

ISSN (Print) 2616-6844
ISSN (Online) 2663-1318

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

BULLETIN

of L.N. Gumilyov
Eurasian National University

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

THE TECHNICAL SCIENCES and TECHNOLOGY Series

Серия **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

№ 2(131)/2020

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2020

Nur-Sultan, 2020

Нур-Султан, 2020

Бас редакторы **Мерзодинова Г.Т.**
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Бас редактордың орынбасары **Жусупбеков А.Ж.**
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Бас редактордың орынбасары **Тогизбаева Б.Б.**
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Бас редактордың орынбасары **Сарсембаев Б.К.**
т.ғ.к., доцент, Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Редакция алқасы

Акира Хасегава	проф., Хачинохе технологиялық институты, Хачинохе, Жапония
Акитоши Мочизуки	проф., Токусима Университеті, Токусима, Жапония
Базарбаев Д.О.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Байдабеков А.К.	т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамкан Университеті, Тайбэй, Тайвань
Жардемов Б.Б.	т.ғ.д., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Жумагулов М.Г.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Йошинори Ивасаки	проф., Геологиялық зерттеулер институты, Осака, Жапония
Калякин В.Н.	проф., Делавэр Университеті, Ньюарк, АҚШ
Тулбекова А.С.	проф., Токио Университеті, Токия, Жапония
Тадатсугу Танака	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Хое Линг	проф. Колумбия Университеті, Нью-Йорк, АҚШ
Утепов Е.Б.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Чекаева Р.У.	а.к., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Шахмов Ж.А.	PhD, доцент., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Юн Чул Шин	проф., Инчон ұлттық университеті, Инчон, Оңтүстік Корея

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-428). E-mail: vest_techsci@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

Меншіктенуші: ҚР БЖҒМ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» ШЖҚ РМК

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018 ж.

№16991 -ж тіркеу куәлігімен тіркелген

Басуға 07.06.2020 ж. қол қойылды.

Тиражы: 25 дана

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі 12/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-428). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

*Editor-in-Chief **Gulnara Merzadinova***
Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan
*Deputy Editor-in-Chief **Askar Zhussupbekov***
Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan
*Deputy Editor-in-Chief **Baglan Togzibayeva***
Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan
*Deputy Editor-in-Chief **Bayandy Sarsembayev***
Assoc. Prof., Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Editorial board

Akira Hasegawa	Prof., Hachinohe Institute of Thechnology, Hachinohe, Japan
Akitoshi Mochizuki	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
Daniyar Bazarbayev	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Auez Baydabekov	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Rahima Chekaeva	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Der Wen Chang	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
Eun Chul Shin	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea
Hoe Ling	Prof., Columbia University, New York, USA
Viktor Kaliakin	Prof., University of Delaware, Newark, Delaware, USA
Zhanbolat Shakhmov	Assoc.Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Tadatsugu Tanaka	Prof., University of Tokyo, Tokyo, Japan
Assel Tulebekova	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Yelbek Utepov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Yoshinori Iwasaki	Prof., Geo Research Institute, Osaka, Japan
Bolat Zardemov	Doctor of Engineering, L.N. Gumilyov ENU, NurSultan, Kazakhstan
Mihail Zhumagulov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, Kazakhstan, 010008

Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-428), E-mail: vest_techsci@enu.kz

Responsible secretary, computer layout: Aizhan Nurbolat

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

TECHNICAL SCIENCES and TECHNOLOGY Series

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct «L.N. Gumilyov Eurasian National University» Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Registration certificate №16991-ж from 27.03.2018. Signed in print 07.06.2020.

Circulation: 25 copies

Address of Printing Office: 12/1 Kazhimukan str., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan 010008

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-428). Website: <http://bultech.enu.kz>

Главный редактор **Мерзудинова Г.Т.**
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Зам. главного редактора **Жусупбеков А.Ж.**
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Зам. главного редактора **Тогизбаева Б.Б.**
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Зам. главного редактора **Сарсембаев Б.К.**
к.т.н., доцент, Назарбаев университет, Нур-Султан, Казахстан

Редакционная коллегия

Акира Хасегава	проф., Технологический институт Хачинохе, Хачинохе, Япония
Акитоши Мо- чизуки	проф., Университет Токусима, Токусима, Япония
Базарбаев Д.О.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Байдабеков А.К.	д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамканский Университет, Тайбэй, Тайвань
Жардемев Б.Б.	д.т.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Жумагулов М.Г.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Йошинори Ивасаки	проф., Институт геологических исследований, Осака, Япония
Калякин В.Н.	проф., Делаверский Университет, Ньюарк, США
Тадатсугу Танака	проф., Токийский Университет, Токио, Япония
Тулбекова А.С.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Хое Линг	проф., Колумбийский университет, Нью-Йорк, США
Утепов Е.Б.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Чекаева Р.У.	к.а., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Шахмов Ж.А.	PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Юн Чул Шин	проф., Инчхонский национальный университет, Инчхон, Южная Корея

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-428). E-mail: vest_techsci@enu.kz

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Нурболат

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.

Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Собственник: РГП на ПХВ «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева» МОН РК

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Регистрационное свидетельство №16991-ж от 27.03.2018 г. Подписано в печать 07.06.2020 г.

Тираж: 25 экземпляров. Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-428). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абдрасилова Г.С., Туякаева А.К., Козбагарова Н.Ж.</i> Изучение агропромышленной архитектуры с элементами энерго эффективных технологий: опыт факультета архитектуры КазГАСА	8
<i>Байхожаева Б.У., Жайманова Ы.Т.</i> Разработка рекомендаций к построению риск – ориентированной модели государственного контроля за соблюдением требований технических регламентов Таможенного союза	14
<i>Балабекова К.Г., Тогизбаев Б.К.</i> Анализ прочности поршня в Solid Works Simulation	22
<i>Бекбасаров И.И., Атенев Е.И.</i> Сопротивляемость моделей свай с уширениями ствола на горизонтальную и выдергивающую нагрузки	27
<i>Бисакаев С.Г., Бекеева С.А., Джумагулова Н.Г.</i> Степень профессионального риска работников строительной организации в зависимости от условий труда	39
<i>Жумабеков А.Т., Айдарханова А.Н.</i> Анализ неисправностей рулевого управления легкового автомобиля	45
<i>Кабикенов С.Ж., Исабаев М.С., Мухаметжанова А.С.</i> Городской транспорт в развивающихся странах за пределами мегаполисов	52
<i>Казиева Г.Д., Абжанова А.Е., Есекеева М.Ж., Сагнаева С.К., Сембина Г.К.</i> Инструментальная платформа OLAP анализа данных экологического мониторинга	66
<i>Канаев А.Т., Ахмедьянов А.У., Киргизбаева К.Ж., Косанова И.М.</i> Определение физико-механических характеристик плазменно-закаленной колесной стали методом наноиндентирования	78
<i>Кенжебаев К.Ж.</i> Индивидуальная программа учета простоев локомотивов ТЭ33А на внеплановых ремонтах как инструмент для анализа ремонтпригодности	87
<i>Крыкбаев М.М., Шедреева И.Б., Тлешова А.С.</i> Практическая реализация эффекта самоадаптации в решетке Брэгга, показывающая отрицательный наклон характеристики	94
<i>Оразбаев Б.Б., Зинагабденова Д.Р., Н.А.</i> Программный комплекс «Автоматизированная система управления сбора данных и учета газа»	101
<i>Садыкова С.Ш., Молдалиева Г.Т.</i> Современные принципы формирования архитектуры эко-ферм	112
<i>Сулеев Д.К., Утепов Е.Б., Буришуква Г.А., Карменов К.К.</i> Исследование легированных литых сплавов с наноструктурным покрытием, обладающих повышенными демпфирующими свойствами	121
<i>Сулейменов Т.Б., Жомартов Р.А.</i> Модернизация технологии обработки поездов при смене колеи на границе КНР/РК	131

А.Т. Канаев¹, А.У. Ахмедьянов²,
К.Ж. Киргизбаева², И.М. Косанова¹
¹Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина,
Нур-Султан, Казахстан
²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан
(E-mail: aman-kanaev2012@yandex.ru, abdulla261@yandex.ru, kirg-kam@yandex.ru, ind_jm@mail.ru)

Определение физико-механических характеристик плазменно-закаленной колесной стали методом наноиндентирования

Аннотация: В данной статье представлен способ измерения физико-механических качеств плазменно-закаленной колесной стали наноиндентированием. Приведены особенности измерения физико-механических качеств – твердости, модуля Юнга, упругого восстановления, действующих на износостойкость поверхностных слоев материала, собственно что разрешает оценить и выбрать лучшую технологию трансформации плоскости методом поверхностной плазменной закалки. Замечено, собственно что объективность определения твердости, модуля упругости, упругого восстановления и напряжения течения находится в зависимости от характеристик используемого измерительного оснащения и серьезного соблюдения требований по глубине отпечатка в зависимости от глубины плазменной закалки.

Установлено, что несмотря на возросший размер фактической информации, полученный методом наноиндентирования, физическое обоснование микромеханизмов твердости остается недостаточным, поэтому необходимо обоснование физических представлений о природе твердости, вообще и нанотвердости, в частности.

