

СОЗДАНИЕ ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ В ТВЕРДОМ СПЛАВЕ ВК20 ПРИ ОПЛАВЛЕНИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ ВК6 ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ*

*А.Г. ТЮРИН, канд. техн. наук, доцент,
Д.Н. ПРОХОВ, магистрант,
А.А. РУКТУЕВ, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 3 сентября 2012 года

Тюрин А.Г. – 630092, г. Новосибирск;
Новосибирский государственный технический университет, e-mail: tyurin78@mail.ru

Представлены результаты микроструктурных исследований твердого сплава ВК20 после оплавления на его поверхности порошковой смеси ВК6 лазерным излучением. Приведены результаты металлографических исследований композиции «ВК20-ВК6» после оплавления лазерным лучом. Установлено, что в процессе оплавления лазерным излучением в поверхностном слое происходит химическое взаимодействие между компонентами вольфрамкобальтовой порошковой смеси по реакции $3\text{Co} + 3\text{WC} \rightarrow (\text{Co;W})_3\text{C} + 2\text{C}$. Высокая скорость охлаждения при лазерной обработке способствует сохранению продуктов данной реакции – углерода в виде графитных включений и сложного карбида $(\text{Co;W})_3\text{C}$ до комнатной температуры.

Ключевые слова: вольфрамкобальтовый твердый сплав, обработка лазерным лучом, градиентная микроструктура.

Введение

Одной из важных задач, стоящих перед металлообрабатывающими предприятиями России, является повышение производительности обработки металла с сохранением высокого уровня качества продукции. Основными инструментальными материалами, широко применяемыми в металлообработке, являются вольфрамкобальтовые твердые сплавы. Существенные недостатки, снижающие эксплуатационные характеристики вольфрамкобальтовых твердых сплавов, – это низкие значения предела прочности при поперечном изгибе, невысокая стойкость к ударным нагрузкам, а также высокая стоимость компонентов.

Одним из способов повышения надежности инструментального материала служит поверхностное упрочнение, например, нанесение различного рода упрочняющих покрытий [1,2], поверхностное модифицирование высокоэнергетическими источниками нагрева [3, 4] и др. Получение материала, сочетающего высокую твердость и износостойкость поверхности с высокой прочностью сердцевины при поперечном изгибе, позволяет существенно повысить

эксплуатационную надежность металлообрабатывающего инструмента и тем самым увеличить производительность металлообработки.

Цель работы заключается в исследовании структуры и свойств вольфрамкобальтовых твердых сплавов с градиентной микроструктурой, сформированной поверхностной обработкой лазерным лучом.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов, применяемых в экспериментах, использовали промышленный твердый сплав ВК20 и твердосплавную порошковую смесь ВК6, изготовленную в соответствии со стандартом СТО 00196144-0727-2010 «СМК. Процессы жизненного цикла продукции. Смеси твердосплавные для производства изделий». Химический состав используемой порошковой смеси представлен в таблице.

Технология поверхностного упрочнения твердого сплава ВК20 с использованием лазерной энергии включала следующие этапы:

– нанесение порошковой смеси ВК6 на обрабатываемую поверхность сплава ВК20;

* Работа выполнена в рамках реализации проекта ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы», государственный контракт № 16.513.11.3004 от 08 апреля 2011 года

Состав порошковых смесей

Марка порошковой смеси	Массовая доля %					Средний размер по Фишеру, мкм
	Углерод общий	Углерод свободный, не более	Кобальт	Кислород, не более	Железо, не более	
ВК6	5,45-5,70	0,1	5,7-6,2	0,4	0,2	–

– оплавление обрабатываемой поверхности лучом лазера;

– механическая обработка упрочненной поверхности.

Твердосплавные пластины ВК20 представляли собой бруски размером 35×5×5 мм. На боковую поверхность 35×5 мм наносилась порошковая смесь ВК6 с применением технологии шликерного литья. Оплавление смеси ВК6 на поверхности твердого сплава ВК20 осуществлялось с использованием лазерного технологического комплекса «Сибирь-2» производства Института теоретической и прикладной механики СО РАН (ИТПМ). Комплекс представляет собой прокачной CO₂-лазер, излучение которого непрерывно и обладает длиной волны 10,6 мкм.

Важной особенностью лазерной установки является устройство резонатора, разработанного в ИТПМ, позволяющее сохранять высокое качество излучения при его высоких мощностях. Образец закреплялся на рабочем столике, перемещающемся в процессе обработки относительно лазерного луча. Для уменьшения степени окисления спекаемой по-

верхности оплавление осуществлялась в защитной атмосфере инертного газа – гелия. Оплавление производилось при мощностях лазерного луча: 1; 1,5 и 3 кВт, при скоростях передвижения образцов относительно лазерного излучения 0,5; 1; 1,5 м/мин. Диаметр лазерного пучка составил 0,2 мм в фокусе излучения, настроенном на глубину 2 мм от поверхности образца.

