


УДК 620.1:669-11, 620.22
№ держреєстрації 0121U113690

Товариство з обмеженою відповідальністю
«ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
69008, м. Запоріжжя вул. Південне шосе 80

ЗАТВЕРДЖУЮ
проректор з науково-дослідної роботи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

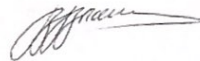

_____ Кухар В.В.
« 29 » _____ 06 _____ 2022 р.



ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Розвиток технологічних основ ресурсозберігаючих процесів оптимізації структури та властивостей сплавів в залежності від умов експлуатації виробів.
Етап 1. Розвиток теоретичних основ для створення реурсозберігаючих процесів оптимізації структури та властивостей сплавів в залежності від умов експлуатації виробів.

Науковий керівник
НДР д.т.н., проф.



_____ (Пашинський В.В.)

(підпис)

« 24 » _____ 06 _____ 2022 р.

2022

Рукопис закінчено «24» _____ 06 _____ 2022 р.

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»,
протокол № 1 від « 29 » _____ 06 _____ 2022 р.

СПИСОК АВТОРІВ ЗВІТУ ПРО НДР

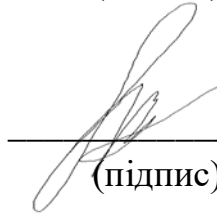
Керівник НДР,
д.т.н., доцент



В.В.Пашинський
(вступ, розділи 1,3,
висновки)

(підпис)

Відповідальний
виконавець,



І.О.Бойко
(реферат, розділи
1,,4, висновки)

(підпис)

Виконавець
д.т.н., с.н.с.



О.Г. Пашинська
(розділи 1,2,
висновки)

(підпис)

РЕФЕРАТ

ЗВІТ про НДР: 27 с., 20 джерел.

Ключові слова: МІКРОСТРУКТУРА, МАКРОСТРУКТУРА, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ, МЕЖА МІЦНОСТІ, ВІДНОСНЕ ПОДОВЖЕННЯ, КОМБІНОВАНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ, НАПЛАВЛЕННЯ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, РЕЛАКСАЦІЯ НАПРУЖЕНЬ, НАГАРТУВАННЯ

Об'єкт дослідження — Метали та сплави, що піддаються пластичній деформації та зношуванню внаслідок дії технологічних факторів при експлуатації

Мета роботи — розвиток технологічних основ процесів обробки металів та сплавів з забезпеченням підвищеної результуючої ефективності виробу на протязі всього його життєвого циклу.

Методи дослідження — аналіз літературних даних, побудова теоретичних концепцій формування структури та властивостей, фізичне моделювання процесів в лабораторних умовах, промисловий експеримент.

Результати та їх новизна – Встановлені закономірності механізмів структурних змін при комбінованій пластичній деформації розтягуванням з різноспрямованим крученням, які дозволяють керувати формуванням комплексу механічних властивостей.

Виконано аналіз сучасного стану використання різних видів сталей для виготовлення та (або) відновлення та зміцнення пресового інструменту показано суттєві переваги хромистих сталей та запропоновано підхід до підвищення властивостей наплавленого шару за рахунок використання високовуглецевої оболонки порошкової проволочки.

Запропонований принцип формування різноманітних структурних станів у високохромистих сталях за рахунок підвищення вмісту нікелю. В результаті відпалу і загартування з відпуском формуються два варіанти структурного стану з підвищеною зносостійкістю - мартенсит і залишковий аустеніт безпосередньо після гарту і продукти відпуску мартенситу і розпаду залишкового аустеніту при високій відпустці.

Основні конструктивні, технологічні й техніко-експлуатаційні характеристики – викладені у звіті

Інформація щодо впровадження – в навчальному процесі при викладанні спеціальних дисциплін.

Рекомендації щодо використання: планується використовувати при розробці технологічних основ процесів обробки металів та сплавів з забезпеченням підвищеної результуючої ефективності виробу на протязі всього його життєвого циклу.

Сфера застосування: виробництво металопродукції методами пластичної деформації, термічна обробка сплавів, ремонт та відновлення деталей устаткування

Економічна та соціально-економічна ефективність роботи: запропоновані теоретичні підходи для ресурсо- та енергозбереження в процесі виробництва та відновлення металопродукції.

Значимість роботи: отримані результати дозволяють перейти до розробки технологічних схем виготовлення металопродукції.

Умови одержання ЗВІТУ: за договором.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1.	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
2.	ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ КОМБІНОВАНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ «КРУТІННЯ – РОЗТЯГУВАННЯ»	13
3	ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОХРОМИСТИХ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ ЗБІЛЬШЕННЯ ВМІСТУ НІКЕЛЮ	16
4	ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПЛАВЛЕНОГО ШАРУ ЗА РАХУНОК МОДИФІКАЦІЇ СКЛАДУ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ	21
	ВИСНОВКИ	24
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	25

ВСТУП

Ресурсо-та енергозбереження при виробництві та відновленні виробів з металів та сплавів може бути забезпечено як за рахунок модифікації процесів їх виробництва, так і за рахунок підвищення комплексу властивостей самих виробів, що збільшить строк їх експлуатації, зменшить собівартість продукції. Окремим напрямком підвищення ефективності може бути розвиток процесів відновлення зношених деталей

Так, зокрема, мідний дріт практично використовується в таких приладах та пристроях, як генератори електростанцій, електродвигуни, лінії електропередач, радіо- та електронна апаратура та ін. як матеріал електропровідних елементів. До основних переваг мідного дроту відносяться: гнучкість та пластичність, висока електро- та теплопровідність. Одним з найбільш проблемних моментів в експлуатації такого дроту є його пориви при експлуатації через недостатню міцність і пластичність. Для збільшення терміну служби виробу потрібно одночасне підвищення міцності та пластичних характеристик.

