	27	353	1714	1144

Технологічний процес підготування деталей кріплення включає розконсервування, очищення від бруду та іржі, прогонку різьби відбракованих болтів та гайок, нанесення змащення.

Існують два способи обробки деталей кріплення. В решітчастій тарі вкладаються деталі кріплення, в чистій бочці кип'ятять воду (бажано з

миючим розчином). Тару занурюють у воду та кип'ятять 10...15 хвилин. Після зливання води, деталі кріплення занурюють в ємність із сумішшю бензину (85%) та мінерального масла типу «автол» (15%), потім виймають. З нагрітих деталей бензин швидко випаровується, а масло у вигляді тонкої плівки залишається на поверхні. Такий спосіб забезпечує вирівнювання коефіцієнту закручування до 0,18.

Зниження коефіцієнта закручування до 0,12 та його стабілізація проводиться шляхом парафінування гайок. Після очищення деталей кріплення за вказаною технологією, в ванну із розтопленим парафіном занурюються лише гайки (витримуються 10...15 хвилин), далі їх виймають, надають можливість стекти надлишкам парафіну та охолодити до температури довкілля. [25]

Таким чином встановлено, що в умовах експлуатації досить складно відбирати болти одної плавки і для кожної плавки вибирати умови затягування.

3.4 Застосування математичного моделювання з метою стабілізації границі плинності сталі 40X

Безпечна експлуатація електровозів забезпечується конструкційною міцністю деталей, в тому числі деталей кріплення, в умовах тривалого впливу статичних та динамічних навантажень.

Як видно з наведеного теоретичного дослідження значний, вплив на властивості, зокрема, твердість, а відповідно і на границю плинності та міцності, які в свою чергу визначають ресурс роботи болтів, чинить концентрація легувальних елементів та домішок. Припустимий інтервал вмісту їх, на даний час звузити, тобто більш точно витримувати хімічний склад плавок, є складною задачею. Проте, якщо встановити залежність (математичну модель) між хімічним складом сталі, температурою відпуску і твердістю, то для кожної плавки конкретного хімічного складу буде

можливість розраховувати і корегувати температуру відпуску таким чином, щоб отримувати твердість даних деталей близько до верхньої границі 39 HRC. Це дозволить звужити діапазон припустимої твердості внаслідок підвищення її мінімального значення і таким чином підвищити ресурс болтів. Оскільки від даних деталей не вимагається теплостійкість, корегувати температуру відпуску є можливість.

При цьому важливим фактором працездатності є структура, а відповідно і властивості матеріалу, який використовується для виготовлення даних деталей. В свою чергу, структура, в даному випадку болтів, забезпечується термічною обробкою, яка полягає в гартуванні на мартенсит з подальшим високим відпуском з отриманням структури сорбіту відпуску. При цьому конструктору, який виконує розрахунки запасу міцності, необхідно враховувати вплив так званих зовнішніх змінних, тобто тих факторів, вплив яких на структуру можна врахувати, але якими немає можливості керувати. При плануванні експерименту значення таких факторів потрібно стабілізувати, щоб зменшити їх вплив, а відповідно і похибку.

Фактори, вплив яких досліджують, повинні бути:

- 1) керованими, тобто такими, що дозволяють експериментаторові встановлювати необхідні значення і підтримувати ці встановлені їх значення постійними протягом досліджу;
- 2) такими, що безпосередньо впливають на об'єкт дослідження, тому що важко керувати факторами, які є функціями інших факторів;
- 3) сумісними, тобто повинна бути можливість здійснювати експериментально усі комбінації рівнів факторів до того ж безпечно;
- 4) незалежними, тобто такими, що дозволяють експериментаторові встановлювати необхідні рівні будь-якого фактора незалежно від рівнів інших факторів.

Такими факторами, в даному випадку для сталі 40X, є концентрації вуглецю та легувального елементу хрому, а також параметри термічної обробки, зокрема температури відпуску. Відомо, що точні значення існують

тільки в принципі у виді постулатів метрології, а на практиці всі значення параметрів можуть підтримуватися тільки в деякому інтервалі, тобто з похибкою. Можливі інтервали зміни концентрацій вуглецю та хрому в сталі у відповідності з вимогами ДСТУ 7806:2015 (табл. 2.1), а інтервал зміни властивостей наведено в таблиці 2.3. Припустили, що звуження цих інтервалів дозволить зменшити інтервал коливань значень вихідних параметрів, зокрема границі плинності, проте, це призведе, зокрема, до підвищення вартості контролюючих приладів та пристроїв, що здійснюють регулювання. Тому на виробництві необхідно виходити з економічної доцільності підвищення точності та вартості систем контролю та регулювання, при цьому конструктор змушений розраховувати на мінімальні, тобто гарантовані значення властивостей, в даному випадку границю плинності сталі 40X при розрахунку запасу міцності болтів.

В даній роботі досліджували можливість компенсування впливу зовнішніх факторів шляхом керування температури відпуску болтів. Виходили з того, що, наприклад, зміна концентрації вуглецю, хрому, а також температури гартування та режиму штампування болтів може призводити до підвищення або зниження твердості, а відповідно границі плинності та міцності болтів, що, як звісно, негативно впливає на їх ресурс роботи. Так, збільшення міцності вище оптимального рівня, призводить до прискореного руйнування болтів зі структурою квазісколу в зламі (рис.3.18), а зниження значень твердості призводить до руйнування болтів зі структурою ямкового зламу (рис.3.19), але теж до скорочення ресурсу роботи в порівнянні із ресурсом роботи болтів, які володіють оптимальною твердістю, що визначено експериментально у роботі [26].

