

УДК 539.231

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТОНКОСТЕННОГО ИНСТРУМЕНТА

Скобло Т. С., д.т.н., профессор, Сидашенко А.И., к.т.н., профессор,
Романюк С. П., ассистент

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени П. Василенко);*

Гаркуша И. Е., д.ф.-мат. наук, Таран В.С., к.ф.-мат. наук,
Незовибатько Ю.Н., инженер

*(Институт Физики Плазмы, НИЦ Харьковский Физико-Технический
Институт)*

Разработан метод и параметры технологического процесса упрочнения тонкостенного режущего инструмента нанопокрывтием TiN. Предложенный метод обеспечивает эффект самозатачивания, сохранение планшетности при упрочнении, отсутствие коррозионной повреждаемости и увеличение эксплуатационной стойкости тонкостенных дисковых ножей в 47 раз. Методом наноиндентирования исследованы свойства исходного металла режущего инструмента и с нанопокрывтием TiN.

Введение

Повышенные требования к качеству выпускаемой продукции обуславливают необходимость увеличения ресурса перерабатывающего оборудования и, в частности, режущих рабочих органов, эксплуатационная стойкость которых недостаточна.

Целью работы является разработка способа и параметров технологического процесса повышения эксплуатационной стойкости дисковых ножей за счет упрочняющего покрытия, обеспечивающего закрытие дефектов и сохранение планшетности тонкостенного инструмента.

Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме

Одним из эффективных методов упрочнения и повышения эксплуатационных характеристик инструмента является нанесение покрытий на поверхность деталей. Данному направлению посвящено большое количество работ [1-5]. Выбор конкретного процесса зависит от многих факторов: материала упрочняющего покрытия; скорости его осаждения; ограничений, вызванных особенностью упрочняемого инструмента (например, максимальная температура нанесения); адгезией к основе; способностью покрывать изделия сложной формы; толщины детали; чистотой материала изделия (влияет на содержание примесей в пленке), экономической составляющей, а также экологическими соображениями. Каждый из существующих способов имеет

свои преимущества и недостатки. Так, например, недостатком способа [2] является то, что он является довольно трудоемким и виброобработка микрошариками через 10 - 30 мин после окончания нанесения покрытия приведет к повреждаемости нанопокровтий и будет засорять перерабатываемую продукцию. Способ обработки поверхности [3] не может быть использован для тонкостенного инструмента, поскольку накопление и диффузия материала на поверхности изделия при температуре до 700°C нарушат планшетность ножа и перегреют режущую кромку. Формирование износостойкого покрытия на поверхности изделий из конструкционной стали способом [4], не может быть использовано для тонкостенного инструмента, поскольку нанесение покрытия осуществляют в течение 60 – 90 мин, что приведет к перегреву, разупрочнению режущей кромки и нарушению планшетности тонкостенного ножа.

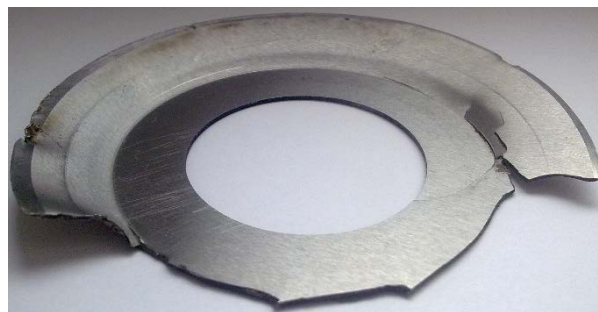
Методика и результаты исследований

В работе исследовали тонкостенный режущий инструмент для дробления орехов в кондитерском производстве, изготовленный из холоднокатаной тонколистовой стали 65Г. Геометрические параметры ножей: диаметр составляет 76мм с отверстием 32мм и толщиной основной части 0,64мм, а режущей кромки 0,1мм.

