УДК 621.787:621.778

Алімов В. І.
Георгіаду М. В.
Шевелєв О. І.
Зубенко В. В.

ТЕРМІЧНЕ РОЗМІРНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ВИСОКОТОЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА ІНСТРУМЕНТУ

В сучасних умовах виробництва більшість точних деталей машин і оброблюючого інструменту виходять з ладу внаслідок зносу робочої поверхні. З аналізу літературних даних відомо, що ріжучий інструмент є найменш надійним елементом технологічної системи; розсіювання стійкості інструменту, його непередбачені відмови призводять до зниження продуктивності праці, виникнення браку основного виробництва, підвищеної витрати інструменту, дестабілізують механооброблюючий процес. Проблема витрати інструменту, втрати його на стружку при переточуванні носить не тільки локальний, а й глобальний характер. Відновлення ріжучого інструменту і деталей підвищеної точності економічно вигідно.

На даний час для відновлення ріжучого інструменту і деталей підвищеної точності, в основному, застосовують способи, пов'язані зі значною термічною дією [1], складними процесами наплавлення і напайки [2]; термічне відновлення носить не систематизований характер, пропоновані і розповсюджені технології направлені, в основній своїй масі, на залічування мікродефектів після тривалої експлуатації, збільшенням розмірів більшість дослідників вважає недоліками технологічного циклу обробки [3]. Вдосконалення шляхів відновлення зношених точних металовиробів без вживання складних і дорогих технологічних схем є такою ж актуальною задачею, як і подальший розвиток методів вторинного переділу ріжучого інструменту із спрощенням технологічного процесу, тобто минувши цикл переплавки металу. Вкрай мало відомостей про відновлення розмірів зношених при експлуатації точних металовиробів. Хіміко-термічне відновлення розглянуте, в основному, з позиції запобігання збільшенню розмірів після хіміко-термічної дії або прискорення процесу дифузійного насичення, за рахунок вживання нових середовищ, що насичують [4]. Невелика кількість робіт розкриває питання формування мікроструктури [5–7] при дії деформацією при вторинного переділу ріжучого інструменту минувши цикл переплавки.

Метою роботи є дослідження впливу вихідної мікроструктури на здатність деталей підвищеної точності і різального інструменту до термічного відновлення в різних його варіаціях.

Був проведений аналіз причин виходу з ладу високоточних деталей та інструменту на промислових підприємствах різних напрямків за різні періоди часу, в результаті якого було виявлено що незначне зношування є основною причиною передчасного виходу з ладу швидкорізального інструменту і високоточних деталей; при подальшому експлуатуванні виникає катастрофічний знос і можлива поломка, або можливий вихід з ладу не ступінчасто зі збільшенням ступеня зносу, а при руйнуванні з різних причин. Звідси можна сформулювати основний технологічний підхід до відновлення різального інструменту та деталей підвищеної точності (рис. 1).

Для рішення поставлених наукових задач необхідно, у свою чергу, вирішити практичні і технологічні питання, намітити стратегію дослідницької діяльності. Дослідження повинні бути спрямовані на відновлення інструмента, що вийшов з ладу по різних причинах.

Опираючись на поставлену задачу, після базової термічної обробки інструмента і його експлуатації, з метою відновлення робочої здатності, було запропоноване проведення додаткової обробки, яка, у свою чергу, була відновною. Цього можна досягти декількома шляхами: термічною (нагріви нижче та вище фазових перетворень, термоциклювання) та хіміко-термічною (азотування, нітроцементування, цементація, борування і т. д.) обробками, обробкою

висококонцентрованими джерелами енергії (плазмовий, лазерний, електронно-променевий нагріви, сонячна енергія, енергія вибуху), покриттями (залізнення, оксидування, хромування, наплавка) та альтернативними способами (дробеструйний, епіломіювання, ультразвуковий).

