

ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ

ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛЕЙ ПРИ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЯХ

Известно, что разрушение и износ многих деталей машин и инструмента начинается с поверхности, поэтому придание поверхностному слою высоких прочностных свойств – необходимое условие увеличения ресурса работы деталей машин и стойкости инструмента [1]. Использование лазерно-плазменного наноструктурирования позволяет достичь здесь наилучших результатов.

Классические технологии локального термического упрочнения поверхности сталей и сплавов: светолучевые, плазменные, ТВЧ, лазерные, импульсные электродуговые и другие позволяют повысить ресурс работы режущего инструмента в 1,5–3,0 раза [2]. Эти методы сегодня практически исчерпали свои возможности по увеличению эффективности упрочнения и не позволяют кардинально повысить износостойкость.

Одна из современных тенденций в поверхностном упрочнении сталей и сплавов – разработка гибридных лазерных технологий локальной термической обработки: лазерно-дуговых, лазерно-плазменных, лазерно-индукционных, лазерно-электроискровых, которые имеют более высокую технико-экономическую эффективность по сравнению с классическими методами локального термического упрочнения и значительно расширяют технологические возможности классических методов локального упрочнения. Однако и они не позволяют достичь кардинального (n -кратного) повышения стойкости режущего инструмента.

Исследования последних лет показали, что наноструктурные поверхностные материалы с размером зерен менее 100 нм обладают улучшенными физико-механическими свойствами. Наноразмерные кристаллические зерна имеют не только высокую термическую стабильность, но и придают покрытиям сверхвысокую прочность и ударную вязкость [3].

Структура и дисперсность, а следовательно, и физико-механические свойства наноматериалов зависят от способа их получения. Основные из этих способов в настоящее время достаточно хорошо известны. Это – газофазный синтез, плазмохимический синтез, осаждение из коллоидных растворов, термическое разложение и восстановление, механосинтез, детонационный синтез и электровзрыв. К плазмохимическому синтезу достаточно близко примыкает газовый синтез с использованием лазерного нагрева реагирующей газовой среды [4].

Прикладной интерес к созданию поверхностных слоев из наноструктурных материалов связан с повышением требований к поверхности сталей и сплавов по износостойкости.



Рис.1 Дисковые отрезные фрезы, обработанные лазерно-плазменным методом

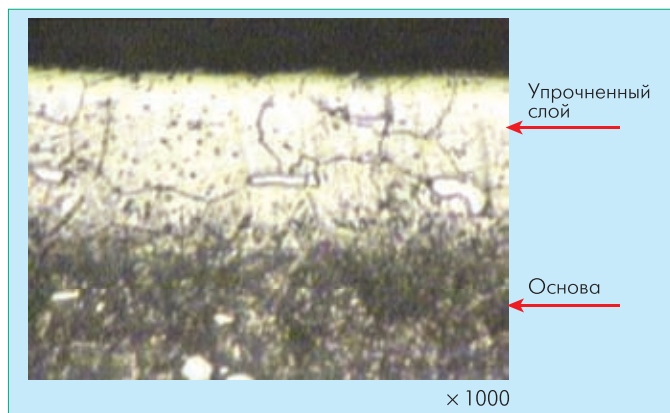


Рис.2 Шлиф поверхностного слоя стали А11РЗМЗФ2 упрочненного лазерно-плазменным методом

В ряде случаев экономически нецелесообразно изготавливать деталь из нанопорошков или наносить наноструктурный поверхностный слой с помощью термического напыления. Эффективнее формировать при нормальных атмосферных условиях нанокристаллический поверхностный слой непосредственно из того конструкционного материала, из которого изготовлена деталь, минуя промежуточные технологические стадии получения нанопорошков и изготовления из них деталей и инструментов.

Общие принципы формирования мелкозернистой структуры в сталях заключаются в высокоскоростном нагреве и охлаждении поверхностных слоев. Скорость охлаждения при этом должна значительно превышать критическую скорость закалки на мартенсит. Это условие является необходимым, но не достаточным для формирования в сталях поверхностных нанослоев.