После изготовления ножи часто имели пористую структуру (рис.1, а), которая в процессе эксплуатации приводит к развитию процессов коррозии. Также поры служат концентраторами напряжений и источниками потери планшетности инструмента и усталостной повреждаемости при эксплуатации (рис.1, б).



а



б

Рисунок 1 - Исходное состояние ножей (а) и разрушение (потеря планшетности) (б)

Эксплуатационная стойкость таких ножей недостаточна и составляет 1-2 смены, в течение которых перерабатывается 0,9 – 1,8т. сырья. Для повышения стойкости такого инструмента проведено упрочнение покрытием TiN.

Напыление покрытия TiN на поверхность тонкостенного режущего инструмента проведено на установке «Булат-6», разработанной в ННЦ ХФТИ (г. Харьков) [6]. Упрочнение осуществляли с одной стороны для обеспечения при эксплуатации эффекта самозатачивания.

При упрочнении тонкостенных металлических изделий для глубокой очистки и модифицирования поверхности обработку ВЧ разрядом проводили 3-

4 циклами, что предотвращает перегрев таких изделий. В процессе очистки режущего инструмента рекомендуются следующие параметры разряда в среде аргона при давлении $P=(1 \cdot 10^{-1}-9 \cdot 10^{-2})\text{Па}$: отрицательное смещение на подложке должно составлять $-500-800\text{В}$, время очистки каждого цикла не более 5 мин. Для сохранения планшетности и предотвращения усталостной повреждаемости при длительной эксплуатации режущего инструмента после очищающей обработки следует проводить упрочнение циклическим нанесением пленочных покрытий, при этом количество слоев покрытия должно быть не менее трех с общей толщиной $0,9-3\text{ мкм}$.

Так как в результате ионной и атомной бомбардировки в процессе нанесения покрытий происходит развитие структурных напряжений сжатия [7], то для минимизации напряжений и лучшей адгезии покрытия TiN с режущим инструментом наносили подслои Ti (в течение 3 мин). Для получения нанопокрyтия TiN вакуумную камеру заполняли азотом чистотой 99,99% и обеспечивали давление $P = 1 \cdot 10^{-1}\text{Па}$. Отрицательное ВЧ смещение на подложке составляло $U_{\text{смещ}} = -100\text{ В}$. Рекомендованы параметры вакуумной дуги: ток дуги титанового катода - 110А, $I_{\text{фок}} = 0,65\text{ А}$. Для предотвращения перегрева тонкостенных изделий слои покрытия наносили циклически. Время нанесения одного слоя покрытия TiN составляло - 5 мин, а пауза между нанесением слоев - 3 мин. Общее время нанесения покрытия не превышало 15 мин для формирования его общей толщины - $3,0\text{ мкм}$.

Новый способ упрочнения тонкостенных дисковых ножей нанопокрyтием TiN защищен патентом Украины [8].

Внешний вид тонкостенного инструмента, упрочненного покрытием TiN после эксплуатации представлен на рис.2.

