

УДК 620.178.152.2

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРА ДЕФОРМАЦИИ И СТЕПЕНИ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ С НАНОПОКРЫТИЕМ

© Т. С. Скобло, С. П. Романюк, Е. Л. Белкин¹*Статья поступила 18 ноября 2014 г.*

Для упрочнения режущего инструмента, используемого в перерабатывающем производстве, на его поверхность наносили нанопокртия WC и CrN. Предложен метод описания формирования отпечатков при индентировании нанопокртий и описан характер деформирования зон вокруг них. С помощью математической обработки изображений, полученных при измерении микротвердости, показано, что вокруг отпечатка индентора в материале без покрытия наблюдаются зоны пластической деформации. Установлено, что нанесение покрытия на поверхность дискового ножа обеспечивает повышение твердости, препятствуя пластической деформации. Выполнены сравнительные исследования нанотвердости и микротвердости. На основании полученных результатов показана возможность достоверной оценки микротвердости таких покрытий при различных нагрузках и отклонениях в измерительном процессе.

Ключевые слова: математический метод; режущий инструмент; нанопокртие; микротвердость; пластическая деформация.

Обобщенной характеристикой упругопластических свойств является твердость — свойство поверхностного слоя материала сопротивляться внедрению индентора. В зависимости от величины используемой нагрузки в поверхностном слое металла возникают упругие, упругопластические или пластические деформации.

Из всех видов механических испытаний определение твердости является самым распространенным. Численно твердость находят по методикам Виккерса, Бринелля и Роквелла [1].

Метод Виккерса [2], применяемый для измерений твердости поверхностно-упрочненных и твердых тонких поверхностных слоев с использованием алмазной пирамиды, обеспечивает геометрическое подобие отпечатков при любой нагрузке.

Для нанопокртий используют специальные методы наноиндентирования на приборе Nanoindenter G200. В условиях заводских лабораторий такое оборудование отсутствует ввиду требования специальных условий испытаний (высочайшей точности изготовления образца и настройки прибора). Малейшие температурные и атмосферные изменения способны сильно исказить результаты. Не представляется возможным исследование массивных образцов, так как их размер для наноиндентирования не должен превышать 25 × 25 мм. Требуется также определенная подготовка поверхности образцов (полировка до 10 – 12-го класса), что не всегда возможно для реальных деталей.

Цель данной работы — установление возможности использования традиционного метода опреде-

ления степени упрочнения нанопокртиями, нанесенными на поверхность режущего инструмента, для принятия решения об их качестве при производстве и в процессе эксплуатации.

При этом для сравнения проводили измерения при наноиндентировании и оценивали по Виккерсу степень упрочнения инструмента без покрытия и с покрытием.

Для оценки возможности использования метода определения микротвердости покрытий по Виккерсу разработали специальную методику.

Математический анализ металлографических изображений пирамидальных отпечатков служит источником информации о свойствах исследуемого режущего инструмента, а именно, о способности материала сопротивляться деформации.

Математическая методика исследования основана на идее фильтров, т.е. отсеивании шумов. Пирамидой Виккерса наносили отпечатки при нагрузках 0,098; 0,245; 0,490 Н. Чем меньше глубина вдавливания индентора, тем выше требования к чистоте поверхности. Эти требования обеспечивали в эксперименте. Под плоскостями граней пирамиды на исследуемом металле могут формироваться незначительные неровности. Чтобы выделить наибольшие из них, применяли метод фильтров. Неровности можно обнаружить также с помощью исследования градиентов изменения цвета. Но еще больший эффект достигается при исследовании абсолютных величин вторых производных изменения цвета. Производные первого и второго порядков благодаря оцифровке каждого пикселя фотографии рассчитываются как разности цветов между соседними пикселями. Вторые производные тоже рассчитываются как разности разностей. В качестве

¹ Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, г. Харьков, Украина;
e-mail: svetlana_sis_pro@list.ru