Характеристики якості і надійності є основними вимогами до зносостійких деталей, для виготовлення яких ливарні зносостійкі сплави зберігають домінуюче значення. Одночасно з ростом потреби, до таких сплавів пред'являються підвищені вимоги до фізико-механічних властивостей, розмірної точності, довговічності та інших якісних показників при збереженні прийнятної ціни сплаву з урахуванням високої вартості легуючих компонентів.

Багаторічна боротьба за високий ресурс металургійного інструменту та обладнання набирає актуальності з кожним днем. В останні роки на підприємствах кольорової металургії, що спеціалізуються на випуску екструдованої продукції, загострилася проблема недостатньої стійкості пресового інструменту (матриць, прес-шайб, шплінтонів та прес-втулок). Вона проявляється, насамперед, у його передчасному зносі.

Однією з проблем є недостатня, за сучасними вимогами, стійкість робочої поверхні інструменту в умовах великих теплових навантажень. Зниження стійкості пов'язане з відомими механізмами зношування металу, на які накладається вплив його забрудненості неметалічними включеннями на ділянці прогріву та високих контактних напруг, утворення хімічної та механічної неоднорідності робочого шару, що підтверджується нерівномірністю зношування інструменту.

Таким чином розвиток теоретичних основ для створення ресурсозберігаючих процесів оптимізації структури та властивостей сплавів в залежності від умов експлуатації виробів є актуальною задачею. Різноманітність умов експлуатації конкретних виробів обумовлює необхідність адаптації базових підходів до конкретних умов експлуатації, що становить самостійну задачу дослідження.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

У застосуванні до мідних сплавів електротехнічного призначення, для збільшення терміну служби виробу потрібно одночасне підвищення міцності та пластичних характеристик. Нормативна документація, зокрема, ДСТУ EN 13602:2010 регламентує не тільки механічні властивості (межа міцності, відносне подовження та звуження), а й технологічні (число перегинів та кількість скручувань до повної руйнації).

Останнім часом для вирішення подібних завдань широко використовуються методи комбінованої пластичної деформації, що полягають у одночасному впливі кількох видів навантаження. Наприклад, такі як: стиск із крученням, розтягування з крученням, волочіння з крученням, прокатка зі зсувом та ін. Так, накладання кручення на волочіння дозволяє створити схему комбінованої деформації зі складнонапруженим станом, що дозволяє реалізувати нові підходи до формування структури та властивостей. Зрештою така обробка дозволяє отримати одночасно міцний та пластичний дріт. Однак налагодження режимів волочіння з крученням є надзвичайно тривалим і дорогим процесом. Тому первинну інформацію про особливі властивості можна отримати, наприклад, застосовуючи просту схему кручення з розтягуванням. Така інформація може виявитися надзвичайно важливою для розробки, налагодження та використання промислових комбінованих схем деформування.

За останні 10 років накопичено широкі знання про вплив комбінованої пластичної деформації на процеси структуроутворення. Показано принципову можливість отримання нових структурних станів, що призводять до одночасного зростання міцності та пластичності [1, 2]. Проте, як зазначено у роботі [1], накопичені дані стосуються переважно схем комбінованої деформації, реалізованих у лабораторних умовах. Це кручення в ковадлах Бріджмена, рівноканально-кутове пресування, гвинтова екструзія [2, 3].

Перспективний варіант вирішення проблеми, запропонований у [4]. Ця робота присвячена обробці кручення під високим тиском (КВД) високочистого алюмінію за декількома схемами: деформування в прямому напрямку при монотонному КВД (м-КВД) і при циклічному КВД (ц-КВД) зі зміною напрямку деформації. Експерименти показують, що розвиток мікроструктури відбувається повільніше при використанні ц-КВД в тому сенсі, що зростання щільності дефектів нижче, ніж у випадку з м-КВД. Зроблено висновок, що реверсування напрямку деформації при обробці КВД дає можливість маніпулювати значеннями твердості, що досягаються при КВД. Однак у роботі до кінця не розкрито: чи можна застосовувати реверсування деформації для зниження напруги у матеріалі при деформуванні з метою збільшення його технологічної пластичності? Крім того, залишилося невирішеним питання оптимального режиму деформації для досягнення комплексу властивостей. Тому безсумнівно цінні дані неможливо використовувати у практичних цілях.

