

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИХРОСТРУМОВИХ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНКИ ЗМІН СТРУКТУРИ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ТЕПЛОСТІЙКОЇ СТАЛІ ВКС-5

В. М. УЧАНІН¹, М. В. СИДОРЕНКО²

¹Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5.
E-mail: uchanin@ipm.lviv.ua

²Запорізький національний технічний університет. 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64.
E-mail: sip80@inbox.ru

Розглянуто проблему виявлення та оцінки шліфувальних припалювань сталевих виробів. Запропоновано спосіб виготовлення зразків зі шліфувальними припалюваннями різної глибини на основі варіації режимів шліфування. Проведено дослідження зразків із теплостійкої сталі ВКС-5 із припалюваннями загартовування з товщиною від 2...3 до 100 мкм. Використано два вихроструміві методи, побудовані на застосуванні підвищених робочих частот (200 МГц) і визначенні змін імпедансу вихрострумівого перетворювача в діапазоні робочих частот від 5,9 до 8 МГц (змінно-частотний метод). Показано кореляційні залежності показів приладів від товщини припалювання загартовування. Підтверджено високу чутливість вихрострумівого методу до припалювань загартовування, особливо в випадку використання підвищених робочих частот. Сформульовано напрямки подальших досліджень. Бібліогр. 24, рис. 8.

Ключові слова: шліфувальні припалювання, вихрострумівий метод, вихрострумівий перетворювач

Стан проблеми. Зубчасті колеса авіаційних двигунів відносяться до їх найскладніших і найвідповідальніших елементів. Їх експлуатаційні характеристики залежать від точності виготовлення і якості робочих поверхонь, що працюють за умов великих контактних напружень, дії сил тертя і температури [1]. До найбільш складних операцій при їх виготовленні відносяться нарізування, хіміко-термічна обробка і шліфування зубів. Хіміко-термічна обробка передбачає газову цементацію, яка призводить до деформацій і значного зменшення точності виготовлення коліс. Для оптимального профілювання зубчастих коліс процес їх виготовлення завершують шліфуванням робочої поверхні зубів. Процес шліфування може призводити до структурних змін поверхневих шарів (припалювань) і залишкових напружень розтягу, які понижують експлуатаційні властивості виробів через зміни фізико-механічних властивостей матеріалу. Причиною припалювань є високі локальні температури в зоні різання, які за певних умов можуть перевищувати температури структурних і фазових перетворень [1,2]. Аналогічні проблеми можуть виникати в інших галузях машинобудування.

Особливістю термічного режиму шліфування є короткотерміновий нагрів з наступним швидким охолодженням внаслідок відведення теплоти вглиб металу. Процеси структурно-фазових перетворень при цьому визначаються режимами різання, діаграмою стану і теплофізичними характеристиками сталі. Під час нагріву вище певної

критичної температури починає перестроюватися кристалічна гратка з утворенням аустеніту. За звичайних умов охолодження аустеніт перетворюється у мартенсит, що зазвичай спостерігається під час загартовування. Але за високої швидкості охолодження, характерної для процесів шліфування, мартенситне перетворення стримується, що призводить до фіксації значної частки утвореного аустеніту, який викликає припалювання вторинного загартовування. Крім припалювання вторинного загартовування розрізняють припалювання відпуску [3, 4]. Шар припалювання вторинного загартовування має підвищену твердість і процентний вміст аустеніту. Але існують і складніші багат шарові структури (припалювання змішаного типу [4]) – припалювання загартовування (вторинного) з відпуском. В цьому випадку шар вторинного загартовування розташований на м'якій основі відпущеного шару, який потім переходить у нормальну мартенситну структуру основного матеріалу [1, 3, 4]. Це відбувається, коли швидкість охолодження на певній глибині зменшується через зменшення перепаду температур. При цьому аустеніт не фіксується і формуються структури сорбіту або трооститу. В такому випадку загартований шар лежить на основі сильно відпущеного металу і руйнування загартованого шару під дією навантажень є особливо інтенсивним. Припалювання усіх видів зменшують міцність деталей, але припалювання загартовування вважаються більш небезпечними. Зокрема, припалювання зменшують витривалість зубчастих коліс. Випробування на стенді показали, що зубчасті колеса з припа-

люваннями мають довговічність у 1,4...1,6 разів меншу ніж у зубчастих коліс без припалювань [1]. Це пояснюють дією факторів, що сприяють зародженню втомних тріщин.