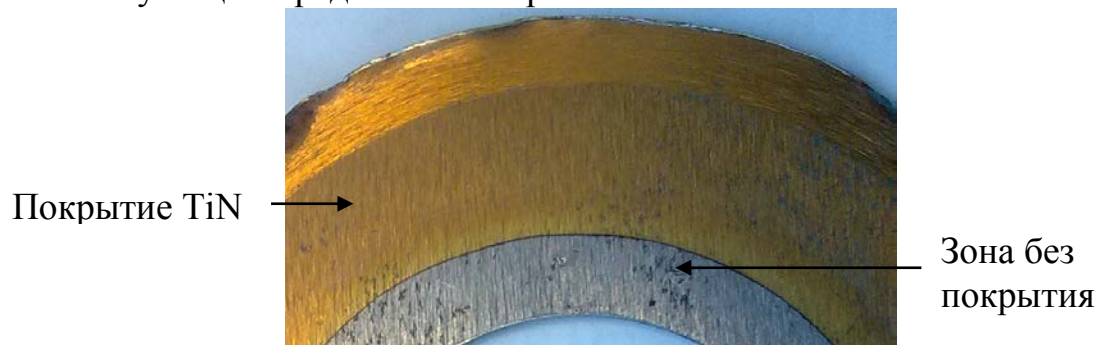


Рисунок 2 - Внешний вид ножа с покрытием TiN после эксплуатации

Предложенная циклическая обработка поверхности ножа ВЧ разрядом приводит к очистке пор и закрытию дефектов на рабочей поверхности. После нанесения покрытия толщиной $0,9-3\text{ мкм}$ поры очищены и закрыты пленкой покрытия. Это обеспечивает отсутствие коррозионной повреждаемости режущего инструмента в течение всего срока эксплуатации. После испытаний и износа слоя покрытия места расположения пор слабо проявляются и их границы сглажены. Отсутствует макроповреждаемость от этих дефектов при их наличии

на поверхності інструмента. Характер пошкоджуваності таких ножей відрізняється від вихідного режущого інструмента після стандартної обробки (закалки і відпуску) і упрочненого одношаровим нанопокриттям товщиною до 0,9 мкм. Відсутня пластична деформація (загиб) режущої кромки в результаті стабілізації структури і дифузії вуглецю. Упрочнений запропонованим способом інструмент має підвищену стійкість до пластичної деформації.

Для визначення фізико-механічних характеристик нанопокриттів використовували метод вдавлювання наноіндентора з реєстрацією глибини його вдавлювання при зростанні навантаження і записом діаграм. Використовували прилад «Nanoindenter G200». Для вимірювань використовували алмазну пірамідку Берковича.

Крива навантаження характеризує опір матеріалу вдавлюванню індентора і відображає еластичні і пластичні властивості покриття. Крива розвантаження відповідає еластичному відновленню відбитка. Діаграма вдавлювання індентора для вихідного зразка і з покриттям TiN наведені на рис.3.

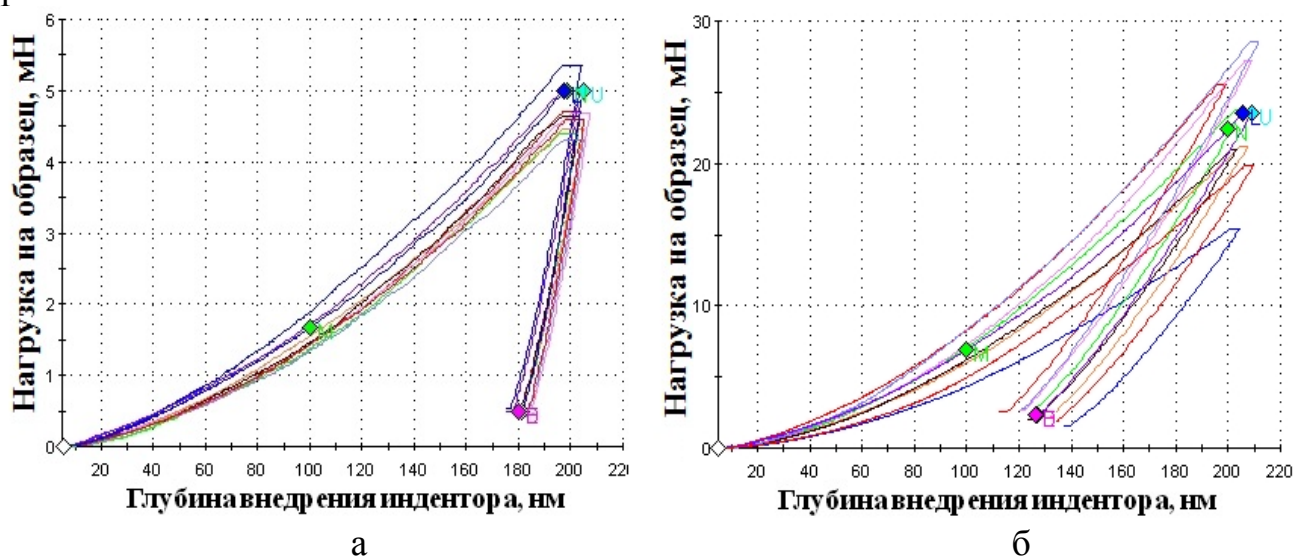


Рисунок 3 - Діаграма вдавлювання індентора при наноіндентуванні для вихідного зразка (а) і з нанопокриттям TiN (б)