Твердження, що деформація зсуву є ефективним способом інженерії зерен, може бути розглянуто на прикладі більш простої схеми деформації розтягування з крученням. Так, у роботі [5] досліджувалась еволюція мікроструктури та поведінка при руйнуванні аустенітної нержавіючої сталі 316L (ASS), деформованої розтягуванням з крученням при кімнатній температурі. За спостереженнями авторів роботи, під час розтягування з крученням розмір зерна зменшувався зі збільшенням деформації зсуву.

Крім того, з накопиченням деформації зсуву в ході такої комбінованої деформації дислокаційна структура розвивалася і з'являлися субзерна. Результат показав, що деформація крученням відіграє важливу роль у поліпшенні комплексних характеристик та еволюції мікроструктури зразка, що зазнала деформації розтягуванням. Однак залишається питання: до яких ступенів деформації таку обробку треба проводити і як така комбінована деформація позначиться на механічних властивостях сталі?

Таким чином, незважаючи на велику кількість робіт, недостатньо дослідженими виявилися схеми пластичної деформації, за яких можна

отримати масову кількість деформованого матеріалу. Це, перш за все, пов'язано з тим, що експерименти для створення та налагодження процесів комбінованої деформації є досить трудомісткими, дорогими та довготривалими.

З проведеного літературного аналізу випливає, що було б корисним знайти таке рішення, яке могло б бути дешевшим, але одночасно надійним способом проведення модельних експериментів, результати якого можуть бути перенесені в реальне виробництво при застосуванні схем комбінованої деформації.

За даними [6-10] одним із самих поширених видів руйнування поверхні матеріалів в умовах гідровидобутку, гідротранспортування та збагачення вугілля, роботи устаткування гірничорудної, цементної, енергетичної промисловості є абразивне зношування. Абразивостійкий матеріал повинен мати певні механічні і технологічні властивості, а в ряді випадків ще ерозійних і корозійну стійкість. Здатність матеріалу протистояти зносу є структурно-чутливою характеристикою, і залежить від структури, яка визначається хімічним складом і термічною обробкою [6-10]. До структурних особливостей матеріалів, стійких в абразивних середовищах, слід віднести, в першу чергу, необхідність отримання гетерогенної структури, яка складається з твердих включень, розташованих в пластичній основі (матриці), яка має достатні демпфуючі характеристики [11-14]. Важливим фактором, що визначає опір матеріалу до зносу, є характер зв'язку окремих структурних складових. Тверді включення міцно утримуються основою тільки в тому випадку, коли тип і розмір їх кристалічних решіток близькі. Тому велике значення мають дослідження для виявлення особливостей формування структури зносостійких сплавів при термічній обробці.

Високохромисті високовуглецеві сталі широко застосовуються для виробництва зносостійких деталей. Для підвищення експлуатаційних властивостей вони піддаються спеціальній термічній обробці, яка полягає в загартуванні з наступним відпуском.

Так як нікель, при введенні в сталь, підвищує її прогартовуємість, в'язкість, а також стійкість аустеніту, то можна припустити, що додавання його в високохромисту високовуглецеву сталь призведе до поліпшення комплексу властивостей виробів, перш за все за рахунок підвищення в'язкості матриці сплаву. Підвищення енергоємності процесу руйнування при зношуванні може бути досягнуто формуванням структурно-нестабільного стану в матриці (сталі з метастабільним аустенітом) або формування аустеніту з високою здатністю до нагартування при ударно-абразивному зношуванні (як це відбувається у високомарганцевих сталях типу сталі Гадфильда). Дискусійним питанням є можливість використання ефекту утворення мартенситу деформації в процесі переважно абразивного зношування, коли питома частка механічної енергії, яка прикладається до поверхні зношування, є відносно невеликою [15-18].

З огляду на недостатність інформації про вплив нікелю на властивості інструментальних сталей, необхідно вивчити його вплив на процеси структурних перетворень в сталях.

Окремим напрямком у ресурсозбереженні є розвиток процесів відновлення зношених деталей, зокрема, шляхом наплавлення. Дослідження випадків виходу пресового інструменту з ладу, виявлення причин низької стійкості інструменту потрібні для вдосконалення технології відновлення методом наплавлення робочої поверхні. Ефективним способом підвищення її стійкості є наплавлення самозахисним порошковим дротом (СПД). Існуючі порошкові дроти до певного етапу задовольняли вимогам виробництва, проте у зв'язку з необхідністю пресування міцніших сплавів, розширення температурного інтервалу пресування, з'являється необхідність подальшого підвищення стійкості наплавленого металу з одночасним поліпшенням зварювально-технологічних властивостей порошкового дроту. Одним з напрямів підвищення якості наплавленого металу і варіювання його хімічного складу є застосування самозахисного порошкового дроту з оболонкою з вуглецевої термічно поліпшеної стрічки. [19]

У роботах Фрумина І. І, Юзвенко Ю. А, Карпенко В. М., Кошового А. Д, Горіна М. В розглянуті питання стійкості інструменту гарячого пресування, приведені рекомендації по вибору складу наплавленого металу [20]. Визначено, що при обробці металів в гарячому стані розрізняють наступні специфічні види зносу: мікрорізання, глибинне виривання за рахунок схоплювання, атомарний знос, змяття робочої поверхні, окислювальний знос і сітка розгарних тріщин.