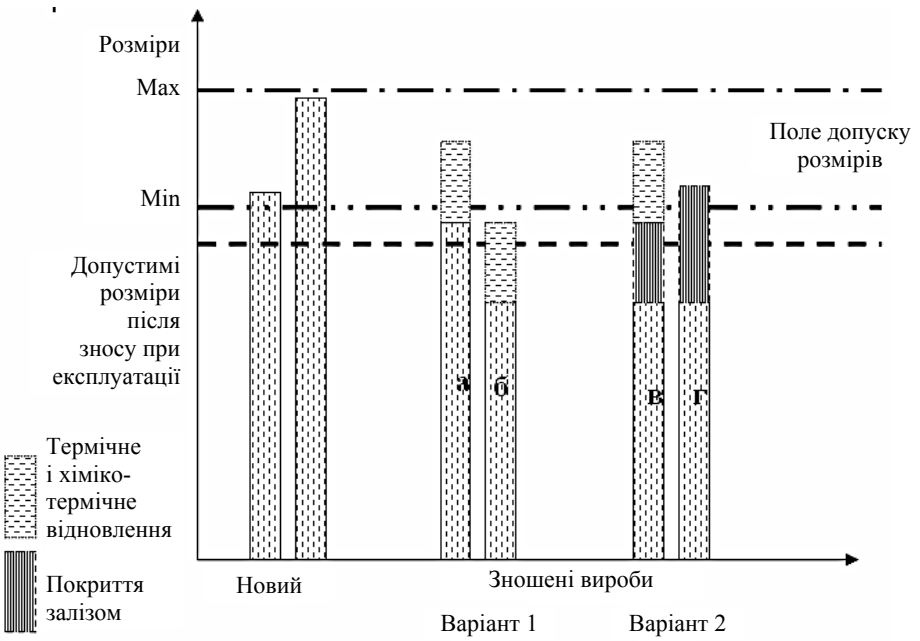

Рис. 1. Технологічні шляхи відновлення зношеного інструменту та деталей підвищеної точності

Крім того, у випадку поломки інструмента із причин, пов'язаних зі структурною неоднорідністю, а саме з карбідною неоднорідністю, необхідно регламентувати карбідну фазу, прагнути до найбільш точного керування цим структурним фактором. Цього можна досягти попередньою пластичною деформацією та підготовчою термічною обробкою. Після знаходження шляхів керування карбідною фазою варто проводити термічну обробку з додатковою обробкою або без стадії додаткового відновлення.

Для практичного рішення поставленої мети було проведено термічне відновлення зношених в процесі експлуатації деталей залізничних роликових підшипників, які сприймають значні динамічні й контактні навантаження, при цьому на поверхнях, що сполучаються, посадкових отворів і зовнішнього кільця підшипника протікають складні явища, що приводять до передчасного виходу з ладу [8]. При роботі внутрішні кільця, насаджені на шийку осі в гарячому стані (100–120 °С) з натягом 0,035 – 0,065 мкм, починають мікропереміщатися, що свідчить про втрату натягу. Порушення нерухомості посадки в сполученні «вал – внутрішнє кільце» підшипника в руховому складі тепловоза є неприпустимим.

Кільця, що мають внутрішній діаметр, який перевищує припустимі значення (табл. 1), відновлюють із застосуванням эластомера ГЭН – 150 [8] або знімають із експлуатації. При відпуску загартованої сталі ШХ15СГ, відбувається зниження твердості. При температурах 100 і 150 °С твердість знижується на 1 – 2 одиниці HRC, а при 300 °С відбувається помітне зниження твердості через розпад мартенситу й виділення карбідів. Збільшення тривалості відпуску при відповіднім зниженні його температури дозволяє зберегти більш високу твердість. У загартованій сталі ШХ15СГ завжди є залишковий аустеніт, перетворення якого в процесі теплового впливу викликає зміну розмірів деталей, що відбуваються внаслідок відмінності питомих обсягів мартенситу й аустеніту.

Продукти перетворення залишкового аустеніту при відпуску мають менший питомий об’єм, ніж мартенсит. Розпад 1 % залишкового аустеніту при 120–250 °С приводить до відносного збільшення довжини, рівної $6{,}7\cdot10^{-5}$ мм [9], однаковій для всіх температур відпуску, тоді як при утворенні відпущеного мартенситу слід було б очікувати збільшення довжини порядку $9\cdot10^{-5}$ мм, і при тому тем менше, чим вище температура відпуску.

