

УДК 621.791.755

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОРОШКОВ НА ИНСТРУМЕНТ

¹Хисамутдинов Р.М., ¹Чернова М.А., ¹Звездин В.В., ¹Симонова Л.А., ²Спирин А.А.

¹Набережночелнинский институт (филиал), ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Набережные Челны, e-mail: smilby@mail.ru;

²ООО «Форд Соллерс Холдинг», Набережные Челны, e-mail: aspirin@ford.com

Лазерная наплавка и плазменное напыление являются одними из наиболее распространенных и сложных процессов нанесения износостойких покрытий на инструмент. Одним из важнейших технологических процессов в машиностроении является повышение износостойкости инструментальных сталей. В работе приведены результаты металлографических исследований напыления порошка (сплав ПГ – СР4 – ОМ) и его лазерной наплавки на инструмент (сталь Р18К5Ф2). На основе проведенных экспериментальных исследований получены результаты металлографических исследований микроструктуры, микротвердости и химического состава напыленного слоя, переходной зоны и основного металла. Показано, что для достижения высокого качества технологического процесса необходимо, кроме обеспечения стабильности оптимальных параметров технологического комплекса, а также условий, исключающих окислительные процессы металлов и параметров предварительной подготовки поверхностей, учитывать физические процессы, происходящие при взаимодействии концентрированных потоков энергий с поверхностью металла.

Ключевые слова: лазерная наплавка, лазерное излучение, плазменный факел, инструмент, плотность энергии, технологический комплекс, технологический процесс

METALLOGRAPHIC ANALYSIS OF THE LASER CLADDING OF WEAR-RESISTANT POWDERS ON TOOLS

¹Khisamutdinov R.M., ¹Chernova M.A., ¹Zvezdin V.V., ¹Simonova L.A., ²Spirin A.A.

¹Kazan (Volga Region) Federal University Branch, Naberezhnye Chelny, e-mail: smilby@mail.ru;

²Ford Sollers Holding LLC, Naberezhnye Chelny, e-mail: aspirin@ford.com

One of the most important processes in mechanical engineering is to improve the wear resistance of tool steels. The results of metallographic studies coating powder (alloy PG – CP4 – OM) and laser cladding to the tool (steel R18K5F2). The results of metallographic studies of the microstructure, microhardness and chemical composition of the deposited layer, transition zone and base metal were got. To achieve high quality manufacturing process, it is necessary to ensure stability of the optimal parameters of the technological complex. It is necessary to take into account the conditions precluding oxidation processes and parameters of metal pre-treatment. Wear resistance depends not only on the structure and properties of the tool steel, but also on the properties of the processed material (its hardness), and the coefficient of friction and the external environment in which the processing occurs. On the basis of experimental studies is showed that it is necessary to take into account the physical processes occurring in the interaction of concentrated energy flows to the metal surface.

Keywords: laser cladding, plasma coating, laser irradiation, plasma, tool, power density, technological complex, technological process

Одним из методов повышения качества технологического процесса (ТП) упрочнения поверхности и ее износостойкости является использование высококонцентрированных источников энергии. К ним относится поверхностная лазерная наплавка и плазменное напыление [1, 3]. При этом необходимо достижение заданных показателей качества. Данные показатели (глубина модифицированного слоя инструмента, износостойкость, микротвердость, шероховатость поверхности, микроструктура, химический состав зоны нанесенного слоя и т.п.) зависят от параметров технологического комплекса (ТК), к которым относятся плотность энергии, скорость ее перемещения и температура зоны взаимодействия с поверхностью инструмента. Для криволинейных поверхностей (зуб фрезы (рис. 1)) добавляются перпендикулярность и фокус-

ное расстояние оптической системы лазера и потока плазмы.

Цель исследования – на основе полученных результатов упрочнения поверхности проанализировать методы повышения качества технологического процесса.

Для нанесения покрытия инструментальных сталей в основном применяются износостойкие сплавы, например ПГ – СР4 – ОМ, что позволяет получать повышенную износостойкость в условиях сухого трения или со смазкой, при малых и больших давлениях и удельных нагрузках, при низких и высоких скоростях перемещения, при низких и высоких температурах и т.д. Износостойкость является следствием сложных совокупных процессов, которые протекают не только при физическом износе кромок инструмента, ее могут сопровождать пластическая деформация, усталость

и даже диффузионные процессы. Вследствие износа геометрия кромки инструмента изменяется, вырубные и режущие усилия возрастают. При динамическом характере нагрузки и при высокой температуре эксплуатации степень износа возрастает.

Износостойкость зависит не только от структуры и свойств инструментальной стали, но и от свойств обрабатываемого материала (его твердости), а также от коэффициента трения и внешних условий, при которых происходит процесс обработки. Повышение твердости ведет

для зуборезного инструмента. Определение производящей поверхности производится с применением комбинации сечений поверхностями вращения с образующими, описанными в общем случае кусочно-заданными кубическими функциями и сечений торцевыми плоскостями. Применение разработанной математической модели режущих кромок инструмента позволяет оптимизировать условия формообразования его рабочих поверхностей и управлять параметрами ЛТК на разных стадиях технологического процесса в инструментальном производстве [4].

Содержание элементов, % марки стали P18K5Ф2

C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	W	Co	Mo	V
0,85	0,007	0,020	0,20	0,27	4,3	0,15	0,11	18,1	4,9	1,0	1,8

к снижению вязкости. Если у инструмента преобладает динамическая нагрузка, то для повышения износостойкости при данной твердости и содержании карбидов требуется большой запас вязкости. Во многих случаях для повышения вязкости необходимо стремиться к снижению твердости, увеличение твердости поверхности ухудшает износостойкость [5].