Аналізуючи отримані криві, слід відзначити, що максимальне еластичне відновлення характерно для нанопокриття TiN (див. рис.3). Її оцінювали за величиною відносного змінення глибини відбитка при зняті навантаження. Для вихідного зразка цей показник становить 12,22%, для упрочненого -39,96%.

При проведенні досліджень в експерименті для кожного зразка було проведено по 8 вимірювань, на основі яких отримані значення твердості і модуля еластичності. Залежності нанотвердості від глибини вдавлювання індентора в металі представлені на рис.4.

Среднее значение нанотвердости по глубине для образца с покрытием TiN составило 25,66 ГПа. Среднее значение нанотвердости для исходного полированного образца составило 3,91 ГПа. Разброс в полученных данных по 8 измерениям достигает для исходного образца 11,13% и с нанопокрытием – 36,34%.

Полученные зависимости модуля упругости от глубины внедрения индентора в металл представлены на рис. 5.

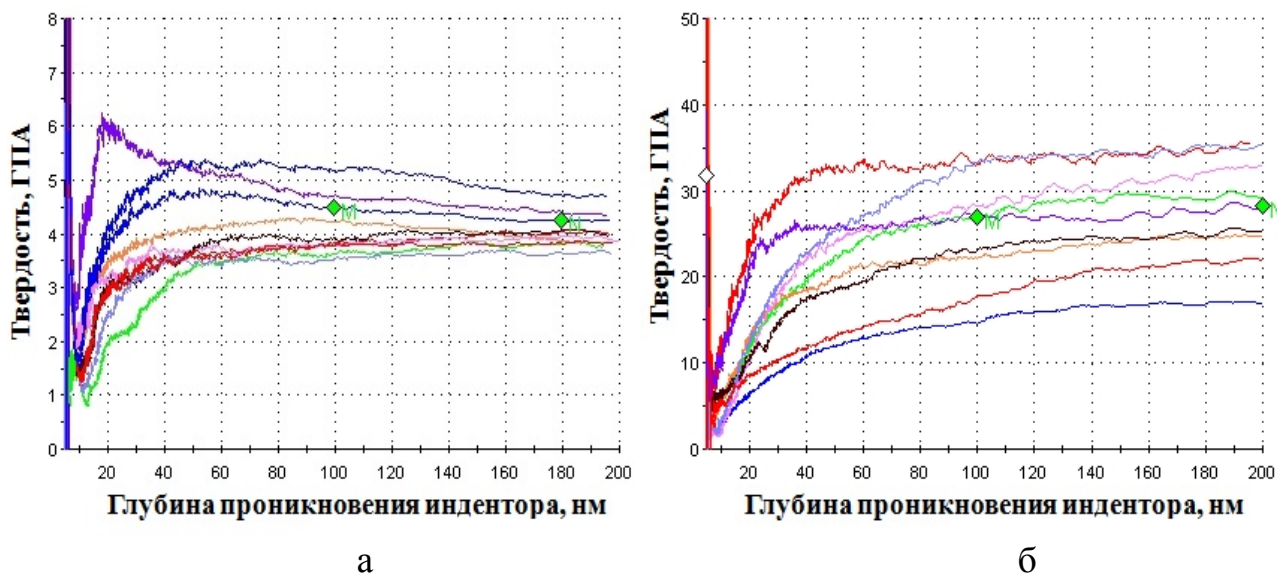


Рисунок 4 - Изменение нанотвёрдости в зависимости от глубины внедрения индентора для исходного образца (а) и с нанопокрытием TiN (б)

