

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 10P6M5 ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЛАЗЕРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ

И.А. Исакин, аспирант, И.Ю. Зыков, к.т.н.

Научный руководитель: Гнусов С.Ф., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, тел. 634050

E-mail: zidanka9@gmail.com

Введение

Контактирование реальных твердых тел в парах трения осуществляется в отдельных зонах. В этом и состоит суть дискретности контакта реальных поверхностей. Сумма этих малых площадок представляет собой фактическую или реальную площадь контакта тел на которую и действует основное прикладываемое к паре трения давление. В результате такого воздействия микронеровности поверхностей и нижележащие объемы материалов тел деформируются, передеформируются, разрушаются. Происходит износ пары трения. Для решения задач, связанных с упрочнением рабочих поверхностей, в последнее время очень активно используются способы, связанные с применением концентрированных потоков энергии [1]. Это позволяет увеличить стойкость металлорежущего и штамповочного инструмента до 5 раз, а также увеличить сопротивление износу деталей машин в несколько раз. Однако для тяжело нагруженных пар трения только оплавление рабочих поверхностей выполненных из конструкционных сталей является недостаточной операцией упрочнения. Поэтому создаются композиционные покрытия различного состава на рабочие поверхности. Чаще всего они имеют высокую твердость и на контактных поверхностях преждевременно растрескиваются, выкрашиваются, что приводит к преждевременному выходу из строя пары трения. Судя из анализа работы пар трения на рабочих поверхностях необходимо изначально создавать дискретные зоны контакта, твердость которых должна быть больше или меньше твердости основного покрытия. Это позволит резко уменьшить износ в такой паре трения за счет контактирования по более твердым зонам, а пластичные участки поверхности будут обеспечивать релаксацию напряжений и торможение развития трещин. Создать такие дискретные зоны контакта на предварительно упрочненной поверхности возможно только воздействием концентрированных источников энергии (импульсное лазерное или электронно-лучевое воздействие). При этом наиболее важными являются исследования по выбору геометрии зон контакта и параметров режима импульсной лазерной или электронно-лучевой обработки.

Целью данной работы является исследование влияния точечного лазерного оплавления с частичным перекрытием оплавляемых зон предварительно упрочненной поверхности на основе стали 10P6M5 на микроструктуру и микротвердость литой зоны и ЗТВ.

Материал, оборудование и методика проведения исследований

Для поверхностного лазерного оплавления использовали упрочняющие слои, которые были получены методом электронно-лучевой наплавки в вакууме. Для наплавки использовали порошок быстрорежущей стали ПР-10P6M5 и композиционную смесь «сталь ПР-10P6M5+20% WC», в качестве основного металла образцы, изготовленные из стали 20. Методика подготовки наплавочных смесей и наплавки подробно описана в работе [2]. После наплавки часть образцов подвергалась термической обработке – отпуску при температуре 843 К (сталь 10P6M5) и 883 К (сталь 10P6M5+20% WC) в течение 1 ч. с последующим охлаждением на воздухе.

Исходная микроструктура упрочненного слоя на основе стали 10P6M5 представляет собой мартенситно-аустенитную матрицу (75:25). Упрочняющая фаза в покрытиях представлена карбидами M_6C , M_2C и VC . Карбид M_6C расположен по границам зерен матрицы в виде эвтектической сетки. В покрытии «сталь 10P6M5+20% WC» матрица находится в аустенитно-мартенситном состоянии (~85:15 %). В процессе однократного отпуска уменьшается объемное содержание аустенита до ~50% от общего объема матрицы и происходит дополнительное выделение вторичного карбида.

Проводили лазерное оплавление плоской поверхности покрытий размером 25×4,5 мм (высота образца 8 мм, толщина наплавленного слоя 4 мм). Данная поверхность перед оплавлением подвергалась механическому шлифованию и полированию на алмазных пастах различной дисперсности.

Для оплавления образцов применялась лазерная установка «BlackLight» на основе неодимового лазера с ламповой накачкой и управляемым разрядом производства ООО «Лазерный центр» г. Санкт-Петербург. Установка состоит из блока излучателя и технологической бинокулярной приставки.

Для создания дорожки оплавления поверхность наплавки облучалась одиночными импульсами с перекрытием точечных зон не более чем 0,5 их радиуса. При облучении варьировалась длитель-

ность импульса, от которой в конечном итоге зависит его энергия (см. таблицу 1). С увеличением длительности импульса его энергия возрастает не пропорционально из-за ограниченной величины напряжения конденсатора источника лазерного излучения. Газовая защита не применялась.