Ключевые слова: наноиндентирование, твердость, модуль Юнга, упругое восстановление, гребень и обод колеса, микромеханизм твердости.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2020-131-2-78-86>

Введение. Надежность и долговечность деталей машин и устройств, работающих в критериях трения и износа, во многих случаях гарантируется за счет повышения твердости поверхностного слоя. В реальности же, в реальных условиях эксплуатации минимизация износа находится в зависимости от упругости и стойкости к деформациям поверхностного слоя не меньше, чем от твердости [1,2]. Эти качества ориентируются основными физико-механическими показателями поверхностного слоя, то есть, твердостью, модулем упругости

и упругим восстановлением. Измерение данных параметров производят с использованием инструментального индентирования (наноиндентирования) по ISO 14577-1:2015, а их измерение вероятно методом модификации поверхности, к примеру, плазменной закалкой.

Постановка задачи. С выходом и развитием способа непрерывного измерительного наноиндентирования стала вероятной количественная оценка некоторых важных характеристик металлических материалов в пределах отдельных субмикроскопических зон, в частности, твердости по Виккерсу, модуля Юнга, напряжения течения и др. Так, в работе методом наноиндентирования измеряется твердость субмикроструктурных алюминиевых сплавов. Главные задачи - ввести предельные показания твердости, упругой деструкции и соответственного напряжения способом автоматического индентирования и проведение опытных исследований, нацеленных на увеличение износостойкости закаленной конструкционной стали наноструктурирующей фрикционной обработкой, с использованием сканирующих зондовых микроскопов и нанотвердомеров для исследования механических показателей материалов на наноуровне.

История. Прогрессивное становление науки и технологий, созданные по нанотехнологиям новые материалы требуют пересмотра способов и оснащения при оценке физико-механических качеств материалов. Результаты, полученные по данным способам оценки механических качеств материалов, не сопоставимы между собой по условиям, которые предъявляет современное производство. Поэтому весьма актуальным является мониторинг состояния вопроса в области твердомерии и поиск методов их дальнейшего развития.

Методы исследования. Способ наноиндентирования заключается во вдавливании индентора с алмазным наконечником, с действующей на него нагрузкой, в приповерхностный слой исследуемого материала и определения толщины этого слоя с поддержкой программного обеспечения нанотвердомера.

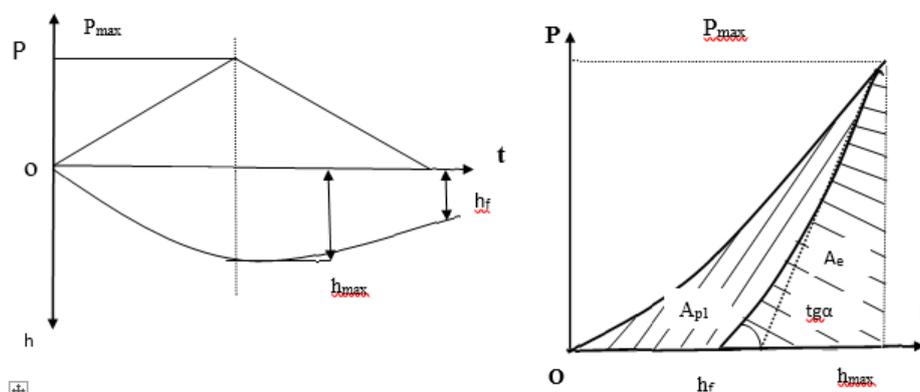
Измерение основных механических показателей колесной стали, подвергнутой поверхностной плазменной закалке, осуществлялось на установке УПНН-170 научно-производственного предприятия «ПлазмаЦентр» (г.Санкт-Петербург, РФ).

Технические показатели установки УПНН-170: номинальный ток – 120 А, номинальное рабочее напряжение – не более 42 В, расход аргона - 5 л/мин, расход охлаждающей воды - 180-220 л/час. Измерение твердости проводили путем наноиндентирования в «Центре исследования свойств материалов» Томского политехнического университета (г.Томск, РФ).

Образцы для изучения размерами 20x30мм подвергали шлифованию и полировке на станке LaboPol-5 производства Дании. В итоге электрохимической полировки высота шероховатости плоскости не превышала 10нм. Для каждой выбранной поверхности образца получали СЗМ-изображение, а их обработку и мониторинг проводили с помощью программных средств Nova. При проведении эксперимента использовали зондовый датчик типа SPMProdeNSC 15/AIBS. Найденная таким образом твердость по Виккерсу равна среднему давлению на контактную поверхность «индентор-образец». В качестве индентора применена равносторонняя 4-х гранная алмазная пирамида. Измерение твердости осуществляли в критериях непрерывного нагружения линейно нарастающей во времени нагрузкой до 150mH при комнатной температуре [1].

