

**ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ
ім. В.М. Бакуля НАН України**

ПУТЯТІНА ЛАРИСА ІВАНІВНА

УДК 621.91.10

**ЛЕЗОВО-ЗМІЦНЮВАЛЬНА МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ
З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ ІНСТРУМЕНТОМ
З ТВЕРДОГО СПЛАВУ ТА НТМ**

Спеціальність 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор,
Тимофєєва Лариса Андріївна, завідувач
кафедрою “Матеріали та технологія виготовлення
виробів транспортного призначення”, Українська
державна академія залізничного транспорту

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
Клименко Сергій Анатолійович, завідувач відділом,
Інститут надтвердих матеріалів НАН України

кандидат технічних наук, доцент,
Полонський Леонід Григорович, доцент кафедри
технології машинобудування та конструювання
технічних систем, Житомирський державний
технологічний університет

Провідна установа:

Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”, кафедра різання
матеріалів та різальних інструментів.

Захист відбудеться “ 3 ” червня 2004 р. о 13.30 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 26.230.01 при Інституті надтвердих матеріалів НАН України за адресою: 04074,
м. Київ, вул. Автозаводська, 2.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту надтвердих матеріалів НАН
України.

Автореферат розісланий “ ” квітня 2004 р.

Ваші відгуки на дисертацію у двох примірниках, завірені гербовою печаткою установи,
просимо надсилати за вказаною адресою на ім'я вченого секретаря спеціалізованої вченої ради.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, доктор технічних наук

Майстренко А.Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В даний час усе більш широке застосування у машинобудуванні знаходить високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ). Завдяки своїм фізико-механічним і ливарним властивостям він може з успіхом вживатися замість дорогого сталюого прокату, сірого та ковкого чавунів.

Вимоги до високоміцного чавуну як до конструкційного матеріалу постійно зростають по мірі збільшення навантажень на деталі у машинах та вузлах. Тому на сучасному етапі актуальною є проблема створення ефективних методів заключної механічної обробки та поверхневого зміцнення високоміцного чавуну з метою набуття та підвищення необхідних експлуатаційних властивостей поверхневого шару (зносостійкість, контактна жорсткість, втомна міцність та ін.).

З цією метою в роботі вирішена важлива науково-технічна задача, яка полягає в розробці процесу лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну інструментом з твердого сплаву (Т15К6) та ПНТМ (гексаніт-Р), сутність якої полягає в утворенні під час різання (при точінні) такого теплонапруженого стану, що забезпечує проведення чистової механообробки зі зняттям припуску та одночасним зміцненням поверхневого шару. Використання інструменту з гексаніта-Р сприяє підвищенню ефективності обробки за рахунок збільшення стійкості інструменту та зниження шорсткості поверхні деталей.

Запропонована лезово-зміцнювальна механічна обробка деталей з високоміцного чавуну є ресурсосберігаючою та екологічно чистою, яка дозволяє у багатьох випадках замінити традиційні поверхневу термічну (гартування ТВЧ) або хіміко-термічну обробку чавуну (азотування, карбонітрирування), де використовуються токсичні для людини середовища, а також вилучити з технологічного циклу малоефективні в деяких випадках операції абразивного шліфування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота є продовженням наукових досліджень за госпдоговірною тематикою, які присвячені вдосконаленню процесів механічної обробки деталей комбайнових та автомобільних двигунів з високоміцного чавуну (№ ДР 01860127240). Робота виконувалась згідно з пунктом 17 "Нові конструкційні матеріали та високоефективні технології їх виробництва" координаційного плану Міністерства освіти та науки України на 1997-1999 рр., затвердженого наказом № 37 від 13.02.97 р., а також згідно проекту ДКНТ 5.43.01/033-94 та 04.04.01/033К-95.

Мета і задачі дослідження.

Метою роботи є управління параметрами процесу лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну із урахуванням особливостей його структури і властивостей для забезпечення формування потрібних характеристик фізико-механічного стану поверхневого шару чавунних виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- визначення основних температурно-силових закономірностей процесу лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну;
- встановлення впливу режимів процесу лезово-зміцнювальної механічної обробки та геометричних параметрів інструменту на якісні показники зміцненого поверхневого шару високоміцного чавуну;
- дослідження механізму зносу інструмента з урахуванням температурно-силових умов лезово-зміцнювальної механічної обробки високоміцного чавуну в різному структурному стані;
- дослідження впливу структури високоміцного чавуну на формування поверхневого шару у процесі лезово-зміцнювальної механічної обробки;
- оптимізація геометричних параметрів інструменту та режимів механічної обробки високоміцного чавуну з різною структурою металевої матриці за характеристиками якості зміцненого поверхневого шару та працездатності інструменту;
- встановлення впливу технологічних параметрів процесу алмазного вигладжування на шорсткість поверхні деталей з високоміцного чавуну та визначення їх оптимальних значень;
- розробка рекомендацій по використанню лезово-зміцнювального інструменту з твердого сплаву і НТМ при обробці деталей з високоміцного чавуну.

Об'єктом дослідження у даній роботі є процес лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну.

Предметом дослідження є взаємозв'язок параметрів процесу лезово-зміцнювальної механічної обробки з показниками фізико-механічного стану поверхневого шару високоміцного чавуну з урахуванням його властивостей.

Методи досліджень. Вивчення основних характеристик фізико-механічного стану поверхневого шару високоміцного чавуну у процесі лезово-зміцнювальної механічної обробки та алмазного вигладжування проводилось за допомогою: теоретичних та експериментальних методів, які базуються на положеннях теорії різання металів та сучасного матеріалознавства; методів оптичної та електронної мікроскопії; методів рентгеноструктурного аналізу; методів математичного аналізу.

Наукова новизна роботи.

Наукова новизна отриманих у дисертаційній роботі результатів полягає у наступному:

- науково обгрунтована ефективність лезово-зміцнювальної механічної обробки високоміцного чавуну з різною структурою металевої матриці інструментом з твердого сплаву і НТМ та розроблено механізм управління формоутворенням поверхневого шару, який полягає у температурно-силовому впливі інструменту із збільшеними від'ємними передніми кутами на оброблювану деталь при швидкісному точінні, що забезпечує чистову обробку поверхні та викликає у матеріалі структурні перетворення (вторинне гартування) з отриманням на поверхні зміцненого (білого) шару;

- встановлено, що раціональними матеріалами для оснащення інструменту при лезово-зміцнювальній механічній обробці є такі, що характеризуються зниженим коефіцієнтом теплопровідності та підвищеним коефіцієнтом зовнішнього тертя в парі з чавуном, наприклад твердий сплав Т15К6 і полікристалічний надтвердий матеріал на основі нітриду бору гексаніт-Р;

