

Романюк С. П.

Харьковский национальный техниче-
ский университет сельского хозяйства
имени П.Василенко,
г. Харьков, Украина,
E-mail: Techmat@ukr.net

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

УДК 53.082.1

Предложен неразрушающий метод контроля толщины покрытий, состояния упрочненного и изношенного слоя с использованием индентирования различных зон тонкостенного режущего инструмента. Исследования проведены при нанесении пленочного покрытия и в процессе эксплуатации. Показана возможность применения метода микротвердости для определения толщины покрытий при оптимальной нагрузке в различных зонах ножа.

Ключевые слова: тонкостенный режущий инструмент, упрочнение покрытиями, толщина слоя, нитриды, микротвердость

Актуальность проблемы

Для повышения качества режущего инструмента, увеличение его надежности и долговечности используются современные технологии упрочнения. Наиболее распространенными и актуальными являются методы упрочнения нанесением различных покрытий определенного состава и структуры, которые обеспечивают необходимые механические свойства инструмента. Разработка и применение нанотехнологий для повышения эксплуатационной стойкости различных деталей способствует развитию методов исследования формируемых пленочных покрытий. Представляет интерес изучение свойств, оценка толщины и контроль качества нанесенного слоя на всех этапах производства, как в процессе осаждения покрытия, так и при эксплуатации инструмента. Особое внимание уделяется методам неразрушающего контроля.

Поэтому задача проведенных исследований явилась оценка состояния упрочненной поверхности режущего инструмента с пленочными покрытиями и определением величины однородности износа слоя при эксплуатации.

Целью работы является разработка неразрушающего способа контроля качества, позволяющего определить состояние упрочняющих покрытий и остаточную толщину в конкретном периоде процесса эксплуатации режущего инструмента.

Анализ публикаций по данной проблеме

При оценке состояния изделия используют неразрушающие методы контроля качества. Универсального способа не существует. Выбор конкретного метода контроля качества зависит от контролируемых параметров и этапов эксплуатации.

Для измерения толщины изделия могут применяться радиационные (толщиномер листа компенсационного типа) и оптические (интерференционный микроскоп Линника) методы контроля [1]. Однако существуют трудности при текущем контроле реальных изделий с упрочняющими покрытиями. Возникает необходимость создания специального образца для контроля толщины и качества нанесенного слоя по разработанной технологии, моделирование процесса износа. Отсутствует возможность известными методами осуществлять анализ состояния (толщины) покрытия в процессе эксплуатации.

Различные виды термозондов используются при неразрушающем контроле толщин пленочных покрытий. Они применяются как для определения характеристик теплозащитных покрытий, теплопроводности твердых тел, так и для измерения толщины

упрочняючих слоев [2]. Однако, в силу сложности конструкции, необходимостью изготовления двух идентичных измерительных головок (одна из которых выполняет роль эталонной измерительной части), изготовлением специального образца эталона, дополнительной погрешностью измерений, данный способ неразрушающего контроля является труднодоступным при решении поставленной цели и задачи.

Известен способ теплофизического контроля толщины слоя материала [3], но более приемлемое применение данного метода в дефектометрических исследованиях.

Методом микротвердости определяется толщина поверхностного слоя с использованием плоских шлифов [4], но при этом дополнительный наклеп, вызванный разрезкой, шлифовкой, полированием образца обуславливает низкую точность определения искомой величины.

Традиционный метод определения степени упрочнения инструмента (измерение микротвердости по методу Виккерса) с применением математического метода используется для оценки качества поверхности изделия после нанесения покрытия и характера изношенного слоя в процессе эксплуатации [5].

Методика и результаты исследований

В данной работе измерение микротвердости на автоматизированном микротвердомере UIT HVmicro-1 по методу Виккерса с автоматическим получением отпечатка и расчетом твердости проводили для оценки остаточной толщины покрытия и состояния упрочненной поверхности режущего инструмента.

Для оценки толщины покрытия рекомендовано использовать изображения отпечатков четырехгранной пирамидки при микроиндентировании, полученных при нагрузке на индентор 0,245 – 0,490N и определять состояние слоя по формированию полос под отпечатком. Они появляются в покрытии при индентировании путем сдвига под нагрузкой с вертикальным нагружением. Покрытие продавливается в таком порядке: вначале у вершины пирамиды, а затем в направлении граней отпечатка. Общая картина деформационных полос и схематическое их описание приведено на рис. 1.

