

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ"

КОНДРАТЕНКО ПАВЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.882.1:[669.141.24+669.15-194.2]

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА І МЕТОДИКИ
ВИПРОБУВАНЬ ВИСОКОМІЦНИХ КРІПІЛЬНИХ ВИРОБІВ З
ВУГЛЕЦЕВИХ ТА НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ**

05.02.01 – матеріалознавство

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеню
кандидата технічних наук

Дніпро - 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національній металургійній академії України Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Гуль Юрій Петрович,
Національна металургійна академія України,
доцент кафедри термічної обробки металів.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Бабаченко Олександр Іванович,** Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, директор;

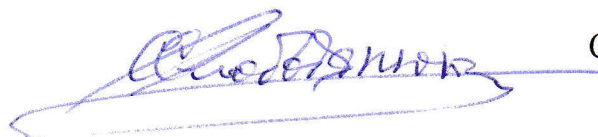
доктор технічних наук, професор **Глушкова Діана Борисівна,** Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри технології металів та матеріалознавства.

Захист відбудеться "25" березня 2021 р. о 13.⁰⁰ на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 08.085.02 при Державному вищому навчальному закладі "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури" за адресою: 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури" за адресою: 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, та на сайті академії <http://pgasa.dp.ua/dissertation/>.

Автореферат розіслано " 24 " лютого 2021р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д. т. н., професор



Слободянюк С. О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Кріпильні вироби (болти, гайки, гвинти, шурупи, заклепки, шайби, цвяхи і т.п.) є найбільш масовими деталями, які застосовуються в різних галузях промисловості. Зниження собівартості та підвищення якості кріпильних виробів є актуальною проблемою вітчизняної метизної промисловості, вирішення якої в умовах перевиробництва металопродукції забезпечує конкурентоспроможність виробів і розвиток метизних заводів. При цьому виробництво повинно бути націлене на виготовлення кріплення прогресивної конструкції, тобто виробів, які володіють високою надійністю, а також розширеними функціональними і експлуатаційними властивостями. Застосування таких виробів має забезпечувати зниження енергетичних, матеріальних та трудових ресурсів при виготовленні кріплення, монтажу та експлуатації машин, конструкцій, споруд і т.п.

Найбільш ефективним способом виготовлення стрижневих кріпильних виробів прогресивної конструкції є холодне об'ємне штампування на багатопозиційних пресах-автоматах, який в порівнянні з обробкою різанням та гарячим штампуванням забезпечує істотне підвищення якості та продуктивності. Тому теоретичні та експериментальні дослідження, спрямовані на розробку, вдосконалення технологічних процесів отримання висококоміцних кріпильних виробів холодним штампуванням на високопродуктивних пресах-автоматах, є важливими і актуальними. Відзначимо, що використання технології отримання висококоміцних болтів отриманих холодним об'ємним штампуванням хоча і мають ряд суттєвих недоліків, до сих пір не запропоновано технології виробництва висококоміцних болтів, де замість термічної обробки використовуються інші способи зміцнення, що можуть бути реалізовані у масовому виробництві.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання дисертаційної роботи пов'язане тематикою держбюджетних науково-дослідницьких робіт НМетАУ: «Створення нових та удосконалення діючих технологій і обладнання для термічної і комбінованої обробки металовиробів відповідального призначення» (№ДР 0113U003263, Дніпро, 2012-2014рр.) та «Розробка нових технологічних параметрів процесу виробництва холоднодеформованих виробів з підвищеними службовими характеристиками на основі синергетики активної і циклічної деформації» (№ДР 0117U002342, Дніпро, 2017-2019рр.), у яких здобувач брав безпосередню участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування та перевірка нової технології виготовлення висококоміцних болтів із нелегованої низьковуглецевої сталі заснованої на способі деформаційного зміцнення заготівлі з послідуочим додатковим зміцненням болтів при холодному об'ємному штампуванні. Одночасно розглядалась задача вдосконалення способів здавальних випробувань готових болтів в порівнянні із існуючими, оскільки властивості готових виробів наряду зі структурним станом визначаються також геометрією виробу. Вирішення задачі удосконалення геометрії болтів з метою підвищення опору крихкому руйнуванню.

Для досягнення зазначеної мети проектом передбачається вирішення наступних завдань:

- розробка методики експериментального дослідження впливу активної та циклічної деформації на властивості модельних зразків;
- експериментальне дослідження впливу структурного стану на комплекс властивостей модельних зразків після активної та циклічної деформації;

- експериментальне дослідження впливу параметрів активної та циклічної деформації на службові характеристики холоднодеформованих кріпильних виробів;
- експериментальне дослідження додаткових низькотемпературних термічних впливів на службові характеристики холоднодеформованих кріпильних виробів. Визначення нових технологічних параметрів процесу отримання холоднодеформованих кріпильних виробів.

Об'єкт дослідження - процеси формування структури та властивостей низьковуглецевої нелегованої сталі при комбінованому впливі активної та циклічної деформації, та вплив структурного стану на властивості металовиробів із концентраторами напруження.

Предмет дослідження – закономірності впливу холодної активної та циклічної властивості на мікроструктури та механічні властивості прокату низьковуглецевої нелегованої сталі.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та вирішення сформульованих задач в роботі використані методи математичної статистики; методи мікроструктурного та рентгеноструктурного аналізів; методи визначення механічних властивостей металевих виробів; сканувальна електронна мікроскопія. Усі експериментальні дослідження виконані із використанням повіреного і сертифікованого обладнання та устаткування.

Наукова новизна одержаних результатів:

- набули подальшого розвитку принципи формування структури низьковуглецевої нелегованої сталі, що дозволило вперше обґрунтувати технологію отримання високоміцних кріпильних виробів шляхом поєднання холодної активної та циклічної деформації із термічними впливами на основі формування специфічного структурного стану на різних структурних рівнях;
- вперше показано, що характер впливу системи надрізів на властивості металевих виробів залежить від рівня їх зміцнення та запропоновано напівемпіричне рівняння, яке описує закономірність такого впливу системи надрізів;
- вперше запропоновані для болтів закономірності впливу їх масивності на опір крихкому руйнуванню і протилежний вплив масивності на опір в'язкому руйнуванню;
- вперше запропоновано та обґрунтовано характеристики опору в'язкому руйнуванню на основі використання умов макролокалізації пластичної деформації в навантаженому об'єкті.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані технологічні параметри у порівнянні зі стандартними технологічними параметрами отримання холоднодеформованих металовиробів масового призначення при одному рівні одержуваних службових характеристик дозволять отримати економію в 40 - 50% на заготівлі в результаті заміни легованої сталі на звичайну вуглецеву. При цьому, запропоновані технологічні параметри процесу отримання холоднодеформованих виробів в порівнянні з чинними зараз технологіями підвищують значення службових характеристик на 20-40%, що додатково збільшує ефективність запропонованих технологічних рішень при одночасному зниженні їх собівартості зазначеній вище.

Результати дисертаційної роботи можуть використовуватись при проектуванні, будівництві та реконструкції промислових об'єктів наступними підприємствами: ТОВ «Придніпровський промстройпроект», ПАТ «Дніпропетровський завод металоконструкцій ім. І.В. Бабушкіна», ПАТ ПТП «Укренергочермет» та ТОВ завод «Енергокредо», а також при виробництві холоднодеформованих металовиробів масового призначення, таких як,

холоднодеформовані кріпильні вироби на ПАТ “Дніпрометиз” та ПрАТ "Дружківський завод металевих виробів".

Очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованої технології полягає насамперед у зменшенні вартості готової продукції на 40-50% за рахунок переходу від використання легованих сталей до використання низько вуглецевих нелегованих сталей, виключення операції термічного зміцнення кріпильних виробів (відсутні витрати на енергоносії та захисне середовище при термічній обробці, а також правку довгомірних кріпильних виробів), що призведе не тільки до підвищення конкурентоспроможності вітчизняного високоміцного кріплення, але і знизить витрати на будівництво об'єктів де застосовується даний вид кріплення.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи здобувачем одержані самостійно. При проведенні досліджень, результати яких опубліковані в співавторстві, автору належить розробка основних теоретичних положень та лабораторних експериментів [1, 4-12]; підготовка планів та проведення експериментів, аналіз і обробка отриманих результатів [2, 3, 13-22].

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи були представлені та обговорені на міжнародних науково-технічних конференціях: Стародубівські читання «Будівництво, матеріалознавство, машинобудування» (Дніпро, 2015, 2016, 2017 рр.), 75-та Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, 2015), IV Всеукраїнська міжвузова науково-технічна конференція (Суми, 2015), Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2017: тези доповідей Дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 2017), II Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (Хельсінкі, 2018), 7th International youth conference “Perspectives of science and education” (Нью-Йорк, 2019).

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані у 22 наукових працях: 1 стаття в закордонному журналі, включеному до НБД Scopus; 7 статей, що опубліковані у фахових виданнях за переліком МОН України; 3 закордонні статі, які не входять до переліку фахових; нові технічні рішення захищені 6-ма патентами України; 5 тезах доповідей на конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку літературних джерел з 102 найменувань та 2 додатків. Повний обсяг роботи викладений на 157 сторінках, у тому числі 113 сторінках основного тексту. Робота містить 43 рисунки і 24 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи, вказані мета і завдання роботи, сформована наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення, відзначено особистий внесок автора, викладені результати апробації розробок, наведена структура і обсяг роботи.