- вперше вивчено вплив структури високоміцного чавуну на поверхневе зміцнення у процесі лезово-зміцнювальної механічної обробки: з підвищенням твердості чавуну зростає енергетичний потенціал самої металевої матриці для утворення на поверхні в процесі обробки якісного суцільного білого шару. Отримано залежності якісних показників зміцненого поверхневого шару від властивостей чавуну та технологічних параметрів обробки;

- визначено температурно-силові та енергетичні закономірності процесу лезово-зміцнювальної механічної обробки високоміцного чавуну з різною структурою металевої матриці, що обумовлені великою швидкістю нагріву поверхневого шару чавуну до температур, вище критичних, а також підвищеними значеннями складових сили різання у певному діапазоні швидкостей обробки;

- виявлені топографічні та кінетичні особливості зношування інструменту при лезово-зміцнювальній обробці чавуну; встановлено, що превалюючим у даних температурно-силових умовах є втомний термомеханічний знос інструменту. Отримані емпіричні залежності стійкості різців від твердості високоміцного чавуну у різному структурному стані дозволяють прогнозувати працездатність інструменту з твердого сплаву та НТМ. Експериментально доведена ефективність підвищення стійкості твердосплавного інструменту за допомогою віброабразивної обробки.

Практична цінність роботи.

Практичне значення одержаних результатів досліджень:

- розроблено спосіб лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну інструментом з твердого сплаву та НТМ, що дозволило підвищити ефективність технології їх чистової обробки і поверхневого зміцнення за рахунок виключення поверхневої термічної або хіміко-термічної обробки та операцій абразивного шліфування;

- розроблено рекомендації щодо вибору раціональної марки матеріалу та оптимальної геометрії різального інструменту для лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну з заданими властивостями;

- отримані експериментально-теоретичні залежності величини зміцненого шару та шорсткості поверхні від технологічних параметрів обробки та структури металевої матриці чавуну

дозволяють вибрати оптимальні параметри технологічного процесу лезово-зміцнювальної механічної обробки та алмазного вигладжування чавунних виробів;

- розроблено методику оцінки фізико-механічних властивостей по глибині поверхневого шару, що дозволяє проводити контроль якості поверхні без здійснення трудомісткої операції вимірювання мікротвердості поверхневого шару чавунних зразків;

- за результатами проведених досліджень розроблені практичні рекомендації щодо вдосконалення процесу чистової механічної обробки та поверхневого зміцнення деталей з високоміцного чавуну, які передані для впровадження на ВАТ ХМЗ “Серп і Молот”; основні наукові положення роботи використовуються в учбовому процесі Української державної академії залізничного транспорту.

Особистий внесок здобувача.

Основні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно: аналіз стану питання; вибір режимів термічної обробки чавуну; обґрунтування вибору методик дослідження; визначення марки матеріалу та геометрії різальної частини інструменту; проведення експериментальних досліджень; встановлення залежностей впливу властивостей чавуну та технологічних параметрів обробки на якісні показники поверхневого шару; визначення оптимальних умов обробки; проведення стійкісних випробувань інструменту; практична реалізація результатів досліджень.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення роботи доповідались на міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференціях, семінарах, виставках: “Прогресивні методи обробки важкооброблюваних матеріалів” (Маріуполь, 1989 р.), “Досягнення вчених – народному господарству” (Харків, 1990 р.), “Вдосконалення процесів механічної обробки та збірки в машинобудуванні” (Горький, 1990 р.), “Якість та надійність технологічних систем механообробки” (Краматорськ, 1991 р.), “Матеріали та зміцнювальні технології – 91” (Курськ, 1991 р.), “Підвищення якості виготовлення деталей машин засобами оздоблювально-зміцнюючої обробки”, (Пенза, 1991 р.), “Автоматизація технологічної підготовки механообробки деталей на верстатах з ЧПУ” (Санкт-Петербург, 1992 р.), “Технологічні засоби підвищення ефективності та якості механозбірного виробництва” (Домбай, 1992 р.), “Ресурсо- та енергозберігаючі технології в машинобудуванні” (Одеса, 1994 р.), “Фізичні та комп'ютерні технології у народному господарстві” (Харків, 2001 р.), “Транспортні коридори – стратегія і тактика розвитку” (Харків, 2001 р.), “Interpartner – 2002. Високі технології в машинобудуванні: тенденції розвитку” (Алушта, 2002 р.).

Публікації.

За матеріалами роботи опубліковано 7 статей, в тому числі 4 статті у провідних фахових виданнях з перечною ВАК України, 1 авторське свідоцтво на винахід.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (128 найменувань) і додатку.

Загальний обсяг дисертації - 187 сторінок. Основна частина викладена на 145 сторінках тексту і містить в тому числі 51 рисунків і 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі експериментальних досліджень, приведені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

В першому розділі проведено аналіз літературних джерел, присвячених питанням формування поверхневого шару металевих виробів у процесі механічної обробки. Визначено, що при певних умовах механічної обробки та експлуатації деталей машин утворюється специфічна структура, так званий “білий шар”, який має ряд цінних властивостей: високу твердість, міцність,

більш високий електрохімічний потенціал. Таким чином, в процесі механічної обробки різанням одночасно відбувається зміцнення поверхневого шару, що є вигідним з економічної та екологічної точки зору.

Висвітлено причини утворення та властивості білого шару на сталях та чавунах, його вплив на показники фізико-механічного стану поверхні: шорсткість, наклеп, структуру, залишкові напруження.

В роботах вітчизняних і закордонних авторів: Н.П.Голубова, В.А.Остаф'єва, А.Я. Артамонова, Я.А.Лещинера, Т.А.Михеєнко, Є.М.Трента, N.Nileo, J.Najime, T.Takio та ін. розглянуті також деякі питання, присвячені особливостям механічної обробки деталей з високоміцного чавуну та впливу показників фізико-механічного стану поверхні після механообробки на експлуатаційні характеристики деталей. Однак робіт, у яких комплексно розглянуті питання обробки різанням та поверхневого зміцнення високоміцного чавуну в залежності від його структури і властивостей, практично немає, що і стримує широке впровадження цього перспективного конструкційного матеріалу у виробництво.

Відзначено, що традиційна технологія механічної обробки і поверхневого зміцнення деталей з високоміцного чавуну є малоефективною, енергоємкою та трудомісткою, у процесі якої виникають дефекти поверхневого шару: тріщини та короблення внаслідок поверхневого гартування, шаржирування та припіки поверхні у процесі абразивної обробки. Тому на сучасному етапі існує необхідність розробки нових економічних методів заключної механічної обробки та поверхневого зміцнення деталей з високоміцного чавуну, у тому числі з використанням інструменту із синтетичних надтвердих матеріалів на основі нітриду бору.

У другому розділі обґрунтовано вибір досліджуваних матеріалів та методик досліджень.