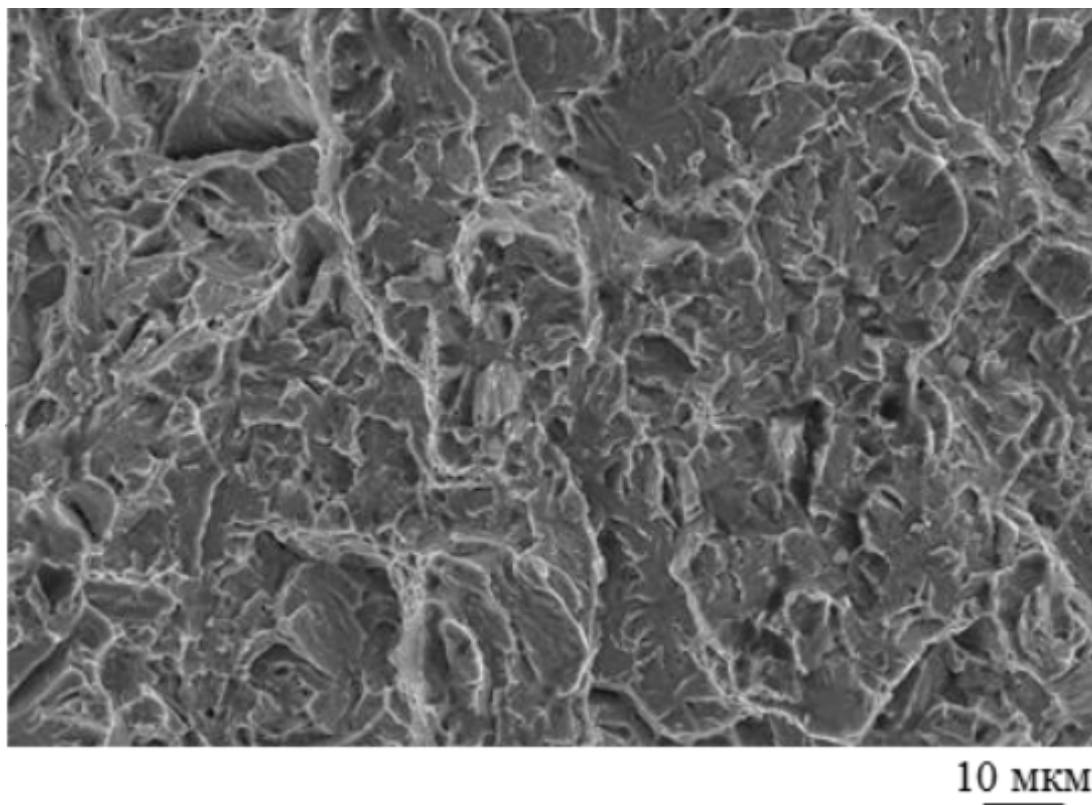


Рисунок 3.18 – Квазіскол у зламі болта з підвищеною твердістю [26]

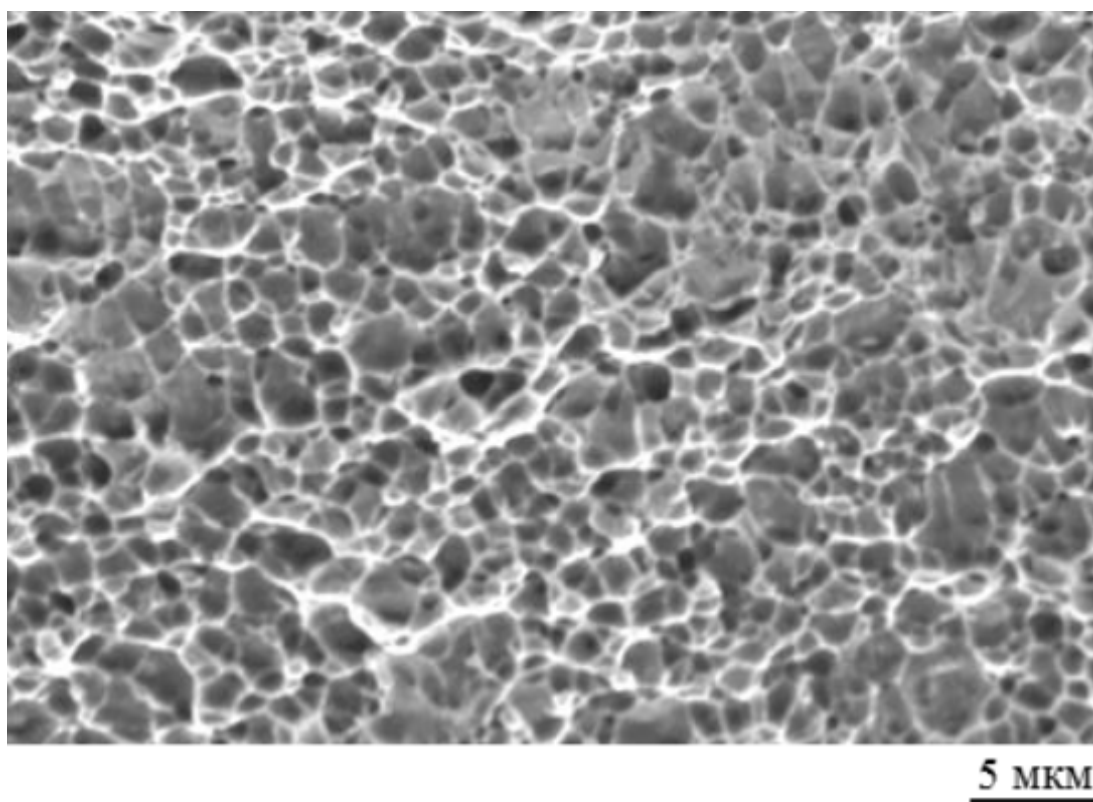


Рисунок 3.19 – Ямковий рельєф у зламі болта зі зниженою твердістю [26]

При сьогодишньому рівні розвитку техніки реалізувати звуження інтервалу значень твердості можна спробувати шляхом підбору температури відпуску. При цьому оптимальну температуру відпуску можна визначати або проведенням фізичних експериментів для кожної партії болтів, що виготовленні з плавки із конкретним вмістом вуглецю та хрому і оброблених в однакових умовах, або шляхом проведення віртуальних експериментів за допомогою математичної моделі. В першому випадку необхідні болти з кожної нової партії для визначення значень оптимальної температури відпуску в реальному (фізичному) експерименті, при цьому болти з підвищеною твердістю після експерименту можна додатково відпустити при встановленій оптимальній температурі, а болти з пониженою твердістю або термообробити повторно (відпал + гартування + високий відпуск), або використовувати, але знизити їх ресурс, що призведе до зниження економічної ефективності.

Очевидно, що з економічної точки зору визначення оптимальної температури відпуску за допомогою віртуальних експериментів, тобто розрахунком за допомогою математичної моделі, може бути більш вигідним в порівнянні із першим варіантом, але потребує одноразових витрат на проведення науково-дослідної роботи для отримання адекватної математичної моделі.