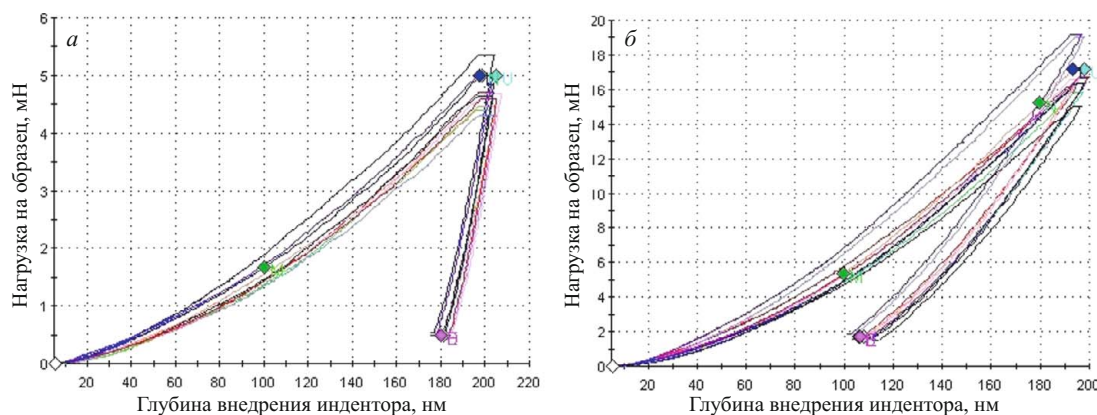


Рис. 1. Диаграмма внедрения индентора при наноиндентировании исходного образца (а) и образца с нанопокрывтием CrN (б)

обобщенной функции разностей в работе выступал лапласиан, описывающий неоднородность распределения химических элементов [3, 4]. Сам фильтр подбирался экспериментальным путем. Область значений абсолютной величины лапласианов разбивалась на несколько частей. Столько же рисунков отпечатка выдавалось на экран компьютера. Если пиксель удовлетворял условию нахождения в рассматриваемом интервале абсолютных величин лапласиана, то на экран выводилась точка с цветом пикселя на фотографии.

В работе исследовали режущий инструмент для дробления орехов в кондитерском производстве, изготовленный из холоднокатаной тонколистовой стали 65Г. Для повышения эксплуатационной стойкости дисковых ножей было проведено их упрочнение путем нанесения нанопокровтий WC и CrN. Их наносили с использованием установки типа «Булат-6» вакуумно-дуговым методом путем прямой конденсации испаряемого материала. Толщина полученного нанопокровтия W + C составляла 20 – 50 нм, CrN — до 300 нм.

Микротвердость материала без покрытия и с покрытием измеряли на автоматизированном микротвердомере по методу Виккерса с автоматическим получением отпечатка и расчетом твердости. Значения микротвердости, полученные при разной нагрузке, приведены в таблице.

Микротвердость дискового ножа с покрытием WC при нагрузке 0,098 Н в среднем увеличилась на

25,6 %. Характерен большой разброс значений, что связано с неоднородностью и размерами выделяемых упрочняемых фаз (нитридов, карбидов различного состава), а также с масштабным фактором.

Статистически установлено, что глубина проникновения индентора в металл режущего инструмента с покрытием CrN незначительно отличается при нагрузке 0,245 Н. Это свидетельствует об однородности и сплошности такого покрытия.

При нагрузке 0,245 Н для режущего инструмента с покрытием WC получено увеличение микротвердости по сравнению с исходной на 21,83 %, а с нанопокровтием CrN — на 17,7 % (см. таблицу).

Оптимальная нагрузка, которая может характеризовать наличие достаточного слоя покрытий WC и CrN, составляет 0,245 Н. При нагрузке 0,490 Н происходит сдвиг и разрушение нанопокровтия.

Выполнен сопоставительный статистический анализ микротвердости с нанотвердостью, полученной на приборе Nanoindenter G200 с нагрузкой на наноиндентор (0,1 – 19) мН (рис. 1).

Полученные данные по наноиндентированию свидетельствуют о том, что нанопокровтие CrN обладает высоким уровнем нанотвердости и ее среднее значение достигает 23,19 ГПа (рис. 2, а). При этом среднее значение нанотвердости исходного образца не превышает 4,09 ГПа (рис. 2, б). Скачкообразное изменение нанотвердости до глубины проникновения 30 нм связано с упругими свойствами материала. Перегиб на кривых на участке от 30 до 60 нм соответствует переходу в упругопластические деформации в покрытии под отпечатком, а их расположение свыше 60 нм — в пластические деформации. В связи с этим невозможно качественно проанализировать свойства нанопокровтия WC, толщина которого до 50 нм.

Отказ при эксплуатации режущего инструмента с нанопокровтием происходит значительно позже, чем обычных ножей из стали 65Г (в 10 – 20 раз). Потеря работоспособности режущей кромки упрочненных нанопокровтиями ножей связана с износом покрытия.