Для експериментальних досліджень циліндричні зразки виготовлялись з високоміцного чавуну з кулястим графітом, який використовується для виробництва відповідальних деталей автомобільних та комбайнових двигунів (колінчастих та розподільчих валів, поршневих кілець, шатунів та ін.), слідує хімічного складу: 3,5%С; 2,7%Si; 0,7% Mn; 0,03% P; 0,005%S; 0,1%Cr; 0,1%Ni; 0,07%Mg. Дослідження проводили на чавунних зразках, отриманих з однієї плавки, які потім піддавались термічній обробці за різними режимами. Режими термічної обробки та результати металографічного аналізу наведені у табл. 1

Раціональні марки інструментальних матеріалів для лезово-зміцнювальної механічної обробки високоміцного чавуну обирались за результатами аналізу основних фізико-механічних характеристик інструментальних матеріалів, а також на основі експериментального визначення коефіцієнту тертя пари “високоміцний чавун - інструментальний матеріал”. Таким чином, в якості інструментальних матеріалів були обрані: твердий сплав Т15К6 та надтвердий матеріал на основі нітриду бору гексаніт-Р, які характеризуються зниженим коефіцієнтом теплопровідності та підвищеним коефіцієнтом зовнішнього тертя. Для алмазного вигладжування використовували індентори із синтетичних алмазів АСПК (ТУ 2-037-100-78) з радіусом при вершині 1,5 мм.

Для вирішення поставлених задач був створений комплекс контрольно-вимірювальної апаратури і пристроїв на базі верстатів мод. 1К62, 16К20, 1Е61МФ2. Зміна режимів різання забезпечувалась широким діапазоном величин обертів шпинделя і подач інструменту. Для вимірювання зусиль в процесі лезово-зміцнювальної обробки використовувалась установка на базі трьохкомпонентного тензорезисторного динамометра мод. УДМ-600. Коефіцієнт тертя ковзання визначали методом фізичного моделювання. Температуру в зоні обробки вимірювали методом штучної хромель-алюмелевої термопари і фіксували прибором А-565 з цифровою індикацією.

Таблиця 1

Режими термічної обробки, структура і твердість високоміцного чавуну

№ п/п	Режим термічної обробки	Структура металевої матриці	Твердість	
			НВ	HRC
1	Гартування з 850°C, витримка 1 година; відпуск при 200°C, 2 години	Мартенсит відпуску	-	47-51

2	Гартування з 850 ⁰ С, витримка 1 година; відпуск при 340 ⁰ С, 2 години	Тростит відпуску	-	44-47
3	Гартування з 850 ⁰ С, витримка 1 година; відпуск при 550 ⁰ С, 2 години	Сорбіт відпуску	285-311	-
4	Нормалізація: нагрів до 850 ⁰ С, витримка 1,5 години, охолодження з обдувом	Перліт (75%) + ферит (25%)	248-302	-

Металографічні дослідження поверхневого шару чавунних зразків проводились на косих мікрошліфах за загальноприйнятою методикою на оптичному та електронному мікроскопах. Твердість зразків вимірювали за методом Бринелля, мікротвердість – на мікротвердомірі ПМТ-3 з навантаженням 50 г. На кожному зразку виконували 50 вимірів і результати піддавали обробці з використанням методів математичної статистики.

Оптимізація процесу лезово-зміцнювальної механічної обробки та алмазного вигладжування ВЧКГ в різному структурному стані проводилась за допомогою математичного планування експерименту з використанням центрального композиційного ротатабельного та ортогонального планів другого порядку на три ($k=3$) фактори з ядром плану типу 2^3 .

Дослідження кінетики та морфології зношених поверхонь інструменту проводили на електронному мікроскопі ЕМ-100БР і растровому електронному мікроскопі РЕМ-200. Для визначення структури та фазового складу поверхневого зміцненого шару використовували метод рентгеноструктурного аналізу на установці ДРОН-2.

Для контролю якості формування зміцненого поверхневого шару (товщина білого шару, його суцільність, ступінь макро- і мікронеоднорідності) після лезово-зміцнювальної механічної обробки та алмазного вигладжування розроблено методику експрес-оцінки фізико-механічних властивостей за глибиною поверхневого шару чавунних зразків при мікрорізанні шляхом аналізу зміни миттєвих значень (коливач) тангенційної складової сили різання P_{zi} , що фіксувались за допомогою спеціального високочутливого однокомпонентного динамометра (А.с. 1492238 СРСР). Для уникнення впливу наростоутворення на процес мікрорізання чавуну в якості матеріала різця (індентора) використовувався гексаніт-Р, геометричні параметри інструменту: $\gamma = +15^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 16^\circ$, $\varphi = 40^\circ$, $\varphi_1 = 20^\circ$, $\lambda = 5^\circ$, $l_f = 0,2$ мм. Переріз зрізу $S \times t = 0,06 \times 0,01$ при швидкості мікрорізання $v = 0,125$ м/с, що зменшує вплив процесу стружкоутворення на коливання сили різання та дозволяє індентору реагувати на зміну властивостей (наприклад, мікротвердості) різних структурних складових за глибиною поверхневого шару, фіксувати наявність макро- та мікрodefektів поверхні (пори, мікротріщини) чавунних зразків.

Осцилограми коливачів сили різання P_{zi} , записані на фотографічний папір, підлягали статистичній обробці: визначалось середнє значення, середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації.

Даний метод комплексно встановлює залежність властивостей поверхневого шару від зміни структурного стану чавуну внаслідок механічного, термічного або хімічного впливу, а також дозволяє уникнути операції вимірювання мікротвердості поверхневого шару на косих шліфах.

У третьому розділі наведені результати досліджень закономірностей формування поверхневого шару високоміцного чавуну з різною структурою металеві матриці у процесі лезово-зміцнювальної механічної обробки, суть якої полягає в утворенні у процесі різання (при точінні) такого теплонапруженого стану, що викликає у поверхневому шарі деталі структурні перетворення (вторинне гартування) з отриманням зміцненого (білого) шару. Така обробка супроводжується значними питомими тисками і температурами в зоні обробки, що визначаються, у свою чергу, фізико-механічними властивостями інструментального і оброблюваного матеріалу, геометричними параметрами інструменту та режимами обробки.

На основі попередніх досліджень було встановлено, що найбільший силовий вплив на оброблювану деталь відбувається при роботі інструментом із збільшеними від'ємними передніми кутами. У цьому випадку спостерігається перерозподіл зусиль в зоні обробки, збільшується тиск

на оброблювану поверхню, а тепловий потік, що виникає при терті стружки з передньою поверхнею різця, направлений в глибину металу (деталі).