Таблица 1

Параметры режимов лазерной обработки							
Длительность импульса, мс	2	4	6	8	10	15	20
Энергия импульса, Дж	2.2	4.2	5.5	7	7.3	9	10
Импульсная мощность, кВт	1.1	1.05	0.917	0.875	0.73	0.6	0.5
Диаметр зоны обработки, мм	0.52	0.66	0.73	0.78	0.79	0.8	0.85
Плотность мощности, кВт/см ²	518	307	219	183	149	119	88
Удельный энерговклад, Дж/см ²	1036	1228	1314	1466	1490	1791	1763

После оплавления поверхности лазером она полировалась для удаления окисной плёнки. Для исследования глубины оплавления и величины зоны термического влияния образцы разрезались параллельно оси пучка по диаметру оплавленной точки с помощью электроэрозионной резки. Для выявления структуры ЗТВ микрошлифы подвергали травлению 2% раствором HNO₃ в этиловом спирте. Структуру литого ядра выявляли с помощью травления в смеси кислот HNO₃ и HCl (1:3). Микроструктуру исследовали с помощью оптического микроскопа (ОМ) Olympus GX 51, снабжённого анализатором SIAMS 700.

Результаты и обсуждения

Макро- и микроструктура. На рисунке 1 представлен внешний вид оплавленных областей композиционных покрытий сталь 10P6M5 (а) и «сталь 10P6M5+20% WC» (б). Видно, что они имеют округлую форму, которая состоит из литого ядра и тонкой более темной оторочки по его периметру. В данной оторочке можно выделить несколько колец (от 3 до 6 в зависимости от режима обработки) отличающихся по цвету и толщине. Данные кольца можно отнести к ЗТВ. Диаметр зоны литого ядра с ЗТВ увеличивается с ростом длительности импульса от 520 мкм при $\tau_{\text{имп}}=2$ мс до 850 мкм при $\tau_{\text{имп}}=20$ мс. При этом минимальный диаметр литого ядра составляет 430 мкм, а максимальный - 660 мкм. Для покрытия сталь 10P6M5 в центре литого ядра фиксируется небольшое углубление, на поверхности которого остается окисная пленка.

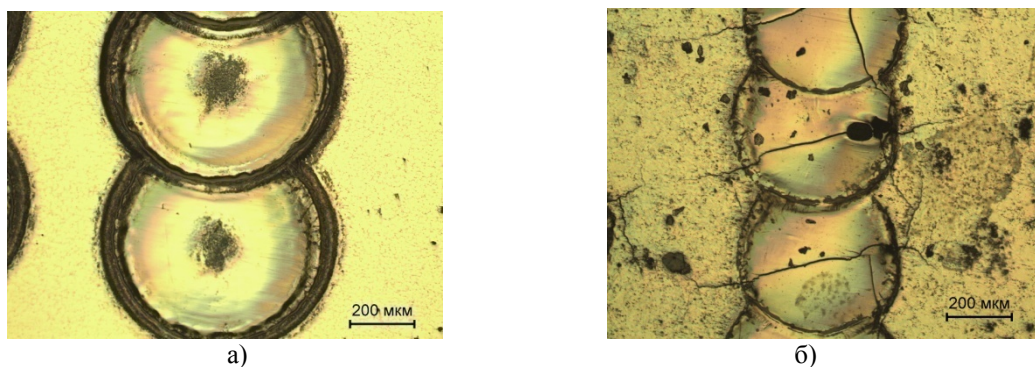


Рис. 1. Внешний вид зон оплавления наплавки 10P6M5 (а) и 10P6M5+20% WC (б)

Для композиционного покрытия «сталь 10P6M5+20% WC» (б) наблюдаются трещины, проходящие по литому ядру, ЗТВ и частично по объему основного покрытия. Формирование трещин в композиционном покрытии можно связать как с увеличением объемной доли эвтектических карбидных выделений (M₆C), так и с увеличением их средних размеров расположенных по границам зерен матрицы.

На рисунке 2 представлена типичная микроструктура поперечного сечения оплавленного ядра. Анализ всех поперечных сечений показал, что минимальная глубина проплавления составляет 40 мкм при $\tau_{\text{имп}}=2$ мс, а максимальная - 350 мкм при $\tau_{\text{имп}}=10-20$ мс. Размер ЗТВ в зависимости от режима обработки изменяется в интервале 30-150 мкм. В литом ядре по степени травимости явно выделяют-

ся две зоны (А и Б, рис. 2а, в). Зона А состоит из однородной дисперсной двухфазной структуры, которая имеет дендритно-ячеистое строение (рис. 2б). Зона Б слабо протравливается и имеет в основном дендритное строение, более мелкое чем, в зоне А. Объёмная доля зоны А для композиционного покрытия «сталь 10P6M5+20% WC» по сравнению с покрытием на основе стали 10P6M5 больше, чем зоны Б (рис. 2а и рис. 3а).