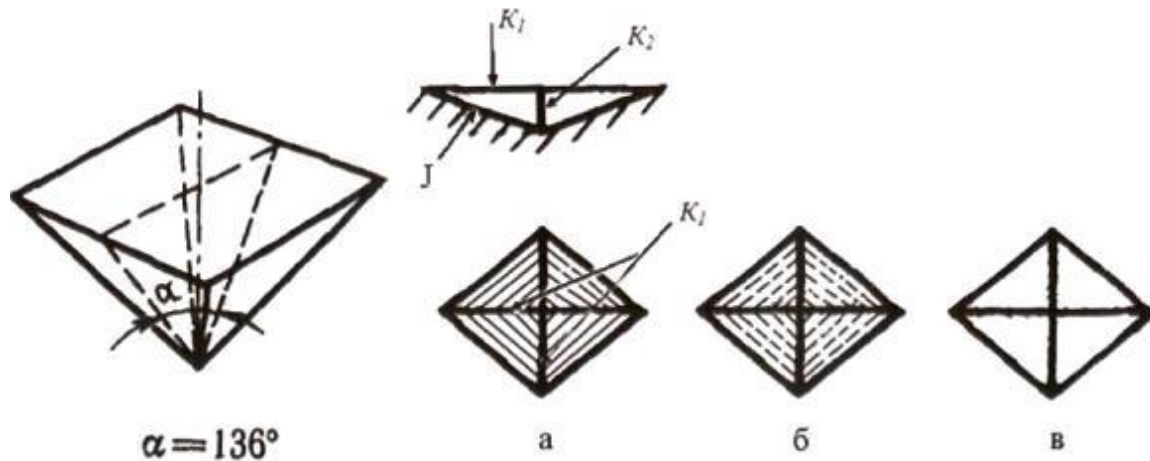


Рис.1. Методика оценки полос при нагружении индентора

Расчет толщины слоя пленочного упрочняющего покрытия рекомендуется производить по формируемым полосам под индентором. При одинаковой ширине полос истинная толщина покрытия L может быть определена по формуле:

$$L = J/n, \quad (1)$$

где n – количество полос

$$J = \sqrt{K_1^2 + K_2^2}, \quad (2)$$

где K_1 – $1/2$ диагонали отпечатка

K_2 – катет, соответствующий глубине отпечатка

$$K_2 = K_1/\text{tg}(\alpha/2), \quad (3)$$

α - угол заострения алмазного индентора, $\alpha=136^\circ$ (согласно ГОСТ 9450 (см.рис.1).

При неравномерном износе под отпечатком формируются полосы разной толщины или прерывистые (см. рис. 1, б), что характеризует неравномерность износа. В этом случае оценивают степень неоднородности износа по толщине полос и их протяженности под отпечатком в процентном соотношении. Отсутствие полос под отпечатком (см. рис. 1, в) свидетельствует о полном износе упрочняющего покрытия.

Метод эффективен при оценке равномерности нанесенного покрытия и диагностике состояния различных зон режущего инструмента при эксплуатации и используется для принятия решения о параметрах корректировки технологического процесса.

Таким образом, предложенный способ определения толщины упрочняющего покрытия режущего инструмента, позволяет оценить его состояние в различных зонах ножа и на разных этапах эксплуатации.

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 упрочнение, нанесением покрытия CrN с использованием установки типа "Булат-6" вакуумно – дуговым методом, путем прямой конденсации испаряемого материала с определенными параметрами технологического процесса [6]. Толщина полученного покрытия CrN составляла 900 нм, которая была измерена на эталонном образце с помощью интерференционного микроскопа МИИ-4-0.

Отказ при эксплуатации режущего инструмента с покрытием CrN происходит значительно позже, чем обычных термообработанных ножей из стали 65Г (в 25 раз повышается стойкость). Потеря работоспособности режущей кромки упрочненного ножа связана с износом покрытия.

Измерения микротвердости режущего инструмента с покрытием CrN проводили на автоматизированном микротвердомере по методу Виккерса с автоматическим получением отпечатка и расчетом твердости. Сопоставительно анализировали изменения показателей микротвердости покрытия при разной нагрузке. Полученные усредненные данные приведены в табл.1.

Таблица 1

Усредненные данные по измерению микротвердости

Образец	Нагрузка, Н	Средняя глубина проникновения, мкм	Средняя микротвердость, НV
Нож из стали 65Г упрочненный покрытием CrN	0,098	1,07	657,1
	0,245	1,8	585,83
	0,490	2,56	582,1

В результате сравнительного анализа установлено, что для показаний микротвердости при нагрузке 0,098 характерен большой разброс значений. Это связано с неоднородностью и размерами выделяемых упрочняемых фаз (нитридов различного состава), а также с масштабным фактором. При нагрузке 0,490N происходит сдвиг и разрушение

упрочняючого покриття. Минимальний розброс в значеннях мікротвердості відповідає навантаженню 0,245N. По тому далішні дослідження проводили при цій навантаженню.