В даній роботі проведені експерименти, необхідні для отримання математичної моделі, яка пов'язує концентрацію вуглецю, хрому та температуру відпуску із твердістю для сталі 40X. Для цього використовували болти, що виготовлені згідно заводській технології зі сталі 40X. Оскільки технологія, що використовується у виробництві даної сталі, на даний час, не дозволяє отримати заготовки болтів з концентрацією вуглецю та хрому у відповідності з значеннями верхнього та нижнього рівнів, скорегували значення концентрацій вказаних елементів на середньому рівні. Значення концентрацій вуглецю та хрому обирали у відповідності з верхніми та

нижніми значеннями (ДСТУ 7806:2015 «Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови»).

Умови проведення дослідів наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Умови проведення дослідів для отримання математичної моделі, що описує залежність між границею плинності та вибраними факторами

Фактори	Інтервали варіювання	Рівні факторів		
		середній (нульовий)	верхній	нижній
X_1 – масова частка вуглецю, %	0,04	0,4	0,44	0,36
X_2 – масова частка хрому, %	0,15	0,95	1,10	0,80
X_3 – температура відпуску, °C	50	600	650	550

З вказаної таблиці видно, що як фактори обрані концентрації вуглецю та хрому, а також температура відпуску.

Як вихідний параметр було вирішено використовувати границю плинності $\sigma_{0.2}$. Це пов'язано із тим, що цей параметр можна більш точно визначати експериментально в порівнянні із твердістю або границею тимчасової міцності. Його значення в меншому ступені залежать від розмірів зразка в порівнянні із іншими параметрами міцності. Крім того, використання границі плинності в розрахунках дозволяє зменшити коефіцієнт запасу, тобто коефіцієнт, що враховує невизначеність або похибку результатів розрахунку на міцність болтового з'єднання.

Вибір параметру (границі плинності), що можна визначити з меншою похибкою, наприклад, порівняно з твердістю чи границею короточасної

міцності, також дозволить зменшити інтервали варіювання факторів значення яких повинно перевищувати значення похибки.

На першому етапі було вирішено будувати математичну модель у вигляді лінійного поліному, а якщо він виявиться неадекватним, поступово його ускладнювати, підвищуючи ступінь.

Поліном першого ступеня в загальному виді виражається рівнянням

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \dots + b_{12\dots k}x_1x_2\dots x_k.$$

Для трьох факторів це рівняння має вигляд

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

Факторний експеримент здійснюють за допомогою матриці планування, у якій використовують кодовані значення факторів.

Для зручності запису умов експерименту і обробки експериментальних даних рівні факторів кодують. У кодованому виді верхній рівень позначають +1, нижній - 1, а основний 0. Кодоване значення фактора x визначають за формулою

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_i^0}{\varepsilon_i},$$

де x_i — натуральне значення i -го фактора; $\tilde{x}_i^0$ - натуральне значення основного рівня x_i -го фактора; ε_i - інтервал варіювання i -го фактора.

При кодуванні якісних факторів, що мають два рівні, верхній рівень позначається +1, а нижній -1. Експеримент, у якому реалізуються всі можливі сполучення рівнів факторів, називають повним факторним експериментом.

Оскільки факторів відібрано три і між ними можлива взаємодія, то для створення моделі вказаного типу вирішили реалізувати повний факторний експеримент (табл. 3.6). Для оцінки адекватності моделі здійснили три експерименти на нульовому рівні.

Таблиця – 3.6 Матриця для проведення дослідів і отримання математичної моделі, що описує залежність між границею плинності та вибраними факторами

№ дослідів	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ ·X ₂	X ₁ ·X ₃	X ₂ ·X ₃	X ₁ ·X ₂ ·X ₃	Y(σ _{0,2})
1	+	-	-	-	-	+	-	+	633
2	+	-	-	+	+	-	-	+	716
3	+	+	-	+	-	+	-	-	699
4	+	-	+	+	-	-	+	-	745
5	+	+	+	+	+	+	+	+	751
6	+	-	-	-	+	+	+	-	833
7	+	+	-	-	-	-	+	+	789
8	+	-	+	-	-	+	-	+	835

Після математичної обробки даних експерименту, було отримано рівняння регресії у кодованих величинах такого виду:

$$Y=750+32X_1+17X_2-52X_3-9X_1X_2+7X_2X_3.$$

Результати його статистичної перевірки за критерієм Фішера показали, що воно, при ймовірності 95 %, адекватно описує експериментально отриману (тобто емпіричну) залежність. Дане рівняння не розкодували, оскільки так його зручніше аналізувати, зокрема за значенням коефіцієнтів можна судити про ступінь впливу факторів при зміні їх значень у вибраних інтервалах і надати фізичну інтерпретацію впливу вибраних факторів.

Зокрема видно, що підвищення чи зниження границі плинності сталі можна компенсувати підвищенням чи зниженням температури відпуску.

З даної залежності видно, що регулювати значення границі плинності (яке випадковим чином змінюється, наприклад, під впливом вмісту вуглецю чи хрому) можна встановленням певного значення температури відпуску. Таким чином можна буде встановлювати температуру відпуску для кожної конкретної партії (плавки) болтів, що забезпечить стабільну границю плинності, яка в свою чергу забезпечить стабільний, а відповідно більш високий гарантований ресурс роботи болтів.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Ринок технологій є найважливішим фактором сучасної міжнародної економіки. Сучасна ринкове середовище характеризується тим, що технології, безперервно розвиваючись, змінюють ринок, формуючи нові потреби і видозмінюючи зв'язані технологічні ланцюжки. Світові ринки технологій служать своєрідним полігоном, на якому проходять вирішальні випробування і здійснюється відбір нововведень, що розробляються в науково-дослідних і виробничо-технічних підрозділах різних країн. На думку деяких західних учених, економічний підйом після енергетичної кризи 70-х рр. XX ст. був викликаний не досягненнями фундаментальної науки, а зростаючою роллю нововведень у підвищенні промислової конкурентоспроможності та розвитком світових ринків технологій. Технологічні нововведення породжують нові способи виробництва та споживання, зачіпають всі сектори економічного і соціального життя і мають за основу свого втілення гнучкі і централізовані підприємства, здатні швидко пристосовуватися до ринку і відповідати на потреби кінцевого споживача.

Глобальний ринок термообробки тільки в машинобудуванні оцінюється в 0,9-1 млрд. доларів США. Причому, в Україні практично 99% вартості на цьому ринку створюють підприємства, що випускає кінцеву продукцію (машини та обладнання).