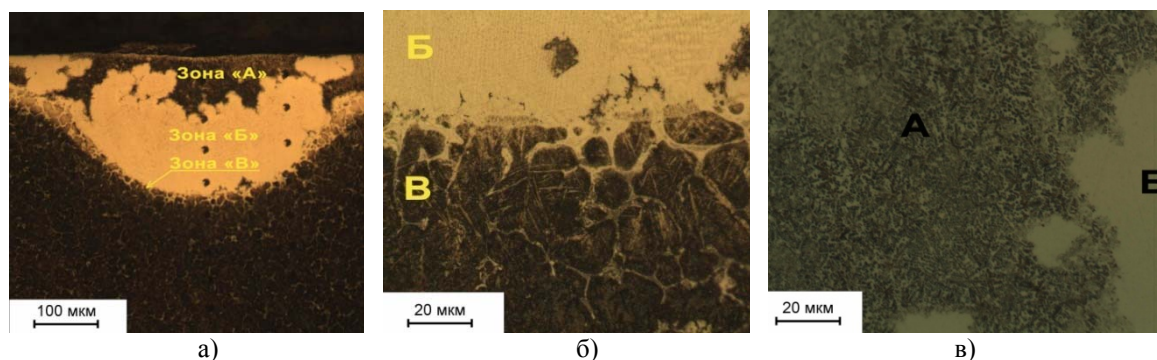


Рис. 2. Микроструктура поперечного сечения литого ядра покрытий сталь 10P6M5

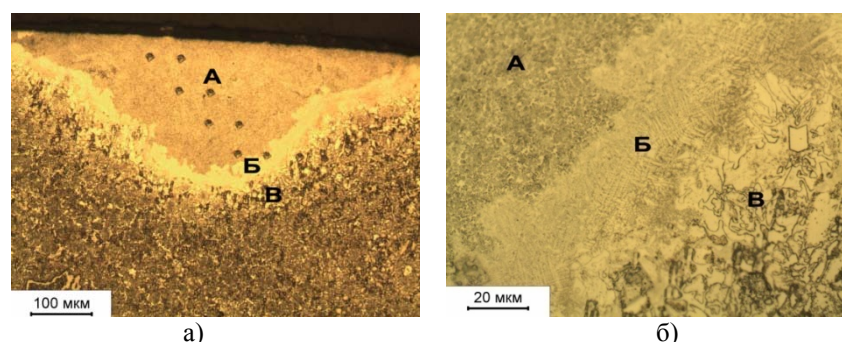


Рис. 3. Микроструктура поперечного сечения литого ядра покрытий «сталь 10P6M5+20% WC»

Структура ЗТВ (зона В, рис. 2б) состоит из зёрен исходной матрицы и эвтектики по границам зерен, которая частично подверглась переплаву в ходе воздействия лазерного луча (см. слабо протравленные участки границ зерен, находящиеся в непосредственном контакте с литым ядром, рис. 2б). Это обусловлено более низкой температурой плавления эвтектики аустенит – карбид M_6C . В самих зернах матрицы ЗТВ явно фиксируются иглы мартенсита, проходящие через все аустенитное зерно, в то время как в основном покрытии мартенситные иглы оптической металлографией не фиксируются (так называемый бесструктурный мартенсит, рис. 2б).

На рисунке 3 представлена микроструктура поперечного сечения оплавленного ядра в покрытии «сталь 10P6M5+20% WC». Видно, что зона А в данном покрытии занимает практически 80...90% объема литого ядра. Зона Б примыкает непосредственно к ЗТВ и имеет дендритное строение, рисунок 3б. Зона термического влияния имеет грубые выделения эвтектического карбида M_6C , объемная доля которых значительно выше, чем в основном материале покрытия (рис. 3в). Это обусловлено не полным растворением более грубых исходных эвтектических карбидов M_6C и последующим их ростом в ходе кристаллизации расплавленного объема. Данная причина является основной в формировании и развитии трещин как по ЗТВ, так и по объему самого литого ядра.

Образующаяся в данном исследовании микроструктура согласуется с результатами публикаций [3-5]. В данных исследованиях были обнаружены темные и светлые зоны в литом ядре с ультрадисперсной структурой, обладающей химической однородностью. Структура светлой зоны имеет дендритно-ячеистое строение, междендритное расстояние в которой не превышает 0.5 мкм, и состоит из непрерывной сетки эвтектических карбидов, γ - и α -фаз. Темная зона более грубая по структуре и состоит из кристаллов γ - и α -фаз и сетки эвтектических карбидов [4, 5].