Величина и характер деформации зависят от пластических свойств металла нанопокровтия. Диагонали

Усредненные значения микротвердости

Покрытие	Нагрузка, Н	Глубина проникновения, мкм	Средняя микротвердость HV
WC	0,098	1,05	689,1
CrN		1,07	657,1
Без покрытия		1,18	548,8
WC	0,245	1,77	609,65
CrN		1,8	585,83
Без покрытия		1,95	500,4
WC	0,490	2,53	591,75
CrN		2,56	582,1
Без покрытия		2,62	556,4

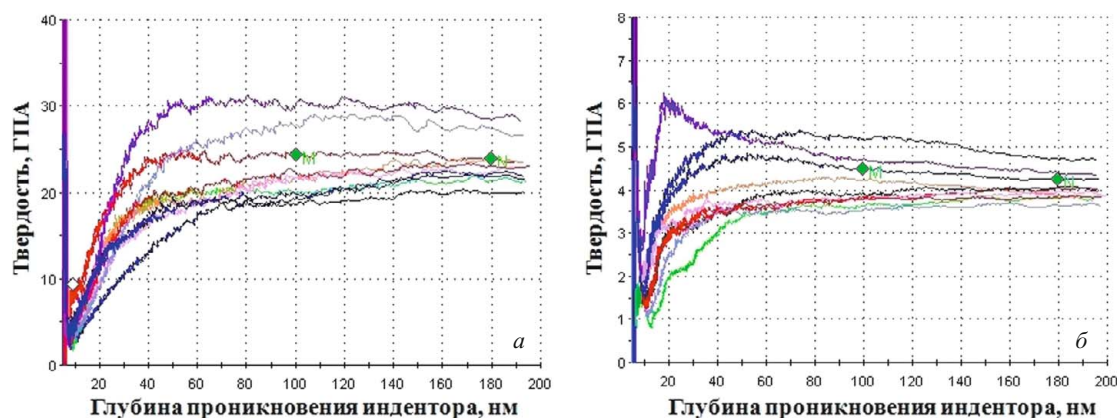


Рис. 2. Изменение нанотвердости в зависимости от глубины внедрения индентора для образца с нанопокрытием CrN (а) и исходного (б)

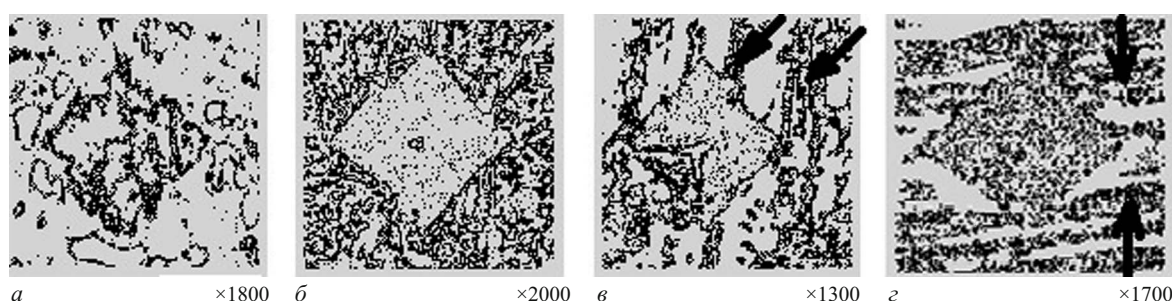


Рис. 3. Характер изображения отпечатков на поверхностях без покрытия (а) и с покрытиями CrN (б, в) и WC (г); а, б — при нагрузке 0,245 Н; в, г — 0,490 Н

отпечатка формируются лишь при его проникновении в мягкий металл. Если слой неравномерный или неправильно установлен образец, то диагонали в упрочненном слое могут проявляться частично.

Как показал анализ, не для всех металлов и не от всех плоскостей скольжения пирамиды Виккерса при индентировании появляются рисунки линий скольжения вокруг отпечатка. Для очень твердого металла их практически не бывает. Из-за небольшого перекоса пирамиды под нагрузкой внутри отпечатка могут появиться диагонали; в этом случае в процессе индентирования участвует пластическая подложка металла. При нагружении пирамидой можно обнаружить небольшие «бугорки» на металле под и вокруг отпечатка, возникающие от эффекта деформации. В некоторых случаях картина появления бугорков искажается самой поверхностью металла, но это встречается редко.

По разработанной методике анализировали изображения поверхности дисковых ножей с нанесенными нанопокрытиями CW, CrN и без них. Из рис. 3 видно, что образцы из стали 65Г со стандартной термической обработкой (закалкой) и с нанопокрытием при индентировании ведут себя по-разному. Вдоль граней отпечатка индентора в структуре без покрытия наблюдаются зоны пластической деформации с формированием «выдавливаемых бугров» вокруг отпечатка

(см. рис. 3, а), чего не происходит при наличии покрытия. При нагрузке 0,245 Н (см. рис. 3, б) деформационные области в твердом покрытии практически отсутствуют и в структуре металла возникают только упругие деформации. При нагрузке даже 0,490 Н (см. рис. 3, в, г) выдавливания металла, характерного для образцов без покрытия, не происходит, но интенсивно формируются полосы скольжения (показаны стрелками).

Из анализа отпечатков следует, что несмотря на разницу в уровне микротвердости исследуемых покрытий характер структуры отпечатков и деформационных зон вокруг них идентичный.