На відміну від вітчизняної практики, досвід розвинених країн показує, що близько 15% ринку термообробки зайнято комерційними центрами. Ці центри надають послуги не тільки з традиційних видів ТО і ХТО (гартуванню, цементації і азотуванню), але і з інноваційних методів ХТО (типу Arcor, Tenifer, Durofer, Stanal 400 і ін.) з метою отримання граничних характеристик поверхневого шару оброблюваних деталей.

Вважаючи, що розвиток ринку термообробки в Україні піде тим самим шляхом, що і в розвинених країнах, можна зробити прогноз, що обсяг ринку комерційної термообробки в Україні може становити ті ж 15% від обсягу всього ринку, тобто досягати 140-150 млн. доларів. На даний момент цей ринок комерційної термообробки практично порожній, що дає можливість його наповнення в розумні терміни.

Оволодіння передовими технологіями є ключовим моментом в досягненні конкурентних переваг національної економіки.

4.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання технології термічної обробки кріпильних болтів М20×130. Вхідні техніко-економічні показники наведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Вхідні техніко-економічні показники

Найменування виробу	Матеріал базового виробу	Новий виріб
1.Болт кріпильний М20/130	Сталь 40Х	Сталь 40Х
2. Технологія зміцнення		Відпал Гартування Гальванічне покриття
3. Програма випуску, шт.		500

Відомо, що болт кріпильний М20×130 має повну собівартість $C_b = 300$ грн.

Для розрахунку собівартості нового виробу (C_n) необхідно розрахувати собівартість термічної обробки деталі.

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва.

Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів при термічній обробці та гальванічному покриттю

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, грн./т	Вартість, грн.
Ендогаз	60 л	100	600
Масло машинне	50 л	2700	1350
Сірчаний кадмій	5 кг	6000	300
Разом			2250

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Відпал	6	IV	45	270
Гартування	1	IV	45	45
Гальванічне покриття	1	IV	45	45
Усього				360

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

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_D}{100}, \text{ грн}$$

де K_D – процент додаткової заробітної плати.

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

$$BC = (ЗО + ЗД) \cdot \frac{K_{bc}}{100}, \text{ грн}$$

де ПП – премії з прибутку, грн;

K_{bc} – % відрахування на соціальні заходи.

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

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

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}, \text{ грн}$$

де α – % загально виробничих витрат.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно-управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 500% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн}$$

де β – % адміністративних витрат.

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

$$ВЗ = C_{\text{в}} \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{ грн}$$

де $C_{\text{в}}$ – собівартість виробнича, грн;

γ – % витрат на збут .

Прибуток складає 30% від повної собівартості і розраховується за формулою

$$П = C \cdot \frac{P}{100}, \text{ грн}$$

де P – рентабельність виробу, %.

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20% від оптової ціни і розраховується за формулою

$$ПДВ = Ц \cdot \frac{H_{ндв}}{100}, \text{ грн}$$

де $H_{ндв}$ – норматив податку на додану вартість, %.

Ціна продажу виробу розраховується за формулою

$$Ц_{пр} = Ц + ПДВ, \text{ грн.}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 4.4.

В результаті розрахунків ми отримали собівартість термічної обробки партії деталей:

$$C_{то} = 25914,8 \text{ грн.}$$

Тоді собівартість термічної обробки одного виробу:

$$C_{тоі} = 25914,8 : 500 = 51,82 \text{ грн.}$$

Собівартість базового виробу складала $C_b = 300$ грн., тоді повна собівартість виробу з витратами на термічну обробку (C_n);

$$C_n = 300 + 51,82 = 351,82 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Калькуляція термічної обробки партії (500шт.) болтів кріпильних М 20×130

№	Статті витрат	Сума, грн
1	Сировина і основні матеріали	2250
2	Купівельні комплектуючі вироби	-
3	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	360
4	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	144
5	Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	110,88
6	Загальновиробничі витрати	1440
7	Собівартість виробнича	4304,8
8	Адміністративні витрати	21524
9	Витрати на збут	86,096
10	Собівартість повна	25914,8
11	Прибуток	7774,46
12	Ціна оптова	33689,2
13	Податок на додану вартість	6064,06
14	Ціна продажу	39753,2

Розрахуємо економічну ефективність інноваційного проекту за показником економія експлуатаційних витрат.

Оскільки відомо, що експлуатаційний ресурс болтів завдяки термічній обробці збільшено з $U1 = 100000$ км до $U2 = 140000$ км, можемо розрахувати коефіцієнт експлуатаційного ресурсу:

$$K_e = \frac{U2}{U1} = \frac{140000}{100000} = 1,4.$$

Тоді економія експлуатаційних витрат болтів після термічної обробки складе:

$$E = N (C_n \times K_e - C_b) = 500 (351,82 \times 1,4 - 300) = 96274 \text{ грн.}$$

E – економічний ефект від впровадження нової технології термообробки болтів кріпильних М20×130.

Таким чином, можна зазначити, що проведення термічної обробки є економічно доцільним, оскільки експлуатаційний ресурс завдяки цьому збільшено з $U1 = 100000$ км до $U2 = 140000$ км., а економічний ефект при цьому $E = 96274$ грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В магістерській роботі на тему: «Оптимізація технології термічної обробки деталей кріплення електровозів із застосуванням методів планування експериментів» представлені основні заходи з охорони праці при розробці технологічного процесу виготовлення деталей кріплення електровозів (болтів) зі сталей 40, 45 та 40Х.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Потенційними небезпеками в процесі виготовлення зазначених деталей можуть бути:

- незадовільна професійна підготовка фахівця, яка може бути причиною порушення правил безпечного виконання службових обов'язків і, як наслідок, отримання негативного впливу виробничих факторів;
- порушення вимог ергономіки щодо організації робочих місць в адміністративних приміщеннях (зокрема, невиконання цих вимог відносно антропометричних характеристик) може призвести до погіршення фізіологічного стану працівника;
- можливість ураження електричним струмом внаслідок порушення правил з електробезпеки, що може призвести до електричних травм або до летального наслідку;
- небезпеки, які пов'язані з використанням комп'ютерної техніки при розробці технологічного процесу, зокрема підвищена напруженість роботи;
- небезпеки, що пов'язані із впровадженням технологічного процесу;
- небезпеки, які пов'язані з отриманням результатів випробувань механічних властивостей та дослідження мікроструктур;
- незадовільні параметри освітлення виробничих приміщень в результаті виходу з ладу приладів освітлення;

- можливість загорань та виникнення великих пожеж внаслідок порушення правил пожежної безпеки;

- небезпеки, пов'язані з умовами праці в період надзвичайних ситуацій (НС), зокрема при недотриманні інженерно-технічних заходів, спрямованих на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу ударної хвилі.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Основні заходи щодо забезпечення безаварійної роботи і безпечного виконання службових обов'язків.

