

М 85505

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА  
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н. Э. БАУМАНА.

На правах рукописи



ЯРЕСЬКО Сергей Игоревич

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ  
ВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ  
ИНСТРУМЕНТА, ИЗГОТОВЛЕННОГО НА ИХ ОСНОВЕ.

05.03.07.- Оборудование и технология  
лазерной обработки.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук.

Москва - 1992

Работа выполнена в Самарском филиале ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции Физического института им. П. Н. Лебедева

Научный руководитель

- доктор технических наук,  
профессор Григорьянц  
Александр Григорьевич.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук,  
с.н.с. Сафонов А.Н.  
- кандидат технических наук  
Травушкин Г.Г.

Ведущее предприятие

- ПО "ЗИМ"

Защита состоится "9" ~~сентября~~ 1992 г. на заседании специализированного совета К053.15.03 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного знамени государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-ая Бауманская ул. д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Баумана.

Ваш отзыв в одном экземпляре просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан

*Рассон*  
Ученый секретарь  
специализированного  
технических наук,

МР5505

178584

Актуальность проблемы. Применение в машиностроении вольфрамо-кобальтовых твердых сплавов для изготовления режущего инструмента позволяет повысить производительность процесса резания, обеспечивает возможность обработки изделий из твердых и абразивных материалов. Эффективность использования твердосплавного инструмента зависит в первую очередь от совершенствования его свойств. Наряду с традиционными способами решения этой задачи лазерная обработка является эффективным приемом, призванным изменять структурные параметры и свойства твердых сплавов. С помощью лазерного облучения в процессе дополнительной, после изготовления твердосплавной продукции, обработки возможно получать состояние структурных составляющих сплава, обеспечивающее в поверхностном слое материала заданные свойства. Однако в ряде случаев проблема повышения стойкости инструмента при помощи лазерной обработки не может быть решена известными способами (нанесение покрытий, лазерное легирование). При этом представления о природе структурно-фазовых превращений, происходящих в поверхностном слое твердых сплавов в зоне лазерного воздействия (ЗЛВ), в настоящее время еще окончательно не сформированы, не существует единого мнения о механизме их упрочнения, особенно при облучении на режимах, не вызывающих нарушения сплошности поверхностного слоя материала. Имеющиеся результаты по лазерной обработке твердых сплавов, хотя в отдельных случаях и свидетельствуют о положительном эффекте, не являются систематическими и однозначными, не определены области режимов рационального использования в производственных условиях облученного инструмента. Подход к лазерной обработке твердых сплавов с оплавлением, как к способу повышения рабочих свойств режущего инструмента, имеет ограниченное применение, обусловленное необходимостью доводки и перешлифовки его режущих кромок после лазерной обработки. Указанный способ невозможно реализовать для упрочнения твердосплавных многогранных неперетачиваемых резцовых пластин (МНП), выпуск которых постоянно увеличивается как по объему, так и по номенклатуре.

В связи с этим создание новой технологии и разработка научно обоснованных рекомендаций по процессу лазерной бездефектной поверхностной обработки твердосплавного инструмента с целью повышения его стойкости и выбор рациональных областей использования облученного на оптимальных режимах инструмента являются актуальными.

НПО МГТУ им. Н.Э. Баумана



1085505

яресько С.И. Разработка с

I



Цель работы. Повышение стойкости инструмента из вольфрамокобальтовых твердых сплавов импульсной лазерной поверхностной обработкой.

Объект и методы исследования. В качестве объекта исследований использовались промышленные вольфрамокобальтовые сплавы следующих марок: ВК6, ВК8, ВК10, ВК20 как в состоянии поставки, так и после изотермического отжига и электролитического травления и модельный сплав ВК50. Металлографические и дюрOMETрические исследования выполнялись с помощью оптических микроскопов ММР-4, "Neophot-30" при увеличении до 1350 крат, твердомера PMT-3 при нагрузке 200Г. Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометрах ДРОН-2,0; ДРОН-3М в  $\text{Co}_{\text{K}\alpha}$ -излучении. Анализ степени дефектности тонкой структуры и напряженного состояния карбидной фазы сплавов осуществлялся на дифрактометрах ДРОН-2,0 и "Streinflex" модели RSF-2М фирмы "Rigaku" (Япония), а также методом пластико-угольно-хромовых реплик на просвечивающем электронном микроскопе ПРЭМ-200. Прямое измерение содержания  $\text{W}$  в  $\text{Co}$ -фазе осуществлялось с помощью электронного сканирующего микроскопа JSM-35CF фирмы Jeol (Япония) с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа AN10000 фирмы Link Analytical (Великобритания).

Стойкостные испытания инструмента проводились при обработке течением сталей различной обрабатываемости на токарно-винторезных станках 16К20 и 1А62. Контроль величины износа осуществлялся многократным ее измерением на большом инструментальном микроскопе БМИ-III с цифровой индикацией измерений. Анализ механизма изнашивания и сравнение рельефа и поверхностных характеристик площадок износа резцов -- на оптическом микроскопе "Neophot-30" и растровых микроскопах SEM-505 и РЭМ-100V; микроанализ с этих же площадок в характеристическом излучении  $\text{Fe}$  и  $\text{Co}$ .