Огляд методів контролю змін структури поверхневих шарів після шліфування. Для гарантування контактної витривалості зубчастих коліс важливо проводити оцінку структурного стану поверхневих шарів. Контроль зубчастих коліс на наявність припалювань (в тому числі у двигунобудуванні) здійснюють травленням в спеціальних реактивах [5]. До недоліків методу травлення можна віднести його якісний характер, суб'єктивність результатів контролю і погіршення якості поверхні після контролю. Для контролю структурних змін можна також використовувати метод рентгеноструктурного аналізу [6]. Але цей метод вимагає складного обладнання і є трудомістким [6]. Відомий також метод, побудований на вимірюванні контактної різниці потенціалів [7]. Але відомості про практичне використання цього методу відсутні.

До найперспективніших методів для аналізу змін структури поверхневих шарів сталі після шліфування слід віднести електромагнітні методи [8], зокрема, магнітошумовий (шумів Баркгаузена) [9] і вихрострумівий [10–15], які вже знайшли застосування в практиці НК.

Комплексу досліджень із застосування вихрострумівого методу для контролю припалювань проведений на Пермському моторобудівному заводі [10–12]. Автори дослідили вплив параметрів припаленого шару, зокрема, кількість залишкового аустеніту (яка зростає зі збільшенням температури загартовування), на складові імпедансу вихрострумівого перетворювача (ВСП). Показано, що зростання кількості аустеніту до 60 % призводить до суттєвого зменшення реактивної складової імпедансу ВСП, в той час як активна складова практично не змінюється. Очевидно, що це пов'язано зі зменшенням магнітної проникності матеріалу зі збільшенням кількості аустеніту, який має немагнітні властивості. Запропоновано спосіб вихрострумівого контролю, який побудований на аналізі годографів сигналу ВСП в комплексній площині. Згідно цього способу, ВСП встановлюють на зразок, отриманий за оптимальних параметрів шліфування. Поворотом комплексної площини прилад настроюють таким чином, що сигнали від припалювань загартовування і відпустку будуть орієнтовані в різних квадрантах – першому і четвертому відповідно. Тобто, розглянутий спосіб дозволяє не тільки виявити припалювання, а і визначити його тип.

В роботі [13] представлено чотиріканальну вихроструміву установку для виявлення припалювань на робочих поверхнях підшипників із сталі

ШХ15СГ. Кожний канал складається із автогенератора з кварцевим резонатором (10 МГц) в колі зворотного зв'язку. Наявність неоднорідностей поверхневого шару (припалювань) під час скасування кілець виносним ВСП призводить до модуляції амплітуди високочастотних коливань. Об'єднана високочастотних коливань виділяється амплітудним детектором і аналізується схемою амплітудного дискримінатора для формування сигналу індикації про наявність браку.

Дослідження по виявленню припалювань представлено на 19-й Світовій конференції з НК в Мюнхені [14, 15]. Зокрема, досліджено вигляд сигналів від локальних припалювань різного типу. Показано різницю між сигналами ВСП абсолютного і диференційного типу і проаналізовано вплив робочої частоти. Під час досліджень використано штучні припалювання, отримані за допомогою лазера [14]. Подано також результати експериментів по контролю колінчастих валів за допомогою контрольного автомату типу QuaSor E, який комплектували вихрострумівими приладами різного типу [14]. Зокрема, використовували прилад «Eddyvisor» від фірми «ibg Pruefcomputer GmbH» і дефектоскоп «ELOTEST BS 320» від фірми «Rohmann GmbH». Локальні припалювання також імітували за допомогою лазерної обробки. Зокрема, досліджували припалювання загартовування глибиною від 50 до 200 мкм. Найкращі результати для виявлення припалювання найменшої глибини були отримані за допомогою мультидиференційного ВСП на робочій частоті 1,7 МГц.