Микротвёрдость. На рисунке 4 представлены профили микротвёрдости облучённых лазером покрытий сталь 10P6M5 и «сталь 10P6M5+20% WC». После облучения покрытия сталь 10P6M5, зона А имеет твёрдость близкую по значению исходному материалу и равняется 6.3 ГПа (разброс значений со-

ставил 0.35 ГПа, рис. 4а). В зоне Б значение микротвёрдости выше, чем в основном материале и равняется 8.1 ГПа (разброс значения 0.5 ГПа). В ЗТВ микротвёрдость такая же, как и в исходном покрытии.

В покрытии «сталь 10P6M5+20% WC», после облучения лазером, твёрдость в зонах А и Б ниже, чем в основном покрытии и составляет 6.7 и 7.9 ГПа соответственно (в основном покрытии HV=9 ГПа, рис. 4б). Разброс значений микротвёрдости в этих зонах не превышает 0.3 ГПа. В ЗТВ значения микротвёрдость не существенно отличаются от значений в основном покрытии.

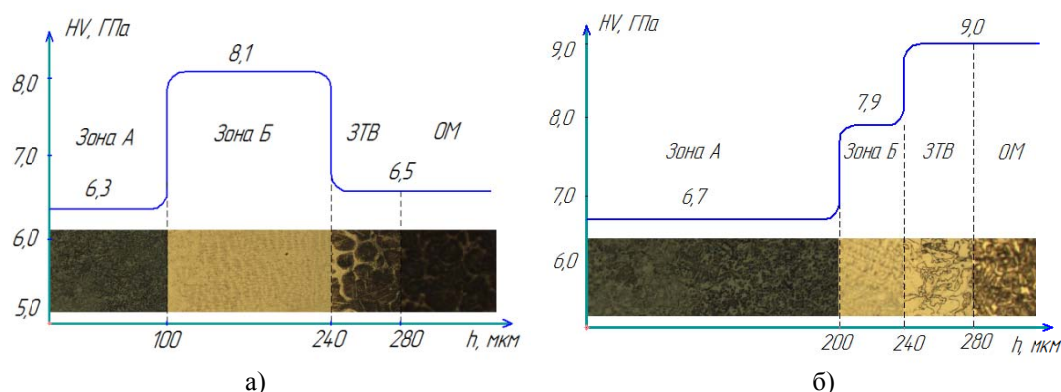


Рис. 4. Распределение средних значений микротвёрдости по зонам литого ядра и ЗТВ облучённых лазером ($\tau_{\text{имп}}=15$ мс) покрытий сталь 10P6M5 а), «сталь 10P6M5+20% WC» б)

Проведенные исследования нуждаются в более детальном анализе структуры с помощью рентгенофазового анализа, растровой и просвечивающей электронной микроскопии.

Литература.

1. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 664 с.
2. Гнусов С.Ф., Дураков В.Г. Электронный луч в формировании неравновесных структур. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 115 с.
3. Kwok C.T., Cheng F.T., Man H.C. // Surface & Coatings Technology, 202 (2007), P.336–348.
4. Benyounis K.Y., Fakron O.M., Abboud J.H. // Materials and Design, 30 (2009), P.674–678.
5. Liu Z. H., Zhang D. Q., Chua C.K., Leong K.F. // Materials Characterization, 84 (2013), P.72 – 80.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ГИБКОЙ ОСНОВЕ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ЗЕРЕН С КОНТРОЛИРУЕМОЙ ФОРМОЙ

Д.Б. Шатко¹, к.т.н., доцент, В.С. Люшин^{1,2}, к.т.н., доцент, В.Н. Бакуменко², студент

¹ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

² Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел./факс: 8 (384-51) 6-26-83

E-mail: lwsfoa@rambler.ru

Введение

В настоящее время большое количество работ посвящено исследованию влияния формы абразивных зерен на процесс резания. Результаты данных исследований убедительно доказывают важность параметра «коэффициент формы» абразивного зерна [7, 11, 20, 21, 23, 24]. Исходя из этого, можно утверждать, что в долгосрочной перспективе разработка новых конструкций шлифовальных инструментов на гибкой основе с использованием классифицированных по признаку формы абразивных зерен не утратит своей актуальности.

Комплексный подход к проблеме изучения влияния формы абразивных зерен на эксплуатационные характеристики шлифовальных инструментов на гибкой основе позволил уделить большое внимание всем стадиям их жизненного цикла. В частности решен широкий спектр задач, касающийся анализа формы единичных абразивных зерен, изучения их режущей способности и прочности, изготовления опытных партий инструментов, на конструкции которых получены патенты на изобретения, а также исследования их характеристик.