Эксперименты по облучению образцов и инструмента проводились на отечественной лазерной технологической установке (ЛТУ) "Квант-16". Установка эксплуатировалась как в штатном, так и модернизированном вариантах. После модернизации в зоне обработки формировалось пятно размером  $0,4 \times 4 \text{ мм}^2$ , равномерность интенсивности лазерного излучения при использовании фокусирующего призмного раstra составила  $\sim 3\%$ , максимальная энергия в импульсе -- до 45 Дж при длительности импульсов до 11 мс.

Расчет параметров температурного поля в образцах выполнен в одномерной линейной модели нагрева полубесконечного однородного

тела.

### Научная новизна.

1. Установлен механизм упрочнения вольфрамокобальтовых твердых сплавов при импульсной лазерной поверхностной обработке, заключающийся в дополнительном растворении периферии зерен  $\text{WC}$  в кобальте, перераспределении  $\text{Co}$ -фазы к поверхности и увеличении степени микроискажений кристаллической решетки карбидной фазы сплавов. Указанные изменения в  $\text{Co}$ -фазе сплавов достигаются при плотности энергии  $\epsilon \sim (1,4-1,5) \text{ Дж/мм}^2$  при однократном ( $N=1$ ) воздействии и  $\epsilon \sim 1,1 \text{ Дж/мм}^2$  при кратности облучения  $\sim 10$ . Увеличение  $\epsilon$  и  $N$  ведет к изменениям в составе сплава и нарушению сплошности поверхностного слоя материала.

2. Показано, что наибольшее увеличение стойкости твердосплавного инструмента происходит при его многократной импульсной лазерной обработке, вследствие увеличения времени его пребывания в области температур  $1290-1400^\circ\text{C}$  в  $\sim 1,5$  раза и снижения скорости охлаждения более, чем в 2 раза, по сравнению с однократным облучением. При этом не наблюдается нарушения сплошности поверхностного слоя сплава, активизируется процесс растворения карбидов в кобальте и увеличение растворимости составляет  $\sim 25\%$ , а рост зерен  $\alpha\text{-WC}$  за счет перекристаллизации в условиях зернограницного плавления не наблюдается. Указанное положение лежит в основе предложенного в работе способа обработки твердых сплавов группы ВК, на который получено положительное решение ВНИИТЭ на выдачу авторского свидетельства.

3. Показано, что наибольшее увеличение стойкости твердосплавного режущего инструмента достигается в условиях его адгезионно-усталостного износа. В этом случае увеличение стойкости обусловлено ростом адгезионного слияния  $\text{WC}$ -зерен с цементирующей кобальтовой связующей, а на участке приработки — перераспределением  $\text{Co}$ -фазы к поверхности контакта (облучения) и достигается при бездефектном облучении сплавов.

Практическая ценность. Способ повышения стойкостных характеристик твердосплавного инструмента (положительное решение по заявке №4864734/02 от 28.03.91г.), разработанный на основе проведенного комплекса металлофизических исследований структуры и состава твердых сплавов группы ВК в ЗЛБ, анализа изнашивания облученного инструмента, обеспечивает увеличение его стойкости в 1,5 – 2,0 раза. Проведенные в работе исследования также открывают возможность

в определенных пределах управлять структурой материала с целью благоприятного изменения его свойств.

Разработаны рекомендации по организации в производственных условиях технологического процесса многократной импульсной лазерной обработки вольфрамокобальтовых твердых сплавов.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы в инструментальном производстве машиностроительных предприятий для повышения стойкости твердосплавного инструмента. Для разработки способа комбинированного упрочнения твердых сплавов они применены на кафедре "Резание материалов" Московского станкоинструментального института, а для организации технологического участка лазерного упрочнения - на ПО "ЗИМ" г.Самары.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Республиканской научно - технической конференции "Создание и использование лазерной техники и технологии в машиностроении и приборостроении" (г.Киев, 1985), 5-ой Международной конференции "Lasers and their Applications" (г.Дрезден, ГДР, 1985), Республиканском научном семинаре "Лазерная технология" (г.Вильнюс, 1987), Всесоюзной научно-технической конференции "Новые материалы и ресурсосберегающие технологии термической и химико-термической обработки - основа повышения надежности и долговечности деталей машин и инструмента" (г.Телави, ГрузССР, 1987), Региональной конференции "Практическое применение и перспективы развития лазерной технологии" (г.Ульяновск, 1989), III Всесоюзной конференции "Применение лазеров в народном хозяйстве" (г.Шатура, Моск.обл., 1989) - два доклада, 4-ом Международном симпозиуме "INT'8TRIBO-90" (VYSOKE TATRY, ЧССР, 1990), Всесоюзной научно-технической конференции "Пути повышения стойкости и надежности режущих и штамповых инструментов" (г.Николаев, 1990).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ, из них 7 - тезисы докладов, получено 3 положительных решения ВНИИТЭ на выдачу авторских свидетельств.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов по работе, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 196 машинописных страницах, из них 126 страниц машинописного текста, 46 рисунков на 42 страницах, 12 таблиц, приложения на 4 страницах, список литературы из 160 наименований на 18 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Первая глава посвящена анализу возможности применения различных способов упрочнения вольфрамкобальтовых твердых сплавов, используемых в инструментальном производстве. Рассмотрены механизмы повышения прочностных свойств сплавов, освещено современное состояние и перспективы использования лазерного излучения при поверхностной обработке сплавов, проанализированы особенности этого процесса применительно к упрочнению твердосплавного режущего инструмента.

