

## ДИФфуЗИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ И СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ПОКРЫТИЕМ

Р. Р. КУТЛУБАЕВ<sup>1</sup>, В. Р. МУХАМАДЕЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>imperial-1997@mail.ru, <sup>2</sup>vener\_muhamadeev@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** Рассматриваются возможные структурные изменения на поверхности режущего инструмента с композиционным покрытием TiAlN, происходящие при пластической деформации и повышенных температурах. Сделано предположение о внедрении структурных составляющих покрытия в основу режущего инструмента и роли этого процесса на диффузионные процессы.

**Ключевые слова:** структура, нанозерно, покрытие, режущий инструмент, диффузия, температура, адгезия, поверхность, окисление, кислород, углерод, микротвердость.

В процессе резания металлов происходит нагрев зоны резания, связанный с пластической деформацией и разрушением обрабатываемого материала. Также наблюдаются явления, происходящие в приконтактных поверхностях: трение, адгезия, микроразрушение, окисление, диффузия и т.д. [1–2].

Диффузия является одним из универсальных физических процессов, которые влияют на многие структурно-фазовые превращения, протекающие в контактных поверхностях инструмента и обрабатываемого материала. В настоящее время считается [3–5], что диффузионный износ инструмента при резании протекает по механизму как прямого растворения компонентов инструмента в обрабатываемый материал, но и за счет проникновения элементов обрабатываемого материала в контактные поверхности инструмента. Данное явление, в случае с твердосплавным инструментом, приводит к разупрочнению кобальтовой фазы, а следовательно, к снижению сил, удерживающих карбидные зерна в инструментальном материале. Исследования показывают, что диффузия по границам зерен на несколько порядков больше, чем внутри зерна, а энергия активации примерно в 2 раза меньше. Границы зерен оказывают значительное влияние только в твердых растворах замещения.

В растворах внедрения диффузия протекает преимущественно по междоузлиям кристаллической решетки без заметного влияния границ зерен. По аналогии с диффузией по границам зерен трубчатая диффузия вдоль дислокаций приобретает тоже очень большое значение при пониженных температурах [6].

Механическая обработка, влияя на структурные изменения в поверхностном слое, способствует интенсификации диффузии. Толщина диффузионных слоев настолько мала, что обнаружить данный слой экспериментально в контактных плоскостях инструмента и детали способами оптической металлографии очень затруднительно [1]. Процессы диффузионного растворения компонентов контактирующих поверхностей существенно влияют на суммарный износ режущего инструмента [1]. С ростом температуры резания наблюдается преобладание доли диффузионных процессов над усталостным изнашиванием в суммарной интенсивности [3].

В работе [4] рассматривались режущие инструменты с покрытиями и без них. Автор установила, что в зонах контакта стружки с режущим инструментом происходит структурная перестройка контактирующих поверхностей с образованием поверхностных слоев с ультрадисперсной структурой.

Было высказано утверждение, что кислород внешней среды, изменяя структуру поверхностных слоев инструмента, в сочетании с диффузией углерода создает более прочные и твердые оксиды и карбиды. На режущем инструменте из быстрорежущей стали было обнаружено, что температура резания интенсифицирует подвижность атомов железа и карбида. Определяющими диффузионными потоками являются диффузионные потоки атомов углерода и кислорода, которые вызваны переносом деформированного железа. При обработке углеродистой стали твердосплавным инструментом исследователь обнаружил диффузионные потоки из инструментального материала в стружку, а железо и кислород в подповерхностный слой инструмента. На следующем этапе были рассмотрены инструменты с покрытиями. Были выявлены потоки кислорода через покрытие на быстрорежущем инструменте. Автор утверждает, что покрытие замедляет скорость диффузии реагентов в 3...4 раза. В данном случае наблюдается диффузия титана в инструментальную основу, что в свою очередь резко интенсифицирует процесс окисления. Пока покрытие не разрушено, диффузия компонентов инструментальной основы не обнаруживается. При исследовании твердосплавной пластины с покрытием выявлено прохождение диффузии железа и кислорода в покрытие и интенсификация окисления в присутствии железа. Процесс окисления затрагивает не только покрытие, но и подповерхностные слои. Была обнаружена диффузия титана из покрытия в инструментальную основу, который в свою очередь интенсифицировал процесс окисления.