У зв'язку з наведеним, є актуальним проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на розробку і вивчення нової композиції самозахисного порошкового дроту, що забезпечує жароміцний метал наплавлення з механічною і структурною однорідністю і низьким вмістом неметалічних включень. Для правильного підбору хімічного складу наплавленого металу, здатного задовольнити сучасні вимоги до інструменту гарячої обробки кольорових металів і сплавів, необхідно переглянути прийняті погляди на процеси його зносу, що відбуваються при роботі інструменту. Також необхідно виділити найважливіші властивості матеріалу інструменту, що дають здатність протистояти зносу (висока твердість, підвищений опір схоплюванню, а також розгаростійкість).

2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ КОМБІНОВАНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ «КРУТІННЯ – РОЗТЯГУВАННЯ»

Об'єктом дослідження були механічні властивості мідного дроту М1 електротехнічного призначення, підданого комбінованої деформації крученням з розтягуванням. Довжина зразків становила $l = 150$ мм, діаметр $d=3,0$ мм. Оскільки зразки спочатку не задовольняли вимогам споживачів за рівнем міцності та пластичних характеристик, то ці зразки піддавалися рекристалізаційному відпалу при температурі 500 °С протягом 1 год, а потім деформувалися крученням з розтягуванням. З технічної точки зору кручення дає великі можливості щодо зміни ступеня деформації і по знаку навантаження, що надається, тому виконували експерименти двох типів:

- 1) розтягування та односпрямоване кручення за годинниковою стрілкою (далі РОК);
- 2) розтяг з різноспрямованим крученням (далі РРК).

Що стосується РОК спочатку проводилося кручення за годинниковою стрілкою, зупинка без розвантаження, кручення різне кількість обертів у тому напрямі. При РРК спочатку проводилося: розтягування та кручення за годинниковою стрілкою, зупинка без розвантаження, кручення проти годинникової стрілки. Таким чином, режими РОК та РРК обробки складалися з двох етапів:

1. Для РОК: $N=N_1+N_2=50$, де $N_1=25$ і $N_2=1 \square 25$, в обох випадках це число обертів за годинниковою стрілкою.
2. Для схеми РРК: $N=N_1+N_2=50$, але $N_1=25$ – число обертів за годинниковою стрілкою, а $N_2=1 \square 25$ – число обертів проти годинникової стрілки.

Метою цієї частини роботи було розробити схему комбінованої деформації дроту з міді М1 крученням з розтягуванням, що дозволяє підвищити комплекс механічних та службових характеристик дроту.

Для досягнення мети заплановано вивчити взаємозв'язок механічних властивостей із режимом комбінованої деформації за схемами РОК та РРК.

Результати проведених експериментів подано на рис. 1,2. На рис. 1 показано межу міцності, на рис. 2 - істину деформацію при руйнуванні при РОК та РРК кручення.

Аналіз змін при зростанні кількості оборотів показує зростання межі міцності і у випадку РОК та у разі РРК обробки. При схемі РОК (рис. 1, а) спостерігається поступове зростання значень межі міцності відповідно до теорії Тейлора. Це обумовлено тим, що на початковому етапі деформації зростає густина хаотично розташованих дислокацій. Однак швидкість приросту межі міцності починає зменшуватися приблизно $N_1=25$. Зниження зміцнення на цій стадії можна пояснити взаємодією рухомих дислокацій, що формуються при одновісному розтягуванні, та дислокацій на межах слаблорозорієнтованих осередків, що виникли під час кручення.

На рис. 2 а показана залежність істинної деформації при руйнуванні при РОК обробці, яка показує картину, за характером аналогічну змінам межі міцності. Спочатку бачимо різке зменшення істинної деформації до $N_1=25$, та був крива стає пологою і значення параметра коливаються у невеликих межах до $N_2=50$.

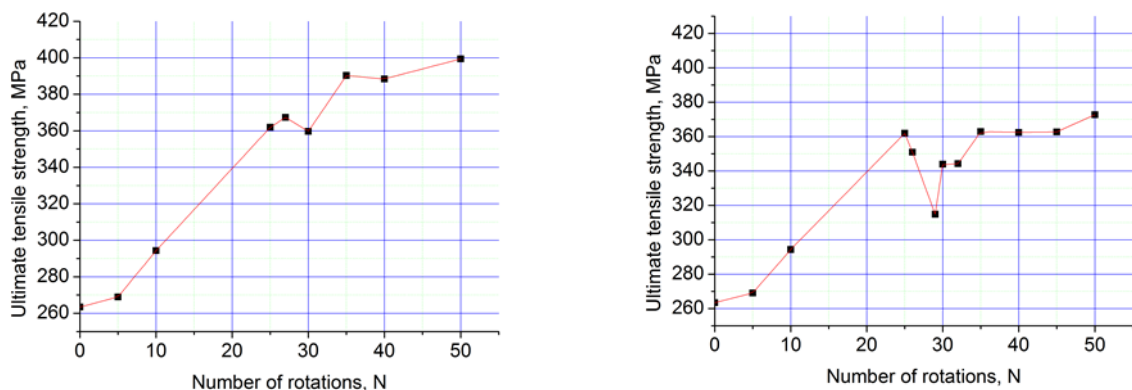


Рис. 1. Вплив кількості та напрямів оборотів обертання на межу міцності:

а – РОК; б – РРК

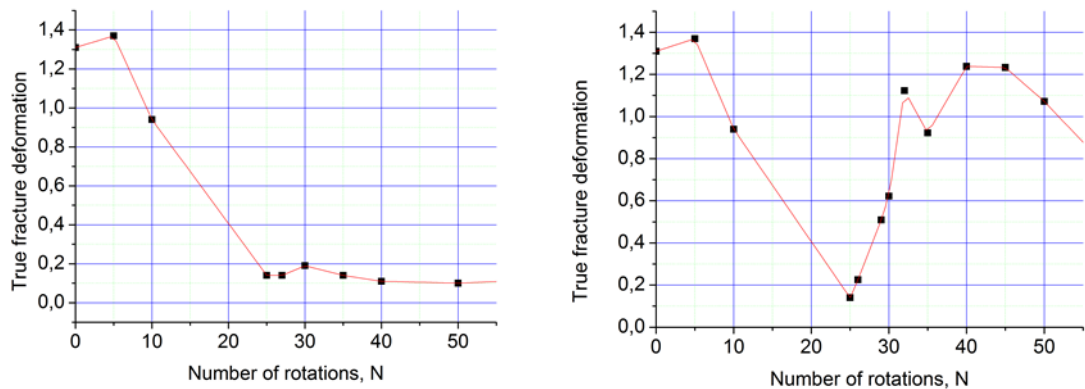


Рис. 2. Вплив кількості та напрямів оборотів обертання на істинну деформацію при руйнуванні: а – РОК; б – РРК

Така поведінка межі міцності та істинної деформації при руйнуванні при малій кількості зворотних оборотів можуть бути викликані генерацією нових дислокацій у структурі при зміні схеми навантаження. Свіжі дислокації, на їхню думку, взаємодіють із слабозорієнтованими осередками, що призводить до зміни розмірів осередків. У стінках відбувається часткова анігіляція дислокацій та, як наслідок, зменшення матеріалу. Наслідком такої взаємодії може бути деяке падіння межі плинності та суттєве підвищення тріщиностійкості. На рис. 1 та рис. 2 чітко видно суттєві відмінності змін межі міцності та істинної деформації при зростанні N для різних схем деформації.

Виявлений ефект може бути покладений в основу для розробки енергозберігаючої технології виготовлення мідного дроту.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОХРОМИСТИХ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ ЗБІЛЬШЕННЯ ВМІСТУ НІКЕЛЮ

Як об'єкт дослідження була взята лита сталь 150X15H5BM (1,46...1,54 % C, 14,5...15,5 % Cr, 4,6...5,4 % Ni, 0,4...0,8% Mo, W). В литому стані сталь 150X15H5BM має структуру, утворену аустенітною матрицею з виділеннями евтектичних карбідів. Типова мікроструктура приведена на рис. 3.

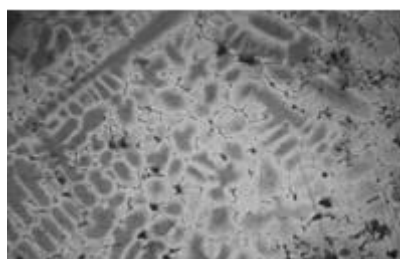


Рис. 3 - Структура литої сталі 150X15H5BM, $\times 100$

При нагріванні зразків литої сталі до температур 550...650 °C і витримці 1...2 години видимих структурних змін не відбувається, аустенітна матриця залишається стабільною.

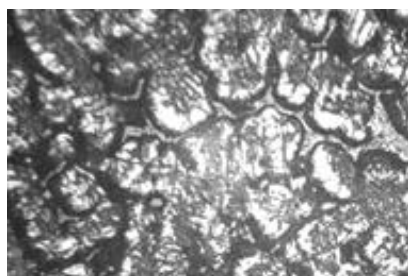
Помітні зміни в структурі спостерігаються при підвищенні температури нагріву до 750...790 °C. Основним процесом є розпад аустеніту з утворенням голчастих структур. Отримана структура являє собою результат зсувного перетворення аустенітної матриці в феритну з одночасним виділенням карбідів, тому її можна віднести до структури бейнітного типу.

Ступінь протікання перетворення залежить від часу витримки. При витримці протягом однієї години візуально процес розпаду не фіксується, зі збільшенням витримки до двох годин відзначається поява голчастих виділень в центральній частині аустенітних зерен, при подальшому зростанні часу

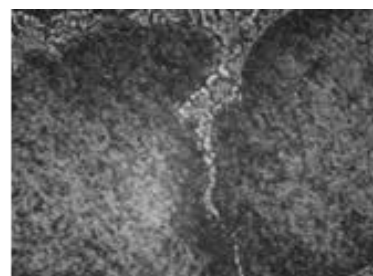
витримки процес розпаду починає охоплювати області, близькі до кордонів зерен.