У **першому розділі** наведено огляд літературних джерел з питань виготовлення високоміцних кріпильних виробів. Дослідженню процесів виготовлення стрижневих кріпильних виробів присвячені роботи вітчизняних та закордонних вчених, таких як Парусов В. В., Гуль Ю.П., Бабаченко О.І., Біллігмана І., Навроцького Г.А., Петрикова В.Г., Власова А.П., Мокринського В.І., Паршина В.Г., Герасимова В.Я., Бунатян Г.В., Васильєва С.П., Амірова М.Г., Лавриненко Ю.О., Закірова Д.М., Воробйова І.А., Железкова О.С., Кутяйкіна В.Г., Белан О.А. та ін. Сучасна технологія виготовлення

високоміцних кріпильних виробів базується на використанні методів холодної та гарячої висадки заготовок, накочування різьб на спеціальних автоматах та наступній термічній обробці готових виробів методом гартування з відпуском. Високоміцні кріпильні вироби виробляють класів міцності – 8.8, 10.9, 12.9. Переваги використання високоміцних кріпильних виробів, які витримують навантаження більші у 2.0 ... 2.7 разів у порівнянні з кріпильними виробами класу міцності 4.8 ... 6.8 (без термічної обробки), обумовлені зниженням металоємності та більш низькими на 30 ... 40% витратами. У якості вихідної сировини для виробництва високоміцних кріпильних виробів використовують низьковуглецеві та низьколеговані сталі, хімічний склад яких регламентується стандартами ДСТУ ISO 898-1:2015. Найбільше розповсюдження для виробництва болтів одержали сталі: якісна вуглецева та легована конструкційна сортова гарячекатана та калібрована сталь за ГОСТ 10702–78: 08-20 усіх ступенів розкислення, 25 ... 50, 15X ... 45X, 38XA, 15Г ... 45Г, 20Г2 ... 40Г2, 38XC, 12ХН ... 50ХН, 15ХФ, 15ХМ, 16ХСН, 19ХГН, 30ХМА, 12ХНЗА, 20ХГСА-35ХГСА, 35ХГН2, 38ХГНМ, 18Х2Н4МА, 25Х2Н4МА, 40ХНМА, 30ХН2МФА. Сталі поставляють після відпалу, високого відпуску або без термічної обробки. Калібровану сталь поставляють в нагартваному стані, іноді після термічної обробки. Твердість сталі повинна складати величину у межах 131 ... 255 НВ. Також, у виробництві високоміцних кріпильних виробів використовуються двофазні ферито-мартенситні сталі (ДФМС), структура яких після гартування з міжкритичного інтервалу температур містить ферит та 15 – 30 % мартенситу. Такі сталі мають низьке відношення $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ (0,4-0,5) та майже у 2 рази більший, чим звичайні низьколеговані сталі, темп зростання міцності при підвищенні ступеню пластичної деформації. Типовими ДФМС є сталі 06ХГСЮ та 06Г2СЮ. Механічні властивості після термічної обробки: у сталі 06ХГСЮ – $\sigma_{0,2} = 250$ МПа, $\sigma_B = 620$ МПа; у сталі 06Г2СЮ – $\sigma_{0,2} = 310$ МПа, $\sigma_B = 650$ МПа. Встановлено, що сучасний підхід до вибору технології виробництва високоміцних кріпильних виробів не враховує сучасних тенденцій у розвитку даної технології: використання менш легованих марок сталей та отримання необхідного рівня механічних властивостей без фінішної термічної обробки завдяки зміцненню холодною деформацією при виготовленні заготовлі та штампуванню болтів. Проведено аналіз нормативної документації та встановлено ряд недоліків: розглянуті стандарти на механічні властивості та методи випробувань болтів, гвинтів і шпильок не відповідають сучасному рівню розвитку випробувальної техніки через присутність таких методів випробування, як удар молотком по голівці болта, як випробування розтягуванням до пробного навантаження, як визначення ряду характеристик на оброблених (обточених) зразках; визначення механічних властивостей кріпильних виробів (болтів, гвинтів, шпильок) шляхом випробування оброблених (обточених) зразків спотворює дійсні значення характеристик та може призводити до неправильного призначенням класу міцності готової продукції. Виходячи з наведеного вище очевидно, що чинні стандарти, в яких викладені вимоги на механічні властивості та методи випробувань кріплення не відповідають поняттю нормативного документа в світлі регламенту щодо вибору сировини та технології виготовлення кріпильних виробів, що має вибиратися виробником. На підставі комплексного аналізу літературних джерел підтверджено актуальність вибраної теми та визначені мета і основні задачі дослідження.

У другому розділі обґрунтовано вибір матеріалу й використаних методів, методик та устаткування для проведення досліджень. Матеріалом дослідження технології виробництва високоміцних кріпильних виробів без фінішного термічного зміцнення було обрано катанку виготовлена згідно ДСТУ 2770 з низьковуглецевої сталі марки 20кп

діаметром 9 мм (для болтів М6) і 11 мм (для болтів М8), хімічний склад якої наведено у таблиці 1.

Заготовка для виготовлення високоміцних кріпильних виробів готувалась за наступними режимами: для болтів М8 - катанка $\varnothing 11,0$ мм \rightarrow волочіння в монолітній волоці на $\varnothing 8,60$ мм \rightarrow волочіння в монолітній волоці на $\varnothing 7,44$ мм із послідуною циклічною обробкою та низькотемпературним термічним впливом $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ (сумарна ступінь деформації $\varepsilon \approx 53\%$); для болтів М6 - катанка $\varnothing 9,0$ мм \rightarrow волочіння в монолітній волоці на $\varnothing 6,50$ мм \rightarrow волочіння в монолітній волоці на $\varnothing 6,0$ мм із послідуною циклічною обробкою та низькотемпературним термічним впливом $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ (сумарна ступінь деформації $\varepsilon \approx 38\%$). Циклічну деформацію проводили за допомогою десятироликового пристрою з послідовним горизонтальним та вертикальним вигином.

Таблиця 1 - Хімічний склад сталі для виготовлення болтів запропонованою технологією

Марка сталі	Хімічний склад, мас. доля елем., %				
	C	Mn	Si	S	P
20кп	0,18	0,35	<0,01	0,016	0,008

Для вивчення впливу системи надрізів на механічні властивості кріпильних виробів були використані болти розмірами М12х1,75х80 мм, М12х1,75х70 мм, М12х1,5х80 мм, М12х1,75х100 мм з низьковуглецевих (сталь 15кп, Ст3пс, Ст5пс), а також низьколегованих сталей (сталь 10Г2, 20Г, 20Г2, 30Г), отримані холодною висадкою і термічною обробкою за стандартними технологіями метизних підприємств, а також за деякими дослідним режимам з метою отримання комплексу механічних властивостей в інтервалі 4.8 - 10.9 класів міцності (табл. 2).

Таблиця 2- Характеристики досліджуваних болтів

Розмір, мм	Клас міцності	Марка сталі	Обробка
М12х1,75х80	4.8	15кп	холодне об'ємне штампування(ХОШ) + відпуск $600\text{ }^{\circ}\text{C}$
М12х1,75х80	6.8	15кп	холодне об'ємне штампування
М12х1,75х80	6.8	Ст3пс	термічне зміцнення + ХОШ
М12х1,75х80	8.8	20Г2	термічне зміцнення + ХОШ + деформаційне старіння $300\text{ }^{\circ}\text{C}$
М12х1,75х80	8.8	10Г2	ХОШ + термічне зміцнення (гартування + відпуск $420\text{ }^{\circ}\text{C}$)
М12х1,75х70	8.8	Ст5пс	ХОШ + термічне зміцнення
М12х1,75х80	8.8	20Г	ХОШ + термічне зміцнення (гартування + відпуск $420\text{ }^{\circ}\text{C}$)
М12х1,5х80	10.9	30Г2	ХОШ + термічне зміцнення (гартування + відпуск $420\text{ }^{\circ}\text{C}$)
М12х1,75 х100	10.9	30Г1Р	ХОШ + термічне зміцнення (гартування + відпуск $420\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Механічні випробувань проводились як готових (повнорозмірних болтів без зміни

їх геометрії) кріпильних виробів так і обточених зразків на діаметр 10 - 8 мм. Випробування на одновісний розтяг проводилось згідно з чинною нормативною документацією ДСТУ ISO 6892-1. Використовувалась машина типу FP - 100/1, зразки розміщували в спеціальних захватах, навантаження проводили при швидкості переміщення захватів 1 мм/хв із записом повної діаграми деформації і руйнування. Контроль механічних властивостей отриманих кріпильних виробів був проведений з визначенням межі плинності та міцності, а також повного відносного видовження згідно ДСТУ ISO 898-1:2015.

Застосовано сучасні методи та методики дослідження: світлова якісна мікроскопія («Neophot-21»); рентгеноструктурний аналіз (ДРОН-2); стандартні методи механічних випробувань на розтяг (FP 100/1); просвічуюча скануюча мікроскопія (JEOL JEM-4000EX).

У третьому розділі проведено теоретичне та експериментальне дослідження технології виробництва високоміцних кріпильних виробів із низьковуглецевої сталі завдяки комбінації впливу активної (40-60%) та циклічної деформації, а також дослідження властивостей заготовки для холодного об'ємного штампування на підставі аналізу комплексу механічних властивостей заготовки і готових болтів отриманих за пропонованою технологією.

У більшості відомих технологій, які нормуються стандартом ДСТУ ISO 898-1:2015, отримання кріпильних виробів класу міцності 8.8 та вище досягається термічним зміцненням напівфабрикатів, які одержують холодним об'ємним штампуванням, а саме, загартуванням цих напівфабрикатів на мартенсит із наступним відпуском. Відома технологія зміцнення болтів має ряд істотних недоліків:

1. Необхідність використання для розглянутих виробів легованих сталей, які мають необхідну прогартуваність при загартуванні, що відповідно призводить до значної витрати легувальних елементів і здорожує продукцію.

2. Високотемпературний нагрів призводить до можливості знеуглецювання поверхневого шару виробів, що супроводжується втратою міцності різьби та зниженням втомної міцності виробів.

3. Необхідність швидкого охолодження при загартуванні веде до виникнення у виробках високих напружень, які призводять до спотворення їх геометричної форми (викривлення), особливо ймовірного для довгомірних виробів (зменшення виходу придатного по геометрії), що потребує додаткової технологічної операції - правки виробів.

4. Необхідність відпуску після гарту із досить тривалою витримкою знижує загальну продуктивність технологічного процесу виробництва.

5. У відомій технології виробництва операція холодного об'ємного штампування використовується тільки для формозміни заготівлі, але те зміцнення, що відбувається при цій операції не використовується, а, навпаки, знімається подальшим високотемпературним нагріванням під загартування.

Новизною пропонованої технології є використання іншого способу зміцнення: замість способу термічного зміцнення (гарт + відпуск) готових по геометрії виробів після холодного об'ємного штампування використовується деформаційно-термічний спосіб зміцнення заготівлі. Таким чином, для холодного об'ємного штампування використовується не гарячекатана або пом'якшена відпалом заготівля, а заготівля, зміцнена деформаційно-термічними впливами різного типу при температурі нижче температури рекристалізації із подальшим підсумовуванням зміцнення при холодному об'ємному штампуванні. Крім вищенаведених операцій, нова технологія виробництва високоміцних кріпильних виробів відрізняється наявністю наступних характерних ознак скрізної

технології забезпечення 100% -го контролю і регулювання зазначених вище параметрів на всіх етапах вхідного, оперативного і здавального контролю; забезпечення прямих і зворотних інформаційних зв'язків між технологічними операціями; забезпечення регулювання технологічних параметрів технологічних операцій не тільки на основі інформації про вихід значень технологічних параметрів з встановленого раніше допустимого інтервалу значень, але і на основі оперативної інформації про вихід значень параметрів оброблюваного об'єкта з допустимого інтервалу цих значень; при наявності інформації про відхилення значень параметрів оброблюваного об'єкта, які не можуть бути виправлені шляхом корекції технологічних параметрів на наступних технологічних операціях - забезпечення виведення такого оброблюваного об'єкта з технологічного потоку; забезпечення оптимального поєднання для готових виробів 100%-го неруйнівного контролю з вибірковою руйнують контролем; забезпечення не тільки збільшення виходу придатного на рівні не менше 95%, але і зниження дисперсії одержуваних властивостей в межах даної партії.