Нагружение-разгружение индентора и запись диаграммы $P-h$ (прикладываемая нагрузка P и глубина внедрения индентора h) осуществлялись автоматизированным способом. Такой метод исследования твердости, названный методом кинетической твердости (непрерывного вдавливания индентора) дает возможность в одном цикле «нагружение-разгружение» определять глубину невосстановленного h_{max} и восстановленного (пластического) h отпечатков, модуль Юнга, кроме этого работу пластической и упругой деформации в процессе индентирования.

На рисунке 1 представлена конфигурация изменения нагрузки P и глубины внедрения h индентора в цикле «нагружение–разгрузка» (а) и диаграмма зависимости нагрузки P от глубины внедрения h (б).



а) – конфигурация изменения нагрузки P и глубины внедрения h индентора в цикле «нагружение – разгрузка»

P – нагрузка; h – глубина внедрения индентора; P_{\max} – максимальная нагрузка, прикладываемая к образцу; h_{\max} – глубина внедрения индентора; h_f – остаточная область впоследствии разгрузки; A_{p1} – работа пластической деформации; A_e – работа упругой деформации; $\text{tg}\alpha$ – наклон линейной разгрузочной части.

Рисунок 1 – Метод кинетической твердости (непрерывного вдавливания индентора).

Величину отпечатка индентора определяли по наибольшей глубине погружения индентора h_{\max} , применяя данные полуконтактной сканирующей зондовой микроскопии. Скорость нагружения и разгрузки индентора составили 300 мН/мин. Для обработки результатов испытаний применяли способ Оливера и Фора.

Твердость определялась максимальной нагрузкой P_{\max} , поделенной на проецируемую площадь контакта после разгрузки:

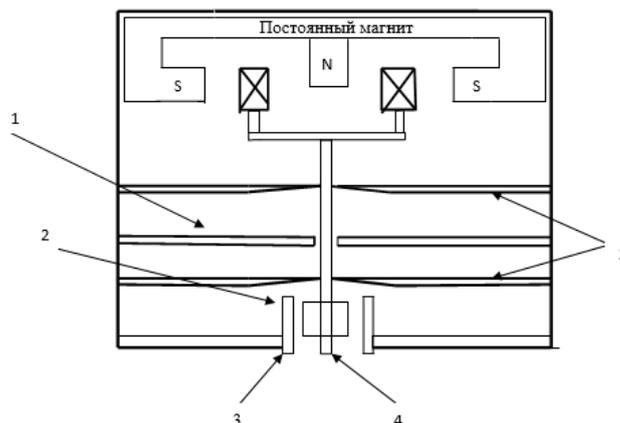
$$H = \frac{P_{\max}}{A_{PC}} \quad (1)$$

Твердость по Виккерсу определяется максимальной нагрузкой P_{\max} , поделенной на площадь контакта после разгрузки:

$$H_v = \frac{P_{\max}}{A_c * 9.81} \quad (2)$$

Заметим, что информативные показатели такого метода превосходят показатели статического индентирования, практически, это эквивалентно переходу от измерения одного количественного показателя (например, предела текучести – σ_m , временного сопротивления разрыву – σ_b и др.) к непрерывной регистрации диаграмм нагружения.

Улучшение данного способа заключается в автоматизации процесса измерения и максимального сокращения величины нагрузки на индентор с адекватным увеличением чувствительности процесса измерения, в связи с чем, данный способ называется наноиндентированием [2].



1 – магнитный экран; 2 – емкостный сенсор; 3 – сапфировое кольцо; 4 – алмазный наконечник;
5 – пружины; 6 – катушка.

Рисунок 2 – Схема нанотвердомера “NanoHardnessTester” фирмы CSEM

Работа нанотвердомера «Nano Hardness Tester» заключается в том, что в итоге пропускания импульса тока по катушкам, находящимся в магнитном поле постоянного магнита, формируется электрическое поле, которое дает нагрузку на индентор с алмазным наконечником.

Индентор опускается в точку поверхности образца с заданной предварительно нагрузкой. После того, как нагрузка на него достигла своего максимального значения, а направление тока катушек меняется в противоположную сторону, он возвращается в свое исходное положение.

Сапфировое кольцо предназначено для определения перпендикулярности расположения образца относительно индентора. Если это требование не выполняется и образец располагается под наклоном, то на одном из емкостных датчиков возникает знак, который запрещает процесс индентации. В данном случае нужно заново переустановить исследуемый образец.