Так як візуально визначити стан покриття CrN в процесі експлуатації неможливо, то оцінку товщини упрочнюючого шару і його зносу проводили по запропонованому невідрушаючому методу контролю з використанням мікроіндентування. Зображення формуваних деформаційних смуг під відбитком в режущому інструменті з покриттям CrN (900нм) представлені на рис.2., де чітко видно сплошні смуги в новому покритті CrN (см. рис. 2, а, б) і переривисті (см. рис. 2, в) в ножі після випробувань його на знос.

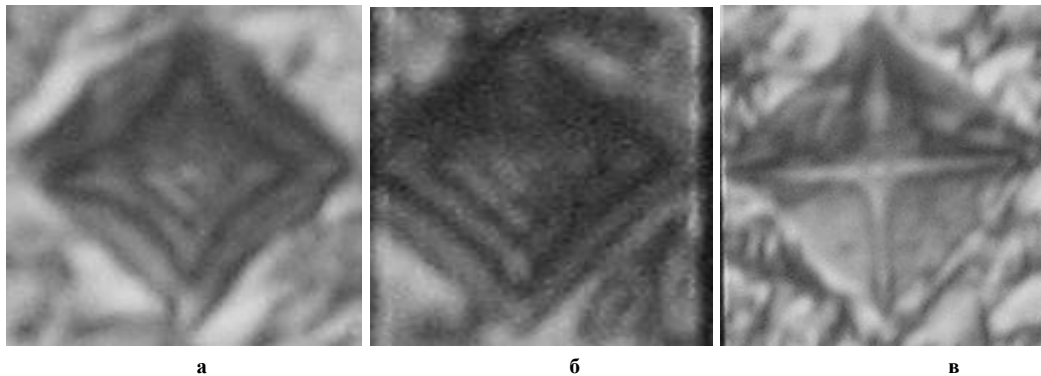


Рис. 2. Вид відбитка індентора і формуваних смуг від зміщення покриття CrN до – (а, б) і після випробування на знос (в)

Розрахована по запропонованому способу товщина покриття в вихідному зразку, становить 0,942мкм (см. рис.2, а) і 0,785мкм (см. рис. 2, б). Розброс в отриманих значеннях (до 12,77%) характеризує однорідність товщини покриття вимірюваної зони на поверхні режущого інструмента.

В даній роботі вимірювання стосуються до оцінки стану кристалічного пліночного покриття в період його нанесення і в процесі експлуатації. Встановлено, що метод ефективний тільки для покриттів з ультрадисперсними частинками (нітридами) упрочнюючої фази нітрид хрому і він не ефективний при наявності включень, відрізняються значущими розмірами. При цьому встановлено, що товщину шару з ультрадисперсними нітридами можливо оцінювати при його розмірах від 700нм і більше.

Даний спосіб діагностики стану пліночних упрочнюючих покриттів захищений патентом України [7].

Висновки

Для визначення стану шару, упрочнюючого покриття, і його товщини, а також оцінки ступеня зносу в різних зонах режущого інструмента в процесі експлуатації запропоновано невідрушаючий метод діагностики. Метод опробовано для покриття CrN (900нм) при використанні пристрою для оцінки мікротвердості з вертикальним навантаженням при навантаженні 25-50г. Аналіз формування смуг зміщення пліночного покриття показав, що в різних зонах режущого інструмента до експлуатації його товщина коливається від 0,785мкм до 0,942мкм. Розброс в отриманих значеннях (до 12,77%) характеризує однорідність товщини покриття по всій поверхні режущого інструмента. По будові смуг зміщення, їх переривистому характеру судили про стан покриття і його частинний знос в процесі експлуатації. Відсутність смуг при індентуванні свідчить про повний знос покриття. Даний спосіб діагностики захищений патентом України.