Комбінація деформаційних впливів різного типу (активна деформація зі ступенями до 60% плюс циклічна деформація) і температурні впливи (нагрівання до 400...500 °С) забезпечує, поряд з необхідним ступенем зміцнення, також необхідний рівень технологічної пластичності заготівлі при холодному об'ємному штампуванні. Як показали експерименти при температурному впливі, а саме статично-динамічному деформаційному старінні, одночасно відбувається перебудова дислокаційної структури із утворенням квазірівновісних дислокаційних меж і закріплення їх домішковими атомами впровадження, а також істотно зменшується градієнт пружної енергії, отриманий при холодній деформації. В результаті без помітного зниження статичної міцності підвищується релаксаційна стійкість, пластичність, в тому числі рівномірна та термічна стійкість холоднодеформованого стану. Поєднання активної і циклічної деформації з наступним зазначеним нагріванням у відповідних пристроях потокової лінії забезпечує високу механічну стійкість створеної дислокаційної структури в умовах циклічного навантаження.

Механічні властивості заготівлі для виготовлення болтів М6 та М8 наведені у таблицях 3 та 4 відповідно. Також було проведено мікроструктурний аналіз заготівлі під штампування болтів. Даний аналіз показав, що збільшення ступеню деформації приводить до зменшення розміру зерна, а додатковий вплив шляхом циклічної деформації та термічного зміцнення приводить до отримання рівновісної структури (рис. 1).

Дослідне випробування нової технології проведено в умовах метизного виробництва. В кріпильному цеху підприємства ПАТ «Дніпрометиз» та ПрАТ "Дружківський завод металевих виробів" було проведено дослідне випробування виробництва болтів розміром М6 - М8 з використанням технології деформаційно-термічних впливів. В умовах ПАТ «Дніпрометиз» були отримані болти М6х50х1 та М8х50х1,25з різьбою під головку шляхом штампування на автоматах АВ1918 і АВ1919Б з використанням технології штампування з однократним редуціюванням. Механічні властивості болтів виготовлених на ПАТ «Дніпрометиз» наведена у таблиці 5.

Як видно із наведених у таблиці 5 даних, використання технології штампування з однократним редуціюванням не дозволяє отримати болти класу міцності 8.8 за показниками межі міцності в наслідок прояву ефекту Баушингера. В умовах ПАТ «Дружківський метизний завод» були отримані болти М6х50х1 та М8х50х1,25 з неповною різьбою шляхом штампування на автоматах серії «LeanFX» виробництва «National Machinery», США з використанням технології штампування з двократним редуціюванням.

Механічні властивості болтів виготовлених на ПАТ «Дружківський метизний завод» наведена у таблиці 6. Технологія штампування з двократним редуціюванням в наш час є найбільш розповсюдженим методом виробництва кріпильних виробів, завдяки зменшеному зусиллю при штампуванні болтів дозволяє використовувати більш міцну заготівлю та отримувати високоміцні кріпильні вироби за рахунок деформаційного зміцнення при редуціюванні стержня болта.

В результаті проведених випробувань встановлено, що дослідні болти М6 по характеристикам тимчасового опору руйнуванню та межі плинності повністю відповідають

Таблиця 3 - Механічні властивості заготівлі для виготовлення болтів М6

№	Стан	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_b , Н/мм ²	δ заг., %	ψ , %
1	Катанка \varnothing 6,5 мм	227	362	50	67
2	Заготівля \varnothing 6,0 мм	488	509	10	63
3	Заготівля \varnothing 5,6 мм	530	564	9	61
4	Заготівля \varnothing 5,6 мм + ЦД	531	568	8	62
5	Заготівля \varnothing 5,6 мм + ТВ 400 °С (1 год.)	451	538	11	61
6	Заготівля \varnothing 5,6 мм + ЦД + ТВ 400 °С (1 год.)	456	530	10	59

класу міцності 800 МПа (клас 8.8), а болти М8 відповідають класу 8.8 за характеристикою умовної межі плинності. Таким чином, показана можливість виробництва болтів класу міцності 8.8 з низьковуглецевих сталей рядового складу за технологією деформаційно-термічних впливів без проведення загартування готових виробів.

Оскільки нова технологія виробництва високоміцних кріпильних виробів виключає фінішну термічну обробку в роботі також було проведе дослідження зниження схильності холоднодеформованих виробів до деформаційного старіння.

Дослідження запропонованого способу зменшення схильності до деформаційного старіння проводилося на болтах М12х1,75х70мм класу міцності 5.8 зі сталі 20кп, отриманих холодним об'ємним штампуванням за стандартною технологією ПАТ «Дніпрометиз». Для проведення дослідження на ПАТ «Дніпрометиз» було відібрано 30 болтів, які були поділені на 5 партій по шість болтів в кожній: 1-а партія випробовувалася безпосередньо в день виготовлення, 2-а партія після 3-х днів природного деформаційного старіння, 3-тя партія після 7 днів природного деформаційного старіння, 4-а партія після 21 дня природного деформаційного старіння, 5-а партія після 120 днів природного деформаційного старіння. Кожна партія болтів була поділена на дві частини. Першу частину досліджували в початковому стані після холодного об'ємного штампування, другу – після холодного об'ємного штампування і додаткового низькотемпературного термічного впливу при 400 °С.

Результати дослідження наведені на рисунках 2-3. На рис.2 наведено залежності зміни характеристик опору деформації σ_T і σ_b залежно від часу деформаційного старіння, на рис.3 – залежності зміни характеристик пластичності: відносного рівномірного подовження – δ_p і відносного загального подовження – $\delta_{заг}$ залежно від часу деформаційного старіння. Як видно з наведених залежностей на рисунках 1 і 2, межа

міцності і плинності болтів, отриманих холодним об'ємним штампуванням збільшується на 7% і 11% відповідно, а відносне рівномірне подовження і загальне подовження знижується на 24% і 36% відповідно під час вилежування після виготовлення протягом 120 днів, що підтверджує факт протікання процесів деформаційного старіння в болтах, отриманих холодним об'ємним штампуванням.

Характер кривих зміни властивостей при деформаційному старінні відповідає відомому, встановленому при дослідженні кінетики деформаційного старіння на зразках, деформованих на 10%. Додатковий низькотемпературний термічний вплив на холоднодеформовані болти (нагрів в дорекристалізаційному інтервалі температур) дозволяє

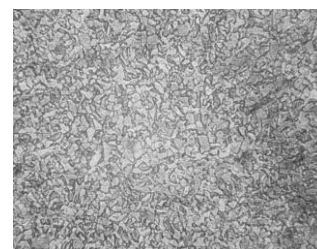
підвищити межу міцності і межу плинності (рис. 2), а також підвищити характеристики пластичності болтів (рис. 3) і зберегти значення характеристик опору деформації і

Таблиця 4 – Механічні властивості заготовки для виготовлення болтів М8

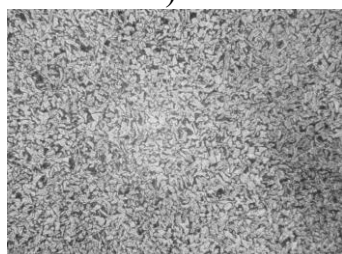
№	Стан	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_b , Н/мм ²	δ заг., %	ψ , %
1	Катанка \varnothing 11 мм	234,85	403,4	38,88	67,65
2	Заготівля \varnothing 9,5 мм	534,05	564,1	8,8	57,16
3	Заготівля \varnothing 8 мм	606,85	655,8	6,99	50,41
4	Заготівля \varnothing 7,4 мм + МЦО	612,1	691	8,07	45,66
5	Заготівля \varnothing 7,4 мм + 400°C	661,5	730,4	9,6	45,07
6	Заготівля \varnothing 7,4 мм + МЦО+400°C	573,1	651,2	9,44	44,55



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Мікроструктура катанки (а), холоднодеформованої заготівлі (б) та холоднодеформованої заготівлі після додаткового термічного впливу (в) та циклічної деформації (г), x250

характеристик пластичності приблизно на одному рівні протягом усього часу деформаційного старіння. Деформаційне старіння при температурі 400 °С, коли відбувається не тільки взаємодія атомів С і N з дислокаціями, а й сприятлива зміна дислокаційної структури.

В роботі було проведено рентгеноструктурне дослідження болтів виготовлених за дослідною технологією у порівнянні з болтами виготовлених за стандартною технологією. Результати дослідження наведено у таблиці 7.

Болти, вироблені за дослідною технологією мають менший в порівнянні з болтами, зробленими за стандартною технологією параметр ґратки та розмір кристалітів, а також велику щільність дислокацій, як в подовжньому так і поперечному напрямках.

Додаткове деформаційне старіння болтів призводить до збільшення розмірів кристалітів і витягнутості зерен в подовжньому напрямку і зменшує різницю між величиною мікронапружень та щільністю дислокацій для болтів, виготовлених із заготівлі ХД + ТВ і ХД + ЦД, тобто структура стає більш рівномірною. Додаткове деформаційне старіння болтів, вироблених із заготівлі ХД + ЦД + ТВ призводить до різкого збільшення щільності дислокацій (більше, ніж в 2 рази) і зниження в 2 рази розмірів кристалітів в поперечному напрямку.

Таблиця 5 - Механічні властивості болтів отриманих на ПАТ «Дніпрометиз»

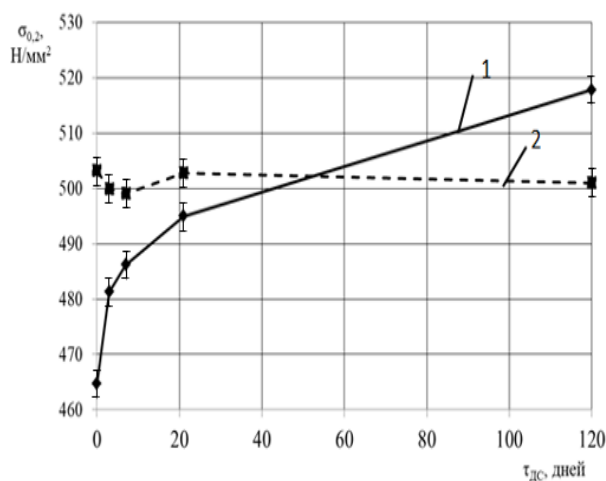
Сортамент болтів	Діаметр прокату, мм	Ступінь деформації, %	Т-ра відпуску болтів, °С	$\sigma_{0,2}$, Мпа	σ_B , Мпа	Клас міцності
М6	9,0	59,1	-	496	572	5.8
М6	9,0	59,1	300	519	582	5.8
М6	9,0	59,1	400	511	566	5.8
М8	11,0	49,7	-	595	724	6.8
М8	11,0	49,7	300	607	665	6.8
М8	11,0	49,7	400	637	720	6.8

Таблиця 6 – Механічні властивості болтів отриманих на ПАТ «Дружківський метизний завод»