Пружины необходимы для удержания индентора, а магнитный экран гарантирует защиту прибора от электромагнитных наводок.

Результаты. Обработка экспериментальных данных выполняется по результатам измерений не менее 3 отпечатков, полученных при одинаковых критериях эксперимента. Прежде, чем индентор начинает опускаться на поверхность материала, дается нагрузка, с которой он будет давить на образец.

На рисунке 3 изображены отпечатки индентора в приповерхностном слое материала.

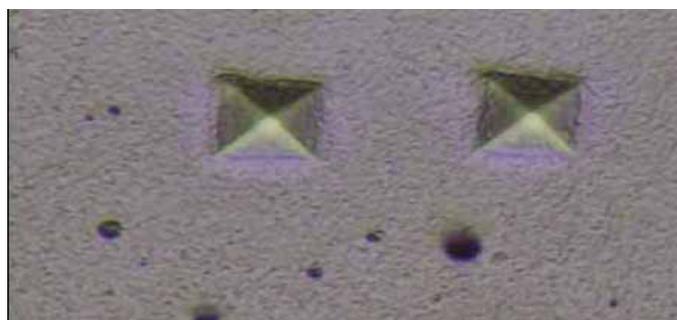


Рисунок 3 – Отпечатки индентора в приповерхностном слое материала

На рисунке 4 представлен интерфейс нанотвердомера кривых нагружения и разгружения, указывающие процесс индентации образца №1, вырезанного из обода колеса.

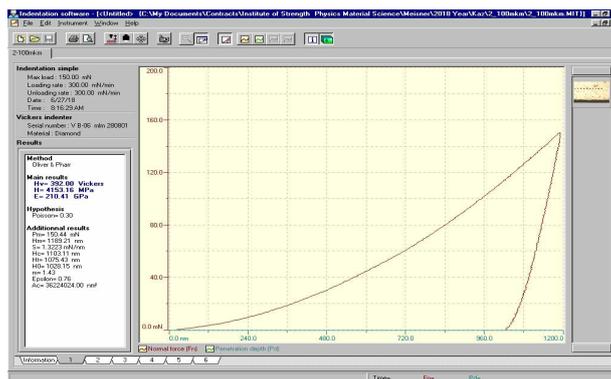


Рисунок 4 – Пользовательский интерфейс нанотвердомера с результатами твердости Н, твердости по Виккерсу H_V и модуля Юнга Е (Образец №1)

На рисунке 5 представлен интерфейс нанотвердомера кривых нагружения и разгрузки, указывающие процесс индентации образца №2, вырезанного из гребня колеса.

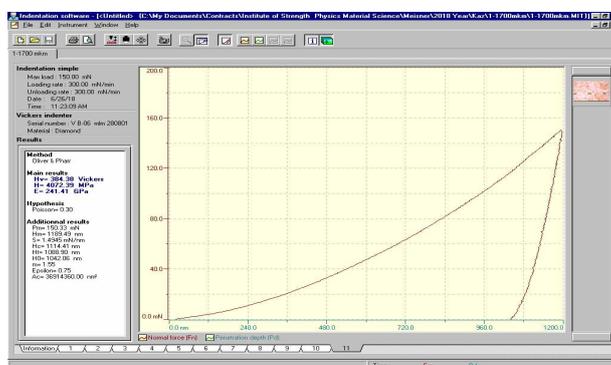


Рисунок 5– Пользовательский интерфейс нанотвердомера с результатами твердости Н, твердости по Виккерсу H_V и модуля Юнга Е(Образец №2)

Образцы №1 и №2 подвергнуты поверхностной плазменной закалке при одинаковых условиях.

После достижения нагрузки максимального значения, индентор начинает разгружаться, а действующая на него нагрузка, постепенно сводится к нулю и он сам возвращается в исходное состояние. При этом получается кривая разгрузки, которая демонстрирует, что при индентации образец деформируется упруго-эластично, т.е. материал из-под индентора в свое прежнее состояние возвращается не до конца. Несоответствие линии нагрузки и разгрузки, разъясняется не упругостью исследуемого материала.