Визначено, що з підвищенням твердості високоміцного чавуну зменшується значення оптимальних від'ємних передніх кутів інструменту (з точки зору отримання на поверхні якісного суцільного білого шару при необхідних значеннях шорсткості поверхні) та збільшується інтервал їх варіювання. При обробці гексанітом-Р оптимальні значення від'ємного переднього кута в середньому на 5° більше ($\gamma = -35^\circ \div -50^\circ$) у порівнянні з точінням різцями з Т15К6 ($\gamma = -30^\circ \div -45^\circ$), що обумовлюється більшою теплопровідністю та меншим коефіцієнтом тертя гексаніта-Р в парі з ВЧКГ.

Під час експериментальних робіт було встановлено, що найбільш суттєвим фактором режиму обробки, який визначає стан структури поверхневого шару, є швидкість різання v . Із збільшенням v глибина зони структурних перетворень поверхневого шару при лезово-зміцнювальній обробці зростає і ця залежність має екстремальний характер (рис. 1). При зростанні швидкості різання збільшується температура різання, тобто зростає температура поверхневого шару, що і активізує процес структурних перетворень у ньому. Проте, температура різання зростає непропорційно швидкості різання, так як із збільшенням v зменшується сила різання, а, отже, і пластична деформація в зоні різання. Зменшується у цьому випадку також коефіцієнт тертя між оброблюваним та інструментальним матеріалом і кількість теплоти, що утворюється в результаті деформації. Так, при обробці чавуну з мартенситною структурою металеві матриці інструментом з Т15К6 зі швидкістю різання $v = 2$ м/с глибина зони структурних перетворень (білого шару) досягає 80-100 мкм, а при швидкості різання $v = 2,5$ м/с – тільки 60-70 мкм.

При великих швидкостях різання ($v > 4$ м/с) температурно-силові умови для утворення білого шару погіршуються внаслідок зменшення сили різання та скорочення часу дії високої температури. Необхідно зазначити, що оптимальні, з точки зору одержання білих шарів, для більш твердих структур зсуваються у сторону менших швидкостей ($v = 1,7-2,5$ м/с при обробці інструментом з Т15К6; $v = 1,7-2,5$ м/с при обробці гексанітом-Р), для менш твердих – у сторону більших швидкостей різання ($v = 2,7-3,5$ м/с при обробці інструментом з Т15К6; $v = 1,7-2,5$ м/с при обробці гексанітом-Р) (рис. 1).

Із збільшенням температури відпуску високоміцного чавуну (табл. 1) глибина зони структурних перетворень і мікротвердість поверхневого шару зразків, обточених при однаковій швидкості різання, зменшується (рис. 2). Під шаром вторинного гартування для зразків, які мали мартенситну та троститну структуру металеві матриці, знаходиться зона вторинного відпуску,

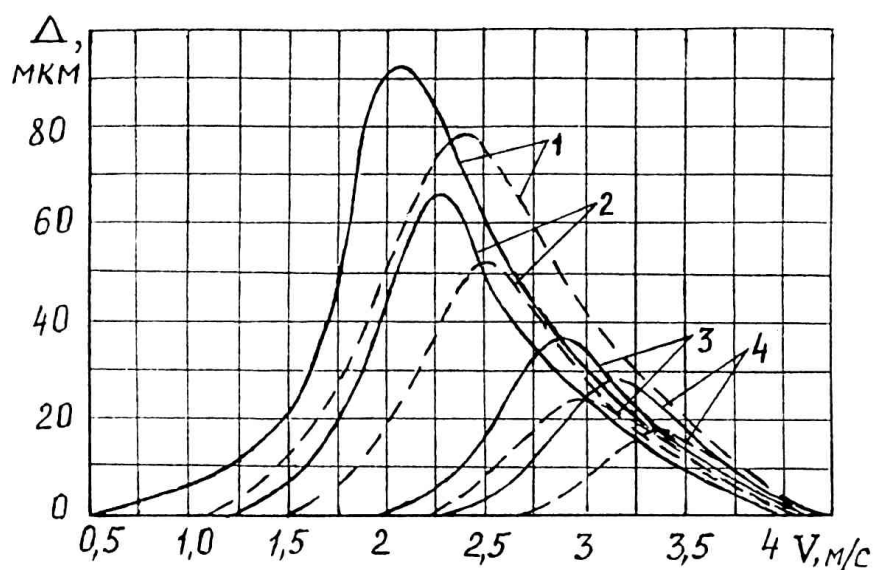


Рис. 1. Вплив швидкості різання при лезово-зміцнювальній обробці на глибину зони структурних перетворень поверхневого шару ВЧКГ в різному структурному стані :

— - Т15К6, - - - - - гексаніт-Р; 1, 2, 3, 4 – термообробка зразків за табл. 1;
режими обробки: $S = 0,3$ мм/об, $t = 0,3$ мм.

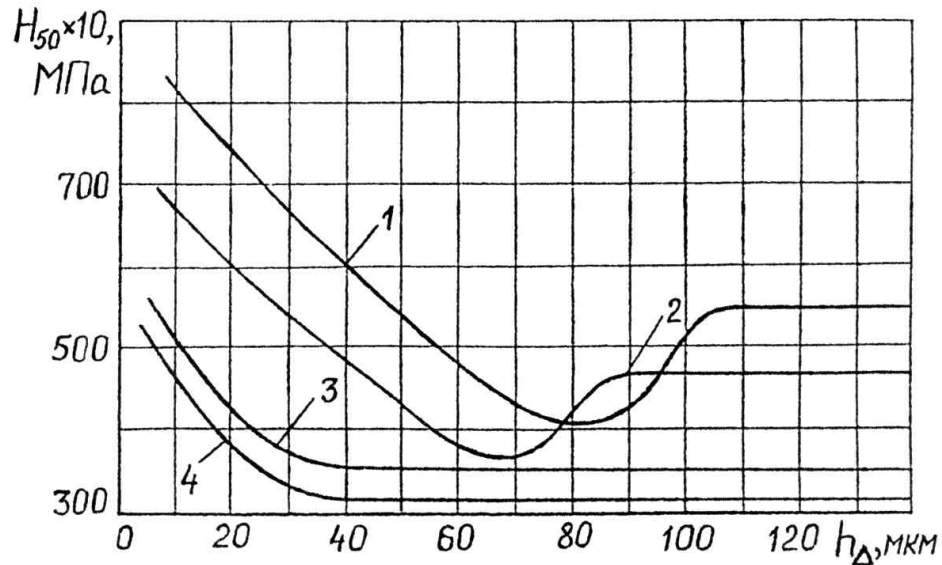


Рис. 2. Вплив структури металевої матриці ВЧКГ на зміну мікротвердості за глибиною поверхневого шару при обробці інструментом з Т15К6:

1, 2, 3, 4 – термообробка зразків за табл. 1;

режими обробки: $v = 2,5$ м/с, $S = 0,3$ мм/об, $t = 0,3$ мм.