Подальше підвищення температури нагріву до 790 °С не призводить до зміни типу структури, вона утворена аустенітно-бейнітною матрицею з виділеннями великих евтектичних карбідів по границях зерен. Усередині зерен формуються дисперсні карбіди, що виділяються при розпаді аустеніту (рис. 4 а).

Однак подальше підвищення температури витримки до 830 °С призводить до якісної зміни морфології. Навіть після відносно коротких витримок (1 година) голчаста морфологія в матриці сплаву зникає (рис. 4б). Це може бути пов'язано з розвитком процесів рекристалізації в фериті, що утворився після розпаду аустеніту.



а, x200



б, x1000

Рис. 4 - Морфологія матриці сталі після термічної обробки

а – витримка при температурі 790 °С 4 години;

б - витримка при температурі 830 °С 1 година;

Структурні зміни при термічній обробці супроводжуються також зміною твердості сталі. У таблиці 1 наведені значення мікротвердості структурних складових, а в таблиці 2 - твердості сталі після різних режимів обробки.

З наведених даних видно, що процес розпаду аустеніту супроводжується зростанням твердості сталі, при цьому мікротвердість евтектичною складовою залишається майже незмінною, а зміна загальної твердості пов'язано з процесами, що відбуваються в матриці.

Таблиця 1 - Мікротвердість структурних складових досліджуваної сталі,
Н/мм²

Структурна складова	Температура нагріву, °С	
	750	790
Центр зерна матриці	3210±230	3032±308
Приграничні ділянки зерен матриці	4315±264	4720±361
Ділянки евтектики	4220±176	4290±324

Таблиця 2 - Твердість сталі після різних режимів обробки

Температура нагріву, °С	Твердість, HRC	
	Витримка 1 година	Витримка 4 години
550	34...38	--
650	37...39	--
750	36...38	46...48
790	37...40	44...46
830	36...39	39...43
900	32...33	--

Аналіз впливу нагріву сталі у литому стані показав, що для неї характерна досить висока стабільність залишкового аустеніту і твердість сталі у всьому діапазоні температур залишається досить низкою для застосування в якості матеріалу, стійкого до абразивного зношування. Тому на наступному етапі досліджень зразки піддавалися високотемпературному гомогенізуючому відпалу з подальшим гартуванням в маслі. Проведення високотемпературного відпалу впливає на характер зміни твердості при подальшій загартуванні і відпустці. Це пов'язано з гомогенізацією твердого розчину і зменшенням

ступеня дендритних ліквациї. Залежність твердості від режиму термічної обробки приведена в таблиці 3.

Дані свідчать, що гомогенізація призводить до зростання твердості при подальшому гартуванні від температур 950 і 1025 °С. Це пов'язано з тим, що при даних температурах не відбувається повного розчинення карбідних фаз, сформованих в процесі попереднього гомогенізаційного відпалу. Ступінь легування твердого розчину при температурі нагріву під гартування порівняно невисока, що призводить до досить повного мартенситному перетворення. Підвищення температури гартування до 1100 °С інтенсифікує процеси розчинення карбідів, що підвищує стійкість аустеніту і збільшує його вміст у структурі після гарту. Це призводить до зниження твердості.

Таблиця 3 - Твердість сталі після гомогенізації і подальшого гартування і відпуску, HRC

Температура відпуску, °С	Температура гартування, °С		
	950	1025	1100
Без відпуску	59	59	49
550	36	38	38
650	31	30	31
750	40	39	44
850	50	47	46

Досліджений в роботі інтервал температур відпуску загартованої сталі був обраний на підставі даних, отриманих при дослідженні впливу температури нагріву на структуру сталі в литому стані. Дані з табл. 2 і табл. 3 свідчать, що тенденція до підвищення твердості при нагріванні зразків після гартування в інтервалі температур 750...850 °С, виявлена в литої сталі, зберігається. При цьому, чим вище температура гартування, тим нижче

твердість, що може бути пов'язано зі збільшенням стійкості аустеніту і уповільненням його розпаду в процесі обробки.

Таким чином, змінюючи температуру гарту і відпуску, можна змінювати твердість і структурний стан сталі в широких межах. Це відкриває шлях до пошуку ефективних режимів обробки

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПЛАВЛЕНОГО ШАРУ ЗА РАХУНОК МОДИФІКАЦІЇ СКЛАДУ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ

Середньолеговані мартенситні середньовуглецеві сталі з карбідним зміцненням вже більше 50-ти років займають лідируючі позиції у виробництві і ремонті інструменту для гарячої обробки кольорових сплавів зважаючи на відносно високу технологічність, низьку вартість і найбільш прийнятний баланс властивостей сталі, здатної протистояти основним видам зносу. Такі сталі (5ХМФ, 3Х3М3Ф, 3Х5ВМФ, 38ХН3МФА, 4Х5МФ1С та ін.) застосовуються для виробництва матриць, прес-втулок і прес-шайб. Проте, наприклад, матриця із сталі 3Х3М3Ф розміром 160x107, 3x40 мм здатна витримати в середньому всього 10.12 пресувань при виробництві круглої заготівлі з латуні марки Л63 до збереження початкового розміру калібруючої частини матриці.