Досліджувана сталь і методика підготовки зразків. Досліджувались зразки із сталі ВКС–5 (16Х3НВФМБ–III), яка вважається найбільш раціонально легованою (хімічний склад, мас. %: 0,14...0,19 С; 0,4-0,7 Мн; 0,6...0,9 Si; 2,6...3,0 Cr; 1,0...1,5 Ni; 0,4...0,6 Мо; 1,0...1,4 W; 0,35...0,55 V; 0,10...0,20 Nb; Fe решта) і здатною тривалий час зберігати високу твердість (*HRC* 60...63) [1].

Різну товщину структурно зміненого шару на дослідницьких зразках отримували шляхом варіації режимів шліфування згідно способу [16].

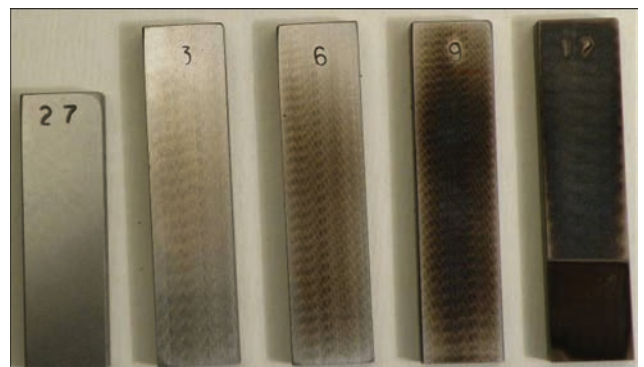


Рис. 1. Зовнішній вигляд зразків із сталі ВКС–5 з шліфувальними припалюваннями різної товщини

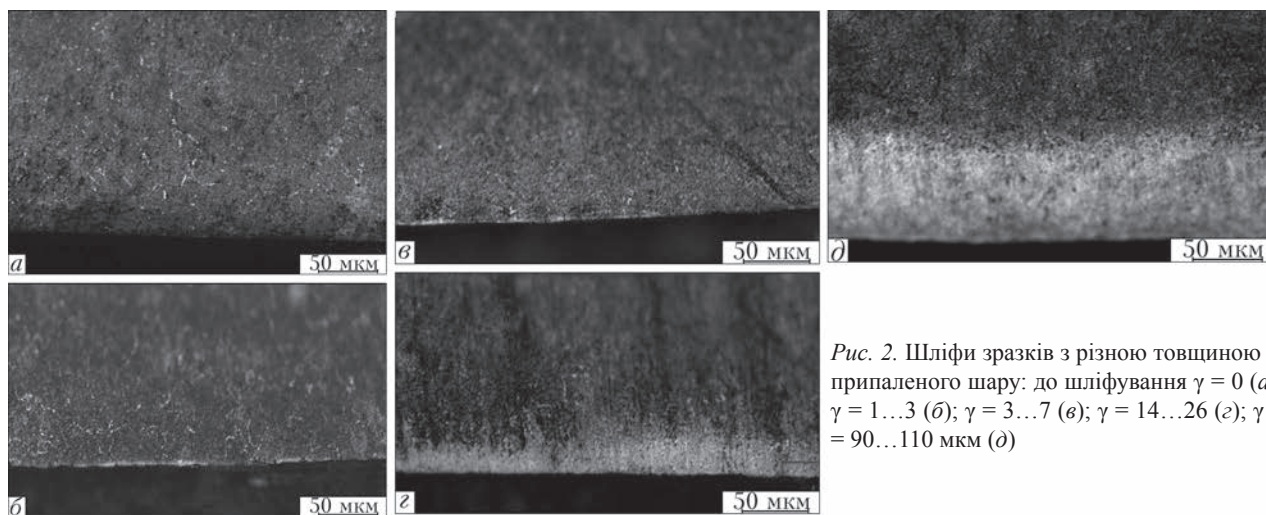


Рис. 2. Шліфи зразків з різною товщиною γ припаленого шару: до шліфування $\gamma = 0$ (а); $\gamma = 1...3$ (б); $\gamma = 3...7$ (в); $\gamma = 14...26$ (г); $\gamma = 90...110$ мкм (д)