структура якої далі переходить у структуру основного металу. У зразків з перлітною та сорбітною структурою не спостерігалось зони вторинного відпуску.

Збільшення подачі S та глибини різання t не завдає значного впливу на глибину та інтенсивність структурних перетворень поверхневого шару при обробці висококомічного чавуну, що і пояснюється менш значним впливом зміни S і t на температуру різання. Проте, із збільшенням подачі і глибини різання зростає ступінь деформації поверхневого шару, а структурні перетворення за одних і тих же температур у даному випадку інтенсифікуються.

Виявлений зв'язок товщини (глибини) білого шару від твердості висококомічного чавуну та елементів режиму лезово-зміцнювальної механічної обробки має вигляд поліному другого ступеню:

- при обробці інструментом з Т15К6:

$$\Delta_1 = -279,437 + 0,58 \cdot \text{HB} + 122,217 \cdot v + 68,24 \cdot (S \times t) - 0,246 \cdot \text{HB} \cdot v + 0,00034 \cdot \text{HB}^2 - 6,671 \cdot v^2; \quad (1)$$

- при обробці гексанітом-Р:

$$\Delta_2 = -445,306 + 0,901 \cdot \text{HB} + 182,544 \cdot v + 59,98 \cdot (S \times t) - 0,244 \cdot \text{HB} \cdot v - 16,194 \cdot v^2. \quad (2)$$

Металографічними дослідженнями встановлено, що білий шар на висококомічному чавуні має структуру мартенсита надзвичайно тонкої будови та залишкового аустеніту (до 30%) більшої мікротвердості, ніж звичайний аустеніт, внаслідок наклепу.

Оптимальні значення поздовжньої подачі та глибини обробки визначались на основі аналізу характеру залежностей $\Delta = f(S, t)$ и $R_a = f(S, t)$. Таким чином, при лезово-зміцнювальній обробці висококомічного чавуну оптимальна область подач знаходиться (в залежності від структури металевої матриці) у межах $S = 0,14 - 0,43$ мм/об (при обробці інструментом з Т15К6) і $S = 0,11 - 0,38$ мм/об (при обробці гексанітом-Р); глибина обробки $t = 0,1 - 0,5$ мм. Оптимальні режими лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з висококомічного чавуну в різному структурному стані наведені у табл. 2.

У четвертому розділі представлені результати стійкісних випробувань та досліджень закономірностей зносу різців із твердого сплаву (Т15К6) і НТМ (гексаниа-Р) при лезово-зміцнювальній обробці зразків з високоміцного чавуну в різному структурному стані (табл. 1).

Геометричні параметри різців із Т15К6: $\gamma = -40^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$; $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $l_f = 0,25$ мм; з гексаниа-Р: $\gamma = -45^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$; $\varphi = 30^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $l_f = 0,25$ мм. За критерій затуплення різців приймався знос по задній поверхні $h_3 = 0,55$ мм; знос контролювався і вимірювався на інструментальному мікроскопі БМІ-1 з точністю 0,01 мм через кожні $L = 500$ м шляху різання. Величина зносу визначалась як середнє арифметичне за результатами трьох паралельних іспитів.

Таблиця 2

Оптимальні режими лезово-зміцнювальної механічної обробки високоміцного чавуну

Структура металевої матриці	Оптимальні режими обробки			Товщина білого шару Δ , мм	Ra, мкм
	v, м/с	S, мм/об	t, мм		
Обробка інструментом з Т15К6					
Мартенсит відпуску	1,8 - 2,2	0,14 – 0,3	0,1 – 0,4	80 - 95	1,2 – 1,75
Тростит відпуску	2,1 – 2,5	0,17 – 0,34	0,1 – 0,4	50 - 65	1,4 – 1,85
Сорбіт відпуску	2,7 – 3,1	0,21 – 0,4	0,2 – 0,5	30 - 40	1,8 – 2,5
Перліт (75%)+ +ферит (25%)	2,9 – 3,5	0,23 – 0,43	0,2 – 0,5	20 – 30	2,1 – 2,8
Обробка інструментом з гексаниа-Р					
Мартенсит відпуску	2,2 - 2,6	0,11 – 0,26	0,1 – 0,4	70 - 80	0,6 – 1,1
Тростит відпуску	2,3 – 2,8	0,14– 0,30	0,1 – 0,4	40 - 52	0,8 – 1,26
Сорбіт відпуску	2,8 – 3,2	0,17 – 0,34	0,2 – 0,5	20 - 28	1,3 – 2,0
Перліт (75%)+ +ферит (25%)	3,1 – 3,7	0,23 – 0,38	0,2 – 0,5	10 – 18	1,6 – 2,2

Результати випробувань інструменту показали (рис.3), що найменший знос мають різці при обробці високоміцного чавуну з перліто-феритною і сорбітною структурою металевої матриці. Причому, стійкість інструменту з гексаниа-Р у середньому в 7,0 разів вище, ніж у твердосплавних різців. Характерно, що з підвищенням твердості металевої матриці чавуну інтенсивність зносу для двох інструментальних матеріалів зростає. Однак, для гексаниа-Р темп наростання зносу більш повільний, ніж для твердого сплаву Т15К6.

Важливо відзначити, що з підвищенням твердості металевої матриці чавуну ефективність використання різців з гексаниа-Р зростає. Так, при обробці чавуну із сорбітною і перліто-феритною матрицею стійкість при лезово-зміцнювальній обробці гексаниа-Р підвищується в 5,7-6,5 разів, а при обробці чавуну з мартенситною і троститною матрицею цим же інструментом у 7,5-8,0 разів в порівнянні з точінням різцями з Т15К6.

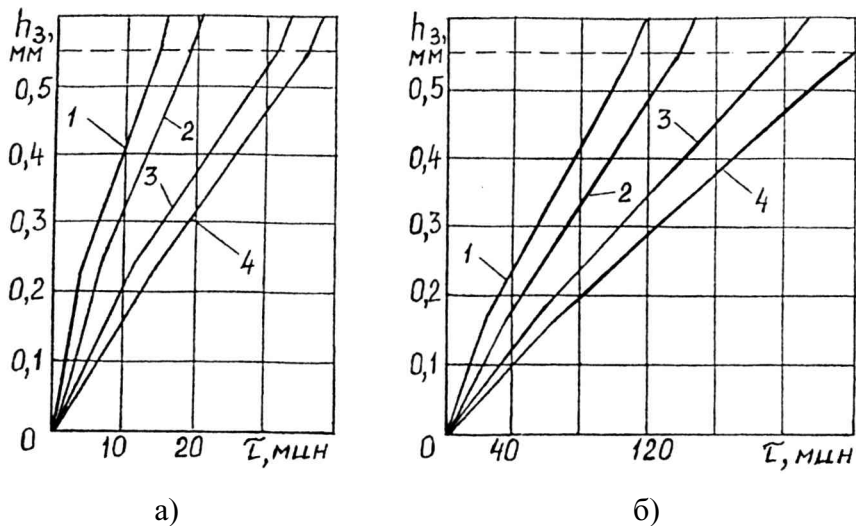


Рис. 3. Знос різців з Т15К6 (а) і гексаніта-Р (б) при лезово-зміцнювальній обробці високоміцного чавуну в різному структурному стані:
1, 2, 3, 4 – термообробка зразків за табл. 1.