Измеренные механические характеристики обода и гребня колеса представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Измеренные механические характеристики обода колеса

№ п/п	Механические характеристики при 20 мкм отступления от края образца вглубь металла			Механические характеристики при 1700мкм отступления от края образца вглубь металла		
	HV	H, МПа	E, ГПа	HV	H, МПа	E, ГПа
1	398,0	4222,86	217,32	366,22	4939,52	254,11
2	345,32	4082,4	226,33	378,08	4005,66	265,44

3	361,22	3827,01	211,70	353,25	3954,54	254,95
4	399,10	4122,39	221,29	354,25	3753,25	245,98
5	358,02	3793,15	229,06	383,95	4067,88	230,76
6	385,26	4187,66	252,30	397,99	4216,62	248,90
7	366,76	3885,8	243,07	385,83	4087,81	230,62
8	376,15	4191,21	235,22	389,62	3916,01	241,58
9	376,59	4307,7	233,89	398,50	4222,04	253,07
10	373,92	3855,66	236,25	386,23	4092,04	251,74
11	366,71	3885,21	242,59	-	-	-
Сред.	373,37	4032,8	231,7	379,4	4125,54	247,7

Таблица 2 – Измеренные механические характеристики гребня колеса

№ п/п	Механические характеристики при 40 мкм отступления от края образца вглубь металла			Механические характеристики при 100 мкм отступления от края образца вглубь металла		
	HV	H, МПа	E, ГПа	HV	H, МПа	E, ГПа
1	330,74	3715,99	287,72	392,01	4153,16	210,41
2	354,93	3760,39	244,69	356,29	3774,81	220,65
3	354,65	3545,52	219,53	387,87	4109,37	230,99
4	365,16	3568,82	242,74	370,25	3922,27	231,84
5	367,65	3895,16	239,30	375,79	3981,44	247,86
6	-	-	-	366,42	3882,17	337,77
Сред.	354,6	3697,2	246,8	374,8	3970,5	246,6

Из сопоставления данных таблиц 1 и 2 видно, что HV и H обода колеса больше, чем соответствующие значения гребня, а значения модуля Юнга гребня колеса, наоборот, больше у гребня по сравнению с ободом (246,8-231,7). Обращает внимание и то, что численные показатели измеренных механических характеристик (HV, H, E) выделяются от сопоставимых значений интерфейса нанотвердомера, отображающего процесс индентации при нагружении и разгрузении.

Как известно, сверхвысокие скорости нагрева и охлаждения (~ 6000 °C/c) при плазменной закалке приводят к сильному измельчению структуры с формированием наноструктурированных элементов фазовых и структурных составляющих закаливаемого материала.

Отсюда вытекает одна из важных и актуальных задач трибологии, состоящая в определении связи между износостойкостью и механическими показателями структуры контактирующих материалов. Высокая износостойкость при трении, как известно, достигается за счет стабильности структуры поверхностного слоя, которая стабилизируется при повышении твердости, к примеру, методом плазменного упрочнения. В следствие этого изменение структуры материала при тяжелом режиме трения представляет большой интерес (работа продолжается в данном направлении), поскольку при этом происходит пластическая деструкция поверхностного слоя и увеличивается его температура. В данном случае поверхностный слой деформируется по механизму малоциклового усталости и структура не является стабильной. Увеличение же температуры поверхностного слоя приводит к минимизации его твердости и соответственно износостойкости [3].

Образцом недостаточности существующих представлений о природе твердости может служить проблема объяснения оснований масштабного размерного фактора, проявляющегося в увеличении числа твердости с сокращением нагрузки и параметров отпечатка, особенно при

глубинах $h < 1$ мкм. Обоснования причин размерного фактора дислокационным механизмом пластичности путем введения необходимого количества дислокаций не привели к снятию вопроса [4]. Формально можно ввести нужное количество дислокаций в исследуемый материал, однако их плотность при $h < 100$ нм становится нереально большой ($> 10^{14}$ см⁻²). Также, это противоречит результатам микроструктурных исследований, которые не обнаруживают такого количества дислокаций.

Очевидно, механические свойства и поведение материалов в нанобъемах по ряду причин могут сильно отличаться от таковых, получаемых в традиционных макроскопических испытаниях, так как с уменьшением размеров нагружаемой области на много порядков, начинает формироваться множество новых факторов, влияющих на качество материала.

Локализация нагрузки приводит к максимальному упрочнению материала в зоне деформации и возникающие при этом большие градиенты напряжений могут сильно воздействовать на механизмы пластического течения. Так, неясно, в какой направленности перемещается материал из-под индентора. Считается, что в пластичных материалах материал вытекает из-под индентора в сторону свободной поверхности. В реальности массоперенос ориентирован в объем, что уплотняет материал в зоне локальной деформации [5].

На сегодняшний день существует множество прямых доказательств растущей роли неравновесных точечных дефектов в массопереносе при сокращении параметров пятна контакта. Также есть убедительные факты немаловажного изменения конфигурации материалов под индентором в результате аморфизации, фазовых трансформаций, образования нанокристаллической структуры. Но в реальных теориях твердости, исходящих из дислокационных механизмов пластической деформации, эти факты не учитываются и не объясняются.