Таблиця 1

Відхилення від номінального розміру деталей, що нерухомо сполучаються, у рухомому складі тепловоза

Норми й допуски до розмірів, мм						
Деталь	При виготовленні		При ревізії на заводі		При ревізії в депо	
Внутрішнє кільце підшипника	160	+0,017	–		160	+0,017
		–0,04				–0,04
Вісь колісної пари (∅ 160)	160	+0,052	160	+0,052	160	+0,052
		–0,025		–0,30		–0,40

Для вимірювання зміни розмірів при термічному відновленні були виготовлені зразки у вигляді паралелепіпедів, де висота визначалася буквою «*h*», довжина – «*a*», ширина – «*b*». У процесі експерименту встановлена залежність зміни розмірів зразків від часу витримки (табл. 2) протягом 10 годин при температурах 100, 150, 200, 250 і 300 °С, розрахована відносна зміна розмірів зразків після теплового впливу.

Таблиця 2

Вплив температури й тривалості нагрівання на твердість (HRC) сталі Ш15СГ та на зміну розмірів (мм), відносна зміна розмірів зразків залежно від температури нагрівання при тривалості витримки 10 год (%)

Час нагріву, г	Температура, °С	Твердість, HRC	Зміна розмірів після відновлення, мм		
			довжина «*a*»	ширина «*b*»	висота «*h*»
2	100	63	16,50	8,33	80,00
	150	62	16,50	6,79	80,01
	200	61	16,50	6,79	80,01
	250	59	16,50	8,31	79,99
	300	58	16,50	7,70	80,03
4	100	62	16,50	8,33	80,00
	150	61	16,50	6,79	80,02
	200	60	16,50	6,78	80,02
	250	58	16,50	8,30	79,99
	300	57	16,50	7,67	80,03
6	100	62	16,50	8,32	80,01
	150	61	16,50	6,77	80,01
	200	59	16,50	6,76	80,01
	250	58	16,50	8,34	79,96
	300	57	16,49	7,63	80,03
8	100	61	16,50	8,32	80,01
	150	60	16,50	6,78	80,03
	200	59	16,50	6,75	80,02
	250	58	16,50	8,34	79,97
	300	57	16,48	7,65	80,06
10	100	61	16,49 (-0,1151)	8,28 (-0,1578)	80,01(+0,0128)
	150	60	16,49(-0,1151)	6,79 (-0,25)	80,02 (+0,0175)
	200	58	16,50 (0)	6,77 (-0,5147)	80,03 (+0,0337)
	250	57	16,50 (0)	8,34 (+0,5422)	79,98 (-0,0297)
	300	56	16,47 (-0,1515)	7,64 (-0,5844)	80,05 (+0,04)

Примітка: « - » відносний стиск зразка; « + » відносне подовження зразка.

З табл. 2 видно, що при тепловому впливі протягом 10 годин при температурі 200, 250 і 300 °С відбувається інтенсивна зміна розмірів зразків. Це пов'язане з розпадом залишкового аустеніту при цих температурах у перший години витримки. Визначення кількості залишкового аустеніту здійснювали за допомогою графічного поділу рентгенографічних профілів.

Для визначення вибрали лінії (100) мартенситу (α – фаза) і (111) аустеніту (γ – фаза). Дифрактограми сталі ШХ15СГ знімали в інтервалі кутів 2 Θ від 54 до 58 градусів. Вміст залишкового аустеніту зменшується в сталі ШХ15СГ від 17 % до повного зникнення (розпаду) при зміні температури нагріву від 100 до 300 °С. Відносна погрішність визначення вмісту залишкового аустеніту становила 5 %.

Для магнітних вимірів використовували ті ж зразки, на яких проводили рентгенографічні дослідження. Намагніченість деталей тем менше, чим вище зміст аустеніту, тому що він парамагнітний і не вносить внеску в намагніченість [10], вона зменшується при збільшенні вмісту аустеніту, причому залежність має лінійний характер.