Из известных концентрированных локальных поверхностных источников энергии только лазерное излучение обеспечивает наивысшую скорость нагрева и охлаждения. Но при обработке поверхности металлических материалов оно имеет существенный недостаток – высокий коэффициент отражения. Поэтому такая обработка должна производиться с использованием лазерно-плазменной технологии [5].

Как известно, лазерно-плазменная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с лазерной обработкой. Лазерная плазма не только повышает коэффициент поглощения лазерного излучения, но и выполняет другую важную функцию: высокоскоростную модификацию жидкой фазы расплава.

Для исследования возможности повышения износостойкости путем формирования лазерно-плазменным методом на режущей поверхности инструмента наноструктурных поверхностных слоев была выбрана быстрорежущая сталь А11РЗМЗФ2, что объяснялось рядом причин:

- эта марка быстрорежущей стали имеет самую низкую стоимость;
- инструмент, изготовленный из нее, обладает наименьшей стойкостью по сравнению с другими марками быст-

рорежущих сталей, что делает актуальным решение задачи повышения стойкости инструмента, изготовленного из этой марки стали.

Проведенные исследования по использованию лазерно-плазменной обработки для упрочнения отрезных и прорезных фрез (рис.1) позволили получить увеличение их стойкости до 10 раз (традиционные методы повышают стойкость инструмента не более чем в 1,5–3,0 раза). Столь высокое повышение стойкости, безусловно, представляет значительный научный и практический интерес для изучения, так как не может быть объяснено только эффектом быстрой автозакалки.

Проведенные металлографические исследования упрочненного поверхностного слоя на универсальном оптическом микроскопе NU–2E Karl Zeiss с видеовыходом и программой анализа изображений Image Expert Pro 2.0 (Германия) показали, что была достигнута толщина упрочненного слоя в 30 мкм (рис.2). При этом твердость основы быстрорежущей стали А11РЗМЗФ2 составила 8000 МПа, а твердость упрочненного слоя – 12000 МПа.

Лазерно-плазменное упрочнение проводилось в углеродосодержащей плазме. Аномально высокое повышение стойкости отрезных фрез после лазерно-плазменной обработки

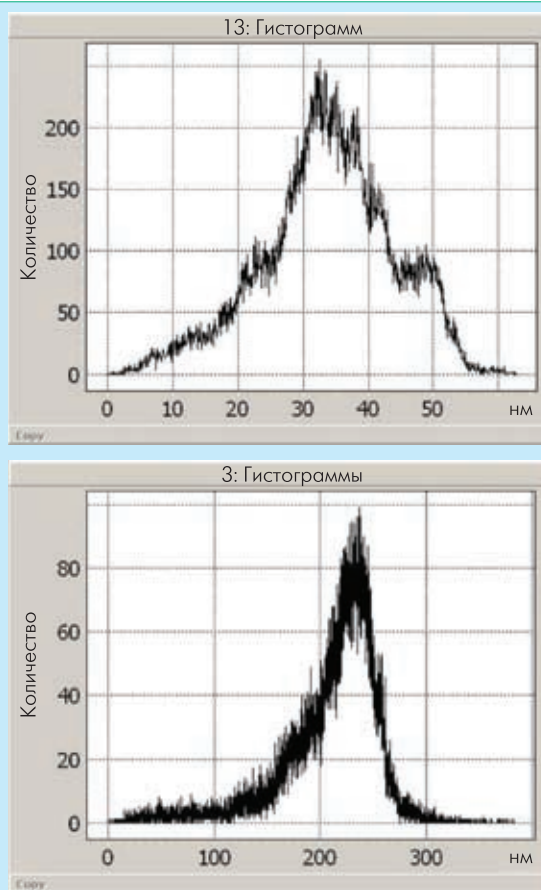


Рис.3 Гистограммы наноструктур поверхностных слоев быстрорежущей стали А11РЗМЗФ2 после лазерно-плазменной обработки