Свойства твердых сплавов можно варьировать как на стадии спекания, воздействуя на состав и структуру связующей фазы, так и путем их последующей термообработки (ТО) уже в спеченном состоянии, либо при модификации поверхности. По результатам многочисленных исследований, проводимых в этой области, известно, что упрочнение твердых сплавов, в основном, определяется условиями воздействия на связующую кобальтовую фазу, однако, при этом не следует упускать из виду изменения карбидной фазы при обработке.

Так, анализ известных способов упрочнения твердых сплавов группы ВК, среди которых наиболее распространенными являются объемная ТО и методы поверхностного пластического деформирования (ППД), показывает, что повышение их механических свойств обусловлено изменением состава и структуры обеих фаз сплава. В кобальте наблюдается дополнительное растворение вольфрама, изменяется внутризеренная структура карбида вольфрама. Оба эти фактора влияют на упруго-пластические характеристики твердых сплавов, которые в значительной степени определяют прочность и долговечность последних, а также эксплуатационную стойкость инструмента. Наблюдаемое повышение прочности и деформативности твердого сплава после упрочнения объясняется уменьшением степени контакта карбидных зерен, повышением прочности связующей фазы, благодаря дополнительному растворению в ней  $W$  и  $Co$  после закалки. Повышение прочностных характеристик твердого сплава в результате ТО увеличивает возможности режущего инструмента. Наилучшее применение он находит при тех условиях резания, когда превалирующее влияние на износостойкость оказывают его прочностные характеристики и эффективность ТО напрямую зависит от характера износа инструмента. Наибольшее увеличение стойкости закаленного инструмента наблюдается в условиях его адгезионно-усталостного износа.

Рассмотрение методов ППД позволяет установить определенное

соответствие между возникающими в обеих фазах напряжениями и ростом прочности сплава.

Лазерная обработка позволяет в ряде случаев добиться существенного повышения эксплуатационных характеристик инструмента. Тем не менее, в настоящий момент не существует единого мнения о природе превращений, происходящих в твердом сплаве в ЗЛВ, не разработана технология рационального применения обработанного лазерным излучением твердосплавного инструмента. Имеющиеся данные относятся, в основном, к обработке на режимах, обеспечивающих расплав материала в ЗЛВ с последующим удалением дефектного слоя. Отсутствие рекомендаций по улучшению эксплуатационных характеристик изделий из твердых сплавов не позволяет использовать полученные результаты в конкретных технологических процессах.

Ограниченное применение полученных результатов связано также с неоднородностью распределения плотности энергии по сечению лазерного пучка.

При анализе процессов структурообразования в ЗЛВ при малых уровнях дозы облучения выявлены характерные зависимости степени упрочнения сплавов группы ВК от содержания кобальта при увеличении размера карбидных зерен и росте длительности воздействия. Это позволяет связывать эффект упрочнения с изменением состояния связи, хотя, как и при лазерной обработке с оплавлением, прямых экспериментальных доказательств изменения состава  $\alpha_0$ -фазы исследуемых сплавов не получено. Бездефектная импульсная лазерная обработка твердых сплавов, являясь наиболее технологичным способом упрочнения мелкоразмерного инструмента, остается при этом наименее изученным из известных способов. Это следует объяснять технологической сложностью обработки и трудностью получения бездефектных упрочненных слоев. Кроме того, практически не решен вопрос о выборе рациональных условий эксплуатации обработанного на оптимальных режимах инструмента, не существует научно разработанных рекомендаций по организации процесса лазерной ТО твердосплавного инструмента с целью повышения его стойкости.

На основании проведенного анализа была сформулирована цель настоящей работы и поставлены следующие задачи:

1. Исследовать структурно-фазовые превращения в ЗЛВ твердых сплавов группы ВК; установить механизм упрочнения сплавов, облученных на режимах, не вызывающих деструктивных изменений и нарушения сплошности в поверхностном слое материала;

2.Обосновать изменения структурно-фазового состава исследуемых сплавов, обеспечивающие повышение служебных характеристик инструмента;

3.Разработать и обосновать критерий экспресс-выбора режимов облучения;

4.Проанализировать изнашивание облученного инструмента, выбрать рациональные области его применения;

5.Разработать рекомендации по организации процесса лазерной термической обработки твердосплавного инструмента.

Во второй главе приведены сведения об исследуемом материале и методиках экспериментов и исследований,обоснована необходимость проведения модернизации ЛТУ "Квант-16".