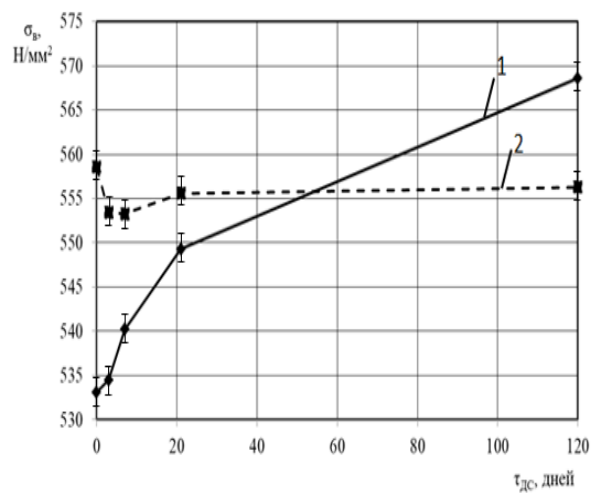
Сортамент болтів	Діаметр прокату, мм	Ступінь деформації, %	Т-ра відпуску болтів, °С	$\sigma_{0,2}$, Мпа	σ_B , Мпа	Клас міцності
М6	9,0	59,1	-	680	820	8.8
М6	9,0	59,1	300	785	803	8.8
М6	9,0	59,1	400	736*)	760	6.8
М8	11,0	49,7	-	609	722	6.8
М8	11,0	49,7	300	664*)	705	8.8
М8	11,0	49,7	400	626	675	6.8

*) – відповідає класу 8.8 за умовної межі текучості

Втомне руйнування зазвичай відбувається в різьбових з'єднаннях через високу концентрацію напружень. Хоча в даний час для виготовлення елементів різьбових з'єднань застосовують різні високоміцні сталі із подальшим зміцненням термічною обробкою, втомного руйнування важко уникнути, тому що сплави високої міцності більш схильні до концентрації напружень. Статистичні дані показують, що понад 62% різьбових з'єднань руйнуються від втомних тріщин, в той час як 32% втомних тріщин виникають в різьбовій

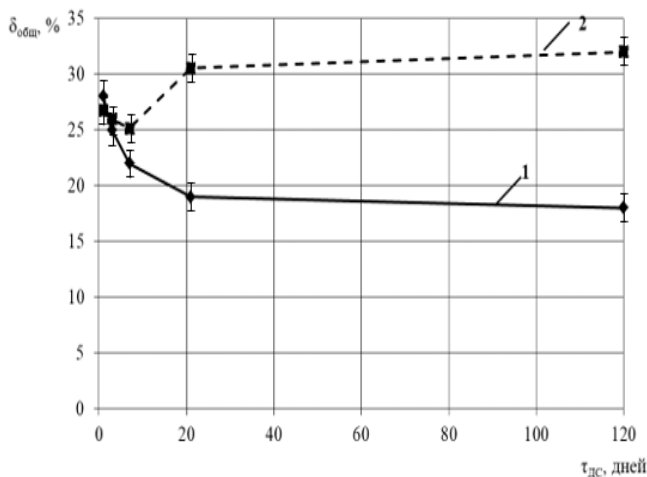


а)

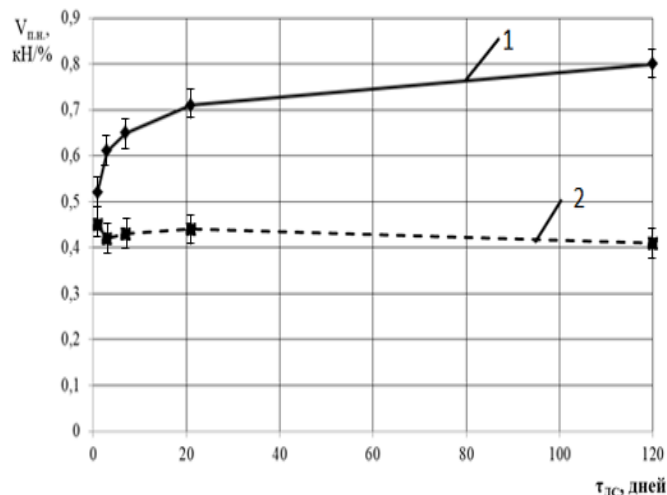


б)

Рисунок 2 – Залежність межі текучості (а) і межі міцності (б) болтів класу міцності 5.8 в початковому стані після виготовлення холодним об'ємним штампуванням (1) і після додаткового термічного впливу (2)



а)



б)

Рисунок 3 – Залежність загального відносного подовження (а) і швидкості падіння навантаження (б) болтів класу міцності 5.8 в початковому стані після виготовлення холодним об'ємним штампуванням (1) і після додаткового термічного впливу (2)

частині кріплення. Таким чином, поліпшення втомної міцності високоміцних кріпильних виробів є актуальною темою для досліджень в усьому світі. Випробування на міцність від втоми болтів проводили на болтах М8х1,25х75 і М8х1,25х70 з неповним різьбленням, вироблених за стандартною і дослідною технологією. Криві втоми болтів М8, вироблених за стандартною (сталь 35) і дослідною (сталь 20) технологією наведені на рисунку 4.

Межа витривалості дослідних болтів склала 125 000 циклів, що на 48% більше, ніж межа витривалості болтів, вироблених за стандартною технологією. Підвищення втомної міцності дослідних болтів пояснюється наступним чином. Нарізна різьба, зазвичай, містить мікротріщини і інші мікродфекти та має погану шорсткість поверхні, що призводить до зниження втоми. Накатка різьблення, з іншого боку, призводить до пластичної деформації матеріалу і виникненню напружень в області западини різьблення.

Даний процес, так само, підвищує пружну енергію в матеріалі. Крім того, викликане накаткою збільшення радіусу западни різьблення призводить до зниження концентрації напружень. Також варто відзначити, що втомна міцність дослідних болтів підвищується внаслідок утворення особливої дислокаційної структури, отриманої шляхом холодної деформації з великим ступенем та подальшої циклічної обробки. Додатковий термічний вплив (старіння) холоднодеформованих болтів, виготовлених за дослідною технологією, дозволяє отримати структуру (рисунок 5), яка підвищує втомну міцність та яка дозволяє стримувати поширення втомних тріщин.

Термічна обробка після АТ + ЦД, забезпечує шляхом підвищення концентрації вакансій «геометричну» стабілізацію кордонів дислокаційних фрагментів, зниження об'ємного градієнта пружної енергії та деяке зміцнення, попри нагрів, шляхом закріплення дислокацій атомами вуглецю при високотемпературному деформаційному старінні ентропійного типу (джерело – цементит). В'язкість руйнування матеріалу болта підвищується завдяки сприятливому малюнку зерна, що отримується при накатці різьблення, де зерна витягнуті паралельно основним траєкторіям напружень і по нормалі до шляху поширення потенційної тріщини. Таким чином, тріщини можуть відхилитися від їх нормальної площини і напрямків зростання на кордонах зерен. Поєднання цих трьох чинників призводить до збільшення втомної міцності кріпильних виробів, вироблених холодною деформацією, без подальшого термічного зміцнення.

Використання запропонованої технології не тільки усуває недоліки відомої, але і має ряд інших переваг:

1) зменшення собівартості продукції (на 30-50%) шляхом використання дешевих нелегованих сталей, а також виключення операцій відпалу вихідного прокату і загартування напівфабрикату після ХОШ;

2) підвищення екологічної чистоти виробництва кріплення в порівнянні з відомою технологією, що використовує термічне зміцнення;

3) створення стабільного структурного стану (дислокаційної структури) виробів підвищує їх опір циклічному навантаженню, що забезпечує більшу втомну міцність і експлуатаційну надійність виробів.

4) проведення термічної обробки при 400 °С не просто забезпечує збереження властивостей холоднодеформованих сталевих виробів, а й збереження підвищеного комплексу механічних властивостей в порівнянні з комплексом властивостей після технологічної форми деформації, в тому числі підвищену пластичність і опір в'язкому руйнуванню.

У четвертому розділі досліджено вплив рівня зміцнення та геометрії надрізів на рівень механічних властивостей металовиробів (болтів), при цьому даний вплив неоднозначний для характеристик міцності (ефект зміцнення та втрати міцності) та однозначний для характеристик пластичності та опору в'язкому руйнуванню (зменшення).

Чинними стандартами передбачено, як одне з основних, випробування на одновісний розтяг об'єктів двох типів: готових болтів і обточених (з видаленням різьблення) гладких зразків. Як не дивно з позицій основних положень конструкційної але результати саме останніх випробувань пропонується використовувати при розрахунках болтових з'єднань, що не враховує фактичний вплив на комплекс механічних властивостей готових болтів функціональних надрізів (різьблення). Зазначений вплив визначає дію надрізу, як концентратора напружень в прилеглих обсягах об'єкта, що широко відомо, так і фактору, що змінює ступінь жорсткості напруженого стану в тих же обсягах, що відомо меншою мірою. Тому наявність надрізу (надрізів) може призводити як до ефекту

додаткового зміцнення в термінах нормальних напружень, так і до ефекту втрати міцності, в порівнянні з результатами, отриманими на гладких зразках.

Таблиця 7 – Результати рентгеноструктурного аналізу високоміцних болтів, вироблених за стандартною і дослідною технологією

№ зр.	Тип зразку	a, нм	$\beta(110)$	$\beta(220)$	L(110), Å	L(220), Å	$\rho(110)$, см-2	M, *10 ⁻³ , %
1	M8 кл.8.8 Стандартна технологія	2,8456	0,141	0,39	1330	921	1.21*10 ¹¹	7.05
2	M8 кл.8.8 Заг.7,4 + 400 °C+ХОШ	2,8446	0,146	0,526	1288	759	1,42*10 ¹¹	7.4
3	M8 Заг.7,4 + ЦД+ ХОШ	2,8431	0,144	0,456	1234	789	1,4*10 ¹¹	7.92
4	M8 Заг.7,4 + ЦД + 400 °C+ ХОШ	2,847	0,147	0,504	1277	711	1,41*10 ¹¹	6.7
5	M8 кл.8.8 Заг.7,4 + 400 °C + ХОШ + 400 °C, 1 год	2,8481	0,147	0,409	1273	880	1,48*10 ¹¹	6.18
6	M8 Заг.7,4 + ЦД+ ХОШ + 400 °C, 1 год	2,8451	0,148	0,45	1270	800	1,5*10 ¹¹	7.22
7	M8 Заг.7,4 + ЦД+ 400 °C+ ХОШ + 400 °C, 1 год	2,8436	0,141	0,442	1334	815	1,44*10 ¹¹	7.75