Математична обробка графіків залежності “стійкість інструменту (Т) – твердість високоміцного чавуну (НВ)”, побудованих в логарифмічній системі координат, дозволила встановити наступні залежності:

- для різців з Т15К6:

$$T = 8,2 \cdot 10^3 / (НВ)^{1,014}, \quad (3)$$

- для різців з гексаніта-Р:

$$T = 2,5 \cdot 10^4 / (НВ)^{0,87}. \quad (4)$$

Отримані залежності свідчать про те, що для різців з гексаніта-Р при лезово-зміцнювальній обробці високоміцного чавуну структура металевої матриці менше впливає на стійкість інструменту, чим при обробці твердим сплавом Т15К6.

При роботі твердосплавним інструментом спостерігається більш інтенсивний темп зносу як по передній, так і по задній поверхні. По виду даний знос можна віднести до втомного термомеханічного зносу, під яким розуміється механічне зношування контактних поверхонь, що інтенсифікується тепловими явищами.

Покращити експлуатаційні властивості інструменту з твердого сплаву дозволяє віброабразивна обробка. У даному випадку підвищення ефективності роботи твердосплавних різців відбувається, головним чином, за рахунок округлення різальних кромки (до 40 мкм) та зменшення їх шорсткості, внаслідок чого при обробці практично ліквідується зона прироблювання: знос на всьому протязі періоду стійкості зростає практично рівномірно і на початковому етапі має явну тенденцію до абразивного. За результатами випробувань стійкість віброоброблених пластин збільшилась у 1,5-3,3 рази (в залежності від структури металевої матриці чавуну). Коефіцієнт варіації при цьому зменшився у 1,4-1,75 рази, а середнє число періодів стійкості збільшилось у 1,2-1,5 рази, що є свідченням підвищення працездатності та надійності інструменту з Т15К6 при лезово-зміцнювальній обробці високоміцного чавуну.

У п'ятому розділі виконано аналіз результатів дослідження впливу процесу алмазного вигладжування на формоутворення поверхневого шару високоміцного чавуну, що виконувалось після лезово-зміцнювальної механічної обробки з метою зменшення шорсткості поверхні та створення у поверхневому шарі стискальних залишкових напружень. В зрівнянні з іншими видами ППД алмазне вигладжування має суттєві переваги, що обумовлені фізико-механічними властивостями алмазу. Цей процес відзначається високою продуктивністю та стійкістю інструмента – вигладжувача (індентора).

Для дослідження впливу різних факторів на шорсткість поверхні в процесі алмазного вигладжування зразки з високоміцного чавуну попередньо підлягали лезово-зміцнювальній обробці за оптимальними режимами з утворенням на поверхні зміцненого (білого) шару.

Математична обробка експериментальних даних з використанням методу багатofакторного планування експерименту дозволила отримати залежність параметру шорсткості поверхні (R_a) від технологічних параметрів алмазного вигладжування (радіальної сили P_B і подачі S_B) та твердості чавуну σ початковою структурою металевої матриці (табл. 1), яка має вигляд:

$$R_a = 3,2305 - 0,0045P_B - 20,7S_B - 0,0081(HB) + 0,035 S_B P_B - 0,000004 P_B (HB) + 0,000009 P_B^2 + 156 S_B^2 + 0,000009(HB)^2. \quad (5)$$

Результати досліджень показали, що найбільше впливає на шорсткість поверхні зусилля вигладжування P_B (рис. 4, а): найменша висота мікронерівностей поверхні досягається при зусиллях 250-300 Н у разі обробки чавуну з мартенситною та троститною структурою матриці.

На основі отриманих експериментальних та розрахункових даних були визначені оптимальні режими алмазного вигладжування, що виконувалось після лезово-зміцнювальної обробки високоміцного чавуну інструментом з Т15К6 та гексаніта-Р. Випробування інструменту показали, що стійкість алмазних інденторів в залежності від структури початкової металевої матриці чавуну складає 10-20 годин машинного часу. Дослідження морфологічного стану пляна контакту дозволяють класифікувати знос алмазних вигладжувачів при обробці ВЧКГ як втомно-абразивний.

В процесі роботи визначено, що мікротвердість поверхневого шару високоміцного чавуну після алмазного вигладжування збільшилась у середньому на 15%: у процесі обробки зменшується макро- та мікронеоднорідність поверхні, відбувається перетворення частини залишкового аустеніта в мартенсит, кількість якого в структурі металевої матриці чавуну в результаті не перевищує 20%.