Широкое применение твердосплавного инструмента сдерживается вследствие нестабильности исходных структурных, физико-механических характеристик технических сплавов  $ws-co$ . Это обусловлено неоднородностью условий их спекания. В связи с этим в работе была реализована определенная последовательность анализа структурно-фазового состава вольфрамокобальтовых твердых сплавов и процесса изнашивания инструмента на их основе. Весь цикл металлофизических исследований и стойкостных испытаний проводился на группе образцов с последующей статистической обработкой результатов экспериментов. Кроме того, для анализа характеристик материала после облучения был введен относительный показатель некоторых измеряемых параметров, были приняты специальные меры при подготовке образцов для исследований.

В качестве основного метода исследования тонкой структуры, напряженного состояния и структурно-фазовых изменений использовался рентгеноструктурный анализ.

Оценка степени дефектности тонкой структуры проводилась аналитически в соответствии с методом интегральной ширины. Значения размеров блоков ( $L$ ) и микроискажений ( $\Delta d/d$ ) определялись непосредственно из системы уравнений, получаемой применением уравнения

$$V_p/V_{\phi} = 1 - (V_s/V_{\phi})^2$$

к двум линиям (для  $ws$ -фазы: (101) и (202)), где  $V_p$  и  $V_s$  - уширение линии вследствие блочности и микроискажений,  $V_{\phi}$  - физическое уширение исследуемого рефлекса.

Прямое рентгенографическое измерение периода решетки  $co$ -твердого раствора осуществлялось по положению центра тяжести линии (311)  $\beta-co$  после электролитического удаления  $ws$ -фазы с по-

верхности сплава. Это устраняло факторы, вызывающие смещение линий  $\text{Co}$ -фазы, не связанное с изменением ее состава. Наилучшему режиму травления соответствует плотность анодного тока  $I, 1 \text{ A/cm}^2$  и время травления - 4ч.

Модернизация ЛТУ "Квант-16" позволила увеличить степень равномерности распределения плотности энергии лазерного излучения по сечению пучка и тем самым повысить эффективность процесса лазерной ТО. Расширение энергетических (до 45 Дж) и временных (до 11 мс) возможностей установки после модернизации способствовало более полной реализации режимов лазерного упрочнения инструмента. Регулирование скорости охлаждения при изменении длительности воздействия (от 5 до 11 мс) позволило обеспечить в ЗЛВ условия для наиболее полного протекания процессов формирования структур, стойких к воздействию внешних нагрузок.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию структурно-фазовых превращений в ЗЛВ вольфрамокобальтовых твердых сплавов.

Эксперименты проводились как с использованием фокусирующего призмного раstra, так и без него, в условиях однократного ( $N=1$ ) и многократного ( $N > 1$ ) воздействия при вариации плотности энергии обработки ( $\epsilon$ ).

Установлено, что наиболее существенные изменения структуры и состава сплавов при облучении заключаются в обеднении поверхностного слоя углеродом в результате диссоциации монокарбида  $\alpha\text{-WC}$  по реакции  $2\text{WC} \rightarrow \text{WC}_2 + \text{C}$ , обладающей минимальной молярной энергией (177,2 ккал/моль) и образовании двойных карбидов (типа  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  и др.) по границам карбид-кобальт. Появление карбидов этого типа оказывает отрицательное влияние на прочность сплава, поскольку химически связывая  $\text{Co}$ , они уменьшают его содержание в связке, ослабляя в ней закрепление карбидного скелета. Наиболее предпочтительно использовать для облучения режимы, не приводящие к деструктурным изменениям в ЗЛВ. При достижении температуры эвтектики (1298-1357°C) в ЗЛВ наблюдается рост зерен  $\alpha\text{-WC}$  ( $\epsilon > 1,2 \text{ Дж/мм}^2$ ,  $N=1$ , без раstra), что может быть объяснено только процессом их перекристаллизации через жидкую фазу. Этот процесс значительно усиливается в интервале температур 1400-1450°C. Наличие жидкой фазы активизирует дополнительное растворение карбида вольфрама в кобальте и образование в условиях быстрого охлаждения насыщенного твердого раствора  $\text{WC}$  в кобальте.

Результаты исследований ЗЛВ при изменении  $N$  и  $\epsilon$  показывают, что наиболее предпочтительным является использование многократного облучения с кратностью  $\sim 10$  с использованием раstra, т.к. в этом случае более, чем в 1,5 раза увеличивается длительность воздействия и время пребывания сплава в области температур 1290-1400°C, что обеспечивает более полное протекание в ЗЛВ процессов формирования износостойких структур, в частности, активизируется процесс дополнительного растворения  $Wc$  в кобальте, усиливающий адгезионную связь карбидных зерен со связкой.

Независимо от массового содержания  $Co$  в сплаве после облучения обращает на себя внимание факт увеличения интенсивности рефлексов  $\beta-Co$ . Наряду с ростом зерен  $\alpha-Wc$  и изменением конфигурации зерен карбидов при низких уровнях дозы облучения этот факт находит объяснение при привлечении результатов расчета температурного поля в ЗЛВ.