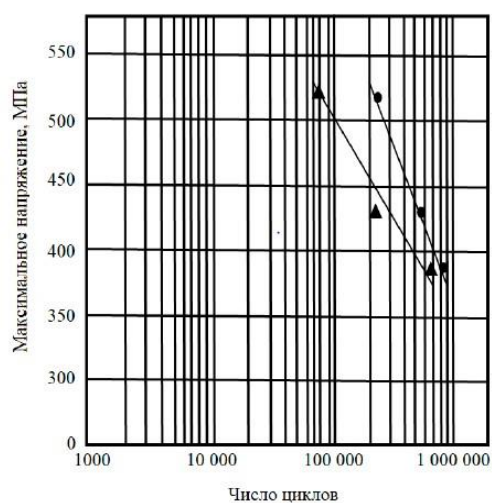


Рисунок 4 - Криві втоми болтів M8, вироблених за стандартною (▲) (сталь 35) і дослідною (●) (сталь 20) технологією

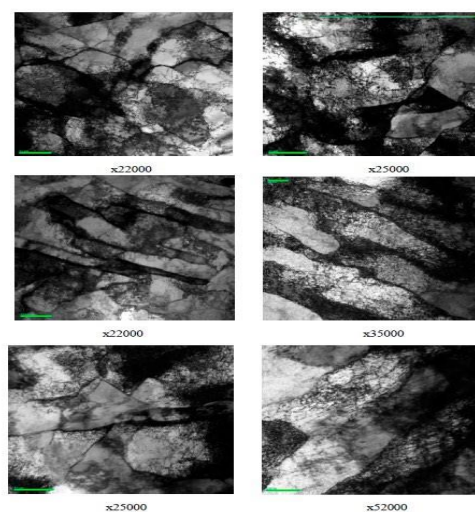


Рисунок 5 - Дислокаційна структура болтів, вироблених за дослідною технологією

Аналіз механічних характеристик, отриманих на готових болтах і обточених зразках проводили як зіставленням абсолютних значень цих характеристик, так і вивченням кількісних відмінностей між ними в залежності від рівня зміцнення. Графіки наведені на рисунках 6 та 7 ілюструють вплив рівня зміцнення на якісні (знак) та кількісні відмінності механічних характеристик готових болтів та обточених зразків.

Як впливає з даних рис. 6, вплив рівня зміцнення на співвідношення меж міцності та плинності готових болтів і обточених зразків можна розділити на два інтервали. В інтервалі значень межі міцності та межі текучості приблизно до 800 Н/мм^2 і до 700 Н/мм^2 відповідно вищі значення розглянутих характеристик фіксуються при випробуваннях готових болтів, а вище зазначених меж - для обточених зразків. Максимальні фіксовані відмінності характеристик опору пластичної деформації доходять до $150 - 200 \text{ Н/мм}^2$, що багаторазово перевершує помилку експерименту і переводить випробовуваний об'єкт в інший клас міцності. Згідно із отриманими даними розрахунок високоміцних болтів ($\sigma_b \geq 800 \text{ Н/мм}^2$) за даними отриманими на обточених зразках, які суттєво завищені в порівнянні з фактичними для готових болтів, може помітно знизити їх надійність і довговічність при експлуатації. З іншого боку, використання даних, отриманих на обточених зразках для класів міцності першого інтервалу на рис. 6 дають явну недооцінку фактичної міцності готових болтів і може вести до зайвого перевитрати металу.

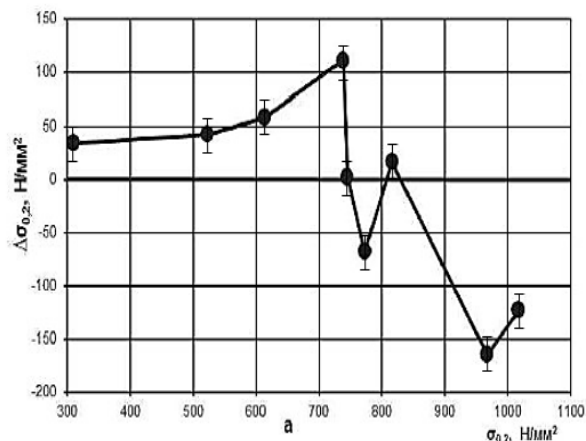
Відмінності в значеннях характеристик пластичності та опору в'язкого руйнування (рис. 7) в загальному відображають негативний вплив різьблення на зазначені характеристики. Водночас тільки зменшення структурного стану (рекристалізаційний відпал) дає значні відмінності в загальному та рівномірному подовженні для готових болтів і обточених зразків. З ростом рівня зміцнення розглядаються відмінності спочатку істотно зменшуються, а потім, хоча і збільшуються, але не надто інтенсивно.

Встановлено, що комплекс механічних властивостей, які визначаються на готових болтах та обточених зразках, істотно різний, причому ступінь відмінності залежить від рівня зміцнення. В цілому можна вважати, що незалежно - в досліджених межах - від відмінностей в хімічного складу сталей та способу зміцнення вплив рівня зміцнення на величину відмінностей між властивостями, обумовленими на готових болтах та обточених зразках, описується єдиними залежностями. Одночасно характер цих залежностей різний для властивостей опору пластичної деформації (межа міцності та плинності) та властивостей пластичності (подовження), а також опору в'язкого руйнування (рівномірного подовження і швидкості падіння номінального напруження в інтервалі локалізованої деформації та руйнування).

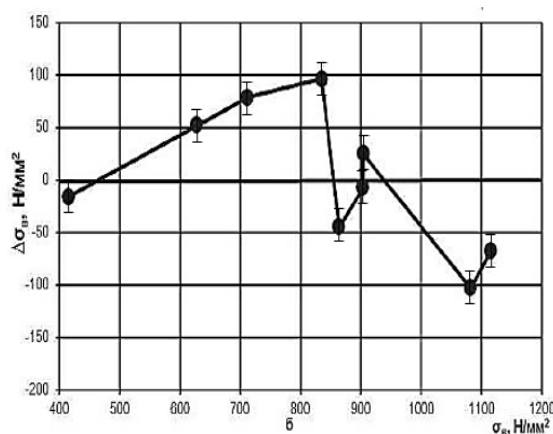
Залежність відмінностей в значеннях меж плинності та міцності для готових болтів і обточених зразків від рівня зміцнення включає два інтервали. У першому - до класу міцності 8.8 значення меж плинності і міцності вище для готових болтів, а при більшому рівні зміцнення - для обточених зразків. Величина відмінностей досягає 150 Н/мм^2 та більше. Величина відмінностей зростає із рівнем зміцнення як в першому, так і в другому інтервалі. Останнє особливо небезпечно, оскільки значення міцності помітно завищені і не реалізуються на готових болтах.

Отримані дані дозволяють вважати, що весь комплекс механічних властивостей болтів при розтягуванні слід визначати тільки на готових болтах і відмовитися від здавальних випробувань на обточених зразках. Це особливо важливо для болтів класу міцності 8.8 і вище. Обмеження механічних випробувань тільки готовими болтами, крім отримання більшої відповідності визначених властивостей болтів їх конструктивної міцності при експлуатації, зменшують загальну тривалість і трудомісткість випробувань. В роботі запропоновано метод, що забезпечує можливість спрощення визначення механічних

властивостей стрижневих різбових кріпильних виробів при випробуваннях, підвищення достовірності оцінки несучої здатності кріпильних виробів, включаючи опір їх руйнуванню.

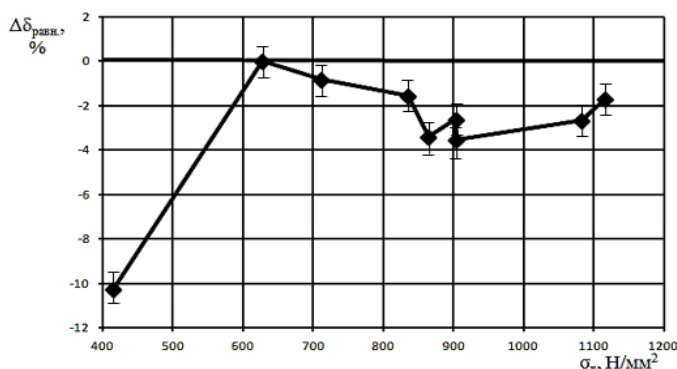


а)

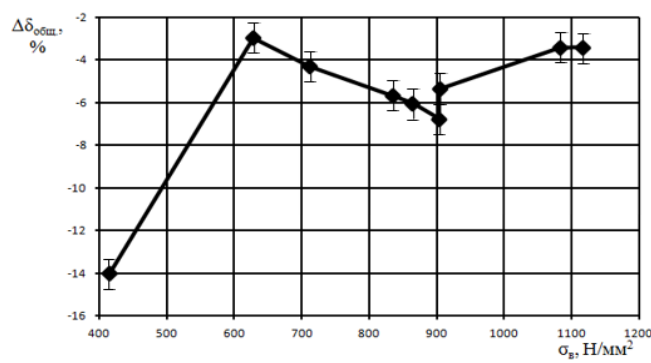


б)

Рисунок 6- Залежність різниці між межами плинності (а) та межами міцності (б) для готових болтів і обточених зразків в залежності від рівня зміцнення за межею текучості межею міцності (б)



а)



б)

Рисунок 7- Залежність різниці між значеннями рівномірного (а) і загального (б) подовження залежно від рівня зміцнення за межею міцності

Його суть полягає в тому, що випробування на статичне одновісне розтягнення, яке ведуть із записом повної діаграми деформації і руйнування проводять на об'єктах тільки одного типу - на готових повнорозмірних кріпильних виробках. В процесі випробування додатково визначають значення відносного рівномірного видовження δ_r і значення умовної середньої швидкості падіння навантаження на стадії локалізованого подовження $\delta_{\text{лок}}$ від P_{max} до навантаження повного руйнування $P_{\text{роз}}$, яка визначається як відношення: $(P_{\text{max}} - P_{\text{роз}})/\delta_{\text{лок}}$. Показники δ_r та відношення: $(P_{\text{max}} - P_{\text{роз}})/\delta_{\text{лок}}$ трактують як характеристику опору переходу до макролокалізації пластичної деформації і нестабільної стадії руйнування, і як характеристику опору руйнуванню на цій стадії, відповідно. Додаткове визначення в процесі випробування величини відносного рівномірного видовження δ_r (як величини видовження до досягнення при випробуванні максимального навантаження P_{max}) забезпечує отримання характеристики, яка характеризує виріб щодо його надійності при

перевантаженні. Значення δ_p , яке визначається на стадії деформаційного зміцнення, коли навантаження стає дедалі більше до R_{max} , розглядається як величина гранично допустимої деформації, що виникає при можливих перевантаженнях болтів при експлуатації. Тобто характеризує деформаційний інтервал вище межі плинності, в якому болт зберігає несучу здатність завдяки деформаційному зміцненню і збереженню геометричної подоби деформованого болта вихідному болту до перевантаження.