До роботи на відповідному етапі здійснення технологічного процесу допускаються особи віком не молодше 18 років, які:

- мають відповідну кваліфікацію та пройшли щорічне навчання і перевірку знань з охорони праці, медичний огляд та не мають протипоказань щодо даного виду роботи;

- прослухали вступний інструктаж з охорони праці і пожежної безпеки у інженера з охорони праці підприємства;

- пройшли первинний інструктаж з охорони праці і пожежної безпеки безпосередньо на робочому місці у майстра дільниці.

Згідно НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавця охорони праці працівників» новоприйняті на підприємство працівники після первинного інструктажу на робочому місці, до початку самостійної роботи, повинні під керівництвом досвідчених кваліфікованих працівників пройти стажування. Після закінчення стажування при задовільних результатах перевірки знань з питань охорони праці, працівник допускається до самостійної роботи (з обов'язковим записом у журналі реєстрації інструктажів). Якщо робітник не оволодів необхідними виробничими навичками та отримав незадовільну відмітку з протиаварійних та протипожежних тренувань, то стажування продовжується новим розпорядженням, але не більше ніж на 2 робочі зміни.

Основні заходи щодо організації робочого місця.

Згідно ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» створення оптимальних умов роботи, що сприяють зростанню продуктивності праці (тобто виконання умов ергономіки) є однією із завдань в діяльності спеціалістів з організації виробничих процесів. Робоче місце – це просторова ділянка в робочій системі, на якій виконуються робочі завдання. При організації ергономіки робочого місця повинні виконуватися вимоги щодо економічності, ергономічності та гуманності. Правильно організовані робочі місця гарантують:

- економічно вигідні обсяги виробництва;
- високу якість;
- незначні накладні витрати;
- знижене навантаження та напруженість роботи, які можуть перенести працівники;
- виконання правил техніки безпеки.

Основні заходи щодо виключення можливості ураження електричним струмом.

До роботи з електроустановками допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання та перевірку знань з електробезпеки згідно НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», і отримали певну групу з електробезпеки. На всі види обладнання мають бути складені схеми нормальної роботи і схеми дій в аварійних ситуаціях. Ремонт електроустановок має виконувати тільки підготовлений персонал.

Електропечі повинні експлуатуватися згідно правилам та нормам експлуатації електроустаткування і електричних установок, а також правилам техніки безпеки при експлуатації електроустановок. Забороняється експлуатувати піч в несправному стані, а також без захисних запобіжних пристроїв на струмопровідних частинах. Електричні печі повинні мати

блокування для автоматичного вимкнення струму з нагрівальних елементів при відкриванні дверцят печі. Всі струмопровідні частини електропечей повинні мати огорожі, які також як і інші металеві неструмопровідні частини повинні бути надійно заземлені. На всіх захисних кожухах повинні бути виконані надписи, які забороняють знімати кожухи під час роботи електричної печі. Завантаження та вивантаження деталей слід проводити тільки при знеструмленій печі, в чому потрібно переконатися по сигнальній лампі на щиті.

Основні заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці при роботі з комп'ютерною технікою.

Робота осіб, що використовують у роботі постійно або періодично електронно-обчислювальні машини (далі – ПК), відноситься до категорії робіт, що пов'язані із небезпечними та шкідливими умовами праці.

На оператора ПК можуть впливати низка шкідливих та небезпечних виробничих факторів, серед яких відмітимо найбільш небезпечні:

- підвищений рівень напруження в електричних ланцюгах живлення та керування ПК може призвести до електротравмування оператора при відсутності заземлення або занулення обладнання;

- невідповідні санітарним нормам візуальні параметри дисплеїв;

- знижений або підвищений рівень освітленості;

- підвищений рівень запиленості або загазованості повітря робочої зони від зовнішніх джерел;

- невідповідні нормам параметри мікроклімату: підвищена температура через постійне нагрівання деталей ПК, знижена вологість, завищений рівень шуму, знижена або підвищена швидкість руху (рухомість) повітря робочої зони; збільшений вміст у повітрі патогенної мікрофлори;

- підвищені зорові навантаження при високому статичному зоровому напруженні впродовж тривалого часу;

- збільшене розумове напруження через завищений обсяг інформації;

- фізичне напруження через нераціональну організацію робочого місця.

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення, обладнаного ПК, розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Режим праці й відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на ПК і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, видів і категорії трудової діяльності.

Площа, відведена на одне робоче місце повинна складати не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м². Конструкція робочого місця повинна забезпечувати підтримку оптимальної робочої пози. При необхідності особливої концентрації уваги під час виконання робіт суміжні робочі місця операторів необхідно відокремлювати один від одного перегородками висотою 1,5 – 2 м.

Категорії тяжкості й напруженості роботи на ПК визначаються рівнем навантаження за робочу зміну: для групи А (робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом) – по сумарному числу зчитувальних знаків; для групи Б (робота з введення інформації) – по сумарному числу зчитувальних знаків або знаків, що вводяться; для групи В (творча робота в режимі діалогу із ПК) – за сумарним часом безпосередньої роботи на ПК. У табл. 5.1 наведені категорії тяжкості та напруженості робіт в залежності від рівня навантаження за робочу зміну.

Таблиця 5.1 – Види категорій трудової діяльності із ПК

Категорія роботи по тяжкості й напруженості	Рівень навантаження за робочу зміну при видах роботи на ПК		
	Група А Кількість знаків	Група Б Кількість знаків	Група В Час роботи, год
I	До 20000	До 15000	До 2,0
II	До 40000	До 30000	До 4,0
III	До 60000	До 40000	До 6,0

При 8-годинній робочій зміні й роботі на ПК регламентовані перерви варто встановлювати:

- для першої категорії робіт – через 2 години від початку зміни й через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна;
- для другої категорії робіт – через 2 години від початку робочої зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна або тривалістю 10 хвилин через щогодини роботи;
- для третьої категорії робіт – через 1,5- 2,0 години від початку робочої зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 20 хвилин кожна або тривалістю 15 хвилин через щогодини роботи.

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4 годин роботи, незалежно від категорії й виду робіт, щогодини тривалістю 15 хвилин.