В работах [1, 3, 5] также говорится о диффузионных потоках кислорода, углерода, азота и других элементов, присутствующих в соединениях инструмента и обрабатываемой детали.

Во всех вышеуказанных работах упоминается о структурных изменениях, происходящих на поверхности режущего инструмента, но при этом недостаточно полно и подробно рассматриваются возможные структурные изменения, происходящие с инструментальным материалом и покрыти-

ем. Обнаружение титана в поверхностных слоях подложки может быть внедрение не только самого атома титана, но и перемещение нанозрена покрытия TiN или TiAlN.

Целью исследования было определение возможных структурных изменений между наноструктурным покрытием и микроструктурной подложкой, происходящих при пластической деформации и повышенных температурах в контактной зоне.

Для экспериментальных исследований использовались быстросменные многогранные пластины из твердосплавного титантанталкобальтового соединения ТТ8К6, предварительно подвергнутого азотированию (для лучшей адгезии покрытия и подложки), и нанесенными на них покрытием (Ti, Al)N. Толщина покрытия была измерена на приборе Calotest. Толщина покрытия составила  $h_{\text{покр}}=6,124$  мкм. Для исследования химического состава были изготовлены образцы в виде косых шлифов под углом  $5^{\circ}$  к верхней части режущих пластинок, в связи с чем ширина исследуемой области увеличивается в 9,57 раза, т.е.  $h_{\text{иссл}}=9,57 \cdot h_{\text{покр}}=58,61$  мкм. Эти образцы позволили исследовать гетерогенность состава на небольшой глубине под поверхностью. Образцы подвергались отжигу при  $700^{\circ}\text{C}$  под давлением 0,5 ГПа в течение 20 минут в условиях окружающей среды для определения возможного влияния атмосферы на режущий инструмент.

На следующем этапе экспериментального исследования было выполнено измерение микротвердости по ГОСТ 9450-76 на микротвердомере Struers Duramin при силе в 5 Н и при выдержке в течение 10 с. Измерение микротвердости проводилось согласно схеме, указанной на рис. 1.

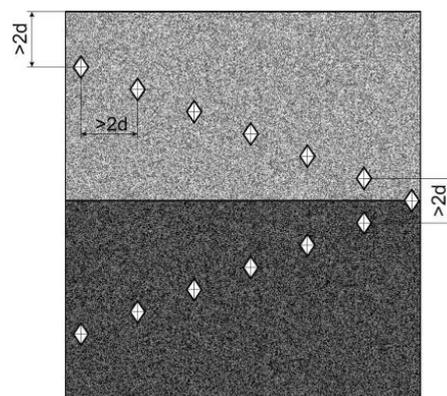
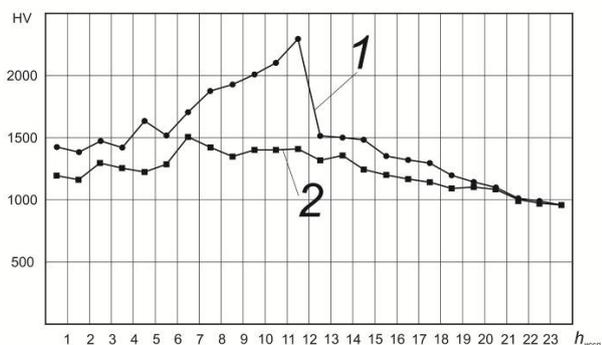