Додаткове визначення в процесі випробування значення умовної середньої швидкості падіння навантаження на стадії локалізованого подовження $\delta_{лок}$ від R_{max} до навантаження повного руйнування $R_{роз}$, яке визначається як відношення: $(R_{max} - R_{роз})/\delta_{лок}$, дозволяє судити про механічну поведінку кріпильного виробу при перевантаженнях вище межі міцності. При перевантаженнях, що викликають деформацію більшу за δ_p , настає перехід до стадії локалізованої деформації і нестабільного руйнування. Виріб втрачає геометричну подібність вихідному і, внаслідок переважання геометричного зменшення над деформаційним зміцненням, в тому числі за рахунок зменшення «живого» перетину на стадії нестабільного руйнування, сприйняте виробом навантаження постійно зменшується з певною швидкістю до повного руйнування. Тобто, на розглянутій стадії навантаження несуча здатність виробу постійно знижується до нульової, а швидкість цього зниження характеризує опір руйнуванню на його нестабільній стадії.

Порівняння механічних властивостей, які визначаються на готових кріпильних виробках і на обточених зразках показує, що спостерігаються істотні відмінності за всіма визначеними характеристиками. Причому, якщо по показникам σ_b і $\sigma_{0,2}$ до класу міцності 8.8 більш високі значення визначаються на готових кріпильних виробках, то вище вказаного класу - на обточених зразках. Показники пластичності і опору руйнуванню в усьому дослідженому інтервалі нижче для готових кріпильних виробів і ця різниця зростає зі збільшенням класу міцності (див. табл. 8).

Порівняння результатів експериментів для болтів одного класу міцності (8.8), проти зміцнених за різними технологіями: гартування з відпуском та ТМТО, що визначені переваги за опором руйнуванню: $(R_{max} - R_{роз})/\delta_{лок}$ має остання технологія (таблиця 8). Отже, запропонована характеристика чутлива не тільки до характеристик рівня міцності, але і до типу структурного стану, який формується при тій чи іншій технології зміцнення. При цьому, раніше використані властивості не мають такої чутливості. Тому, обґрунтовано перспективне використання запропонованого методу при розробці нових технологій зміцнення різьбових стрижневих виробів.

До теперішнього часу досить розповсюджене твердження, про те що коли об'єкт, який навантажується, знаходиться в в'язкому стані, то його механічна поведінка відносно стабільна та навіть стадія руйнування не має зазначених вище ознак катастрофічності. Такий підхід, однак, потенційно небезпечний. Досить давно зверталась увага на небезпеку і можливість протікання об'єкті, що навантажується т.з. в. в'язкого руйнування по крихкому типу, якщо в об'єкті, що навантажується, є виражений процес локалізації пластичної деформації. Останній, як відомо, характеризується зосередженням пластичної деформації в локальних обсягах та високою швидкістю протікання процесу пластичної деформації. Оскільки по А.Х. Коттреллу, роль пластичної деформації при в'язкому руйнуванні полягає в "відводі матеріалу від фронту тріщини, яка зростає", то небезпека в'язкого руйнування об'єкта, що навантажується по крихкому типу прямо пов'язана зі ступенем схильності металу в даному навантажувати об'єкті до локалізації пластичної деформації. Отже, актуальним завданням є дослідження та розробка методики визначення характеристик опору в'язкого руйнування об'єкта, що навантажується, як характеристик

умов переходу

Таблиця 8 - Характеристики опору руйнуванню за пропонуваним методом, визначені на готових кріпильних виробках та обточених зразках

Технологія зміцнення	Клас міцності	Готові кріпильні вироби		Обточені зразки	
		$\delta_p, \%$	$\frac{P_{\max} - P_{\text{роз.}}}{\delta_{\text{лок.}}} \text{ кН}/\%$	$\delta_p, \%$	$\frac{P_{\max} - P_{\text{роз.}}}{\delta_{\text{лок.}}} \text{ кН}/\%$
ХОШ	6.8	4,0	2,46	3,3	1,0
ТМГО	8.8	3,45	3,46	7,16	1,45
ТЗ	8.8	3,13	4,36	6,22	2,06
ТЗ	10.9	2,83	6,06	4,44	2,89

мікролокалізації пластичної деформації (характерною для будь-якої стадії пластичної деформації анізотропного матеріалу) в макролокалізації пластичної деформації. Принципово важливим тут є обговорення та експериментальна перевірка коректності канонічних рівнянь Консідера-Харта, які зв'язують значення рівномірної деформації ϵ_p із характеристиками деформаційного зміцнення з врахуванням матеріалу об'єкта, що навантажується, як ізотропного і при відсутності істотних відхилень властивостей мікрооб'ємів від середніх значень макрооб'ємів об'єкту, що навантажується.

Експерименти проведені на різних зразках діаметром від 6 до 10 мм, виготовлених з різних марок низьковуглецевої сталі з вмістом вуглецю від 0,04 до 0,20% (мас. доля) і з різним структурним станом. Досліджували також натурні металовироби (болти) з наявністю функціональних надрізів (різьблення). Різний структурний стан досліджуваних об'єктів досягався різними способами формування геометрії об'єкту, що навантажується (гаряча і холодна деформація), режимами термічної обробки, способом і ступенем холодної деформації з наступним старінням при різних температурах. Всі перераховані об'єкти піддавали одночасному розтягуванню на машині FP 100/1, із записом повних технічних діаграм деформації та руйнування з подальшою їх розбудовою в істинні і визначенням істинної рівномірної деформації ϵ_p і коефіцієнта деформаційного зміцнення n в рівнянні Холломона. На одному з об'єктів - низьковуглецевої катанки - в стані постачання та після холодної деформації на різній ступінь розтягування та крутіння із подальшим старінням при різних температурах досліджували вплив 78 режимів термічної і деформаційної обробки на зазначені вище властивості при розтягуванні. Оскільки кожному типу режиму піддавали 5 зразків, то отримана вибірка з 78 незалежних величин - результат 390 випробувань. На основі цієї вибірки шляхом її статистичної обробки відомими методами досліджували ступінь кореляції між ϵ_p і n і вид одержуваних рівнянь регресії. Схема одночасного розтягу обрана тому, що при ній особливо наочно проявляється роль деформаційного зміцнення і геометричної втрати міцності в умовах переходу від мікролокалізації до макролокалізації.

Аналіз показує, що область рівномірної деформації, яка характеризується збереженням геометричної подібності об'єкта, що навантажується, може як існувати на ТДР, так і практично відсутні на них в залежності від вихідного структурного стану об'єкту, навантажується (рис. 8, а). При цьому спостерігаються 4 основні варіанти перебігу функції $P = f(\Delta l)$: 1) область рівномірної деформації відповідає зростанню P з ростом Δl ,

при наявності добре вираженого максимуму P ; 2) область рівномірної деформації відповідає зростанню P і зразковій сталості P з ростом Δl (дві стадії області рівномірної деформації при "розмитому" максимумі P ; 3) область рівномірної деформації збігається тільки з другою стадією області рівномірної деформації за 2-м варіантом; 4) область рівномірної деформації практично відсутня: макролокалізації пластичної деформації починається відразу при переході до макролокалізації пластичної деформації. Останній варіант є в досліджених межах - тільки за певних нерівноважних вихідних структурних станах: зміцнення холодною деформацією + низькотемпературне старіння. Через те що, після області рівномірної деформації слідує стадія макролокалізації пластичної деформації, що супроводжується нестабільною стадією в'язкого руйнування, тобто повна втрата несучої здатності об'єкта, що навантажується, то збільшення опору в'язкому руйнуванню можна очікувати (за інших рівних умов) в наступній послідовності варіантів на рис. 8, а: 4), 3), 1), 2). Іншими словами, виражена стадія деформаційного зміцнення з розмитим подальшим переходом до етапу переважання геометричної втрати міцності над деформаційним зміцненням - забезпечить найбільший опір в'язкому руйнуванню об'єкту, що навантажується. Звичайно, тут важлива і протяжність області рівномірної деформації - значення ϵ_p , причому, особливо на стадії переважання деформаційного зміцнення над геометричною втратою міцності. Тому при 2-му варіанті слід вказувати не тільки загальне значення ϵ_p , але і значення стадії області рівномірної деформації, де деформаційне зміцнення $>$ геометричної втрати міцності.

Узагальнення отриманих експериментальних даних, наведене на рис. 8, б, показує, що ці дані, з одного боку, підтверджують сприятливий вплив збільшення інтенсивності деформаційного зміцнення на значення ϵ_p як характеристики опору в'язкому руйнуванню. З іншого боку, тільки при порівняно рівноважному вихідному структурному стані експериментальні точки відповідають рівнянням $\epsilon_p = n$, але при зміцненні холодною деформацією з подальшим старінням, а також при наявності у об'єкта, що навантажується, функціональних надрізів (різьблення) - відхилення від зазначеного рівняння істотні.

Дані, наведені на рис. 9, показують, що при використанні досить великої вибірки з істотно різними структурними станами сталі, як порівняно рівноважними, так і нерівноважними, спостерігається гарна, статистично достовірна кореляція в формі лінійної зростаючої залежності між значеннями $\epsilon_p = f(n)$. При цьому зазначена залежність цілком описується рівнянням $\epsilon_p = \alpha n$, де α , хоча і менше одиниці, але близька до неї. Отже, статистично та експериментально підтверджується рівняння Консідера-Харта для низьковуглецевої сталі, яка піддається холодній деформації одночасним розтягуванням в умовах слабкого швидкісного деформуючого напруження. Одночасно добре видно, що більшість експериментальних точок лежить нижче прямої, що відповідає рівнянню $\epsilon_p = n$, тобто кількісні відхилення від канонічного рівняння мають місце в більшості досліджених випадків.

Оптимізація "тіла" болта полягає в виробництві полого кріплення зі сталі з межею текучості від 500 до 1200 Н/мм², а товщина стінки елемента визначається в залежності від рівня міцності (значення межі текучості сталі) за формулою:

$$\delta = \exp[-0,3694(\ln\sigma)^2 + 2,0673(\ln\sigma) + 5,5744] \pm 1$$

де: δ - товщина стінки елемента, мм; σ - межа плинності металу елемента, МПа, а 0,3694; 2,0673 і 5,5744 - коефіцієнти, отримані дослідним шляхом після обробки

експериментальних даних по визначенню впливу межі текучості металу на товщину стінки елемента, що забезпечує максимальне значення в'язкості руйнування (K_c), як характеристику тріщиностійкості.