Наступним етапом стало проведення термічного відновлення швидкорізального інструменту, для чого відібрали невелику партію гвинтових свердел та кінцевих фрез, які нагрівали в камерній печі в повітряному середовищі при температурі 560 ± 60 °С впродовж двох годин з охолодженням на повітрі. Розміри інструменту до відновлення та після нього та вплив термічної обробки на його твердість наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Розміри відновлювального швидкорізального інструменту

Найменування інструменту	Допустимий інтервал діаметру за ДСТУ, мм	Вихідний розмір, мм	Розмір після нагріву, мм	Зміна розмірів, мм	Збільшення розмірів, %
Гвинтове свердло	11,157 – 11,200	11,175	11,191	0,016	0,14
Гвинтове свердло	11,757 – 11,800	11,799	11,823	0,024	0,20
Кінцева фреза	19,948 – 20,000	19,968	19,981	0,013	0,07

Твердість після відновлення зменшується, в середньому, на 0,5–1 HRC, або зберігається на вихідному рівні, в залежності від температури та тривалості витримки при нагріві. Різниця в збільшенні розмірів різного інструменту може бути пов’язана з відмінними режимами термічної обробки та вихідним відсотком зносу.

Було проведене дослідження впливу декількох нагрівів за схемами термічного відновлення [11], яке дозволяє збільшити термін служби інструменту більш ніж в 2 рази.

Ефективність відновлення розмірів може бути посилена насиченням точних деталей машин та інструмента елементами, що утворюють фази з більшим питомим об’ємом, наприклад азотом; при цьому забезпечується більша зносостійкість відновленого інструмента.

Як хіміко-термічна обробка було розглянуте азотування, яке дозволяє збільшити лінійні розміри виробів а, отже, відновити робочі розміри. Таке явище стає можливим завдяки збільшенню питомого об’єму фаз. Внаслідок цього відбувається збільшення лінійного об’єму виробів, що насичуються при обробці. Крім того, азотування підвищує зносостійкість, завдяки тому що в поверхневих шарах інструмента відбувається утворення карбонітридних фаз. Графічні залежності здатності до хіміко-термічного відновлення свердел зі сталі Р6М5 після експлуатування в залежності від складу суміші для нас насичення, температури та тривалості витримки наведені на рис. 2.

Зі збільшення температури хіміко-термічного відновлення здатність інструменту збільшувати свої розміри зменшується. Це може бути пов’язано зі зменшення дефектної структури попередньо експлуатованого інструменту.

Таким чином, хіміко-термічне відновлення сприяє більш значному ступеню відновлення швидкорізального інструменту, в порівнянні з термічним впливом, але потребує більш тривалої витримки при відновлюваній обробці.

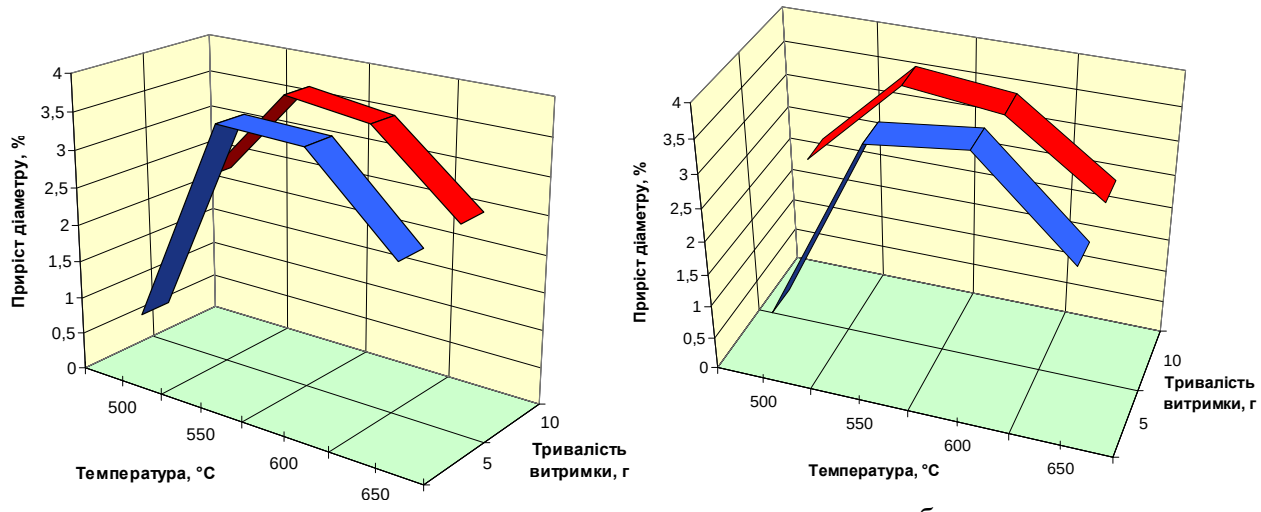

Рис. 2. Результати хіміко-термічного відновлення свердел зі сталі Р6М5 в стані після циклу експлуатації, в сумішах складу, %:

а – 1 (сечовини – 92; окису алюмінію – 3; рідкого скла – 5;); б –3 (сечовини – 5, деревного вугілля – 33, окису алюмінію – 5, рідкого скла – 3, вуглекислого барію – 5)

Для проведення відновлення виробів, що зносилися нижче нижньої границі допуску (рис. 1), можливим шляхом стало відновлення робочих розмірів залізненням. Покриття шляхом гальванічного залізнення має значно більш високі показники мікротвердості, відносного зношування і корозійної стійкості в порівнянні з армко-залізом, отриманим металургійним шляхом.

Гальванічне залізо після відпалу 350 і 750 °С і зберігає свої корозійні властивості і у межах доби зразки стійкі до водопровідної води; відпал при 350 °С приводить до поліпшення показників зношування. Порушення сплошності залізненого шару вигином приводить до підвищення мікротвердості шару, однак показники зношування й корозії різко погіршуються. Погіршення цих властивостей пов'язане з появою після вигину великої кількості мікро- і макротріщин. В процесі абразивного зношування підвищення втрати маси викликане можливим відколом шару (внаслідок, що утворювалися послу вигину тріщин). Корозійний показник збільшився внаслідок несприятливої зміни співвідношення поверхонь анодних і катодних ділянок [12].

Міцність зчеплення гальванічного заліза з основою оцінювали нанесенням сітки подряпин (через 3 мм) і методом вигину. Слід зазначити, що покриття після відпалу при 750 °С міцно пов'язане з основою й при вигині зразків на 90° не спостерігалося опадання покриття, як це відбувалося в зразків з невипаленим залізненим шаром, і зразків, відпалених при 350 °С. У процесі гальванічного залізнення на поверхні зразків відбувався рівномірний ріст покриття; на бічних гранях відбувався ріст покриття у вигляді дендритів.

Після відпалу при 750 °С у покритті з'явилися зерна розміром порядку $6–5\cdot10^{-4}$ см біля «стику» покриття-основа, а на поверхні ще збереглася стовпчаста структура; простежується також стовпчасте (волокнисте) напрямок зерен електролітичного заліза перпендикулярно підложці, чим обумовлюється висока зносостійкість покриття гальванічного залізнення при прийнятій схемі навантаження. Після порушення сплошности покриття гальванічного залізнення відбувається невелике збільшення мікротвердості з 7060 до 8365 МПа при відсутності видимих змін. Гальванічне залізнення забезпечує істотне підвищення мікротвердості відносно армко-заліза, що обумовлене специфічністю будови залізненого шару, при цьому помітно підвищується абразивна зносостійкість і стійкість проти корозії.

Порушення сплошності при деформуванні вигином покриття гальванічного залізнення підвищує його мікротвердість із 7060 ± 683 до 8365 ± 470 МПа; показники зношування й корозійної стійкості при цьому погіршуються.

Відпал покриття гальванічного залізнення при 350 °С протягом 1 години приводить до зниження його мікротвердості приблизно в 2 рази; показник відносного зношування поліпшується, а корозійна стійкість зберігається приблизно на тому ж рівні.

Відпал при 750 °С протягом 1 години дозволяє виявити особливості будови шару гальванічного залізнення; мікротвердість після відпалу знижується до 1284 ± 230 МПа; мікроструктура здобуває зеренну будову; показник зношування збільшується, корозійна стійкість не змінюється, а міцність зчеплення з основою не погіршується.

Гальванічне залізнення може бути використане для відновлення геометрії й підвищення якості сталевого інструмента й деталей з регламентованими розмірами, у тому числі з наступним додатковим насиченням [13–15] залізненого шару або його армуванням [16].

