

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Кондратенка Павла Володимировича
на тему: «Удосконалення технології виробництва та методики
випробувань високоміцних кріпильних виробів з вуглецевих та
низьколегованих сталей», представлена на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - «Матеріалознавство»

1. Актуальність теми.

Підвищення надійності і довговічності елементів конструкцій є одним із найважливіших завдань сучасної металургії та машинобудівної галузі. Актуальним є рішення цієї проблеми для всіх видів кріпильних виробів, які використовуються у вузлах металургійних агрегатів, тягового та рухомого складу залізниць, станків та верстатів машинобудівних підприємств, що працюють в умовах постійного та безперервного накопичення внутрішніх дефектів і пошкоджень, через які, в кінцевому рахунку, відбувається передчасне руйнування окремих елементів та устаткування в цілому. Тому робота направлена на розробку нових технологічних процесів зміцнюючої обробки холоднодеформованих виробів масового призначення з метою поліпшення їх показників надійності та довговічності, а також на розробку нових методів випробувань, що підвищують достовірність отриманих показників механічних властивостей є актуальною.

2. 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.

3. 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.

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.

Вх. № 84 - 05/04

12.03.2021

У першому розділі наводиться огляд попередніх досліджень за означеною тематикою. Розглянуто вимоги до механічних властивостей та умови експлуатації високоміцних кріпильних виробів. Проаналізовано сучасні схеми виробництва високоміцних кріпильних виробів. Розглянуто переваги і недоліки нових технологій виробництва кріпильних виробів з застосуванням термомеханічної обробки прокату з борвмісних сталей та низьковуглецевих сталей в порівнянні зі стандартною технологією, в якій проводять гартування та відпуск готових кріпильних виробів.

Автором роботи було зроблено висновок, що існують можливості виробництва високоміцних кріпильних виробів з низьковуглецевих нелегованих сталей за рахунок використання активної та циклічної деформації заготівлі. В результаті аналізу діючих нормативних документів на кріпильні вироби встановлено, що механічні властивості визначаються на двох типах зразків, а саме обточених зразках та готових кріпильних виробах. Данні методики призводять для спотворення отриманих результатів та не дозволяють отримати характеристики, що відповідають умовам експлуатації. Отже методики в діючих нормативних документах є застарілими та вимагають вдосконалення.

На підставі комплексного аналізу літературних джерел підтверджено актуальність обраної теми та сформульовано мету і основні задачі дослідження.

У другому розділі обґрунтовано вибір матеріалу та використаних методів, методик та устаткування для проведення досліджень. Застосовано сучасні методи та методики дослідження: світлова якісна мікроскопія («Neophot-21»); рентгеноструктурний аналіз (ДРОН-2); стандартні методи механічних випробувань на розтяг (FP 100/1); електронна мікроскопія (JEOL JEM-4000EX).

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

Автором роботи після лабораторних досліджень встановлено, що оптимальними режимами холодної активної та циклічної деформації заготовки зі сталі 20 є волочіння з загальною деформацією 30-60% та знакозмінний вигин 10 циклів для виготовлення болтів класу міцності 8.8. Проведені мікроструктурні дослідження підтвердили створення циклічною деформацією нерівноважної концентрації, що забезпечує неконсервативне ковзання насамперед крайових дислокацій, що обумовлює отримання фрагментованої дислокаційної субструктури з розмірами фрагментів порядку 10-1 ... 1 мкм, квазірівноважними дислокаційними границями і азимутальною разорієнтацією фрагментів (10 ... 15 градусів). Такого типу структурний стан

забезпечує достатню технологічну пластичність (при формуючій холоднодеформовані металовироби деформації) і необхідні службові характеристики при їх експлуатації.

Для зниження схильності до деформаційного старіння холоднодеформованих виробів в роботі використаний метод з 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, перерозподілу дислокацій без суттєвого зменшення їх щільності з формуванням однорідної дислокаційної структури дислокаційних фрагментів з квазірівновісними малоугловими границями.

У четвертому розділі представлені результати дослідження впливу системи надрізів та рівня міцності на механічні властивості 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).

Автором доведено, що залежність відмінностей в значеннях границь плинності та міцності для готових болтів і обточених зразків від рівня зміцнення включає два інтервали. У першому - до класу міцності 8.8 значення границь плинності і міцності вище для готових болтів, а при більшому рівні зміцнення - для обточених зразків. Величина відмінностей досягає 150 Н/мм² 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. За отриманими даними автором було запропоновано рівняння, що дозволяє визначити вплив системи надрізів на механічні властивості металовиробів за зміною границі плинності.

Експериментально показано, що рівняння $e_p = f(n)$ Консідера-Харта при використанні досить великої вибірки якісно достовірне, 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 (e_p), коефіцієнта деформаційного зміцнення (n) і величини відхилення від залежності Консідера-Харта ($n-e_p$).

4. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Високий ступінь достовірності та обґрунтованості наукових результатів, висновків та рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується застосуванням сучасних методів математичної статистики, мікроструктурного та рентгеноструктурного аналізу, визначенням механічних властивостей металевих виробів; використанням повіреного і

сертифікованого обладнання та устаткування; чітким та логічним трактуванням отриманих результатів, що не суперечать відомим даним; практичним впровадженням отриманих результатів.

5. Наукова новизна дисертаційної роботи.

Автором роботи отримано ряд важливих результатів, наукова новизна яких полягає в наступному:

- 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.

6. Практичні результати роботи, їх рівень і ступень впровадження.