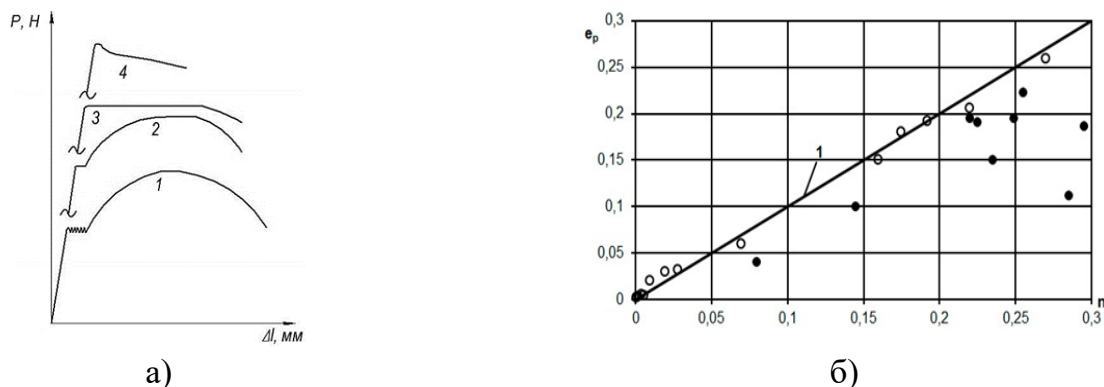


Рисунок 8 - Спостережувані в експерименті варіанти зміни навантаження вище межі текучості (схеми) для об'єкту, що навантажується із низьковуглецевої сталі з різним вихідним структурним станом (а) і залежність між значеннями коефіцієнта деформаційного зміцнення n та рівномірної деформації ϵ_p за рівнянням Консідера-Харта (1) і дані експериментів в досліджених межах (точки) (б)

Дане положення знайде широке застосування при виробництві високоміцних болтів для металоконструкцій і мостобудування, де стандартом контролюється і регламентуються значення в'язкості руйнування (тріщиностійкості).

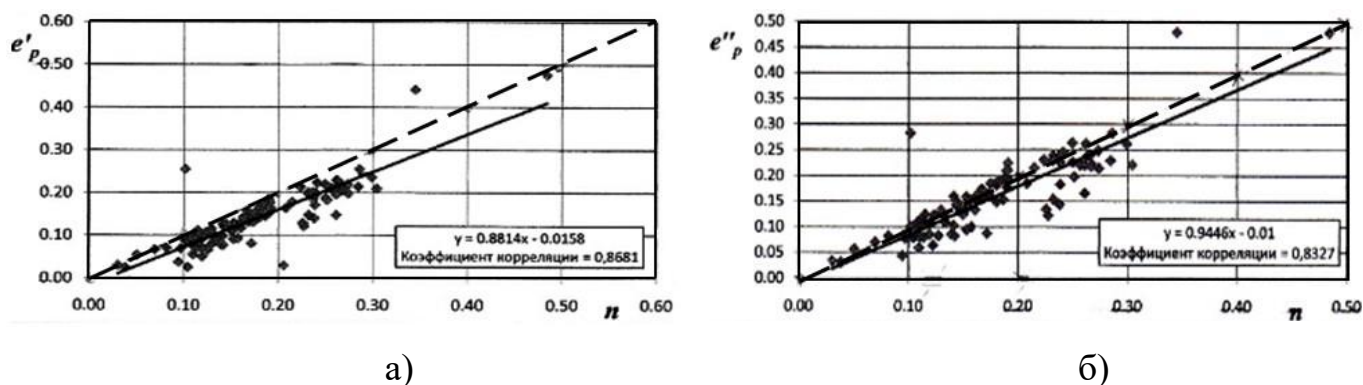


Рисунок 9 - Кореляційна залежність між значеннями рівномірної деформації ϵ_p і значеннями коефіцієнта деформаційного зміцнення n низьковуглецевої сталі, підданої різним режимам термічної і деформаційно-термічної обробки: а - визначення ϵ_p по точці закінчення збільшення навантаження; б - визначення ϵ_p по серединній точці відрізка зразкової сталості навантаження

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі зроблено теоретичне узагальнення та запропоновано нове рішення науково-практичної задачі, яке полягає у розробці технології виготовлення високоміцних кріпильних виробів без використання термічного зміцнення шляхом встановлення взаємозв'язку між механізмами структуроутворення та механічними властивостями низьковуглецевої нелегованої сталі після різних режимів активної та циклічної деформації у поєднанні з подальшим низькотемпературним термічним впливом. На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень зроблено наступні наукові та практичні висновки:

1. Розроблено й обґрунтовано технологію з використанням синергетики активної та циклічної деформації та фінішних термічних впливів. Технологія виробництва стрижневих кріпильних виробів (болтів, шпильок) методом деформаційно-термічних впливів дозволяє виготовляти готову продукцію без гарту останніх з властивостями міцності за межею плинності ($\sigma_{0,2}$) пона 640 МПа і за межею міцності (σ_B) понад 700 МПа, при значеннях співвідношення $\sigma_B/\sigma_{0,2} \geq 1,05$.

2. Показано, що в багатьох випадках найбільш перспективним методом зниження схильності до деформаційного старіння розглянутих об'єктів є структурний метод, який не вимагає додаткового легування, а заснований на створенні регламентованого структурного стану.

3. У даній роботі використаний саме метод зниження схильності до деформаційного старіння шляхом створення в об'єкті регламентованого структурного стану. Для досліджених холоднодеформованих болтів класу міцності 5.8 такий стан формується шляхом низькотемпературного нагріву до 400 °С після операції циклічної деформації, що призводить до зменшення накопиченої при технологічній активній холодній деформації пружної енергії та її об'ємного градієнту, перерозподілення дислокацій без суттєвого зменшення їх щільності з формуванням однорідної дислокаційної структури дислокаційних фрагментів з квазірівномірними малоугловими границями.

4. Встановлено, що комплекс механічних властивостей, який визначається на готових болтах і обточених зразках, істотно різний, причому ступінь відмінності залежить від рівня зміцнення. В цілому можна вважати, що незалежно, в досліджених межах, від відмінностей хімічного складу сталей і способу зміцнення, вплив рівня зміцнення на величину відмінностей між властивостями, обумовленими на готових болтах і обточених зразках, описується єдиними залежностями. Одночасно характер цих залежностей різний для властивостей опору пластичної деформації (межа міцності та плинності) і властивостей пластичності (подовження), а також опору в'язкого руйнування (рівномірного подовження і швидкості падіння номінального напруження в інтервалі локалізованої деформації та руйнування).

5. Вперше показано і пояснено неоднозначний вплив системи надрізів в порівнянні з одиничним надрізом на ефект зміцнення в надрізі при різних рівнях структурного зміцнення - в разі одиничного надрізу геометричне зміцнення в загальному ефекті, що фіксується, зміцнення в надрізі виступає як співмножник зі структурним зміцненням, а в випадку системи надрізів при певному рівні структурного зміцнення вплив надрізів виявляється фактором втрати міцності. Екстремальний вплив рівня структурного зміцнення на рівень опору пластичної деформації слід пов'язувати з результатом інтерференції полів напружень, що виникають як у надрізів в об'єкті, що навантажується, так і полів напружень, обумовлених рівнем структурного зміцнення. Вперше також формалізовано вплив різних чинників на ефект зміцнення в надрізі у вигляді рівняння, яке не суперечить експериментальним даним.

6. Запропоновано новий метод визначення пластичних властивостей кріпильних виробів, який дозволяє визначати характеристики міцності та пластичності на зразках одного типу. На основі аналітичних і експериментальних досліджень встановлено, що значення рівномірної деформації при одновісному розтягуванні можна обґрунтовано використовувати як характеристику опору в'язкого руйнування, причому найбільш його небезпечною нестабільною стадією.

7. Показано, що рівняння $\epsilon_p = f(n)$ Консідера-Харта при використанні досить

великої вибірки якісно достовірно, а кількісні відхилення від нього можна розглядати як міру неоднорідності властивостей мікрооб'ємів об'єкту, що навантажується. Запропоновано комплексну характеристику опору в'язкому руйнуванню: значення рівномірної деформації (ϵ_p), коефіцієнта деформаційного зміцнення (n) і величини відхилення від залежності Консідера-Харта ($n-\epsilon_p$). За інших рівних умов опір в'язкому руйнуванню зростає зі збільшенням ϵ_p , n і зменшенням $(n-\epsilon_p)$.

8. Запропоновано різьбовий кріпильний елемент з наскрізним осьовим отвором, що забезпечує максимальне значення в'язкості руйнування (K_{1c}), як характеристики тріщиностійкості, та виведена формула для розрахунку оптимальної товщини стінки кріпильного виробу в залежності від межі плинності матеріалу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні результати дисертації

1. Гуль Ю. П., Івченко А. В., Кондратенко П. В., Перчун Г. І. Сравнительный анализ комплекса механических свойств, полученных при испытаниях готовых болтов и обточенных образцов. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна*. 2015. №4(58). С. 132-141.
2. Гуль Ю. П., Івченко А. В., Кондратенко П. В., Чмелева В. С., Перчун Г. І. Характеристики макролокализации пластической деформации при одноосном растяжении стальных объектов и их сопротивление вязкому разрушению. *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. ПГАСА*. 2016. № 89. С. 70-77.
3. Гуль Ю. П., Івченко А. В., Кондратенко П. В., Чмелева В. С., Перчун Г. І. Эффект “упрочнения в надрезе” при единичном надрезе и системе надрезов в зависимости от исходного уровня прочности. *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. ПГАСА*. 2016. № 90. С. 83-90.
4. Гуль Ю. П., Івченко А. В., Кондратенко П. В., Моргун М. П. Методики определения и способы снижения склонности стальных изделий к деформационному старению. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016. № 4. С. 63-67.
5. Гуль Ю. П., Івченко А. В., Кондратенко П. В., Чмелева В. С., Перчун Г. І. Удосконалення методів визначення механічних властивостей стрижневих різьбових кріпильних виробів на розтяг. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016. № 6. С. 93-99.
6. Івченко О. В., Кондратенко П. В., Перчун Г. І., Гуль Ю. П., Чмельова В. С. До питання про нормування міцностних властивостей стрижневих кріпильних виробів залежно від їх застосування і технології виготовлення. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2018. №5(112). С. 91-99.
7. Івченко О. В., Гуль Ю. П., Перчун Г. І., Чмельова В. С., Кондратенко П. В. Аналіз передбачених стандартами характеристик опору руйнуванню кріпильних виробів на прикладі болтів класу міцності 5.8 і перспективні напрямки їх вдосконалення (в порядку обговорення проблеми). *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2019. №1 (113). С. 12-20.
8. Gul Y. P., Perchun, G. I., Kondratenko, P. V., Chmeleva, V. S., Ivchenko, A. V. Heat Treatment to Slow Strain Aging in Threaded Steel Bolts. *Steel in Translation*. 2019. Т. 49. №. 2. С. 137-140. (Scopus)

9. Gul Yu., Ivchenko A., Perchun G., Chmeleva V., Kondratenko P. Basic principles of the new technology project of manufacturing steel products hardened by the cold deformation. *Scientific development and achievements: monograph*. LP22772, 20-22 Wenlock Road, London, N1 7GU. 2018. volume 5. P. 225-244.