Процесс передачи тепла в ЗЛВ можно представить следующим образом. Поскольку карбидные зерна занимают практически весь объем твердого сплава и хорошо смачиваются кобальтом (краевой угол смачивания  $\theta \approx 0^\circ$ ), то распределение температуры по глубине в твердом сплаве, как гетерогенной среде, определяется в значительной мере теплофизическими параметрами карбидной фазы. Учитывая, что  $T_{пл\ Wc} = 2720^\circ$ , а  $T_{пл\ Co} = 1490^\circ$ , в этом случае в межзеренных промежутках по механизму зернограничного плавления образуется жидкая фаза. При этом на поверхности сплава в ЗЛВ не наблюдается появления тармических трещин, рентгенографически не обнаружено хрупких двойных карбидов. В частности, при  $N = I$  и  $\epsilon = 1,4 \text{ Дж/мм}^2$  при  $z=0$ :  $T_{max\ Wc} = 1294^\circ\text{C}$ , а при  $N = 10$  и  $\epsilon = 1,2 \text{ Дж/мм}^2$ :  $T_{max\ Wc} = 1460^\circ\text{C}$  (т.е.  $T \geq T_{эвт.}$ ).

В этом случае объясним факт появления большего числа крупных зерен  $Wc$ -фазы при  $\epsilon \geq 1,4 \text{ Дж/мм}^2$  ( $T_{max\ Wc} = 1524^\circ\text{C}$ ,  $N=1$  при  $z=0$ , облучение без раstra) за счет перекристаллизации через жидкую фазу.

При уровнях плотности энергии, соответствующих появлению в межзеренных промежутках жидкой фазы происходит ее миграция к поверхности под воздействием капиллярных сил. Процесс идет примерно в интервале температур 1300-1400°C. Путем микрорентгеноспектрального анализа зафиксировано обогащение поверхности сплава ВКС  $Co$ -фазой, что находится в соответствии с данными рентгенофазового анализа. Причем, если в ЗЛВ  $T < T_{плав.\ эвт.}$ , то аппаратно заметно перераспределения ни одного из элементов не зафиксировано (так

при  $\epsilon = 0,8 \dots 1,0 \text{ Дж/мм}^2$  ( $N = 10$ ):  $T_{\text{max}} \text{ вк} = 1130 \dots 1250^\circ\text{C}$ ).

Определено также, что лазерное облучение твердых сплавов приводит к дополнительному растворению периферии зерен вк в кобальте. При многократном облучении ( $N \sim 10$ ) сплавов в состоянии поставки увеличение степени растворимости составляет  $\sim 25\%$  и наблюдается, начиная с  $\epsilon \sim 1,1 \text{ Дж/мм}^2$ , вплоть до значений плотности энергии, соответствующих нарушению структуры и состава сплава. Вместе с этим зафиксировано увеличение полуширины линии  $(311)\beta\text{-Co}$ , характеризующее степень дефектности тонкой структуры кобальта при облучении, которое коррелирует с ростом степени растворимости вк в со и составляет  $\sim 10\%$  для сплавов в состоянии поставки при их бездефектной многократной ( $N \sim 10$ ) обработке с  $\epsilon \cong 1,5 \text{ Дж/мм}^2$ .

Установлен механизм влияния лазерного излучения на тонкую структуру вк-фазы сплавов. При анализе образцов, свободных от термических напряжений, показано, что лазерная обработка приводит к наклепу зерен  $\alpha\text{-вк}$ . Для сплава ВК6 максимальная степень дефектности тонкой структуры наблюдается при  $\epsilon = 1,5 \text{ Дж/мм}^2$ ,  $N = 1; 10$ , а для сплава ВК20 - при  $\epsilon = 1,5 \text{ Дж/мм}^2$ ,  $N = 1$  и  $\epsilon = 1,1 \text{ Дж/мм}^2$ ,  $N = 10$ . Для промышленных марок сплавов, взятых в состоянии поставки, этот эффект слабо выражен, вследствие предварительной деформации поверхностного слоя материала ( $L = 270 \dots 480 \text{ \AA}$ ,  $\Delta d/d = (2,6 \dots 3,2) \cdot 10^{-3}$ ,  $\rho = (3,0 \dots 6,3) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ ). Наиболее сильно он проявляется при многократном ( $N \sim 10$ ) облучении с  $\epsilon \cong 1,5 \text{ Дж/мм}^2$  (независимо от марки сплава). Причем однократное облучение не приводит к заметному изменению тонкой структуры вк-фазы.

Исходя из представлений о решающей роли карбидного скелета в начальной стадии деформации и разрушения твердых сплавов системы вк-со в условиях растяжения, увеличение напряжений растяжения в карбидной фазе играет отрицательную роль. С этой точки зрения при лазерной обработке твердых сплавов предпочтение следует отдавать режимам, при которых изменения не только в фазовом составе, но и в напряженном состоянии фаз минимальны. Т.е. плотность энергии излучения не должна превышать  $1,5 \text{ Дж/мм}^2$  при  $N = 1$ , а при воздействии с  $N \sim 10$  величина  $\epsilon$  должна быть  $\leq 1,1 \text{ Дж/мм}^2$ . В этом случае возникающие в ЗЛВ незначительные растягивающие напряжения ( $\sim 140 \text{ МПа}$ ), складываясь с временными, возникающими при резании и могущими при соответствующих режимах течения достигать максимальной величины, напряжениями сжатия, могут увеличить запас прочности при тчении.