Литература

1. Фирсов А. М. Основы неразрушающего контроля материалов и деталей машин. Учебное пособие / А. М. Фирсов. – Санкт-Петербург: Изд. Центр СПбГМТУ, 2009. – 51 с.
2. Патент 2101674 Российской Федерации, G01B7/06. Термозонд для неразрушающего контроля толщины защитных пленочных покрытий / Чернышов В.Н., Терехов А.В.; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. - № 94042102/28. заявл. 22.11.1994.; опубл. 10.01.1998.
3. Патент 2023237 Российской Федерации, G01B21/08. Способ определения толщины слоя материала / Корнеев В.Д.; патентообладатель Корнеев В.Д. - № 4891759/28. заявл. 17.12.1190.; опубл. 15.11.1994.
4. Хрущев М. Н. Новое в области испытаний на микротвердость / М. Н. Хрущев. – М.: Наука, 1974. – 262 с.
5. Романюк С.П. Методика определения характера деформации и степени упрочнения поверхности с нанопокрытием / Т. С.Скобло, С.П. Романюк, Е.Л.Белкин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - Москва, 2015. – №9. Том 81. – С.71-74.
6. Патент №98218 Украины, МПК (2015.01) C23C 14/00, C23C 28/02 (2006.01). Спосіб нанесення нанозміцнюючого покриття для тонкостінних дискових ножів / Т.С. Скобло, С.П. Романюк, и др.; заявитель и патентообладатель С.П. Романюк. – №u201410769. заявл. 02.10.2014.; опубл. 27.04.15., Бюл. № 8.
7. Патент №99408 Украины, МПК (2006.01) G01B 21/08. Спосіб оцінки зносу і залишкової товщини робочого шару деталей з плівковими покриттями /Т.С. Скобло, А.В. Плугатарев, С.П. Романюк и др.; заявитель и патентообладатель Т.С. Скобло и А.В. Плугатарев. – №u201406168. заявл. 04.06.2014.; опубл. 10.06.15., Бюл. № 11.

Summary

Romaniuk S.P. Nondestructive control method of the thickness of strain-hardening coatings.

A nondestructive control method of coating thickness, state of strengthened and depreciated layer with indentation usage of different zones of thin-walled cutting tool is suggested in the article. The researches are carried out in the conditions of putting the film coating and during the exploitation. The possibility of using microhardness method to determine the coatings thickness in the condition of the optimum load in various zones of the blade is shown.

Keywords: thin-walled cutting tools, hardening by coatings, layer thickness, nitrides, microhardness

References

1. Firsov A. M. Osnovy nerazrushajushhego kontrolja materialov i detalej mashin. Uchebnoe posobie / A. M. Firsov. – Sankt-Peterburg: Izd. Centr SPbGMTU, 2009. – 51 s.
2. Patent 2101674 Rossijskoj Federacii, G01B7/06. Termozond dlja nerazrushajushhego kontrolja tolshhiny zashhitnyh plenochnyh pokrytij / Chernyshov V.N., Terehov A.V.; zaja-vitel' i patentoobladatel' Tambovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet . - № 94042102/28. zajavl. 22.11.1994.; opubl. 10.01.1998.

3. Patent 2023237 Rossijskoj Federacii, G01B21/08. Sposob opredelenija tolshhiny sloja materiala / Korneev V.D.; patentoobladatel' Korneev V.D. - № 4891759/28. zajavl. 17.12.1190.; opubl. 15.11.1994.
4. Hrushhev M. N. Novoe v oblasti ispytaniy na mikrotverdost' / M. N. Hrushhev. – M.: Nauka, 1974. – 262 s.
5. Romanjuk S.P. Metodika opredelenija haraktera deformacii i stepeni uprochnenija poverhnosti s nanopokrytiem / T. S.Skoblo, S.P. Romanjuk, E.L.Belkin // Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov. - Moskva, 2015. – №9. Tom 81. – S.71-74.
6. Patent №98218 Ukrainy, MPK (2015.01) S23S 14/00, S23S 28/02 (2006.01). Sposib nanesennja nanozmicnjuchogo pokrittja dlja tonkostinnih diskovih nozhiv / T.S. Skoblo, S.P. Romanjuk, i dr.; zajavitel' i patentoobladatel' S.P. Romanjuk. – №u201410769. zajavl. 02.10.2014.; opubl. 27.04.15., Bjul. № 8.
7. Patent №99408 Ukrainy, MPK (2006.01) G01V 21/08. Sposib ocinki znosu i zalishkovoï tovshhini robochogo sharu detalej z plivkovimi pokrittjami /T.S. Skoblo, A.V. Plugatarev, S.P. Romanjuk i dr.; zajavitel' i patentoobladatel' T.S. Skoblo i A.V. Plugatarev. – №u201406168. zajavl. 04.06.2014.; opubl. 10.06.15., Bjul. № 11.