При катастрофічному зносі авторами отримані результати використання технології вторинного виготовлення інструменту минаючи цикл переплаву металу (патент України № 46789). При цьому використовується мікроструктура, отримана після термообробки та експлуатації, це дозволяє зберегти більш рівномірний розподіл карбідної складової в об'ємі інструменту та зменшити температуру нагріву під гартування без зниження зносостійкості [17, 18]. У випадку виходу з ладу інструмента через поломку, його доцільно переробити в інший вид інструмента за допомогою пластичної деформації та термічної обробки. Розглядаючи економічну ефективність такого вторинного використання, як модельний інструмент були обрані токарські різці. Причина вибору визначалася широтою сфери застосування, простотою й зручністю виготовлення в лабораторних умовах. У якості державки використали державки різців, що вийшли з ладу через відкол або сильне зношування ріжучої пластинки.

Пластини виготовляли зі зламаної протяжки зі сталі Р18 (протяжка вийшла з ладу при експлуатації в умовах ВАТ «ЛЗКВ»). Виготовлений інструмент вторинного виробництва перебував в експлуатації на виробничому підприємстві ВАТ «Донсплав», ДП «Техноскрап», ТОВ «Гефест» в умовах сухого тертя протягом двох місяців. Випробування показали досить високу стійкість до стирання, руйнувань, сколів робочих поверхонь не виявлено. Інструмент вторинного виробництва відповідав за рівнем експлуатаційних властивостей аналогічному, отриманому за стандартною технологією. Порівняльні дослідження проводили в умовах ПП «Кристина». Твердість після випробувань відповідала початковому рівню і становила 647–660 HV. Швидкості різання відповідали тим, що рекомендуються (20 м/хв), стійкість становила, у середньому, 4–6 годин. При збільшенні швидкості різання на 25 % стійкість знижувалася до 0,3–0,5 години, подальше збільшення швидкості різання (на 60 %) знижує працездатність різців до 3–5 хвилин.

ВИСНОВКИ

Показані можливі шляхи збільшення працездатності точних металовиробів та інструменту за рахунок термічного відновлення. Розглянуті основні його напрямки на прикладі циліндричного інструменту та деталей машин.

При зношуванні точних деталей машинобудування та інструменту в межах допустимих розмірів після зносу показано можливість термічного відновлення розмірів.

Для відновлення посадкового діаметра внутрішнього кільця підшипника без нанесення плівки еластомеру ГЭН-150 (8) рекомендується зношені кільця піддавати тепловому впливу при температурі 100 °С протягом 8–10 гдин.

Хіміко-термічне відновлення сприяє більш значному ступеню відновлення швидкорізального інструменту, в порівнянні з термічним впливом, але потребує більш тривалої витримки при обробці.

Розроблена технологія нарощування зношених нижче за нижню границю допуску при експлуатації металевих виробів підвищеної точності залізненням і подальшою термічною обробкою дозволяє надати виробам необхідний рівень властивостей.

Виготовлений вторинний інструмент має працездатність на рівні первинно виготовленого, але з більш рівноважною структурою та більш низькою собівартістю і с прощенністю технологічного циклу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Оценка остаточного ресурса паропроводов высокого давления тепловых электростанций по уровню микроповрежденности металла / Е. Я. Векслер, И. В. Замекула, В. Ю. Толстов, Е. В. Семешко // Теплова енергетика. – 2009. – № 5. – С. 31–40.

2. Пат. 45796 Україна, МПК (2009) B 23 K 26/00, C 21 D 9/00. Комбінований склад середовища для лазерного легування корозійностійких сталей / Дурягіна З. А., Алімов В. І., Лазько Г. В. [та ін.]. – № 45796; заявл. 15.06.2009 ; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.

3. Патент РФ. № 2122589. МПК C21D 11/00, C21D 7/00. Способ обработки изделий / Куманин В. И., Чеховой А. Н., Кондарь А. И.; заявитель и патенотобладатель ООО ИЦ «РИА Передовые технологи». – № 95114425/02 ; заявл. 22.08.1995 ; опубл. 27.11.1998. – 5 с. : 3 ил. ; 2 табл.