Для цього із сталі ВКС–5 були виготовлені заготовки у вигляді пластин розмірами $60 \times 12 \times 4$ мм. Для створення припалювань використано шліфувальний станок ЗГ71 з кругом із карбіду кремнію типу 64С F90 LV на мінімальній швидкості різання. Для отримання різного ступеня припалювань шліфування проводять за різної глибини різання δ – товщини поверхневого шару, яку знімають за один прохід. В нашому експерименті $\delta = 10,0; 20,0; 30,0$ і 40 мкм. З частини заготовок були виготовлені поперечні шліфи, на яких за допомогою металографічного інвертованого мікроскопа Carl Zeiss Observer D1m були визначені товщини припалювань загартовування.

Зовнішній вигляд зразків з різною товщиною припаленого шару представлено на рис. 1. На рис. 2 представлено шліфи зразків з різною товщиною γ припалювання.

Товщини шліфувальних припалювань γ , мкм на дослідницьких зразках із сталі ВКС–5 (рис. 1): для № 27 – 0 (початковий стан); № 3 – $1...3$; № 6 – $3...7$; № 9 – $14...26$; № 12 – $90...110$.

В поверхневому шарі зразків можна спостерігати шліфувальні припалювання загартовування у вигляді білого шару (рис. 2). При цьому мінімальна товщина шару складає $1...3$ мкм, а максимальна – близько 100 мкм. Товщина γ припаленого шару у різних січеннях зразків має деякий розкид. Спостерігається певна кореляційна залежність $\gamma(\delta)$ (рис. 3) товщини поверхневого припаленого шару γ від глибини різання δ – товщини поверхневого шару, що знімається за один прохід інструменту. Ця залежність може бути використана для отримання зразків із сталі ВКС–5 із заданою товщиною припалювання для калібрування і настроювання апаратури контролю [16]. Основною перевагою таких зразків порівняно із зразками, в яких припалювання формують за допомогою лазера [14, 15], є повна відповідність припалюванням на об'єктах контролю, а також можливість формування припалювань в широкому діапазоні заданої

товщини. Крім того, товщину припалювань можна уточнити використанням статистичних підходів [17].

Апаратура для проведення досліджень. Для досліджень використовували два варіанти реалізації методу вихрострумової структуроскопії. Перший передбачає контроль матеріалів на підвищених робочих частотах, який, завдячуючи впливу скін-ефекту, забезпечує високу чутливість до змін електрофізичних параметрів в тонких поверхневих шарах. В іншому варіанті використано змінно-частотний метод, при якому зміни імпедансу ВСП визначали в діапазоні робочих частот.

Для кількісного вихрострумового контролю поверхневих шарів на підвищених частотах раніше запропоновано декілька технічних рішень [18–20], які реалізовано у вихрострумовому структуроскопі типу ВС-11ВЧ (АЛЬФА М) (рис. 4) [21]. Використовували варіант приладу, що працює в режимі зриву генерації на підвищеній робочій частоті 200 МГц у виносному автогенераторному ВСП з мініатюрною обмоткою діаметром $0,5$ мм, що забезпечує максимальну чутливість до зміни електрофізичних властивостей тонкого поверхневого шару матеріалу [19]. В приладі реалізовано спосіб кількісної оцінки па-

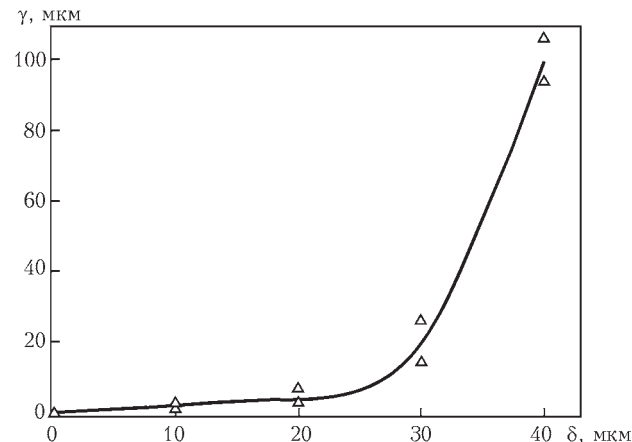


Рис. 3. Залежність товщини припаленого шару γ від глибини різання δ



Рис. 4. Вихрострумний структуроскоп ВС-11В4 (АЛЬФА М)



Рис. 5. Комп'ютеризована вихрострумова система F-SECT

раметрів шарів шляхом реєстрації зміни граничних значень керуючої напруги виносного автогенераторного ВСП з діаметром обмотки 0,5 мм [20].