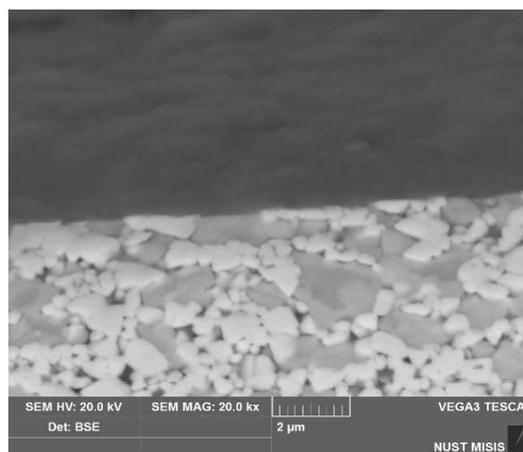
Рис. 1. Схема измерения микротвердости

Выполнялось 12 значений в области покрытия и еще 12 на таких же расстояниях в подложке. По полученным значениям микротвердости были построены графики зависимости  $H_v=f(h_{\text{иссл}})$  (рис. 2).

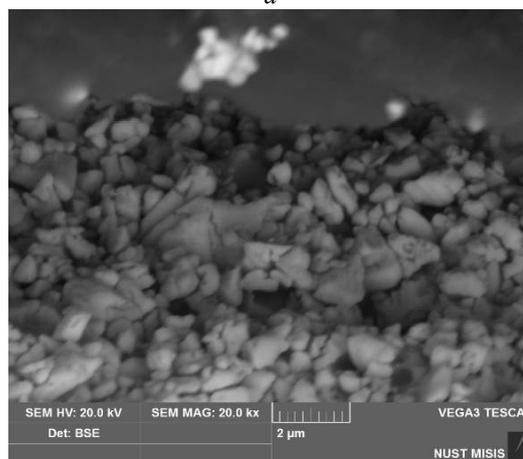


**Рис. 2.** Изменение микротвердости в зависимости от глубины измерения: 1 – исходное состояние; 2 – оттоженное состояние

Согласно графику, наглядно видно, что происходит скачок твердости на границе покрытие–подложка на исходном образце. Предположительно за счет повышенной концентрации азота. Рассматривая график твердости образца после отжига под давлением, наблюдается выравнивание твердости, но при этом эти значения выше твердости инструментальной основы. И по мере углубления в основу значение твердости приближается к твердости исходного состояния. Предположительно, происходит внедрение структурных элементов покрытия в подложку, что приводит к уменьшению среднего значения зерна, приводящее к увеличению микротвердости. Далее косые шлифы были рассмотрены с помощью растрового электронного микроскопа Vega3 фирмы Tescan при ускоряющем напряжении 20kV при увеличении 5000 и 20000 крат. Изображения были получены с помощью детектора отраженных электронов (BSE – backscattered electrons), предназначенный для получения изображений с информацией о вариациях состава на основе контраста по атомному номеру (рис. 3).



а



б

**Рис. 3.** Изображение шлифа (20 kV, BSE, увеличение 20000 крат): а – исходный образец; б – оттоженный образец

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- увеличение микротвердости в исходном образце на «границе» «покрытие–подложка» предположительно связано с высоким содержанием азота, полученного азотированием поверхности перед нанесением покрытия. Подобное увеличение твердости может являться концентратором напряжений или других внутренних факторов, которые могут привести к отслоению покрытия (рис. 2);
- изменение микротвердости происходит за счет принудительного внедрения структурных элементов покрытия в кобаль-

товую связку подложки, которое приводит к увеличению среднего значения микротвердости в приповерхностных слоях (рис. 3) и предположительно является структурной самоорганизацией системы «покрытие–подложка»;

- снятие напряжений приводит к выравниванию свойств покрытия в приповерхностных слоях инструмента, за счет чего происходит увеличение работоспособности режущего инструмента;