Для проведения металлографических исследований использовали световой микроскоп Carl Zeiss AXIO Observer A1m и растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO50, оснащенный микроанализатором EDS X-Act (Oxford Instruments). Для оценки диффузионных процессов при оплавлении лазерным излучением использовали функции картирования и определение химического состава вдоль линии.

Металлографические исследования на световом микроскопе проводились в диапазоне увеличений от 40 до 1500 крат с использованием метода светлопольного освещения. Объектами исследования служили металлографические шлифы, приготовленные по стандартным методикам, включающим такие операции, как механическое шлифование и полирование, а также химическое травление.

Результаты и обсуждение

Микроструктурные исследования поверхностных слоев композиции «ВК6-ВК20» после оплавления лазерным лучом свидетельствуют об образовании четырех типов зон в поверхностном слое. На рис. 1 представлено характерное строение этих участков. Четко выделяется исходная структура сплава ВК20. Размер частиц карбида вольфрама составляет 3...8 мкм. Далее следует область, имеющая трехфазное строение и состоящая из частиц карбида вольфрама, фазы (Co,W)₃C и материала связки на основе кобальта. Появившаяся в процессе обработки фаза (Co,W)₃C расположена преимущественно между частицами карбидов вольфрама. Такая форма образования фазы (Co,W)₃C является нежелательной, так как приводит к уменьшению объемной доли связующего компонента, что способствует снижению предела прочности материала при поперечном изгибе. Область материала, оплавленная в процессе обработки, состоит из двух участков: зоны, имеющей крупнозернистое двухфазное строение (рис. 1, а, б), а также участка, имеющего мелкозернистое строение и состоящего как минимум из трех фаз (рис. 1, в, з). Размер ча-

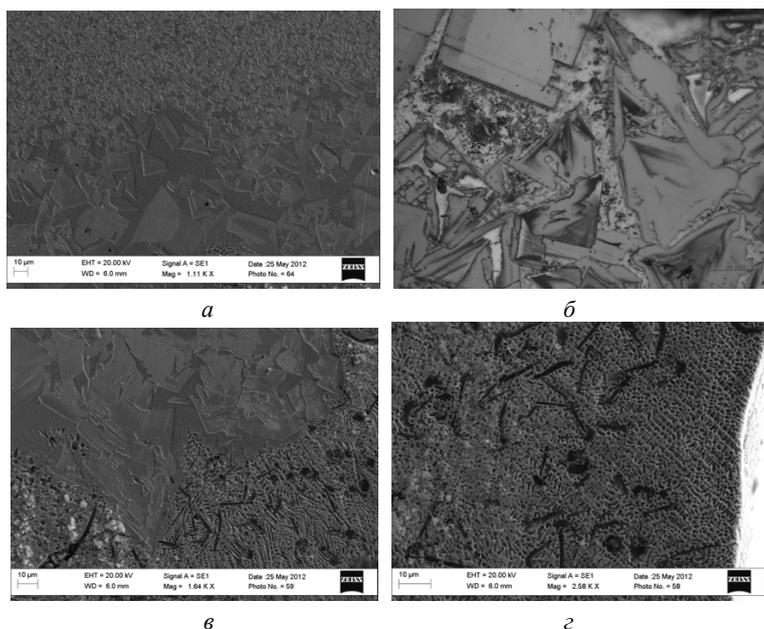
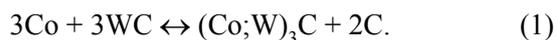


Рис. 1. Фотографии микроструктур композиции ВК6-ВК20 обработанных лазером:

а – переходная зона между зонами, имеющих мелкое и крупное строение; б – зона крупных частиц карбида вольфрама; в – переходная зона между областью с крупным строением и многофазной областью; з – многофазная зона

стиц карбида вольфрама в крупнозернистой зоне находится в диапазоне от 20 до 50 мкм. В многофазной области присутствуют два типа выделений: пластинчатой формы (длинной 20 и толщиной 2–3 мкм) и глобулярной формы с диаметром 5–7 мкм. Также в многофазной области встречаются крупные частицы карбида вольфрама и дендритные колонии эвтектики $\text{Co}-(\text{Co},\text{W})_3\text{C}$.