Также, ввиду небольших размеров деформированной области ($\sim h$) образуются большие скорости условной деформации $\varepsilon \sim v/h$ даже при небольших абсолютных скоростях внедрения v . В результате нанотвердость материала имеет возможность на два и более порядка превышать предел текучести. Отсюда вытекает необходимость обоснования физических представлений о природе твердости, вообще и нанотвердости, в частности.

Выводы

1. Объективность определения твердости, модуля упругости и упругого восстановления зависит от размеров применяемого измерительного оборудования и серьезного соблюдения требований по глубине отпечатка в зависимости от глубины плазменной закалки.

2. Несмотря на возросший объем фактической информации, полученный способом наноиндентирования, физическое обоснование микромеханизмов твердости остается слабо удовлетворительным, что вызывает необходимость обоснования физических представлений о природе нанотвердости.

3. Механические свойства и поведение материалов в нанобъемах могут отличаться от получаемых в традиционных макроскопических испытаниях, так как с уменьшением параметров нагружаемой области (на много порядков), начинает работать множество новых факторов, влияющих на свойства материала.

4. Локализация нагрузки приводит к сильному упрочнению материала в зоне деформации и образующиеся при этом большие градиенты напряжений могут значительно воздействовать на показатели пластического течения, а структура материалов под индентором существенно меняется в результате аморфизации, фазовых трансформаций, образования нанокристаллической структуры.

Список литературы

- 1 Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. – Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета. – 2013. – 403стр.
- 2 Чикова О.А., Шишкина Е.В., Петрова А.Н., Бродова И.Г. Измерение методом наноиנדентирования твердости субмикроструктурных промышленных алюминиевых сплавов, полученных динамическим прессованием // Журнал физики металлов и металловедения – 2014. – Т.115. - №5. – С. 555-560
- 3 Макаров А.В., Поздеева Н.А., Саврай Р.А. Повышение износостойкости закаленной конструкционной стали наноструктурирующей фрикционной обработкой // Журнал «Трение и износ» – 2012. – Т.33. - № 6. – С. 444-455
- 4 Канаев А.Т., Орынбеков Д.Р., Канаев А.А., Тайманова Г.К. Повышение износостойкости и контактно-усталостной прочности колесной стали плазменным упрочнением // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева – 2015. – № 4 (107). – С. 197-205
- 5 Канаев А.Т., Алексеев С.В., Пальчун Б.Г. Модернизация структуры поверхностного слоя конструкционной стали плазменной струей // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2015. – №3(86). – С. 78-86

А.Т. Қанаев¹, А.У. Ахмедьянов², К.Ж. Киргизбаева², И.М. Косанова¹

¹С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Плазмалық-шыңдалған дөңгелек болаттың физикалық-механикалық сипаттамаларын наноиנדенттеу әдісімен өлшеу

Аннотация: Берілген мақалада наноиנדенттеумен плазмалық-шыңдалған дөңгелек Болаттың физикалық-механикалық қасиеттерін өлшеу әдістемесі қарастырылды. Материалдың үстіңгі қабатының тозуға төзімділігіне әсер ететін физикалық-механикалық қасиеттерін – қаттылығын, Юнг модулін, серпімді қалпына келтіруді өлшеу ерекшеліктері келтірілген. Материалдың физикалық-механикалық қасиеттерін өлшеу үстіңгі плазмалық шыңдау жолымен бетті модификациялаудың оңтайлы технологиясын бағалауға және таңдауға мүмкіндік береді. Қаттылықты, серпімділік модулін, серпімді қалпына келтіру және ағым кернеуін анықтаудың объективтілігі қолданылатын өлшеу жабдықтарының параметрлеріне және плазмалық шыңдау тереңдігіне байланысты іздің тереңдігі бойынша талаптарды қатаң сақтауға байланысты екені атап өтілді.

Наноиנדенттеу әдісімен алынған нақты ақпарат көлемінің өсуіне қарамастан, қаттылық микромеханизмдерінің физикалық негіздемесі нашар қанағаттанарлық болып қалатыны туралы пікір айтылды, бұл қаттылық табиғаты туралы физикалық түсініктерді, жалпы және наноқаттылықты, атап айтқанда, негіздеу қажеттілігін туындатады.

Түйін сөздер: наноиנדенттеу, қаттылық, Юнг модулі, серпімді қалпына келтіру, тарақ және доңғалақтың жиегі, қаттылықтың микромеханизмі.