- при 427 °С происходит переход кобальта от  $\alpha$ -модификации к  $\beta$ -модификации, вследствие чего происходит изменение кристаллической решетки (из гексагональной в кубическую гранцентрированную). В свою очередь перестройка решетки является диффузионным процессом, что способствует проникновению покрытия в кобальтовую связку подложки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лоладзе Т. Н.** Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с. [T. N. Loladze. "Strength and Wear Resistance of Cutting Tools". (in Russia). Moscow : Mashinostroenie, 1982. 320 p.]
2. **Старков В. К.** Физика и оптимизация резания материалов. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с. [V.K. Starfov. "Physics and Optimization of Cutting". (in Russia). Moscow: Mashinostroenie, 2009. 640 p.]
3. **Липатов А. А.** Моделирование диффузионных процессов в контакте «твердый сплав - сталь». Известия ВолГТУ. 2008. №9(47). с. 22-26. [A.A. Lipatov. "Simulation of diffusion processes in the contact "hard alloy - steel". (in Russia). Bull. VSTU, no. 9 (47), p. 22– 26 (2008)]
4. **Беккер М. С.** Повышение работоспособности режущего инструмента на основе анализа механизма диффузионно-усталостного разрушения инструментального материала. Автореферат дис. д-р техн. наук. Тбилиси, Грузинский политехнический институт им В. И. Ленина. 1989. 39 с. [M.S. Becker. "Improving the efficiency of the cutting tool based on the analysis of the mechanism of diffusion-fatigue failure of the tool material". (in Russia). Autoabstract Dis. Dr. Techn. Sciences. Tbilisi GPTU. 1989. 39 p.]
5. **Мигранов М. Ш.** Повышение износостойкости инструментов на основе прогнозирования процессов адаптации поверхностей трения при резании металлов. Дис. д-ра техн. наук. Москва, РУДН. 2007. 328с. [M. Sh. Migranov. "Improvement of wear resistance instrumentov on the basis of forecasting of processes of adaptation of the friction surfaces when cutting metals." (in Russia). Dis. Dr. Techn. Sciences. Moscow PFUR. 2007. 328 p.]
6. **Бокштейн Б. С., Ярославцев А. Б.** Диффузия атомов и ионов в твердых телах: - М.: МИСИС, 2005. – 362 с. [B.S. Bokshstein, A.B. Yaroslavtsev. "Diffusion of atoms and ions in solids." (in Russia). – Moscow: MISiS, 2005.]

#### ОБ АВТОРАХ

**КУТЛУБАЕВ Рафаэль Рустамович**, студент каф. АТП (УГАТУ). Исследование триботехнических свойств наноструктурных покрытий.

**МУХАМАДЕЕВ Венер Рифкатович**, ст. преподаватель каф. ОКМиМ. Дипл. магистр техники и технологии (УГАТУ, 2007). Иссл. в обл. износостойкости режущего инструмента.

#### METADATA

**Title:** Diffusion phenomena and structural changes on the surface of the cutting tool with a coating.

**Authors:** R. R. Kutlubaev<sup>1</sup>, V.R. Muhamadeev<sup>2</sup>.

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>imperial\_1997@mail.ru, <sup>2</sup>vener\_muhamadeev@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 68-71, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The possible structural changes on the surface of the cutting tool with composite coating TiAlN occurring at plastic deformation and elevated temperatures are considered. The assumption is made about the introduction of structural components of the coating in the basis of the cutting tool and the role of this process on diffusion processes.

**Key words:** structure, nanograins, coating, cutting tools, diffusion, temperature, adhesion, surface, oxidation, oxygen, carbon, microhardness.

**About authors:**

**KUTLUBAEV, Rafael Rustamovich**, student of the sub-department "Technological process automation" USATU. Area of research in tribotechnical properties of nanostructured coatings

**MUKHAMADEEV, Vener Rifkatovich**, senior lecturer of the department of bases of constructing of mechanisms and machines of USATU. Mag.-ing. (USATU, 2007). Area of research in the field of wear resistance of the cutting tool