Тривалість безперервної роботи на ПК без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 години.

Ефективними є нерегламентовані перерви (мікропаузи) тривалістю 1-3 хвилини.

Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з

візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Користувачам ПК, що виконують роботу з високим рівнем напруженості, показане психологічне розвантаження під час регламентованих перерв і наприкінці робочого дня в спеціально обладнаних приміщеннях (кімнатах психологічного розвантаження). Всі професійні користувачі ПК повинні проходити обов'язкові попередні медичні огляди при надходженні на роботу, періодичні медичні огляди з обов'язковою участю терапевта, невропатолога й окуліста, а також проведенням загального аналізу крові й ЕКГ.

Основні заходи при впровадженні технологічного процесу.

Для створення нормальних умов роботи, виключення травматизму та нещасних випадків, на всіх етапах виготовлення виробів робітники повинні суворо дотримуватися правил техніки безпеки.

Розміщення обладнання в виробничих приміщеннях повинно відповідати характеру виробництва та забезпечувати безпечні умови праці, виконання технологічного процесу з мінімальною кількістю зворотних вантажопотоків або таких, що перетинаються, з найменшою трудомісткістю подання вихідного матеріалу (заготівок) до агрегатів та відбору готових виробів від агрегатів. Виробниче обладнання повинно розміщуватися з урахуванням максимальної можливості його механізації та автоматизації.

Робочі місця повинні зберігатися в чистоті та порядку, не можна захащувати їх заготовками, готовими виробами, сторонніми предметами та сміттям. Готові вироби, окалина та сміття повинні регулярно прибиратися з робочого місця. Підлога на робочих місцях повинна бути справною та неслизькою.

Технологічні процеси в ковальсько-пресовому виробництві повинні передбачати оптимальні режими роботи обладнання, що забезпечують: якісне виконання технологічного процесу; раціональний ритм роботи

операторів, що виконують технологічний процес; виключення можливості виникнення шкідливих факторів та аварійної обстановки.

При розробці технологічних процесів та виконання ковальсько-пресових робіт повинно бути передбачено:

- усунення впливу на працівників шкідливих та небезпечних виробничих факторів;

- використання засобів автоматизації та механізації, дистанційного керування технологічним процесом та операціями при наявності шкідливих та небезпечних виробничих факторів;

- використання засобів захисту працюючих: засобів індивідуального захисту (спецодяг, спецвзуття, захисні окуляри тощо), засобів колективного захисту працівників, які використовують безпосередньо на робочих місцях (загородження, захисні екрани, безконтактні захисні пристрої, засоби видалення шкідливих речовин, що виділяються, тощо), а також засобів технологічного оснащення, що забезпечують безпеку праці (пінцети та щипці для видалення деталей із зони обробки, крюки для видалення застряглих в штамповій зоні виробів або заготовок та ін.).

При здійсненні термічної обробки терміст повинен суворо дотримуватися вимог щодо техніки безпеки.

Робочим місцем терміста, зайнятого поблизу печей на гарячих роботах, є ділянка виробничої площі, що оснащена нагрівальними пристроями (камерні або шахтні печі), приладами для контролю теплового режиму, устаткуванням для здійснення гартування (бак масляний, бак водяний). Терміст повинен знаходитися на цій ділянці впродовж усієї робочої зміни.

Перед початком роботи терміст повинен одягнути спецодяг, оглянути та упорядкувати робоче місце; перевірити справність приладів та устаткування печі, вантажопідйомних механізмів, підготувати до роботи інструмент, вантажозахватні пристрої та переконатися в їх справності; усунути ковзкість підлоги, видаливши розливу рідину; переконатися в нормальній роботі вентиляції, достатньому освітленні робочого місця;

перевірити наявність всіх захисних кожухів, заземлення кожуха електропечі та шафи управління.

Відповідно до Закону України «Про охорону праці», стаття 14, працівник зобов'язаний знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів, правила поведінки з печами, машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту; дбати про особисту безпеку та здоров'я, а також безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства.

Техніка безпеки при нарізанні різьби. Перед початком роботи токар повинен привести в порядок одяг (щоби не було звисаючих кінців), прибрати волосся під головний убір; надійно закріпити інструменти, пристосування та заготовки. При здійсненні операції нарізання різьби користуватися спеціальними окулярами або захисним екраном. Під час роботи станка робітнику заборонено проводити встановлення, зняття заготовок та інструментів, вимірювання деталі, регулювання, чищення та змащення станка. Працюючий станок не можна залишати без нагляду. Стружку видаляти зі станка тільки спеціальними щітками або скребками.

Нанесення металевих покриттів гальванічним способом пов'язане із використанням шкідливих для організму людини ціанідо-лужних, лужних та кислих електролітів. Зазначені електроліти можуть викликати опіки, а при потраплянні в очі – призвести до складних травм; деякі речовини викликають руйнування слизових оболонок носоглотки.

При роботі з електролітами необхідно дотримуватися положення ПП 1.4.32-418-2005 «Примірна інструкція з охорони праці при роботах на гальванічних дільницях». Робітник повинен суворо виконувати такі правила:

- за 10-15 хвилин до завантаження виробів у ванни необхідно вмикнути бортову вентиляцію;

- працювати необхідно в спецодязі, гумових чоботах, прогумованому фартуху, гумових рукавичках. Кожний робітник повинен мати респіратор та запобіжні окуляри;

- для запобігання дихальних шляхів необхідно перед роботою змащувати слизову оболонку носу чистим вазеліном.

Про всі недоліки роботи обладнання робітник повинен вчасно повідомляти зміннику та майстру.

Основні заходи при проведенні випробувань механічних властивостей та дослідження мікроструктур.

До проведення випробувань механічних властивостей повинні допускатися особи, що пройшли інструктаж із техніки безпеки. Перед початком проведення випробувань необхідно переконатися в справності обладнання. Дотримуватися усіх правил при закріпленні зразка в обладнанні.

При виготовленні мікрошліфів основними операціями є вирізання зразка; шліфування поверхні; полірування; травлення. Шліфувально-полірувальні станки повинні бути обладнані блокувальним устроєм для зупинення шліфувального (полірувального) круга при припиненні подання живлення; захисним кожухом; захисним екраном для очей. Робітники, що працюють на шліфувально-полірувальних станках повинні знати їх устрій, принцип дії, а також ознаки та причини несправностей і можливі наслідки. При роботі обов'язково користуватися засобами індивідуального захисту. Травлення зразка необхідно виконувати під витяжкою, користуючись гумовими рукавичками.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Освітленість робочих місць повинна відповідати Державним будівельним нормам України (ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»).