Високолеговані сорбітні та мартенситні низьковуглецеві сталі з карбідним і нітридним зміцненням (3Х3В8Ф, 20Х4В10Н4ФТ та ін.) успішно застосовуються для виготовлення інструменту, за умови помірних термоударів і невисокої температури пресування латуні практично усіх марок, олов'янистих і свинцевих бронз, а також мельхіору марки МНЖ-5-1. В усіх випадках високий вміст карбідів в низьковуглецевій матриці сталі дозволяє зберігати її твердість на рівні 32.35 HRC при температурах 500.600 С. На практиці такі сталі мають підвищену схоплюваність з оброблюваним матеріалом зважаючи на малу кількість хрому, розчиненого в матриці та підвищену схильність до тріщиноутворення при термоциклюванні, пов'язану як з підвищеним вмістом шкідливих домішок і неметалевих включень, так і з не завжди сприятливою формою карбідів вольфраму.

Середньовуглецеві високохромисті сталі в середині 80-х років склали вагому конкуренцію середньолегованим мартенситним середньовуглецевим сталями з карбідним зміцненням за рядом переваг :

- підвищена стійкість до термоциклічних навантажень при збереженні культури виробництва;

- поліпшена технологічність, пов'язана з можливістю керування внутрішніми напруженнями в наплавленому металі через регулювання термічного циклу;

- висока стійкість до схоплювання інструменту, виготовленого із застосуванням сталей цього класу, з матеріалом заготовки.

Сталі з регульованим аустенітним перетворенням при експлуатації (РАПЕ) дозволяють вводити в роботу інструмент після виготовлення або наплавлення минувши термообробку. Крім того, підвищений вміст аустенизатора дозволяє понизити точку A_{c1} на $30...50$ °C та підвищити прогартовуємість, що сприятливо позначається на гарячій твердості сталі. Проте на практиці, матриці із сталі 5X3H5M3Ф при заявленій 2,5...3 рази більш високої стійкості показували просадку робочої поверхні при перших 10...15 штампоударах аж до виведення матриці з виробничого процесу. Такі сталі не готові для введення в експлуатацію на існуючі виробничі потужності підприємств по обробці кольорових металів і вимагають ретельного опрацювання технології їх інтеграції в існуючі технологічні процеси.

Мартенситно-старіючі сталі отримали широке поширення на початку 2000-х років для виробництва штампового інструменту складної форми зважаючи на найбільшу технологічність в "сирому" стані. Проте, багаторазово збільшена в останні часи ціна на термообробку у поєднанні з вартістю високолегованої сталі з підвищеним вмістом кобальту і молібдену роблять її застосування не завжди виправданим для виготовлення і зміцнення інструменту простої форми (матриць, втулок, шплинтонов та ін.).

В рамках даної роботи запропоновано використати наплавочну сталь 50X6B2ГСМФА для відновлення і зміцнення інструменту гарячої обробки

кольорових металів. Способом наплавлення виступає механізоване наплавлення самозахисним порошковим дротом. Легуюча частина цієї сталі зможе забезпечити підвищену твердість при підвищених робочих температурах пресування завдяки комплексному зміцненню мартенситної матриці карбідами вольфраму, хрому і інших елементів, а також додатковому зміцненню нітридом ванадію у разі наплавлення самозахисним порошковим дротом. Стійкість до схоплювання з оброблюваним металом забезпечується за рахунок легування хромом на рівні 5,5...6 %, що при підвищеній гарячій твердості цієї сталі дозволить збільшити ресурс інструменту. Розгаростійкість або термовтомна міцність істотним чином залежить від якості сталі, тому одним з напрямів оптимізації є зниження шкідливих домішок. Це питання передбачається вирішити шляхом підбору і оптимізації газошлакоутворюючих компонентів для глибокої металургійної дії шлаку на метал краплі і ванни. Зниження витрат на термообробку (відпал перед механічною обробкою і загартування після неї) може бути досягнуте регулюванням термічного циклу наплавлення : режимами і попереднім та супутнім підігріваними.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що деякі режими комбінованої деформації РРК дозволяють отримати дріт високої міцності та достатньої пластичності, що дає можливість продовжити деформацію дроту без зупинки виробництва та виконання відпалів. Це особливо важливо у разі потреби отримання дроту малих діаметрів. Виявлений ефект може дозволити виконувати волочіння дроту до менших діаметрів без відпалу у виробничих умовах.
2. Високохромиста сталь з добавкою нікелю в литому стані має підвищену стійкість залишкового аустеніту. Для отримання максимальної твердості литу сталь слід піддавати нагріванню в інтервалі температур 740 ...790 °С протягом 2...4 годин. В результаті відпалу і загартування з відпуском формуються два варіанти структурного стану з підвищеною зносостійкістю - мартенсит і залишковий аустеніт безпосередньо після гарту і продукти відпуску мартенситу і розпаду залишкового аустеніту при високому відпуску. Цей підхід буде використаний для розробки ефективних режимів термічної обробки.
3. Аналіз сучасного стану питання використання різних видів сталей для виготовлення та (або) відновлення та зміцнення пресового інструменту показав суттєві переваги хромистих сталей.
4. Подальше вдосконалення наплавочних матеріалів для інструменту гарячої обробки мідних сплавів дозволило визначити склад порошкового дроту ПП-50Х6В2ГСМФА.
5. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку конкретних технологічних схем для реалізації виявлених ефектів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Fernandez-Zelaia, P., & Melkote, S. N. (2019). Process-Structure-Property Modeling for Severe Plastic Deformation Processes Using Orientation Imaging Microscopy and Data-Driven Techniques. *Integrating Materials and Manufacturing Innovation*, 8(1), 17–36.
2. Li, X., Lu, L., Li, J., et al. Mechanical properties and deformation mechanisms of gradient nanostructured metals and alloys. *Nature Reviews Materials*, 2020, vol. 5, no. 9, pp. 706–723.
3. Segal V. M. Materials processing by simple shear. *Materials Science and Engineering: A*, 2002, 197, P. 157—164.
4. M. Kawasaki and T.G. Langdon, The Significance of Strain Reversals During Processing by High-Pressure Torsion, *Mater. Sci. Eng. A*, 2008, 498(1), p 341–348
5. Jidong Zhang, Zhenyi Huang's, Wenliang Rui's, Jiaying Li's, Yuyu Tian's, Jinghui Li, Effect of Combined Torsion and Tension on the Microstructure and Fracture Behavior of 316L Austenitic Stainless Steel, *Journal of Materials Engineering and Performance* 28, 2019, p. 5691–5701, DOI:10.1007/s11665-019-04316-4
6. Kostryzhev, A.G., Killmore, C.R., Yu, D., & Pereloma, E.V. Martensitic wear resistant steels alloyed with titanium // *Wear*. 2020. Vols. 446–447, 15 April. Article 203203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203203>..
7. Wang, Y.P., Li, D.Y., Parent, L., & Tian, H. Improving the wear resistance of white cast iron using a new concept – High-entropy microstructure // *Wear*. 2011. Vol. 271, Issues 9–10, pp. 1623–1628. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.12.029>.
8. Jian, Y., Ning, H., Huang, Z., Wang, Y., & Xing, J. Three-body abrasive wear behaviors and mechanism analysis of Fe–B–C cast alloys with various Mn contents // *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. Vol. 14, September–October, pp. 1301–1311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.035>.