10. Гуль Ю. П., Ивченко А. В., Кондратенко П. В., Чмелева В. С. Сопротивление вязкому разрушению и равномерная деформация нагружаемого металлического объекта. *Коллективная монография №56 «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering*. Poland Czestochowa. 2016. №56. С. 407-410.

11. Гуль Ю. П., Кондратенко П. В., Перчун Г. И., Чмелева В. С., Ивченко А. В. Новая ресурсосберегающая технология производства высокопрочного стального крепежа. *XIX International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics»*, Czestochowa. 2018. № 78. С. 96-99.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

12. Гуль Ю. П., Ивченко А. В., Кондратенко П. В. Влияние функциональных надрезов (резьбы) на характеристики сопротивления пластической деформации болтов при различном уровне упрочнения. *75-та Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. 2015. С. 128-130.

13. Гуль Ю. П., Ивченко А. В., Кондратенко П. В., Якушев А.С., Коваленко В. Ф., Бурчак С. С. Влияние нагрева в процессе нанесения защитных покрытий на механические свойства крепежных изделий. *Материалы IV Всеукраинской межвузовской научно-технической конференции*, 2016. С. 77-78.

14. Гуль Ю. П., Ивченко А. В., Кондратенко П. В., Чмелева В. С. System analysis of manufacturing technologies of high-strength steel bolts. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ'2017: тези доповідей Дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції*, 2017. С. 12.

15. Гуль Ю. П., Перчун Г. І., Ивченко О. В., Чмелева В. С., Кондратенко П. В. Нова технологія виробництва сталевих стрижневих кріпильних виробів. *II Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід»*. 2018. С. 266-268.

16. Ивченко А. В., Гуль Ю. П., Перчун Г. И., Чмелева В. С., Кондратенко П. В. Анализ характеристик сопротивления разрушению крепежных изделий и предложения по их совершенствованию (в порядке обсуждения). *7th International youth conference «Perspectives of science and education»*. 2019. С. 270-281.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

17. Патент UA №103677. Різьбовий кріпильний елемент. Гуль Ю. П., Ивченко О. В., Кондратенко П. В., Чмельова В. С., Перчун Г. І., u201506182 від 23.06.2015 опубл. 25.12.2015, бюл. № 24.

18. Патент UA №114904. Спосіб визначення механічних властивостей стрижневих різьбових кріпильних виробів. Гуль Ю. П., Ивченко О. В., Кондратенко П. В., Чмельова В. С., Перчун Г. І., опубл. 27.03.2017 р., бюл. № 6.

19. Патент UA №107565. Спосіб визначення пластичних властивостей стрижневих різьбових кріпильних виробів. Ивченко О. В., Гуль Ю. П., Семенов О. А., Чмельова В. С., Перчун Г. І., Кондратенко П. В., u201513117 від 30.12.2015, опубл. 14.06.2016, бюл. № 11.

20. Патент UA №130469. Спосіб виготовлення стрижневих кріпильних різьбових виробів. Гуль Ю.П., Кондратенко П. В., Перчун Г. І., Чмельова В. С., Івченко О. В. u201806205 від 04.06.2018, опубл. 10.12.2018, бюл. № 23.

21. Патент UA № 135230. Спосіб експрес випробування пробним навантаженням сталевих стрижневого нарізного кріпильного виробу. Івченко О. В., Рабер Л. М., Білодіденко С. В., Кондратенко П. В., Перчун Г. І. Заявлено 03.01.2019 р. Публікація 25.06.2019 р., бюл. №12.

22. Патент UA №137693 Спосіб експрес контролю сталевих стрижневих різьбових кріпильних виробів на схильність до крихкого руйнування. Івченко О. В., Рабер Л. М., Білодіденко С. В., Перчун Г. І., Гуль Ю. П., Чмельова В. С., Кондратенко П. В. u201901135 від 04.02.2019, опубл. 11.11.2019, бюл. № 21.

АНОТАЦІЯ

Кондратенко П.В. Удосконалення технології виробництва і методики випробувань високоміцних кріпильних виробів з вуглецевих та низьколегованих сталей. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 «Матеріалознавство» (13 – Механічна інженерія). – Національна металургійна академія України; Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", Дніпро, 2020.

При розробці технології високоміцних кріпильних виробів з низьковуглецевих сталей були сформульовані основні вимоги до параметрів активної та циклічної деформації, а також термічного впливу. Встановлені основні параметри технологічного режиму виробництва високоміцних кріпильних виробів без фінішного термічного зміцнення.

Встановлено, що комплекс механічних властивостей, які визначаються на готових болтах і обточених зразках, істотно різний, причому ступінь відмінності залежить від рівня зміцнення. В цілому можна вважати, що незалежно, в досліджених межах, від відмінностей хімічного складу сталей і способу зміцнення, вплив рівня зміцнення на величину відмінностей між властивостями, обумовленими на готових болтах і обточених зразках, описується єдиними залежностями. Вперше показано і пояснено неоднозначний вплив системи надрізів в порівнянні з одиничним надрізом на ефект зміцнення в надрізі при різних рівнях структурного зміцнення - в разі одиничного надрізу геометричне зміцнення в загальному ефекті, що фіксується, зміцнення в надрізі виступає як співмножник зі структурним зміцненням, а в випадку системи надрізів при певному рівні структурного зміцнення вплив надрізів виявляється фактором втрати міцності.

Ключові слова: високоміцні кріпильні вироби, активна та циклічна деформація, деформаційне старіння, низьковуглецева сталь, механічні випробування, характеристики в'язкого руйнування.

SUMMARY

Kondratenko P. Improvement of production technology and testing methods of high strength fasteners made of carbon and low-alloy steels. - Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate of Science Degree in Specialty 05.02.01 "Materials science" (13 – Mechanical engineering). – National Metallurgical Academy of Ukraine; State Higher Educational Establishment "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and

Architecture”, Dnipro, 2020.

The dissertation is devoted to the development of technological parameters of the combined influence of active and cyclic deformation, which is used to increase the performance of cold - formed mass metal products from low - carbon non - alloy steels and improve the methods of passing tests of fasteners.

Improving the reliability and durability of structural elements is one of the most important tasks of modern metallurgy and engineering. Relevant and extremely important is the solution of this problem for all types of fasteners used in the units of metallurgical units, traction and rolling stock of railways, their track facilities, machines and machines of machine-building enterprises operating in conditions of constant and continuous accumulation of internal defects and damage, through which, ultimately, there is a premature destruction of individual elements and equipment as a whole. This makes it extremely important to create new technological processes for strengthening the processing of cold-formed mass-produced products in order to improve their reliability, durability and operational safety.

Studies have shown that certain combinations of active and cyclic deformation can increase the level of performance of cold-formed metal products, in particular the fatigue strength of fasteners. However, the same studies and analysis of their results led to the conclusion that a breakthrough in ensuring the production of cold-formed metal products with a wide range of enhanced performance properties is possible only with a systematic study of synergetics of active and cyclic deformation using load schemes and parameters, new technological equipment.

The result of such a deformation effect is fundamentally different from, thermal effect, because it does not lead to a significant reduction in the density of dislocations, but to their redistribution to obtain a new type of structure and accordingly, properties. This allows, without reducing the level of hardening, to improve the levels of performance: resistance to deformation and fracture, low susceptibility to deformation aging, relaxation resistance, resistance to fatigue failure, fire resistance, corrosion resistance. The effective use of cyclic deformation involves optimizing the scheme and the degree of active deformation. The non-equilibrium concentration of vacancies created by cyclic deformation provides non-conservative sliding of edge dislocations first of all that causes first of all the set transformation of dislocation substructure. Therefore, the scheme of active deformation should provide an increased density of such dislocations.

The method used ensures the achievement of this goal on the basis of non-conservative composition of dislocations according to J. Friedel; optimization of the active deformation scheme; combinations of cyclic deformation schemes with different amplitude and frequency of cycles, coordination of the degree of active deformation with the schemes and parameters of cyclic deformation

The new technology, which provides the required level of properties, is based on the fundamental laws of obtaining linear and point defects during active and cyclic deformation and the laws of interaction between these defects, including during the movement of dislocations, as well as the laws of connection between properties and structural state, metal.

During the development of the technology of high-strength fasteners made of low-carbon steels, the basic requirements for the parameters of active and cyclic deformation, as well as thermal effects were formulated. The main parameters of the technological mode of production of high-strength fasteners without finishing thermal hardening are established. Based on the determination of the characteristics of resistance to fracture, fatigue strength, it is proved that the products made by cold deformation, the performance characteristics are not inferior to products produced by traditional technology using energy-intensive operations of hardening and tempering.

Analysis of modern standards for mechanical properties and test methods, bolts, screws

and studs showed their inconsistency with the current level development of test equipment due to the presence of such test methods as hammer on the bolt head, tensile testing to test load, determination of a number of characters κ samples.

Determining the mechanical properties of fasteners (bolts, screws and studs r. testing processed (turned) samples distorts (he true values of the characteristics and car lead to incorrect assignment of the strength class of the finished product

After testing the test specimens (bolts) for tension, the values of the characteristics of the temporary' resistance to failure, which is determined on the finished bolts, must be entered in the quality document.

Testing of ready-made tensile bolts with a diagram entry makes it possible: visually assess compliance with the test load requirements.

The presence of these shortcomings makes it necessary to improve the regulatory documentation for the control of the properties of fasteners.

Cold-formed bolts usually do not contain alloying elements that effectively reduce the intensity of strain aging, so the processes of natural and artificial strain aging can reduce the resistance to viscous and brittle fracture.

However, the existing regulations do not prescribe a mechanism for controlling mechanical properties taking into account aging, so the bolts after manufacture and delivery to the consumer, in preparation for use and during operation may have different characteristics of strength and ductility. This fact makes us lake into account the susceptibility of steel products to deformation aging and its possible consequences Therefore, the paper proposed and experimentally confirmed the use of low- temperature thermal exposure of 400-450 °C after the manufacture of fasteners by cold deformation to reduce the deformation aging of cold-deformed fasteners.

It is established that the complex of mechanical properties, which are determined on the finished bolts and turned samples, is significantly different, and the degree of difference depends on the level of hardening. In general, we can assume that regardless of the studied limits, depending on the differences in the chemical composition of steels and the method of hardening, the influence of the level of hardening on the differences between the properties due to the finished bolts and turned samples is described by unique dependences. At the same time, the nature of these dependences is different for the properties of resistance to plastic deformation (yield strength) and properties of plasticity (elongation), as well as resistance to viscous fracture properties (uniform elongation and rate of nominal stress in the range of localized deformation and fracture).

For the first time the ambiguous influence of the notch system in comparison with a single notch on the effect of notch hardening at different levels of structural reinforcement is shown and explained - in case of a single notch geometric reinforcement system of cuts at a certain level of structural strengthening the influence of cuts is a factor in the loss of strength.

Keywords: high strength fasteners, active and cyclic deformation, deformation aging, low carbon steel, mechanical testing, viscous fracture characteristics.