Наличие отмеченных соединений подтверждается данными микрорентгеноспектрального и фазового анализов. На рис. 2 представлено распределение химических элементов в исследуемой области. Вокруг крупных частиц карбида вольфрама четко прослеживается область с повышенным содержанием вольфрама, что говорит об интенсивном протекании диффузионных процессов при лазерном оплавлении. Установлено, что крупные карбиды имеют следующий химический состав: 92,41 % W, 5,3 % C и 0,78 % Co. Материал связки содержит 13,44 % C; 60,4 % Co; 17,3 % W и 7,1 % O. Химический состав фазы пластинчатой и глобулярной формы одинаков и состоит из 94,18 % C, 2 % W и 1,36 % Co, т.е. в процессе оплавления лазерным излучением в поверхностном слое произошло выделение углерода в виде графитных включений двух типов: пластинчатой и глобулярной формы. Вероятно, в процессе нагрева имеет место протекание химического взаимодействия между компонентами вольфрамокобальтовой порошковой смеси по реакции



В отличие от условий нагрева и охлаждения при воздействии лазерного излучения спекание в вакуумной печи, охлаждение при котором происходит с невысокой скоростью, приводит к протеканию данной реакции в обратном направлении с распадом сложного карбида $(\text{Co},\text{W})_3\text{C}$ на WC и Co. Поскольку обработка лучом лазера характеризуется высокими скоростями нагрева и охлаждения, то продукты реакции (1) не успевают вступить в химическое взаимодействие в обратном направлении. Это способствует сохранению фазы $(\text{Co},\text{W})_3\text{C}$ и C до комнатных температур с выделением углерода в виде графитных включений глобулярной и пластинчатой формы.

Установлено, что технологические режимы оказывают значительное влияние на размер образующихся зон. Так, например, увеличение скорости перемещения образца относительно лазерного луча от 0,5 до 1,5 м/мин приводит к уменьшению толщины переходного слоя от 80...100 мкм до 20 мкм. Таким

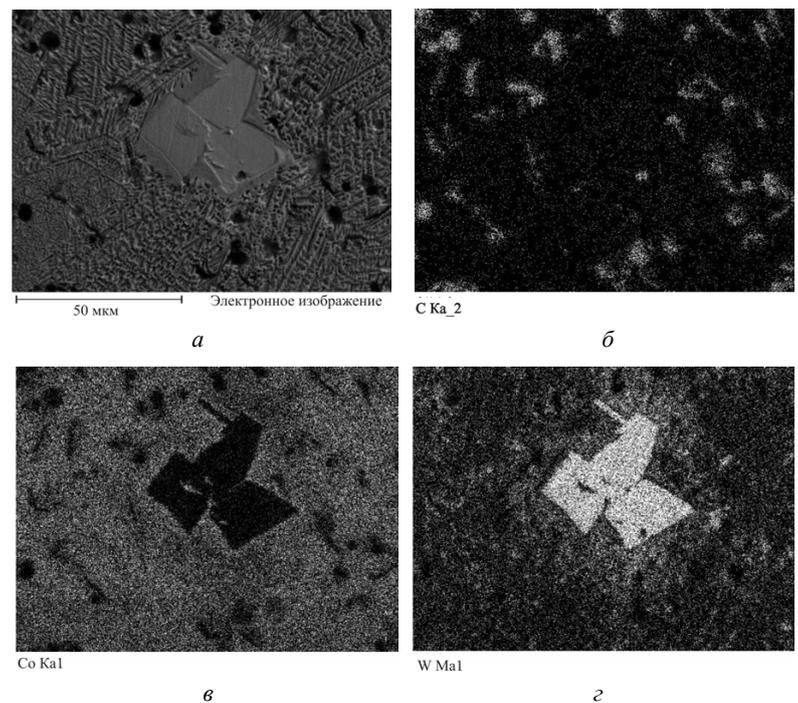


Рис. 2. Распределение химических элементов в поверхности микрошлифа:

a – фотография исследуемого участка; *б* – распределение углерода; *в* – распределение кобальта; *г* – распределение вольфрама

образом, при малых скоростях обработки происходит значительный разогрев всего образца, что снижает скорость охлаждения и, как следствие, протекание реакции (1) в обратном направлении и образование двухфазной структуры, состоящей из крупных частиц карбида вольфрама и материала связки на основе кобальта. В процессе охлаждения выделение вольфрама происходит преимущественно на мелких, нерастворенных частицах карбидов вольфрама, что приводит к значительному увеличению их размеров до 50 мкм.