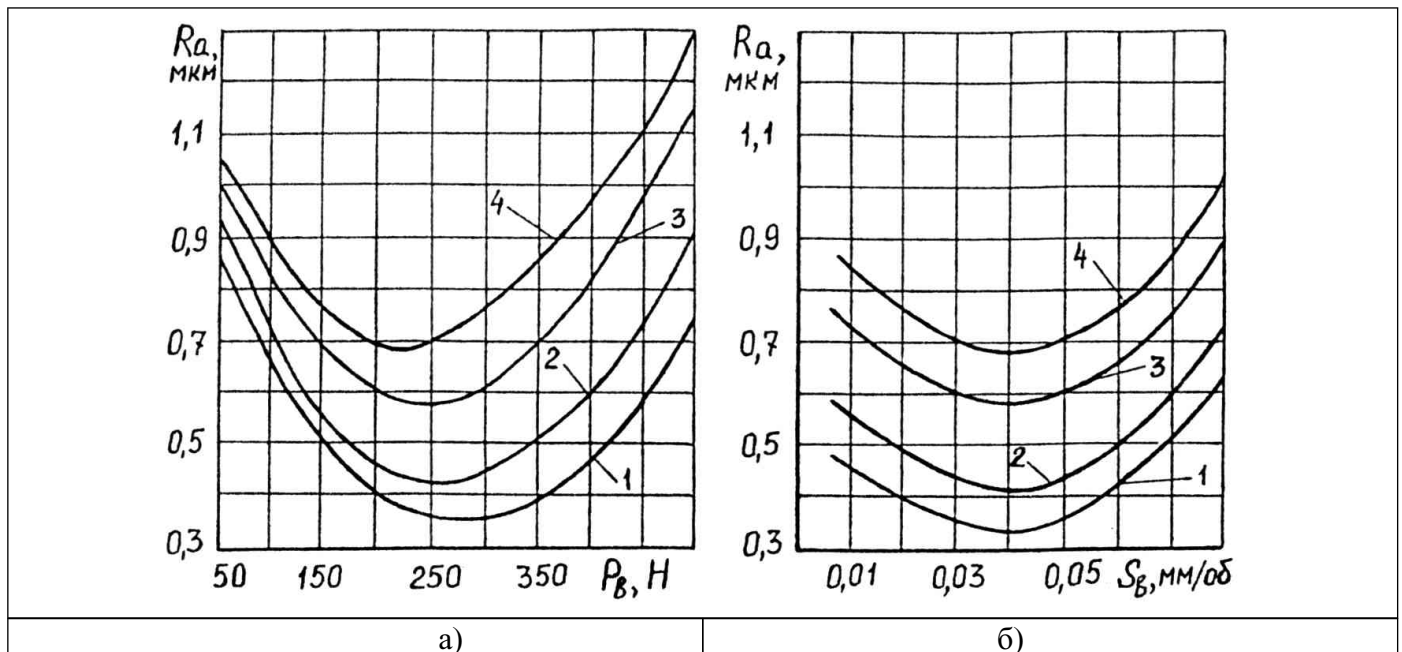


Рис. 4. Вплив радіальної сили (а) і подачі (б) на шорсткість поверхні при алмазному вигладжуванні високоміцного чавуну:

1, 2, 3, 4 – структура початкової металевої матриці чавунних зразків за табл. 1;

режими обробки: а – $v_B = 100$ м/хв, $S_B = 0,04$ мм/об, $i = 1$; б – $v_B = 100$ м/хв, $P_B = 250$ Н, $i = 1$.

Таким чином, в залежності від структури металевої матриці мікротвердість поверхневого шару ВЧКГ після комплексної механічної обробки (лезово-зміцнювальна обробка + алмазне

вигладжування) досягає 5800-8700 МПа при товщині зміцненого шару 20-100 мкм, шорсткість поверхні складає $Ra = 0,15-0,8$ мкм.

За результатами проведених досліджень розроблено практичні рекомендації щодо вдосконалення процесу чистової механообробки і поверхневого зміцнення деталей з ВЧКГ, які передані для впровадження на ВАТ “Серп і Молот”. Промислово-дослідні випробування показали, що застосування процесу лезово-зміцнювальної обробки чавуну інструментом із НТМ дозволяє підвищити продуктивність обробки в 3-3,5 рази (на одну деталь), знизити собівартість механообробки і поверхневого зміцнення в середньому у 2,4 рази за рахунок вилучення операцій поверхневої термічної обробки та шліфування, а також поліпшити експлуатаційні властивості чавунних виробів.

Основні наукові положення роботи використовуються у навчальному процесі при підготовці спеціалістів та магістрів за спеціальністю “Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту” в Українській державній академії залізничного транспорту.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено спосіб лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну інструментом з твердого сплаву та НТМ, що дозволяє проводити чистову механічну обробку із зняттям припуску та одночасним зміцненням поверхневого шару. В процесі обробки в поверхневому шарі чавунних виробів цілеспрямовано утворюється особова структура – білий шар з високою твердістю, міцністю, більш високим електрохімічним потенціалом, що і визначає отримання необхідних експлуатаційних властивостей поверхневого шару (зносоустійкість, контактна жорсткість, втомна міцність, корозійна стійкість та ін.).

2. Лезово-зміцнювальна механічна обробка характеризується великими температурами (до 1120 – 1300 К), обумовленими швидкісним точінням високоміцного чавуну, і питомими тисками в зоні різання (до 15-18 ГПа), що утворюються за рахунок використання інструменту з великими від’ємними передніми кутами (до $\gamma = -50^\circ$).

3. Визначено раціональні марки інструментальних матеріалів (Т15К6 і гексаніт-Р) та, в залежності від інструментального матеріала та структурного стану чавуну, отримано оптимальні величини переднього кута інструмента ($\gamma = -30 \dots -50^\circ$).

4. За результатами досліджень впливу структури металевої основи на формування поверхневого шару при обробці ВЧКГ встановлено, що із збільшенням твердості чавуну зростає глибина зони структурних перетворень (білого шару): при обробці чавуну з мартенситною матрицею величина білого шару складає 70-100 мкм, а при обробці чавуну з перліто-феритною матрицею – тільки 10-30 мкм, тобто з підвищенням твердості чавуну зростає енергетичний потенціал самої металевої матриці для утворення на його поверхні в процесі лезово-зміцнювальної обробки якісного суцільного білого шару

5. Встановлено, що величина зони структурних перетворень поверхневого шару в значній мірі залежить від швидкості різання і ця залежність має екстремальний характер. З підвищенням твердості чавуну глибина зони структурних перетворень у зразків, оброблених за однаковими режимами, збільшується. При великих швидкостях обробки ($v > 4,0$ м/с) температурно-силові умови для утворення білого шару погіршуються внаслідок зменшення зусилля різання та скорочення часу дії високої температури.

6. Визначено, що при лезово-зміцнювальній обробці ВЧКГ інструментом з гексаніту-Р в порівнянні з обробкою інструментом з Т15К6 діапазон оптимальних швидкостей різання зсувається в сторону більших швидкостей (до 3,5 м/с) з одночасним збільшенням від’ємного переднього кута інструмента (до $\gamma = -50^\circ$) для усіх досліджуваних структур металевої матриці чавуну.

7. Стійкість різців з гексаніту-Р при лезово-зміцнювальній обробці високоміцного чавуну в середньому у 7 разів вище, чим для твердосплавних різців. З підвищенням твердості чавуну ефективність використання різців з гексаніту-Р зростає: при обробці чавуну з сорбітною та перліто

-феритною матрицею гексанітом-Р стійкість інструменту збільшується у 5,7 – 6,5 рази, а при обробці чавуну з мартенситною і сорбітною матрицею – в 7,5 – 8,0 разів. Встановлено, що превалюючим у даних температурно-силових умовах обробки ВЧКГ є втомний термомеханічний знос інструменту. Віб्रोабразивна обробка твердосплавного інструменту підвищує його працездатність в 1,7 – 2,6 рази; процес обробки ВЧКГ таким інструментом стає більш стабільним і надійним.

8. У процесі алмазного вигладжування, що виконується після лезово-зміцнювальної механічної обробки ВЧКГ з метою зниження шорсткості поверхні, підвищення мікротвердості поверхневого шару (за рахунок перетворення частини залишкового аустеніта в мартенсит), зменшення неоднорідності поверхневого шару, а також утворення в ньому залишкових напружень стиску. Мікротвердість поверхневого шару після комплексної обробки (лезово-зміцнювальна механічна обробка + алмазне вигладжування) деталей з ВЧКГ досягає 5800 – 8700 МПа при товщині зміцненого шару 20 – 100 мкм, шорсткість поверхні в залежності від структури металевої матриці чавуну складає $Ra = 0,15 - 0,8$ мкм.