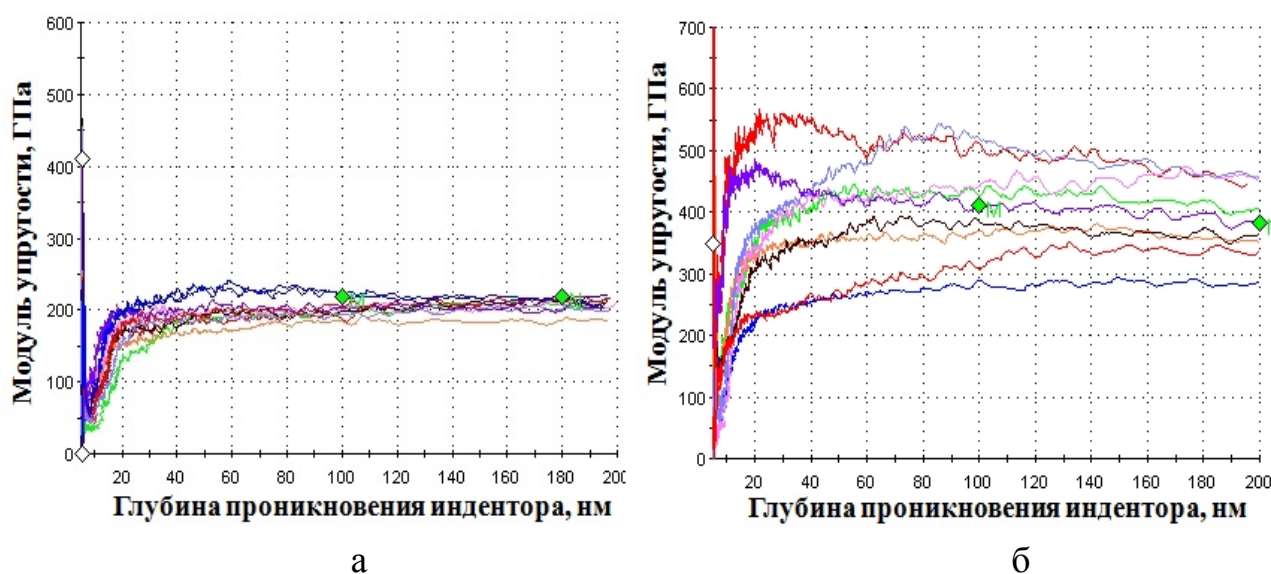


Рисунок 5 - Зависимость модуля упругости от глубины внедрения индентора для исходного образца (а) и с нанопокрытием TiN (б)

По результатам испытаний среднее значение модуля упругости для образца с покрытием TiN составило 389,28 ГПа, при этом разброс полученных данных достигает 27,19% за счет формирования нитридсодержащих включений.

Среднее значение модуля упругости для исходного образца составило 203,41 ГПа с разбросом данных 9,52%.

При сравнительном анализе механических свойств тонкостенного режущего инструмента оценивали сопротивление материала пластической деформации, используя величину H^3/E^2 [9]. Этот параметр для ножей, упрочненных покрытием TiN, увеличился в 77 раза по сравнению с исходным.

В результате проведенных исследований установлено, что упрочненные ножи обладают более высокими физико-механическими свойствами. Это обеспечивает увеличение эксплуатационной стойкости режущего инструмента, упрочненного по предложенному способу в 47 раз (подтверждено промышленными испытаниями) по сравнению с дисковыми ножами из исходного материала (сталь 65Г после закалки и отпуска). При такой длительной эксплуатации обеспечена планшетность упрочненного тонкостенного инструмента (см.рис.2).