При воздействии лазерного луча на поверхность образца материал в доли секунды нагревается до высоких температур, что способствует образованию значительного градиента температур, а это, в свою очередь, вызывает появление термических напряжений. Появившиеся напряжения будут тем выше, чем больше мощность лазерного луча и скорость перемещения образца относительно излучения. В процессе обработки лазерным лучом образованные напряжения превосходят прочность обрабатываемого материала, что приводит к появлению микротрещин. Так, например, обработка композиции «ВК6-ВК20» со скоростью обработки 1,5 м/мин и мощностью лазерного луча 3 кВт приводит к появлению микротрещин в переходном слое. Уменьшение скорости перемещения обрабатываемой поверхности относительно лазерного луча ведет к разогреву практически всего объема изделия до температуры 700...850 °С, снижению температурного градиента и уменьшению коли-

чества микротрещин в упрочненном слое. Таким образом, одним из путей снижения уровня остаточных напряжений и предотвращения появления микротрещин может быть уменьшение скорости обработки или мощности лазерного излучения.

Выводы

Результаты металлографического анализа вольфрамкобальтовых твердых сплавов с градиентной микроструктурой, полученной обработкой лазерным лучом позволяют сделать следующие выводы.

1. Оплавление порошковой смеси ВК6 лазерным лучом на поверхности твердого сплава ВК20 приводит к образованию сложной структуры, состоящей из четырех типов зон в поверхностном слое:

- исходной структуры твердого сплава ВК20;
- области, имеющей трехфазное строение (Co, WC и фаза $(Co, W)_3C$);
- зоны, имеющей крупнозернистое двухфазное строение (Co, WC);
- мелкозернистой зоны, состоящей из фазы $(Co, W)_3C$, металла связки на основе кобальта и графитных включений, которые имеют глобулярную и пластинчатую форму.

2. Установлено, что крупные карбиды имеют следующий химический состав: 92,41 % W; 5,3 % C и 0,78 % Co. Материал связки содержит 13,44 % C; 60,4 % Co; 17,3 % W и 7,1 % O. Химический состав фазы пластинчатой и глобулярной формы одинаков и состоит из 94,18 % C; 2 % W и 1,36 % Co.

3. Установлено, что технологические режимы лазерной обработки оказывают значительное влияние

на размер образующихся зон. Увеличение мощности лазерного излучения приводит к уменьшению области, состоящей из крупных частиц карбида вольфрама (размером 20...50 мкм) и увеличению области, имеющей многофазное строение с выделением графита глобулярной и пластинчатой формы.

4. Обработка лазерным лучом композиции «ВК20-ВК6» со скоростями перемещения образца 1 и 1,5 м/мин при мощности лазерного луча 1,5 кВт приводит к образованию микротрещин в поверхностном слое. Уменьшение скорости перемещения обрабатываемой поверхности до 0,5 м/мин приводит к разогреву всего объема изделия до температур 700...850 °С, что уменьшает количество микротрещин в поверхностном слое.

Список литературы

1. *Верещака А.С.* Некоторые методологические принципы создания функциональных покрытий для режущих инструментов // *Современные технологии в машиностроении.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2007. – С. 210–231.
2. *Осколкова Т.Н.* Электроэрозионное покрытие на карбидовольфрамовом твердосплавном изделии // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – Т. 11. – № 5(2). – 2009.
3. *Полеценко К.Н., Поворознюк С.Н., Бобой А.О.* и др. Изменение трибологических свойств металлокерамических твердых сплавов ионно-плазменной и ионно-лучевой обработкой // *Физика и химия обработки материалов.* – 2002. – № 2. – С. 5–8.
4. *Паустовский А.В., Ботвинко В.П.* Влияние импульсного лазерного излучения на структуру и свойства электроискровых покрытий из сплавов типа ВК и ТК // *Порошковая металлургия.* – 1991. – № 2. – С. 55–57.

Creation of gradient structure in the hard alloy WC20 after melting of the powder mixture “WC 94% – Co 6%» by the laser beam

A.G. Tyurin, D.N. Prohov, A.A. Ruktuev

The results of the micro structural research of the hard alloy WC20 after melting of the powder mixture “WC 94% – Co 6%» by the laser radiation are presented in the article.

The results of the metallographic research of the composition “WC20-WC6” after melting by the laser beam are given. It is established, that during the process of melting by the laser radiation in the surface layer, chemical interaction between components of tungsten and cobalt powder mixture occurs under reaction $3Co + 3WC \rightarrow (Co, W)_3C + 2C$. The high speed of cooling after laser processing, contributes to preservation of the products of this reaction – carbon in the form of graphite inclusions and complex carbide $(Co, W)_3C$ to room temperature.

Key words: tungsten and cobalt hard alloy, the processing by the laser beam, gradient microstructure.