9. Рекомендації, розроблені на основі результатів експериментальних досліджень, дозволили вдосконалити технологію чистових операцій механообробки і поверхневого зміцнення деталей з високоміцного чавуну, що забезпечує підвищення продуктивності обробки в 3 – 3,5 рази (на одну деталь), зниження собівартості процесу обробки в середньому у 2,4 рази та поліпшення експлуатаційних властивостей поверхневого шару чавунних виробів за рахунок ліквідації традиційної поверхневої термічної обробки та операцій абразивного шліфування.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Путятіна Л.І. Формування поверхневого шару виробів з високоміцного чавуну у процесі комплексної механічної обробки // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип.49. – С. 90-93.
2. Тимофеева Л.А., Путятіна Л.И., Лалазарова Н.А. Особенности инновации поверхностного слоя высокопрочного чугуна в процессе механической обработки // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць.- Харків: НТУ “ХПІ”, 2002. – Вип. 1(5). – С. 377-381.
3. Путятіна Л.И. Определение оптимальных режимов алмазного выглаживания высокопрочного чугуна // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – Вып. 61. – С. 175-179.
4. Путятіна Л.І., Тимофеева Л.А., Лалазарова Н.О. Дослідження працездатності інструмента при зміцнювальній механічній обробці високоміцного чавуну // Вісник НТУ “ХПІ”: Зб. наук. праць. Тематич. випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2002. - № 19. – С. 81-84.
5. А.с. 1492238 СССР, G 01 N 3/58. Устройство для оценки изменения физико-механических свойств материала / Л.А.Солнцев, В.И.Мощенко, Л.И.Путятіна, А.В.Крупский. – Опубл. 07.07.89. Бюл. № 25.
6. Влияние полимерсодержащей СОЖ на обрабатываемость высокопрочного чугуна / В.Г. Дигтенко, Н.А.Лысенко, Л.И.Путятіна, Н.Н.Змиевской // Вопросы оборонной техники. – 1990. - № 1. – С. 35-37.
7. Тимофеева Л.А., Путятіна Л.И., Можарова Н.М. Основные физико-технологические параметры процесса лезвийно-упрочняющей механической обработки чугуновых деталей // Мир техники и технологий. - 2003. - № 8. – С. 54-55.

АНОТАЦІЯ

Путятіна Л.І. Лезово-зміцнювальна механічна обробка деталей з високоміцного чавуну інструментом з твердого сплаву та НТМ. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України, Київ, 2004.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі – удосконаленню процесу чистової механічної обробки і поверхневого зміцнення деталей з високоміцного чавуну. З цією метою розроблено спосіб лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну інструментом з твердого сплаву та НТМ. Наступне алмазне вигладжування виконується для зниження шорсткості поверхні чавунних виробів.

За результатами проведення багатofакторних експериментів визначено вплив структури і властивостей чавуну, а також технологічних параметрів обробки на якісні показники поверхневого шару в процесі лезово-зміцнювальної механічної обробки та алмазного вигладжування дослідних зразків. Отримана розрахункова залежність стійкості інструменту від твердості високоміцного чавуну з різною структурою металевої матриці.

На основі результатів експериментальних досліджень розроблено практичні рекомендації щодо використання запропонованого процесу лезово-зміцнювальної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну.

Ключові слова: лезово-зміцнювальна механічна обробка, високоміцний чавун, білий шар, алмазне вигладжування, індендор, віброабразивна обробка.

АННОТАЦИЯ

Путятина Л.И. Лезвийно-упрочняющая механическая обработка деталей из высокопрочного чугуна инструментом из твердого сплава и СТМ. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – Процессы механической обработки, станки и инструменты. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н.Бакуля НАН Украины, Киев, 2004.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-технической задачи – совершенствованию процесса чистовой механической обработки и поверхностного упрочнения деталей из высокопрочного чугуна. С этой целью был разработан способ лезвийно-упрочняющей механической обработки деталей из высокопрочного чугуна инструментом из твердого сплава СТМ. Последующее алмазное выглаживание выполняется для снижения шероховатости поверхности чугунных деталей.

На основании анализа теоретических и экспериментальных исследований были определены рациональные марки инструментальных материалов и геометрические параметры инструмента для лезвийно-упрочняющей обработки деталей из высокопрочного чугуна с различной структурой металлической матрицы.

По результатам проведения многофакторных экспериментов определено влияние структуры и свойств чугуна, а также технологических параметров обработки на качественные показатели поверхностного слоя в процессе лезвийно-упрочняющей механической обработки и алмазного выглаживания. Определены оптимальные технологические параметры обработки

Выявлены особенности изнашивания инструмента из Т15К6 и гексанита-Р при лезвийно-упрочняющей обработке. Получены расчетные зависимости стойкости инструмента от твердости высокопрочного чугуна с различной структурой металлической матрицы. Экспериментально доказана эффективность повышения стойкости инструмента с помощью виброабразивной обработки.

Предложена методика экспресс-оценки качественных показателей поверхностного слоя чугунных образцов после лезвийно-упрочняющей обработки и алмазного выглаживания.

На основе результатов экспериментальных исследований и опытно-промышленной проверки разработаны рекомендации по использованию процесса лезвийно-упрочняющей механической обработки деталей из высокопрочного чугуна инструментом из твердого сплава и СТМ в производстве.

Ключевые слова: лезвийно-упрочняющая механическая обработка, высокопрочный чугун, белый слой, алмазное выглаживание, индендор, виброабразивная обработка.

ABSTRACT

Putyatina L.I. The blade-hardening machining of high-strength cast iron part by hard-carbide and superhard material tools. Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate technical sciences on speciality 05.03.01 Machining processes, machine-tools and instruments. V.N.Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2004.

The dissertation is devoted to the decision of a urgent scientific problem improvement of finish machining process and surface hardening of high strength spheroidal graphite cast iron parts.

With this aim in view is designed the method of blade-hardening machining of high-strength cast iron part by hard-carbide and superhard material tools. The next diamond burnishing reduce roughness surface of cast iron parts.

As a result of multifactorial experiments the effect has been established of the structure and properties of cast iron and operating conditions on the qualitative parameters of surface layer during blade-hardening machining of high-strength cast iron part. The calculated dependence of cutting tool life from high strength cast iron hardness with different metal matrix structure was received.

Based on the results of the researches, practical recommendation have been made as to the use of the suggested technology of the blade-hardening machining of high-strength cast iron part.

Keywords: blade-hardening machining, high strength cast iron, white layer, diamond burnishing, indenter, abrasive vibromachining.