При наноиндентировании поверхности с покрытием CrN уровень твердости по сравнению с металлом без покрытия возрастает в 5,7 раз, а при микроиндентировании — лишь на 17,07 %. Однако несмотря на это предложенный метод математического описания структуры может быть использован для оценки:

качества нанесенного покрытия (его однородности);

характера изношенного слоя;

толщины нанесения покрытия.

Таким образом, предложен метод математического описания деформационных зон поверхностных слоев металла нанопокрытий, который характеризует состояния отпечатка и деформационной об-

ласти вокруг него и может быть использован для оценки качества поверхности изделия после нанесения покрытия, характера изношенного слоя, его однородности и принятия решений о дальнейшем использовании изделия.

Показано, что при деформации, создаваемой отпечатком в поверхности без упрочнения, металл вокруг отпечатка выдавливается с образованием «бугров». При нагружении (0,490 Н) поверхности с нанопокрывтием отпечатки характеризуются появлением полос скольжения. При неправильной установке шлифа в процессе индентирования или продавливания слоя покрытия частично или полностью проявляются диагонали отпечатка, что не соответствует твердости упрочняющего слоя.

Установлено, что метод индентирования по Виккерсу может быть использован для оценки степени упрочнения нанопокрывтиями WC и CrN при оптимальной нагрузке 0,245 Н.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмаков А. Г., Тереньгев В. Ф., Бакиров М. Б. Методы измерения твердости. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Интернет Инжиниринг, 2005. — 150 с.

2. ГОСТ 2999–75. Металлы и сплавы. Методы измерения твердости по Виккерсу. — М.: Изд-во стандартов, 1975. — 12 с.
3. Скобло Т. С., Белкин Е. Л., Романюк С. П. Методика математической оценки фазового состава стали / Вісник ХНТУСГ. 2014. Вип. 146. С. 8 – 24.
4. Скобло Т. С., Ключко О. Ю., Белкин Е. Л. Применение компьютерного анализа металлографических изображений при исследовании структуры высокохромистого чугуна / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 6. С. 35 – 42.

REFERENCES

1. Kolmakov A. G., Terentev V. F., Bakirov M. B. Metody izmereniya tverdosti [Methods for measuring the hardness]. 2nd Edition. — Moscow: Internet Inzhiniring, 2005. — 150 p.
2. State Standard GOST 2999–75. Metally i splavy. Metody izmereniya tverdosti po Vikkersu [Metals and alloys. Methods of measurement of the Vickers hardness]. — Moscow: Izd. standartov, 1975. — 12 p. [in Russian].
3. Skoblo T. S., Belkin E. L., Romanyuk S. P. Metodika matematicheskoi otsenki fazovogo sostava stali [Technique of mathematical estimation of the steel phase composition] / Visnik KhNTUSG. 2014. N 146. P. 8 – 24 [in Russian].
4. Skoblo T. S., Klochko O. Yu., Belkin E. L. Primenenie komp'yuternogo analiza metallograficheskikh izobrazhenii pri issledovanii struktury vysokokhromistogo chuguna [The use of computer analysis of metallographic images in the study of the structure of high-chromium cast iron] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2012. Vol. 78. N 6. P. 35 – 42 [in Russian].

УДК 620.178.16:621.793.7

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОНАСОСОВ

© В. А. Полетаев¹, П. В. Пучков²

Статья поступила 8 сентября 2014 г.

В большинстве случаев электродвигатели и насосы выходят из строя вследствие износа нагруженных деталей (валов, втулок и т.д.) в результате их контакта с резинометаллическими подшипниками и жидкостью, проходящей через элементы электронасоса. Эти детали изготавливают в основном из дорогостоящих сталей 40Х13 и 12Х18Н10Т. Качество поверхностей деталей из этих сталей улучшить за счет легирования или термической обработки практически невозможно. Поэтому предложено изготавливать детали из более дешевой стали 45 и повышать качество поверхностей трения путем упрочняющей обработки, включающей нанесение покрытия из хрома с ультраалмазами, последующее точение и алмазное выплачивание поверхности.

Ключевые слова: упрочнение; покрытие; твердость; шероховатость; качество поверхности; износ; ультраалмаз.

Потери металла в нашей стране в результате износа и коррозии ежегодно составляют десятки миллионов тонн и оцениваются в десятки миллионов рублей.

¹ Ивановский государственный энергетический университет, г. Иваново, Россия; e-mail: poletaev@tam.ispu.ru

² Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Иваново, Россия; e-mail: palpush@mail.ru

Огромные материальные и трудовые ресурсы расходуются на изготовление запасных частей и ремонт техники. Мощности ремонтных предприятий во многих отраслях промышленности значительно превышают мощности заводов — изготовителей техники. В большинстве случаев техника выходит из строя вследствие износа нагруженных деталей (прежде всего, узлов