А.Т. Kanayev¹, А.У. Akhmedyanov², К.Ж. Kirgizbayeva², I.M. Kossanova¹

¹S.Seifullin Kazakh agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²L.N. Gumilev Eurasian national University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Measurement by nanoindentation of physical and mechanical characteristics of plasma-hardened wheel steel

Abstract: The article deals with the method of measuring the physical and mechanical properties of plasma-hardened wheel steel by nanoindentation. The features of measurement of physical and mechanical properties – hardness, young's modulus, elastic recovery, affecting the wear resistance of the surface layers of the material. Measurement of physical and mechanical properties of the material allows to evaluate and select the optimal technology of surface modification by surface plasma hardening. It is noted that the objectivity of determination of hardness, modulus of elasticity, elastic recovery and flow stress depends on the parameters of the measuring equipment used and strict compliance with the requirements for the depth of the print, depending on the depth of plasma quenching.

It is suggested that despite the increased amount of actual information obtained by the nanoindentation method, the physical justification of hardness micromechanisms remains weakly satisfactory, which necessitates the justification of physical representations about the nature of hardness, in General, and nanohardness, in particular.

Keywords: nanoindentation, hardness, Young's modulus, elastic recovery, the crest and the wheel rim, the micro mechanisms of hardness

References

1 Sosnin N.A., Ermakov S.A., Topolyanskiy P.A. Plazmennyye tehnologii [Plasma technology] (Izdatelstvo politehnicheskogo universiteta, St.Petersburg, 2013, 403 p.).

2 Chikova O.A., Shishkina E.V., Petrova A.N., Brodova I.G. Izmerenie metodom nanoindentirovaniya tverdosti submikrokristallicheskih promyishlennyih alyuminievyih splavov, poluchennyih dinamicheskim pressovaniem [Nanoindentation measurement of hardness of submicrocrystalline industrial aluminum alloys obtained by dynamic pressing], Zhurnal fiziki metallov i metallovedeniya [Journal of Physics of Metals and Metal Science]. 2014. Vol. 115. №5. P. 555-560.

3 Makarov A.V., Pozdeeva N.A., Savray R.A. Povyishenie iznosostoykosti zakalennoy konstruktsionnoy stali nanostrukturiruyushey friktsionnoy obrabotkoy [Improving the wear resistance of hardened structural steel by nanostructural friction treatment], Zhurnal "Trenie i iznos" ["Friction and wear" Journal]. 2012. Vol. 33. №6. P. 444-455.

4 Kanaev A.T., Oryinbekov D.R., Kanaev A.A., Taymanova G.K. Povyishenie iznosostoykosti i kontaktno-ustalostnoy prochnosti kolesnoy stali plazmennym uprochneniem [Increased wear resistance and contact fatigue strength of wheel steel by plasma hardening], Vestnik ENU im. L.N. Gumileva [L.N. Gumilev ENU's Bulletin]. 2015. Vol. 107. №4. P. 197-205.

5 Kanaev A.T., Alekseev S.V., Palchun B.G. Modernizatsiya strukturyi poverhnostnogo sloya konstruktsionnoy stali plazmennoy struey [Modernization of the structure of the surface layer of structural steel by a plasma jet], Vestnik nauki Kazahskogo agrotehnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina [Bulletin of science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University]. 2015. Vol. 86. №3. P. 78-86

Сведения об авторах:

Канаев А.Т. – доктор технических наук, профессор кафедры «Стандартизации, метрологии и сертификации», Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, проспект Женис 62, Нур-Султан, Казахстан.

Ахмедьянов А.У. – кандидат технических наук, доценткафедры «Стандартизация, сертификация и метрология», Евразийский национальный университет Л.Н. Гумилева, ул.К.Мунайтпасова 13, Нур-Султан, Казахстан.

Киргизбаева К.Ж. – кандидат технических наук, доценткафедры «Стандартизация, сертификация и метрология», Евразийский национальный университет Л.Н. Гумилева, ул.К.Мунайтпасова 13, Нур-Султан, Казахстан.

Косанова И.М. – докторант кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация», Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, проспект Женис 62, Нур-Султан, Казахстан

Канаев А.Т. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Standardization, metrology and certification", S.Seifullin Kazakh agrotechnical University, Zhenis Avenue 62, Nur- Sultan, Kazakhstan.

Akhmedyanov A.U. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Standardization, certification and metrology, L.N.Gumilyov Eurasian national University, Kazhymukan St.13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kirgizbayeva K.Zh. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Standardization, certification and metrology, L.N.Gumilyov Eurasian national University, Kazhymukan St.13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kossanova I.M. – PhD student of the Department of Standardization, metrology and certification, S.Seifullin Kazakh agrotechnical University, Zhenis Avenue 62, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 05.02.20.