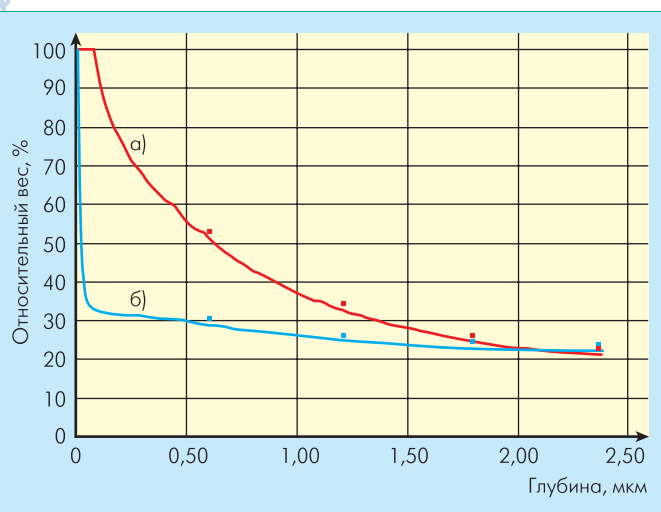


Рис. 4 Изменение содержания углерода в поверхностном слое быстрорежущей стали: а) до лазерно-плазменной обработки, б) после лазерно-плазменной обработки

А11РЗМЗФ2, проведенный на спектроанализаторе, подтвердил их соответствие химсоставу стали А11РЗМЗФ2.

На рис.4а,б показано изменение содержания углерода в поверхностном слое быстрорежущей стали до и после лазерно-плазменной обработки в углеродосодержащей плазме. Исходное содержание углерода в стали А11РЗМЗФ2 составляет 1,096%.

Наибольшее содержание углерода в поверхностном слое соответствует глубине 0,167 мкм и после лазерно-плазменной обработки составляет 4,567%. Такое большое содержание углерода можно объяснить диффузией углерода из приповерхностной лазерной плазмы в обрабатываемую поверхность.

Итак, можно сделать следующие выводы:

1. Лазерно-плазменная обработка позволяет сформировать в поверхностном слое инструментальной стали А11РЗМЗФ2 наноструктурные слои.
2. Создание на поверхности инструментальной стали А11РЗМЗФ2 наноструктур позволяет значительно повысить стойкость обрезающих и прорезных фрез.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника – М.: Машиностроение, 1985. – 424с.
2. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение машиностроительных материалов. – М.: Машиностроение, 1994. – 496с.
3. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Под ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса, П. Аливисатоса. Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 292с.
4. Гусев А.И., Ремпель А.А. Нанокристаллические материалы. – М.: Физматлит, 2001. – 224с.
5. Забелин А.М., Оришич А.М., Чирков А.М. Лазерные технологии машиностроения: Уч. пособие – Новосибирск: НГУ, 2004. – 142с.

позволило сделать предположение, что кроме упрочнения в режиме автозакалки поверхностного слоя произошло изменение химического состава и структурно-фазового состояния поверхностного слоя толщиной несколько микрон, который нельзя проанализировать с помощью оптического микроскопа.

Исследования 3D-топографии структуры поверхностного слоя, проведенные на атомно-силовом микроскопе модели Solver PRO-M компанией NT-MDT (РФ), показали наличие в этом слое наноструктур различной дисперсности (рис.3).

Различие в дисперсности (рис.2а,б) объясняется, по-видимому, различным энергетическим лазерно-плазменным воздействием на упрочняемую поверхность.

Химический состав поверхностного слоя стали А11РЗМЗФ2 после лазерно-плазменной обработки исследовался также на эмиссионном спектроанализаторе модели "Spectruma GDA750" (Германия), точность измерения – 0,005%. Спектральный анализ образцов инструментальной стали