Для вимірювання модуля імпедансу параметричного ВСП змінно-частотним методом використовували вихроструміву систему F-SECT (рис. 5), розроблену італійською фірмою CESI для аналізу експлуатаційної деградації структури високотемпературних поверхневих шарів лопаток газових турбін [22, 23]. Прилад дозволяє реєструвати зміни імпедансу параметричного ВСП у вигляді тонкоплівкової спіралі в широкому діапазоні робочих частот.

Результати досліджень. Залежність показів вихрострумівого структуроскопа типу ВС-11В4 (АЛЬФА М) на робочій частоті 200 МГц під час дослідження зразків зі шліфувальними припалюваннями загартовування товщиною від 3 до 100 мкм подано на рис. 6 [24]. Під час побудови залежностей використовували середнє значення товщини припалювання.

Видно, що застосування підвищеної робочої частоти 200 МГц призводить до високої чутливості до шліфувальних припалювань. Для кожного зразка існує розкид показів, що пов'язано з неоднорідністю товщини структурно зміненого стану на різних ділянках зразка (див. рис. 2). Але

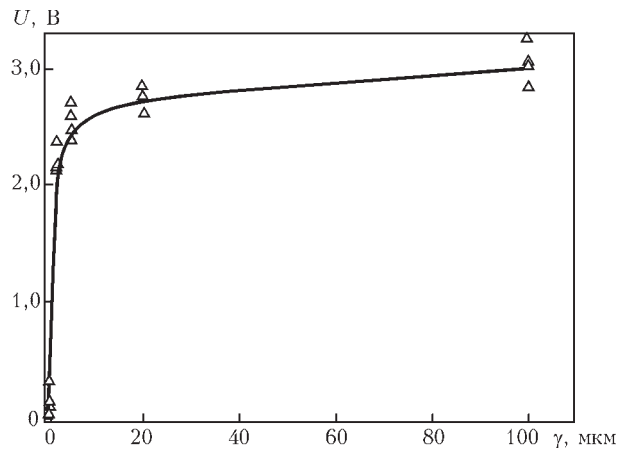


Рис. 6. Залежність показів структуроскопа ВС-11В4 від товщини припаленого шару γ

цей розкид незначний порівняно зі змінами показів приладу навіть для припалювання найменшої товщини (до 1...3 мкм). Така чутливість набагато перевищує чутливість, подану в роботах [14, 15], що пов'язано з набагато більшою робочою частотою в нашому експерименті. При цьому покази структуроскопа різко змінюються на початку діапазону змін товщини припаленого шару (до 7...10 мкм), після чого спостерігається певне насичення і покази структуроскопа в діапазоні від 7...10 мкм до 100 мкм змінюються на незначну величину. Такий характер залежності також можна пояснити сильним впливом скін-ефекту через нетрадиційно високу робочу частоту (200 МГц). Таким чином, існує статистична кореляція між показами структуроскопа і товщиною припалених шарів, що дозволяє стверджувати про можливість кількісної оцінки глибини припалювань загартовування (особливо в діапазоні малої товщини припалювання).

Під час досліджень змінно-частотним методом за допомогою вихрострумівого системи F-SECT використовували 21 робочу частоту в діапазоні від 0,59 до 8,0 МГц. Реалізовано режим нормування імпедансу на кожній із використовуваних робочих частот. При цьому на кожній частоті приведений модуль імпедансу $Mod Z'$ для зразка без припалювання після нормування відповідає нулю, а з припалюванням максимальної товщини 100 мкм дорівнює одиниці. Для інших зразків з проміжною товщиною припаленого шару приведений імпеданс за такого нормування буде знаходитися в діапазоні $0 < Mod Z' < 1,0$. Результати досліджень представлено у вигляді частотної залежності модуля нормованого імпедансу $Mod Z'$ для зразків з припаленим шаром різної товщини (рис. 7) і залежності модуля нормованого імпедансу $Mod Z'$ від товщини припалювання для крайніх робочих частот діапазону 0,59 і 8,0 МГц (рис. 8).