Таким образом, результаты анализа структуры ЗЛВ твердых спла-

вов, исследования состава и тонкой структуры фаз, напряженного состояния свидетельствуют о целесообразности использования режимов многократного воздействия, не приводящего к нарушениям сплошности поверхностного слоя материала, для повышения стойкости инструмента в условиях адгезионно-усталостного износа.

В четвертой главе предложен и обоснован критерий экспресс-выбора режимов лазерного воздействия в технологическом процессе упрочнения. Наличие поверхностных трещин, возникающих при лазерной обработке, может служить критерием выбора режимов воздействия на рабочие грани инструмента. Обнаружение трещин в ЗЛВ осуществлялось как визуально при увеличении 50-60 крат, так и методом акустической эмиссии (АЭ) по суммарному числу сигналов АЭ ( $N_{\Sigma}$ ). Метод визуального определения трещин, если его использовать в качестве критерия выбора оптимальных режимов облучения, достаточно прост и технологичен. Его достоверность была подтверждена экспериментально по выявлению трещин методом АЭ. На рис. I, представлена зависимость предельных значений  $\epsilon$ , соответствующих появлению первых поверхностных визуально фиксируемых трещин, от кратности облучения (сплав

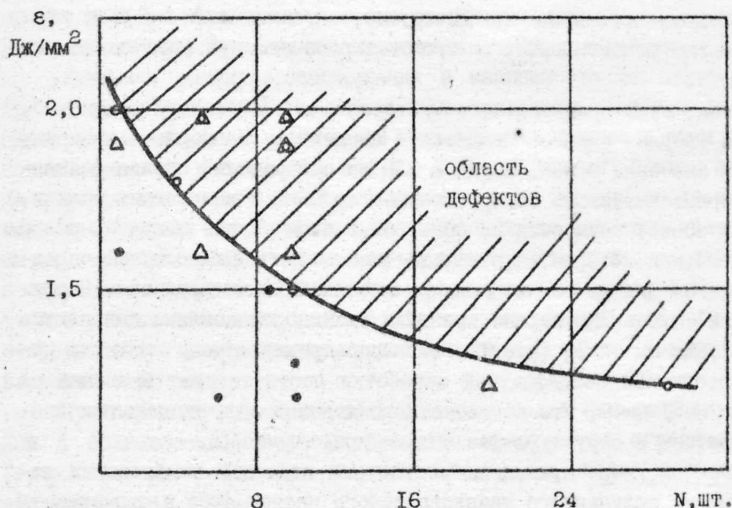


Рис. I. Зависимость предельных значений  $\epsilon$  от кратности обработки при лазерном облучении с растром:  
 кривая I - визуальный контроль; •,  $\Delta$ ,  $\nabla$  - методом АЭ:  
 • -  $N_{\Sigma}=0$ ;  $\Delta$  -  $N_{\Sigma} \leq (4...6)\text{ед}$ ;  $\nabla$  -  $N_{\Sigma} > (4...6)\text{ед}$ .

ВК6), область бездефектной обработки лежит под изображенной на нем кривой. При совмещении на этом графике данных по возникновению трещин, полученных визуально и методом АЗ, видно, что в пределах ошибки определения величины  $\epsilon$  вблизи представленной на нем кривой, соответствующей визуальному обнаружению первых поверхностных трещин в ЗЛВ, размещаются данные, для которых  $N_{\Sigma} \leq (4...6)$  ед. Это соответствует появлению первых признаков макродефектов. Такое совпадение дает возможность утверждать, что результаты, полученные при визуальном осмотре поверхности облучения являются достоверными. И этот метод контроля трещинообразования в ЗЛВ сплавов можно использовать в технологическом процессе их упрочнения для нахождения рабочего режима облучения инструмента. Для определения режимов устойчивой работы в бездефектной области было построено распределение вероятности появления трещин в зависимости от величины  $\epsilon$  при  $N = \text{const}$ , из которого следует, что если при  $\epsilon = 1,4 \text{ Дж/мм}^2$  ( $N = 10$ ) трещина появляется с вероятностью - единица, то при  $\epsilon = 1,1 \text{ Дж/мм}^2$  ( $N = 10$ ) вероятность снижается практически до нуля. Т.е. при снижении  $\epsilon$  на 20...25% относительно кривой (рис.1) обработка будет заведомо проведена без деструктивных изменений в ЗЛВ и этот режим можно рекомендовать в качестве рабочего при упрочнении инструмента.

Итак, суть предлагаемого критерия экспресс-выбора режима облучения твердых сплавов сводится к следующему. На первом этапе находятся значения  $\epsilon$  и  $N$ , когда в ЗЛВ на поверхности сплава появляются первые визуально обнаруживаемые трещины. В дальнейшем величина  $\epsilon$  ( $N = \text{const}$ ) снижается на 20...25%. В этом случае получаем режим обработки, при котором структурные изменения в фазах сплава предпочтительны для их реализации при лазерной ТО инструмента. Например, для сплава ВК6 первые признаки трещинообразования появляются при  $\epsilon = 1,5 \text{ Дж/мм}^2$ ,  $N = 10$  (рис.1); согласно предлагаемому критерию режиму устойчивой бездефектной обработки соответствует значение  $\epsilon = 1,3 \text{ Дж/мм}^2$ ,  $N = 10$ , что согласуется с данными, полученными при анализе состава и структуры фаз сплава при облучении.