Выводы

Разработан способ (защищен патентом Украины [8]) и параметры технологического процесса упрочнения тонкостенного режущего инструмента покрытиями TiN. Предложенный метод обеспечивает эффект самозатачивания ножей при эксплуатации, сохранение планшетности и отсутствие коррозионной повреждаемости упрочненной поверхности режущего инструмента в течение всего срока службы за счет циклической обработки ВЧ разрядом, которая приводит к очистке пор и закрытию дефектов на рабочей поверхности.

На основе сопоставительного анализа данных при наноиндентировании получены основные физико - механические характеристики исходного образца и с нанопокрывтием TiN. Полученные данные свидетельствует о повышенном уровне свойств рабочей поверхности ножей с покрытия TiN.

Проведенными исследованиями установлено увеличение эксплуатационной стойкости тонкостенных дисковых ножей, упрочненных по предложенному способу, в 47 раз.

Список литературы

1. Романюк С. П., Анализ методов упрочнения режущих инструментов // Вісник ХНТУСГ. –Харків, 2013. – Вип. 133. - С.136-142.
2. Патент RU 2161661, С23С14/06, С23С14/48, 10.01.2001
3. Патент RU 2188251, С23С14/38, 27.08.2002
4. Патент РФ 2131480, С23С14/06, С23С14/48, 10.06.1999
5. Романюк С.П. Анализ патентов и авторских свидетельств по упрочнению изделий/С.П. Романюк//Вісник ХНТУСГ.-Харків, 2015. – Вип. 158. - С.117-126.
6. Андреев А.А. Вакуумно-дуговые покрытия / А.А. Андреев, Л.П. Саблев, В.М. Шулаев, С.Н. Григорьев. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2010.– 318с.
7. Соболев О.В. Об управлении структурой и напряженным состоянием тонких пленок и покрытий в процессе их получения оинно-плазменным

методом//Физика твердого тела. – Санкт-Петербург, 2011г. - Вып. 7. - Том 53.- С1389-1398.

8. Патент №101699 Україна, МПК (2006.01) С23С 14/48, С23С 14/16. Спосіб підвищення експлуатаційної стійкості тонкостінного ріжучого інструменту/ Скобло Т.С., Романюк С.П., Сідашенко О.І., Гаркуша І. Є., Таран В.С., Незовибатько Ю. М.; заявник та патентоутримувач Романюк С.П. - №u201503179. заявл. 06.04.2015.; опубл. 25.09.15., Бюл. № 18.

9. Скобло Т.С. Исследования свойств нанопокртыий на режущем инструменте методом наноиндентирования/Т.С.Скобло, С.П.Романюк, А.И. Сидашенко// Агротехника и энергообеспечение. - Орел, 2014. -№4.- С.92-100.

Анотація

Розробка технологічного процесу підвищення експлуатаційної стійкості тонкостінного інструменту

Скобло Т. С., Сідашенко О.І., Романюк С. П., Гаркуша І. Є., Таран В.С., Незовибатько Ю.М.

Розроблено метод і параметри технологічного процесу зміцнення тонкостінного ріжучого інструменту нанопокриттям TiN. Запропонований метод забезпечує ефект самозаточування, збереження планшетності при зміцненні, відсутність корозійної пошкоджуваності і збільшення експлуатаційної стійкості тонкостінних дискових ножів в 47 разів. Методом наноіндентування досліджені властивості вихідного металу ріжучого інструменту і з нанопокриттям TiN.

Abstract

Development of technological process of increasing of thin-walled tool operational resistance

Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Romaniuk S.P., Garkusha I.E., Taran V.S., Nezovibatko Y.N.

The method and parameters of technological process of thin-walled cutting tool hardening by TiN nanocoating have been developed. The proposed method provides a self-sharpening effect, maintaining of flatness at hardening, absence of corrosion damageability and increasing of operational stability of the thin-walled circular knives in 47 times. Properties of original cutting tool metal and the one with TiN coating by nanoindentation method were investigated.