Наведені результати (рис. 7, 8) показують надійну амплітудну дискримінацію сигналів за тов-

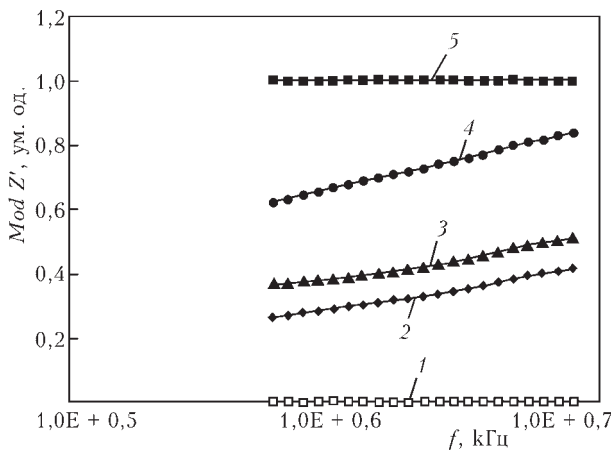


Рис. 7. Частотна залежність модуля нормованого імпедансу $Mod Z'$ для зразків з різною товщиною γ припаленого шару: до шліфування $\gamma = 0$ (1); $\gamma = 1 \dots 3$ (2); $\gamma = 3 \dots 7$ (3); $\gamma = 14 \dots 26$ (4); $\gamma = 90 \dots 110$ мкм (5)

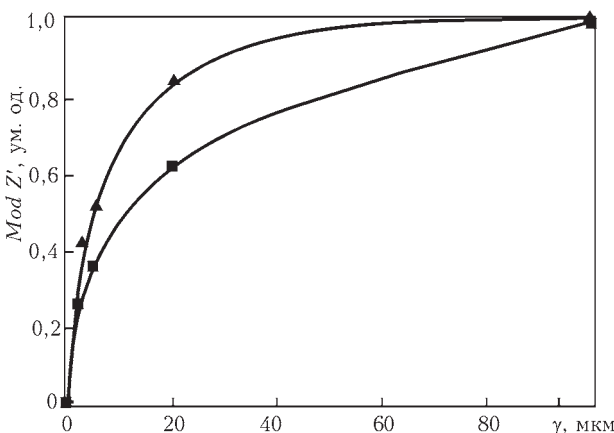


Рис. 8. Залежності модуля нормованого імпедансу $Mod Z'$ від товщини припалювання для робочих частот 0,59 (1) і 8,0 (2) МГц

щиною припалювання загартовування на різних частотах від 0,59 до 8 МГц. Залежності модуля нормованого імпедансу на рис. 8 для робочих частот 0,59 і 8,0 МГц якісно подібні на залежність на рис. 6, що вказує на загальний характер отриманих закономірностей незалежно від варіанту реалізації вихрострумowego методу. Відмінність полягає у меншій швидкості зміни сигналу на початковій ділянці діапазону зміни товщини припалювання на менших робочих частотах (рис. 8). Тут насичення настає пізніше і суттєві зміни модуля імпедансу відбуваються до товщини припалювання 20 мкм. Зміни модуля імпедансу при зміні глибини припалювання більш повільні для меншої робочої частоти 0,59 МГц.

Висновки

Наведені результати показали принципову можливість виявлення і оцінки товщини шліфувальних припалювань за допомогою вихрострумowego методу. Зокрема, це стосується найбільш небезпечних припалювань загартовування. Завдяючи невеликим розмірам ВСП можна досягти

нути високої локальності контролю. При цьому чутливість до припалювань малої глибини збільшується зі збільшення робочої частоти.