В пятой главе приведены результаты изучения стойкостных характеристик облученного твердосплавного инструмента в зависимости от условий облучения и режимов точения, исследованы закономерности его изнашивания.

При продольном точении заготовок из сталей 12Х18Н10Т, 12Х2Н4А твердосплавными МНП изучалось влияние режимов облучения и

скорости резания на стойкость инструмента.

Показано, что структурно-фазовые изменения в поверхностном слое твердых сплавов при их лазерной обработке оказывают решающее влияние на размерную стойкость инструмента на их основе. Существует прямая зависимость между этими изменениями и изнашиванием инструмента.

Наибольшее увеличение стойкости при точении стали 12Х18Н10Т со скоростью 80 м/мин наблюдается при  $\epsilon \sim 1,5 \text{ Дж/мм}^2$  ( $N=1$ ). В этом случае лазерная обработка исключает нарушение сплошности поверхностного слоя сплава, стимулирует усиление адгезионных связей карбидных зерен со связкой. Точение в этом случае сопровождается появлением нароста на передней режущей грани, который возникает как следствие увеличения среднего коэффициента трения, за счет роста связи карбидных зерен с со-матрицей и роста степени дефектности тонкой структуры  $\omega\epsilon$ -фазы. Образование нароста ведет к уменьшению движения обрабатываемого металла относительно заготовки, приводит к увеличению фактического переднего угла, что облегчает стружкообразование, уменьшает нагрев режущего лезвия. Кроме того, нарост защищает режущую кромку инструмента от истирания сходящей стружкой. Наблюдается общее уменьшение интенсивности износа резцов.

Динамика развития изнашивания в зависимости от величины  $\epsilon$  при многократной обработке аналогична процессам, наблюдаемым при однократном облучении. Появление нароста и связанное с этим повышение стойкости наблюдается при  $\epsilon = 0,9 \dots 1,1 \text{ Дж/мм}^2$ . В этом случае на поверхности сплава в ЗЛВ развиваются температуры, соответствующие нагреву при однократном облучении с более высокими значениями  $\epsilon$ , что обуславливает изнашивание этих резцов подобно однократнооблученным. Существенное отличие многократной обработки заключается в уменьшении числа отказов облученного инструмента, вызванных микросколами и выкрашиваниями, проявляется в снижении коэффициента вариации стойкости.

При переходе к режимам воздействия с более высокими значениями  $\epsilon$  возможности лазерной обработки оказываются ограниченными (вследствие растрескивания поверхностного слоя сплава и обеднения его углеродом).

Показано, что на начальной стадии резания снижение схватывания облученного твердого сплава с обрабатываемым материалом, а следовательно, и снижение интенсивности изнашивания резцов обусловлено не только изменением структуры фаз сплава, но и повышенным

содержанием кобальта в поверхностном слое материала. С течением времени удаление этого слоя из зоны контакта приводит к некоторому сближению стойкостных характеристик облученного и контрольного инструментов. Однако, присутствие в зоне обработки структур, обладающих повышенной стойкостью к адгезионному износу, позволяет длительное время (вплоть до начала катастрофического износа инструмента) сохранять МНП высокие эксплуатационные характеристики.

При точении необработанным инструментом, как правило, выход его из строя происходит вследствие выкрашивания материала режущей кромки.

По данным стойкостных испытаний (ВК8-12Х2Н4А, ВК6-12Х18Н10Т) и микрорентгеноспектральных исследований поверхностей износа МНП, облученных по оптимальным режимам, показана целесообразность их применения при скоростях резания, когда преобладает адгезионно-усталостный износ инструмента. В области же контактных температур, когда развиты диффузионные процессы в контактной зоне, прочностные характеристики сплава не оказывают существенного влияния на интенсивность износа и роль лазерной обработки на режимах, не приводящих к деструктурным изменениям в зоне облучения, на стойкость МНП не существенна. С уменьшением скорости резания, когда преобладает адгезионно-усталостный механизм износа резцов, наблюдается увеличение их стойкости (40-50%) при режимах однократного ( $\epsilon \sim 1,5 \text{ Дж/мм}^2$ ) и многократного ( $\epsilon \sim 0,9 \dots 1,1 \text{ Дж/мм}^2$ ) воздействия. Причем наибольшему увеличению стойкости соответствуют более высокие значения величины нароста. Таким образом, лазерная обработка, приводя к усилению адгезионной связи карбидных зерен с со-связующей, создает предпосылки к уменьшению количества микросколов и выкрашиваний, к общему росту стойкости резцов. Уменьшение адгезионной активности инструмента к обрабатываемому материалу после лазерной обработки резцов приводит при неизменных режимах резания к целенаправленному изменению силовой нагруженности инструмента, способствует росту его стойкости.