В роботі запропоновано виробництво високоміцних кріпильних виробів зі сталі 20 шляхом поєднання процесів активної та циклічної деформації. Результат такого деформаційного впливу принципово відрізняється від термічного впливу, тому що не призводить до суттєвого зменшення щільності дислокацій, а до їх перерозподілу з отриманням нового типу структури і, відповідно, властивостей. Це дозволяє, не знижуючи рівня зміцнення, поліпшувати такі характеристики як опір деформації і руйнуванню, схильності до деформаційного старіння, релаксаційну стійкість, опір втомному руйнуванню. При цьому ефективно використання циклічної деформації передбачає оптимізацію схеми і ступеня активної деформації. Створена циклічною деформацією нерівноважна концентрація вакансій забезпечує неконсервативне ковзання насамперед крайових дислокацій, що обумовлює перш за все задане перетворення дислокаційної субструктури. Тому схема активної деформації повинна забезпечити підвищену щільність саме таких дислокацій.

Також важливе практичне значення мають нові методики визначення механічних властивостей кріпильних виробів. Додаткове визначення в процесі випробування величини відносного рівномірного видовження δ_p (як величини видовження до досягнення при випробуванні максимального навантаження) забезпечує отримання характеристики, яка характеризує виріб щодо його

надійності при перевантаженні. Значення δ_r , яке визначається на стадії деформаційного зміцнення, коли навантаження стає дедалі більше до максимального навантаження, розглядається як величина гранично допустимої деформації, що виникає при можливих перевантаженнях болтів при експлуатації. Додаткове визначення в процесі випробування значення умовної середньої швидкості падіння навантаження на стадії локалізованого подовження $\delta_{лок}$ від максимального навантаження P_{max} до навантаження повного руйнування $P_{руйн.}$, яке визначається як відношення: $(P_{max} - P_{руйн.})/\delta_{лок}$, дозволяє судити про механічну поведінку кріпильного виробу при перевантаженнях вище границі міцності.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи були використані при виробництві кріпильних виробів на ПАТ «Дніпрометиз», а також використовуються у навчальному процесі на кафедрі термічної обробки металів Національної металургійної академії України при вивченні дисципліни «Структура і властивості» спеціальності 132 - «Механічна інженерія».

7. Повнота викладення результатів в опублікованих працях. Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано 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.

Робота пройшла апробацію, її основні наукові положення та результати досліджень доповідалися на 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).

8. Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам.

Дисертація та автореферат оформлені згідно з діючими вимогами.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 - матеріалознавство (п. 1, 2, 8 напрямків досліджень). Автореферат за змістом є ідентичним основним положенням дисертації.

Зауваження щодо змісту дисертації.

1 В розділі 3 дисертації автор роботи зазначив, що циклічна деформація призводить до збільшення щільності дислокацій, границі плинності і міцності та знижує характеристики пластичності заготовки. Отримані результати суперечать загальноприйнятому впливу циклічної деформації на властивості металовиробів. Автор пояснює дані результати малим діаметром роликів та малою відстанню між ними в пристрої циклічної деформації, що призводить до малої амплітуди циклічної деформації заготівлі. Однак в роботі не наведено розрахунку оптимальних параметрів циклічної деформації, а саме частоти та амплітуди згинів.

2. Було б доцільним провести дослідження перерозподілу дислокацій та зменшення накопиченої при технологічній активній холодній деформації пружної енергії не тільки рентгеноструктурним методом, але й за допомогою електронної мікроскопії.

3. В роботі проводиться дослідження впливу системи надрізів на механічні властивості металовиробів в залежності від їх структурного стану та рівня міцності, проте автором роботи не було проведено дослідження впливу взаємодії напружень стискання, що виникають при накатці різьби, з напруженнями, що виникають від надрізів.

4. В роботі запропоновано нову “геометрію” кріпильних виробів з метою досягнення оптимальної тріщиностійкості та опору в’язкому руйнуванню, однак в роботі не проведено дослідження ударної в’язкості високоміцних кріпильних виробів виготовлених за стандартною та за дослідною технологіями.

5. Не зрозуміло, що автор мав на увазі, (розділ 4), характеризуючи границю витривалості кількістю циклів навантаження. Відомо, що цей показник характеризує напруження, при якому зразок зруйнувався задану кількість циклів (база випробувань). Можливо мова йде про втомну довговічність, але в такому випадку необхідно вказувати величину напруження.

Загальний висновок.

Дисертація Кондратенко П.В. на тему: «Удосконалення технології виробництва та методики випробувань високоміцних кріпильних виробів з вуглецевих та низьколегованих сталей» є завершеним науковим дослідженням, в якому одержано нові науково обґрунтовані результати, що розв’язують науково-практичне завдання по 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.

Робота викладена грамотною науково-технічною мовою, добре проілюстрована фотографіями мікроструктур, таблицями і графічним матеріалом.

Дисертаційна робота за актуальністю, змістом, науковою новизною, практичним значенням, достовірністю та обґрунтованістю одержаних результатів, повнотою опублікування результатів у наукових фахових виданнях, обсягом і оформленням відповідає основним вимогам до кандидатських дисертацій (п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів») із спеціальності 05.02.01 - матеріалознавство.

Вважаю, що дисертація заслуговує позитивної оцінки, а її автор **Кондратенко Павло Володимирович** - присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності **05.02.01 - матеріалознавство**.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, с.н.с.,
директор Інституту чорної металургії
ім. З. І. Некрасова НАН України



О. І. Бабаченко
О. І. Бабаченко