Освітлення має відповідати низці гігієнічних вимог: бути достатнім, рівномірним, не повинне засліплювати очі, створювати зайву контрастність на робочій поверхні. Освітлення буває природним, штучним і спільним (одночасне використання природного та штучного світла). Найбільш сприятливе для організму – природне освітлення.

Аварійне освітлення призначене для часткового продовження робіт і евакуації людей при раптовому відключенні або виходу з ладу робочого освітлення; воно повинне мати незалежне джерело електроенергії.

За характером розподілу світлового потоку світильники можуть бути прямого розсіяного та відбитого світла. За гігієнічними, естетичними та світлотехнічними даними відбите освітлення вигідно відрізняється від прямого та розсіяного, але джерела такого світла мають низький коефіцієнт корисної дії.

Освітленість робочих місць системою загального штучного освітлення повинна відповідати для робіт середньої точності при малому контрасті розрізнення об'єкта з фоном (фон світлий) для газорозрядних ламп: комбіноване 400 лк, загальне 100 лк.

Освітленість робочого місця повинна бути не менше 200 лк, світло – розсіяним (матові лампи, лампи денного світла) або відбитим.

Освітленість робочих місць повинна відповідати нормам для точних робіт, пов'язаних з розрізненням допусків і посадок розміром від часток до декількох міліметрів: 100 – 300 лк. Для забезпечення цієї освітленості використовують світильники заливаючого світла з лампами потужністю 500 - 1000 Вт. Для місцевого освітлення використовують світильники з лампою потужністю 200 Вт. Місцеве освітлення повинно здійснюватися світильниками, що встановлюються на обладнанні та регулюються таким чином, щоби освітленість в робочій зоні була достатньою.

Світильники розміщують на безпечних відстанях від такелажних пристроїв і шляхів переміщення вантажів.

Періодично, не рідше двох разів на рік необхідно перевіряти рівень освітленості на робочих місцях та рівень загальної освітленості приміщень.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Згідно з положенням «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» - НАПББ 03.002 – 2077, приміщення для технологічного виготовлення болтів кріплення електровозів можна віднести: до категорії «Д» – приміщення для механічної обробки болтів та випробувань їх механічних властивостей, дільниця нанесення гальванічних покриттів; до категорії «Г» – ковальська дільниця; до категорії «А» – приміщення для здійснення термічної обробки.

Причиною пожежі на розглядаємих дільницях зокрема може бути коротке замикання в електросистемі. Отже, згідно з положенням «Типові норми належності вогнегасників» - НАПБ.03.001-2004, в приміщеннях необхідно мати вогнегасник ВВК-2, що використовується для гасіння електроустановок від напругою, а також інших речовин. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

Необхідна наявність і пожежного щиту у складі: ящик з піском – 1 шт., крюк – 1 шт., лопата – 1 шт., лом – 1 шт., сокира – 1 шт.

Електричне обладнання, силові та освітлювальні мережі дільниць повинні відповідати вимогам пожежної безпеки згідно положенню НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

На електричному обладнанні згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ», встановлюють захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Для того, щоб уникнути виникнення пожежі, необхідно стежити за справністю електросистем, проводити щоденне прибирання робочих місць,

не дозволяється куріння в робочому приміщенні, а також вчасно проводити профілактичні роботи з навчання та атестування знань персоналу.

У разі виникнення пожежі у виробничому приміщенні, обладнаному ПК, для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – входні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

5.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях (НС)

Надзвичайна ситуація – порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, що спричинена аварією, катастрофою, стихійним лихом, пожежею тощо.

Управління під час ліквідації наслідків НС (зокрема техногенного характеру) полягає у керівництві силами системи цивільного захисту під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт. Керівник органу управління аварійно-рятувальної служби, аварійно-рятувального підрозділу, що прибув у зону НС першим, бере на себе повноваження керівника робіт з ліквідації НС і виконує їх до прибуття керівника робіт з ліквідації НС, визначеного у встановленому порядку.

У випадку гострої необхідності керівник робіт з ліквідації НС може самостійно приймати рішення з таких питань:

- проведення евакуаційних заходів;
- зупинки діяльності організацій, що перебувають у зоні НС;
- проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт на об'єктах і територіях організацій, що перебувають у зоні НС;
- обмеження доступу людей у зону НС;

- розбронювання з метою ліквідації НС резервів матеріальних ресурсів організацій, що перебувають у зоні НС;
- використання засобів зв'язку та транспорту, іншого майна організацій, що перебувають у зоні НС;
- залучення до проведення робіт з ліквідації НС позаштатних та громадських аварійно-рятувальних формувань, а також населення на добровільній основі.

Управління роботами починається з моменту виникнення надзвичайної ситуації і завершується після її ліквідації. Воно здійснюється, як правило, за добовими циклами, кожен з яких включає такі складові:

- збір даних про обстановку;
- аналіз і оцінка обстановки;
- підготовка висновків і пропозицій до рішення на проведення робіт;
- прийняття (уточнення) рішення і доведення завдань до відома виконавців;
- організація взаємодії;
- забезпечення дій сил і засобів;
- організація управління.

Управління аварійно-рятувальними підрозділами (формуваннями) повинно бути стійким, безперервним, оперативним, при цьому доцільно забезпечувати поєднання необхідного ступеня централізації з наданням підлеглим ініціативи у визначенні способів виконання завдань.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній магістерській дипломній роботі було з'ясовано, що різьбові деталі (болти електровозів) працюють при високих статичних навантаженнях від зтягувань та зовнішніх (робочих) сил. Надійність болтових з'єднань в значній мірі визначається структурою та властивостями матеріалів, які залежать від виду та режиму їх технологічної обробки. Деталі кріплення повинні бути високоякісними, надійними та довговічними.

З'ясовано, що отримувати болтові вироби бажано методом холодної висадки; завдяки такому методу волокна металу будуть повторювати форму головки болта, що сприяє її зміцненню.

Зазначено, що задовільною мікроструктурою каліброваного прокату, призначеного для подальшого виготовлення з нього болтів методом холодної висадки, є перліт зернистий.

Вказано, що гарячекатаний прокат (або катанка), з якого виготовляють деталі кріплення, перед холодною висадкою необхідно піддавати калібруванню, щоб підвищити точність розміру профілю та якість поверхні.