Методика виготовлення зразків з припалюваннями заданої глибини може бути реалізована шляхом варіації режимів шліфування на основі отриманих попередньо кореляційних залежностей.

Подальші дослідження передбачають розробку методів вихрострумowego контролю, що забезпечують можливість визначення типу і параметрів припалювання шляхом аналізу сигналу ВСП в комплексній площині.

1. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей / Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов, И. П. Нежурич [и др.]; под ред. Ю. С. Елисеева. – М.: Высшая школа, 2001. – 493 с.
2. Ящерицын П. И. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей / П. И. Ящерицын, А. К. Цокур, М. Л. Еременко. – Минск: Наука и техника, 1973. – 184 с.
3. Лебедев В. Г. Механизм образования прижогов при шлифовании деталей из закаленных сталей / В. Г. Лебедев, Н. Н. Клименко, С. А. Аль-Аджелат // Наукові нотатки. 2013. – Вип. 40. – С. 141–143.
4. Лебедев В. Г. Фазово-структурный состав поверхностных слоев деталей при шлифовании / В. Г. Лебедев, Е. А. Луговская // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. – 2015. – Вип. 3(8). – С. 204–212.
5. ISO 14104:2014. Gears – Surface temper etch inspection after grinding, chemical method, International Organization for Standardization, 2014. – 17 p.
6. А. с. 949440 СССР, МКИ G01N23/20. Способ определения поверхностных прижогов / М. А. Тихонов, А. П. Сарычев, И. С. Ульянов; опубл. 07.08.82, Бюл. № 29.
7. Пат. 2407996 Россия. Неразрушающий способ экспрессного выявления зон на поверхности металлических деталей со шлифовочными или эксплуатационными прижогами / Э. А. Кочаров, В. С. Олешко; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 36.
8. Учанин В. Н. Оптимизация электромагнитного контроля поверхностных слоев зубчатых колес ГДТ, изготовленных из теплостойких сталей / В. Н. Учанин, М. В. Сидоренко, А. И. Вильчек // Доклады X Межд. научн.-техн. конф. «Прогрессивные технологии жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок», Алушта: сборник тезисов докладов. – Запорожье: изд-во Запорожского национального технического ун-та, 2013. – С. 106–107.
9. Суоминен Л. Обнаружение дефектов шлифования деталей из ферромагнитных материалов с использованием эффекта Баркгаузена / Л. Суоминен // В мире неразрушающего контроля. – 2011. – № 2 (52). – С. 74–78.
10. Остапенко В. Д. Применение электроиндуктивного метода для оценки физического состояния шлифованной поверхности стали / В. Д. Остапенко, В. С. Гайдамакин, О. П. Чихачев // Дефектоскопия. – 1971. – № 5. – С. 56–61.
11. А. с. 3767II СССР, МКИ G01N27/86. Способ контроля качества шлифования ферромагнитных сталей / В. Д. Остапенко, В. С. Гайдамакин, О. П. Чихачев; опубл. 5.04.1973, Бюл. № 17.
12. Остапенко В. Д. Исследование возможности контроля качества шлифования закаленных сталей токовихревым методом / В. Д. Остапенко, В. С. Гайдамакин, О. П. Чихачев. – М.: Энергия, 1971. – 173 с.
13. Мельников И. В. Неразрушающий контроль поверхностных слоев рабочих поверхностей деталей подшипников / И. В. Мельников, Е. Н. Семенов, Р. К. Трушкевич // Сб. научных трудов ВНИИПП. – 1987. – Вып. 3. – С. 146–158.
14. Zösch A. Detection of Near Surface Damages in Crank Shafts by Using Eddy Current Testing / A. Zösch, Ch. Seidel, K. Härtel // 19th World Conf. on Non-Destructive Testing. – Munich. – 2016. – Access mode: www.ndt.net.