В шестой главе разработаны рекомендации по организации технологического процесса многократной импульсной лазерной обработки вольфрамокобальтовых твердых сплавов. При его реализации стойкость режущего инструмента увеличивается в 1,5-2,0 раза, а уменьшение коэффициента вариации стойкости происходит в  $\sim 3,0$  раза. Сформулированы требования к оборудованию, инструмент для упрочнения должен выбираться после изучения и анализа его изношенных,

необлученных поверхностей, определение конкретного режима обработки должно осуществляться в соответствии с предложенным критерием экспресс-выбора режимов облучения. Даны рекомендации по дальнейшему развитию и применению разработанного способа упрочнения твердых сплавов группы ВК.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. Установлено, что импульсная лазерная обработка вольфрамокобальтовых твердых сплавов приводит к усилению адгезионной связи карбидных зерен с  $\text{Co}$ -матрицей за счет дополнительного растворения периферии зерен  $\text{WC}$  в кобальте. При эксплуатации инструмента это выражается в уменьшении склонности его режущей кромки к микросколам и выкрашиваниям, в снижении размерного износа резцов.

2. Показано, что наибольшее увеличение стойкости твердосплавного режущего инструмента наблюдается в условиях его адгезионно-усталостного износа при бездефектной обработке по режиму, соответствующему предложенному критерию экспресс-выбора оптимальных режимов облучения. В этом случае увеличение стойкости обусловлено ростом адгезионного слипания  $\text{WC}$ -зерен с цементирующей кобальтовой связующей и перераспределением  $\text{Co}$ -фазы к поверхности облучения.

3. Установлено, что наиболее эффективный рост стойкости инструмента происходит при его многократной бездефектной импульсной лазерной обработке вследствие увеличения времени пребывания сплава в области температур  $1290^{\circ}\text{--}1400^{\circ}\text{C}$  в  $\sim 1,5$  раза и снижения скорости охлаждения более, чем в два раза, по сравнению с однократным воздействием.

4. Показано, что режимам лазерного воздействия, отвечающим оптимальному составу и структуре  $\text{Co}$ -фазы вольфрамокобальтовых твердых сплавов, соответствуют изменения в тонкой структуре карбидной фазы, выражающиеся в росте степени микродеформации решетки  $\text{WC}$ -фазы в среднем на 20% при многократном ( $N=10$ ) облучении сплавов в состоянии поставки. При резании это условие является важным фактором, способствующим уменьшению размерного износа инструмента.

5. Разработан и обоснован критерий экспресс-выбора оптимальных режимов импульсного лазерного облучения вольфрамокобальтовых сплавов, заключающийся в проведении обработки со значениями плотности энергии на 20–25% ниже значений  $\epsilon$ , соответствующих появлению первых визуально обнаруживаемых поверхностных трещин.

6. Разработаны рекомендации по организации в производственных

условиях технологического процесса многократной импульсной лазерной обработки вольфрамкобальтовых твердых сплавов, в результате которого стойкость режущего инструмента увеличивается в  $\sim 1,5-2,0$  раза, а уменьшение коэффициента вариации стойкости происходит в  $\sim 3,0$  раза.

7. Полученные результаты использованы на кафедре "Резание материалов" Московского станкоинструментального института для разработки комбинированного способа упрочнения твердых сплавов и на ПО "ВИМ" г. Самара для организации технологического участка лазерного упрочнения.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах: 1. Исследование структурных превращений в твердом сплаве ВК8 в зоне импульсной лазерной обработки / Д.М. Гуреев., В.А. Катулин., А.П. Лалетин и др. // Физика и химия обработки материалов. - 1986. - №5. - С.46-50.

2. О состоянии тонкой структуры карбидов в твердом сплаве ВК8 в зоне импульсной лазерной обработки / Д.М. Гуреев., А.П. Лалетин., В.Н. Чулкин., С.И. Яреско // Физика и химия обработки материалов. - 1987. - №5. - С.36-40.

3. Исследование влияния импульсного лазерного излучения на структурно-фазовый состав твердых сплавов и эксплуатационные характеристики инструмента на их основе / Д.М. Гуреев., С.И. Яреско., А.П. Лалетин., А.Л. Петров // Тр. ФИАН СССР. - 1989. - Т.198. - С.90-110.

4. Влияние лазерного излучения на характер износа твердосплавного режущего инструмента / Д.М. Гуреев., С.И. Яреско., А.П. Лалетин., А.Л. Петров // Трение и износ. - 1989. - Т.10, №4. - С.674-680.

5. Петров А.Л., Яреско С.И. Изнашивание твердосплавных резцов, обработанных излучением лазера // "INTERTRIVO-90": Доклад 4ый Международный симпозиум, ЧОФР, м. Высокие Татры, 17-20 апреля 1990г. - Братислава, 1990. - С.65-68.

6. Григорьянц А.Г., Яреско С.И. Исследование напряженного состояния карбидной фазы твердого сплава ВК8 при импульсной лазерной обработке // Сверхтвердые материалы. - 1991. - №1. - С.49-56.

*Подписано к печ. 03.03.92г. Зак. 108*

Объем 4... п.л. Тираж 100 экз. *Гип. МГТУ.*