9. Ki Chang Baea, Dohyung Kim, Yong Hwan Kim and oth. Effect of heat treatment, building direction, and sliding velocity on wear behavior of selectively laser-melted maraging 18Ni-300 steel against bearing steel. *Wear*. Available online 5 June 2021, 203962
10. Yanliang Yia, Qiang Li, Shaolei Long and oth. Effect of matrix microstructure on the matrix/M2B wear interaction and its quantitative characterization in an Fe-2wt%B alloy. *Wear*. Volumes 472–473, 15 May 2021, 203608
11. Xincheng Yan, Jun Hu, Hao Yu and oth. Unraveling the significant role of retained austenite on the dry sliding wear behavior of medium manganese steel. *Wear*. Available online 20 February 2021, 203745
12. Sunil Kumar, Saikat Ranjan Maity, Lokeswar Patnaik. A comparative study on wear behaviors of hot work and cold work tool steel with same hardness under dry sliding tribological test. *Materials Today: Proceedings*, Volume 44, Part 1, 2021, Pages 949-954.
13. Ibrahim Orhun Tugaya, Ali Hosseinzadeha, Guney GuvenYapici. Hardness and wear resistance of roller burnished 316L stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, Available online 17 May 2021.
14. JayantaMondal, Karabi Das, Siddhartha Das. An investigation of mechanical property and sliding wear behaviour of 400HV grade martensitic steels. *Wear*. Volumes 458–459, 15 October 2020, 203436
15. Oscar Ríos-Dieza, Ricardo Aristizábal-Sierra, Claudia Serna-Giraldoa. Wear behavior of nanostructured carbo-austempered cast steels under rolling-sliding conditions. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 11, March–April 2021, Pages 1343-1355.
16. D.Fernández-Valdésa, A.Meneses-Amador, A.López-Liévano, A.Ocampo-Ramírez. Sliding wear analysis in borided AISI 316L steels. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 11, March–April 2021, Pages 1343-1355.
17. Quanshun Luo, Jianbin Li, QuintaiYan. Sliding wear of medium-carbon bainitic/martensitic/austenitic steel treated by short-term low-temperature

austempering. *Wear*. Available online 22 February 2021, 203732.

18. N. B. Dhokey, S. S. Maske, P. Ghosh. Effect of tempering and cryogenic treatment on wear and mechanical properties of hot work tool steel (H13) *Materials Today: Proceedings* 23 February 2021 Volume 43, Part 5 (Cover date: 2021). Pages 3006-3013.

19. Warneke, P., Bohlen, A., & Seefeld, T. Improving the wear resistance of copper tools for pressure die casting by laser melt injection // *Production Engineering Research and Development*. 2023. Vol. 17, pp. 453–462. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01164-5>.

20. Pant, P., Chatterjee, D., Nandi, T., Samanta, S.K., Lohar, A.K., & Changdar, A. Statistical modelling and optimization of clad characteristics in laser metal deposition of austenitic stainless steel // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2019. № 7. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1784-x>.