Ретельно розглянуто хімічний склад, термічна обробка та властивості матеріалів, що використовуються для виготовлення болтів.

Матеріал для виготовлення болтів повинен мати достатню міцність та пластичність, рівномірні механічні характеристики та хімічний склад, а також повинен бути бездефектним; найчастіше використовують поліпшувальні вуглецеві та леговані сталі.

Для забезпечення необхідних механічних властивостей болтові вироби піддають об'ємному гартуванню з високотемпературним відпусканням (термічному поліпшенню) на структуру сорбіту відпуску.

Вказану зміцнювальну термообробку необхідно перед накатуванням різьби, оскільки в результаті накатування різьби суттєво підвищується опір втомі з'єднань; проведення ж термічної обробки призведе до усунення корисних залишкових напружень.

Зазначено, що для отримання високоякісних виробів технологічний процес термічної обробки повинен бути відпрацьованим і необхідно дотримуватися специфічних вимог до обладнання. Якість термічної обробки деталей кріплення в великому ступені залежить: від їх розміщення в робочому просторі печі під час нагрівання; від способу занурення в гартівну рідину; від інтенсивності охолодження при гартуванні.

Вказано, що своєчасний контроль якості на всіх стадіях виробництва (вхідний, поопераційний, приймальний, транспортування та зберігання продукції) дозволяє запобігти виникненню недоліків та збоїв в роботі, забезпечувати їх оперативне виявлення та ліквідацію з найменшими витратами. Для перевірки готових болтів необхідно застосовувати як руйнівні, так і неруйнівні методи випробувань.

Встановлено, що при значенні границі плинності нижче оптимальної (яке забезпечує максимальний ресурс), руйнування відбувається із утворенням ямкового зламу, а при значенні границі плинності вище оптимального – руйнування характеризується фасетковим зламом.

Отримана математична модель, що описує залежність між концентраціями вуглецю та хрому, температурою відпуску та границею плинності для сталі 40X, що використовуються для виготовлення болтів.

В економічній частині проаналізовані тенденції розвитку світового ринку технологій; виконані техніко-економічні розрахунки з метою обґрунтування доцільності використання термічної обробки кріпильних болтів M20×130 зі сталі 40X: експлуатаційний ресурс пробігу завдяки цьому збільшується з 100000 км до 140000 км., а економічний ефект при цьому складає $E = 96274$ грн.

В розділі, присвяченому охороні праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях проведений аналіз потенційних небезпек, що можуть виникнути при виготовленні болтів кріплення, а також запропоновані заходи по забезпеченню техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, пожежної безпеки та у випадках виникнення надзвичайних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин: учебник для академического бакалаврата. Москва: Юрайт, 2016. 409 с.
2. Сидоров Н.И., Сидорова Н.Н. Как устроен и работает электровоз. Москва: Транспорт, 1988. 224 с.
3. Николаев А.Ю., Сесявин Н.В. Устройство и работа электровоза ВЛ80^с : Москва: Маршрут, 2006. 512 с.
4. Гордин П.В., Росляков Е.М., Эвелеков В.И. Детали машин и основы конструирования: учебное пособие. Санкт-Петербург: СЗТУ, 2006. 186 с.
5. Решетов Д.Н. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. Москва: Машиностроение, 1989. 496 с.
6. Металлические конструкции. Общий курс: учебник для вузов / Е.И. Беленя и др. Москва: Стройиздат, 1986. 560 с.
7. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. Москва: Машиностроение, 1980. 493 с.
8. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2016. 22 с.
9. ДСТУ 7806:2015. Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2016. 47 с.
10. Марочник сталей и сплавов / под общ. ред. В.Г. Сорокина. Москва: Машиностроение, 1989. 640 с.
11. Контроль качества продукции: конспект лекций / рецензенты: Г.Г. Бакрадзе, Г.Б. Коренецкий. Тбилиси: Технический университет, Центр информации, 2005. 234 с.
12. ГОСТ 1759.2-82. Болты, винты и шпильки. Дефекты поверхности и методы контроля. Москва: Государственный стандарт союза СССР, 1982. 10 с.

13. Технічна документація ПрАТ «Запорізький електровозоремонтний завод».
14. Неразрушающий контроль металлов и изделий: справочник / под ред. Г.С. Самойловича. Москва: Машиностроение, 1976. 456 с.
15. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Діагностика та дефектоскопія матеріалів та виробів» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» денної і заочної форм навчання / укл.: В.С. Вініченко. Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. 94 с.
16. Криворудченко В.Ф. Техническая диагностика вагонов: учебник в 2-х ч. Ростов-на-Дону: ДонПечать, 2013. Ч.1: Теоретические основы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей вагонов. 315 с.
17. Петриков В.Г., Власов А.П. Прогрессивные крепежные изделия. Москва: Машиностроение, 1991. 256 с.
18. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. Москва: Машиностроение, 1990. 368 с.
19. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Экономичная технология подготовки стали 40Х к холодной высадке крепежных изделий. *Вестник машиностроения*. Москва, 2008. № 7. С. 53–56.
20. Филиппов А.А., Пачурин Г.В., Наумов В.И., Кузьмин Н.А. Влияние поверхностного и структурного состояния на качество проката для болтов // *Фундаментальные исследования*. Москва, 2015. № 10-1. С. 77-82.
21. Основы материаловедения: учебник для вузов / под ред. И.И. Сидорина. Москва: Машиностроение, 1976. 436 с.
22. Гуляев А.П. Металловедение. Москва: Металлургия, 1986. 544 с.
23. Сокунов Б.А., Грובהва Л.С. Электротермические установки: учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 122 с.
24. Самохоцкий А.И., Парфеновская Н.Г. Технология термической обработки металлов. Москва: Машиностроение, 1976. 311 с.

25. Рекомендации по надзору и технической эксплуатации монтажных соединений на высокопрочных болтах стальных строительных конструкций зданий и сооружений Министерства металлургии СССР. Москва: Министерство металлургии СССР, 1989. 52 с.
26. Григоренко В.Б., Орлов, Морозова Л.В., Журавлева П.Л. Исследование статического разрушения болтов в условиях эксплуатации *Авиационные материалы и технологии*. Москва, 201., № S4. С.125-135.
27. Швиданенко В.О. Економіка підприємства: структурно-логічний навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2009. 248 с.
27. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах зі спеціальності усіх форм навчання / укл.: О.В. Нестеров. Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. 40 с.