15. Härtel K. Various Approaches to Obtain an Eddy Current Signal in Case of Overheating / K. Härtel, A. Zösch, M. Seidel, Ch. Seidel // 19th World Conf. on Non-Destructive Testing. – Munich. – 2016. – Access mode: www.ndt.net.
16. Пат. 100738 Україна. МПК G01N27/90. Спосіб виготовлення зразків для налаштування приладів контролю змін структури під час шліфування поверхні / В. М. Учанін, М. В. Сидоренко; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.
17. А. с. 1753394 СССР, МКИ G 01 N 27/90. Способ получения меры для поверки приборов неразрушающего контроля / В. Н. Учанин, Ю. В. Поздняков, Ю. Н. Агапов. – № 4733631/28; опубл. 07.08.92, Бюл. № 29.
18. Uchanin V. Elevated Frequencies in Eddy Currents – New Possibilities of Thin Surface Layer Evaluation / V. Uchanin // 15th World Conference on Nondestructive Testing. – Rome. – 2000. – Access mode: www.ndt.net.
19. А. с. 1785341 СССР, МКИ G 01 N 27/90. Вихретоковый преобразователь / В. Н. Учанин, Ю. С. Грабский, И. Г. Яковенко. – № 4851379/28; заявл. 16.07.90.
20. А. с. 1663525 СССР, МКИ G 01 N 27/90. Способ вихретокового контроля тонких поверхностных слоев / В. Н. Учанин, Н. П. Калинин, Ю. С. Грабский; опубл. Бюл. № 26.
21. Учанін В. М. Розробка методів та засобів контролю пошкодженості приповерхневих шарів виробів із титанових сплавів / В. М. Учанін, О. П. Остап // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. – Київ: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, 2006. – С. 578–582.
22. Antonelli G. Non-destructive condition assessment of serviced MCrAlY coatings / G. Antonelli // Turbine Forum: Nice-France, 2002.
23. Пат. 7175720 США, МКИ C21D1/55. Non-destructive testing method of determining the depletion of a coating / Schnell G., Antonelli K., Germerdonk (Швейцарія, Італія); – № 10/726542; заявл. 4.12.2003; опубл. 13.02.2007; НКІ 148/509. – 8 с.
24. Учанін В. М. Вихрострумовий метод виявлення та оцінки змін структури під час шліфування виробів із теплостійких сталей / В. М. Учанін, М. В. Сидоренко // Матеріали 7-ї Міжн. наук.-техн. конф. «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання». – Ів.-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. – С. 42–45.

The problem of detection and assessment of grinding burn marks in steel products is considered. A method is proposed to prepare samples with grinding burn marks of different depth, based on variation of grinding modes. Investigation of samples from heat-resistant steel VKS-5 with hardening burn marks of thickness from 2...3 to 100 μm was conducted. Two eddy current methods, which are based on application of higher working frequencies (200 MHz), were used, and changes of impedance of eddy current converter in working frequency range from 5.9 to 8 MHz (variable frequency method) were determined. Correlation dependencies of instrument readings on hardening burn mark thickness are shown. High sensitivity of eddy current method to hardening burn marks was confirmed, particularly in the case of application of higher working frequencies. Directions of further studies were defined. 24 References, 8 Figures.

Надійшла до редакції
02.08.2016



Национальная академия наук Украины
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Международная Ассоциация «СВАРКА»

**Международная конференция
СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ —
СЕГОДНЯ И В БУДУЩЕМ**

Посвящается 100-летию Национальной академии наук Украины

5–6 декабря 2018 г.

г. Киев

Научные направления конференции

- ◆ Технологии, материалы и оборудование для сварки и родственных процессов
- ◆ Прочность сварных конструкций, теоретические и экспериментальные исследования напряженно-деформированных состояний
- ◆ Усовершенствование сварных конструкций, автоматизация их расчетов и проектирования, оценка и продление ресурса
- ◆ Новые конструкционные материалы
- ◆ Неразрушающий контроль и техническая диагностика
- ◆ Инженерия поверхности
- ◆ Сварка в медицине — технологии, оборудование; наноматериалы и нанотехнологии
- ◆ Проблемы экологии сварочного производства
- ◆ Специальная электрометаллургия
- ◆ Стандартизация, сертификация продукции сварочного производства; подготовка и аттестация специалистов

Тезисы докладов направлять до 01.11.2017 г. в адрес оргкомитета:

E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com