4. Літус К. О. Розробка та застосування ефективної технології хіміко-термічної обробки виробів у порошкових сумішах : автореферат диссертационной работы на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 / К. О. Літус. – Матеріалознавство : Харків, 2009. – 20 с.

5. Фазовый состав и тонкая структура литой стали Р18 электрошлакового переплава // Ю. П. Харaев, О. А Власова, А. М. Гурьев, Н. А. Попова, Э. В. Козлов // Ползуновский вестник. – 2007. – № 3. – С. 157–161.

6. Zhou Xuefeng. Solidification microstructure of M2 high speed steel by different casting Technologies // Zhou Xuefeng, Fang Feng and Jiang Jianjing. China Foundry. – 2011. – Vol. 8, No. 3. – P. 290–294.

7. A. Křnž. Causes of degradation processes in High-Speed Steels // A. Křnž. Third International Conference on Mechanical Engineering // 7–8 November 2005, Srni-Czech Republic. – P. 86–90.

8. Алимов В. И. Структура и свойства железненного слоя на стальних изделиях [Текст] / В. И. Алимов, И. А. Уманская, М. В. Георгиаду // Наукові праці ДонНТУ. Металургія. – 2010. – № 12 (177). – С. 308–315.

9. Спектор А. Г. Структура и свойства подшипниковых сталей / А. Г. Спектор. – М. : Металлургия, 1980. – 264 с.

10. Уманский Я. С. Рентгенография металлов и полупроводников / Я. С. Уманский. – М. : Металлургия, 1969. – 236 с.

11. Алімов В. І. Властивості швидкорізальної сталі після відновлення зношеного інструменту / В. І. Алімов, М. В. Гергіаду, Н. В. Жертовська // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорск : ДДМА, 2010. – № 3 (20). – С. 14–17.

12. Алимов В. И. Термическое восстановление размеров сопрягаемых деталей подвижного состава / В. И. Алимов, Р. Р. Харисова, М. В. Георгиаду // Ресурсозберігаючі технологіх виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні : зб. наук. праць. – 2011. – С. 87–97.

13. Пат. 28801 Україна, МПК (2006) C 04 B 35/26. Склад електрода для електродугового зміцнення низькотемпературною плазмою / Алімов В. І., Афанасьєва М. В. [та ін.]. – № 28801 ; заявл. 19.07.2007 ; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21.

14. Пат. 37861 Україна, МПК (2008) C 21 D 9/22. Спосіб відновлення поверхні зі швидкорізальної сталі / Алімов В. І., Георгіаду М. В., Дурягіна З. А. – № 37861 ; заявл. 25.10.2007 ; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23.

15. Пат. 45796 Україна, МПК (2009) B 23 K 26/00, C 21 D 9/00. Комбінований склад середовища для лазерного легування корозійностійких сталей / Дурягіна З. А., Алімов В. І., Лазько Г. В. [та ін.]. – № 45796 ; заявл. 15.06.2009 ; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.

16. Алимов В. И. Свойства цинковых гальванических покрытий с армирующими частицами / В. И. Алимов, В. Г. Туков, Р. О. Нестеров // Наукові праці ДонНТУ. – 2009. – № 11 (159). – С. 201–205. – (Серія «Металургія»).

17. W. Bochnowski. The Quantitative Analysis of Carbide Phase in High Speed Steels / W. Bochnowski / Archives of Foundry Enginering. – 2007. – Vol. 7, Issue 3. – P. 29–32.

18. Алимов В. И. Трансформация размерного состава карбидов при вторичном переделе быстрорежущего инструмента [Текст] / В. И. Алимов, Ю. В. Лобкова, М. В. Георгиаду // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 12 (177). – С. 308–315.

Алімов В. І. – д-р техн. наук, проф. ДонНТУ;

Георгіаду М. В. – аспірант, асистент ДонНТУ;

Шевелєв О. І. – д-р техн. наук, ген. директор ВАТ «Донсплав», ДП «Техноскрап», ВАТ «Скрап»;

Зубенко В. В. – ген. директор ПП «Кристина».

ДонНТУ – Донецький національний технічний університет, м. Донецьк.

E-mail: alim41@mail.ru; geote@mail.ru

Стаття надійшла до редакції 13.06.2012 р.