При проведении лазерной наплавки и плазменного напыления металлов необходима защита зоны воздействия потока энергии от атмосферных газов. Кислород, азот и водород проникают в жидкий металл и ухудшают качество ТП. При высоких температурах углекислый газ может восстанавливаться до кислорода и углерода, что также отрицательно сказывается на качестве наплавки и напыления. При проведении наплавки в атмосфере азота происходит поверхностное азотирование. При проведении ТП наплавки и напыления в качестве защитного газа использовали гелий и аргон.

Режим подачи защитного газа и его количество должны быть оптимальными. Увеличение скорости подачи газа ухудшает защитную атмосферу за счет возникновения турбулентного потока, что вызывает смешивание аргона или гелия с воздухом на выходе из сопла.

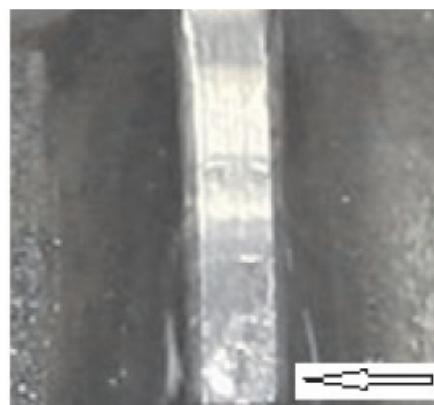
Лазерная наплавка. При получении экспериментальных зависимостей используется моделирование поверхности зуба червячной фрезы и статистическая обработка полученных данных [2]. Моделирование поверхности червячной фрезы необходимо для управления параметрами оптической системы лазерного технологического комплекса (ЛТК) и величиной подрезания ножки зуба шестерни. Построение поверхности выступов и впадин инструмента выполняется по схеме, являющейся универсальной

Химический состав металла детали определялся по ГОСТ 18895-97 на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAXx». Результаты химического анализа материала фрезы в процентах представлены в таблице.

Порошок сплава ПГ – СР4 – ОМ в основном применяется для покрытия деталей механизмов, которые подвергаются абразивному изнашиванию с относительно невысокой ударной нагрузкой.

Развитие техники применения твердых сплавов идет по двум направлениям: с одной стороны, совершенствуются и улучшаются составы твердых сплавов и технология их производства; с другой стороны, совершенствуется техника нанесения твердых сплавов на изделия, главным образом техника их наплавки.

На рис. 1 показан фрагмент зуба червячной фрезы с лазерной наплавкой на стали P18K5Ф2 порошка сплава ПГ – СР4 – ОМ. На рис. 2 показан фрагмент (увеличение x10) зоны лазерной наплавки на стали P18K5Ф2 порошка сплава ПГ – СР4 – ОМ.



зона лазерной наплавки

Рис. 1. Фрагмент зуба червячной фрезы с лазерной наплавкой

На рис. 1, 2 виден слой наплавленного порошка, нанесенного порошка сплава ПГ – СР4 – ОМ напылением на флюс АН-43, обеспечивающего получение наплавленного металла с оптимальным содержанием марганца, кремния и других легирующих элементов, а также ограниченным содержанием серы и фосфора. При импульсной лазерной наплавке на зону взаимодействия на металл воздействует тепловая и механическая энергии, которая обусловлена давлением импульсного ЛИ.

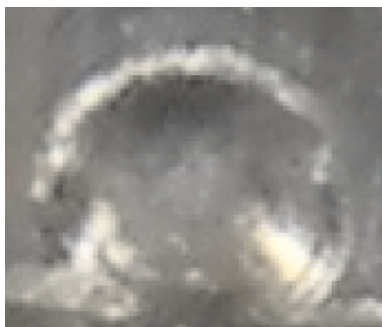


Рис. 2. Фрагмент зуба червячной фрезы с лазерной наплавкой, увеличение $\times 10$

Это наблюдается на рис. 3, где на фотографии видны кольца уплотнения структуры металла. Контур термического влияния ЛИ на зуб червячной фрезы представлен на рис. 4. Глубина термического влияния достигает 0,4 мм, а толщина наплавленного слоя не превышает 0,1 мм, с микротвердостью HV0,05 585 у поверхности и HV0,05 569 на глубине 0,1 мм.

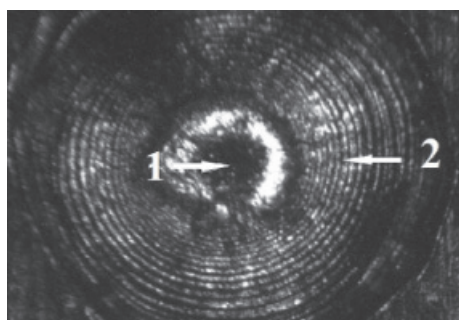


Рис. 3. Фото поверхности стали после воздействия импульсного лазерного излучения:
1 – зона воздействия ($\varnothing 0,5$ мм, энергия ЛИ – 12 Дж, длительность импульса 3 мс);
2 – кольца уплотнения

Экспериментальные исследования показывают зависимость диаметра зоны взаимодействия от положения фокуса ЛИ и его энергии.

Процесс нагрева металла в зоне взаимодействия показан на рис. 5 и 6, который характеризуется режимами закалки и наплавки.

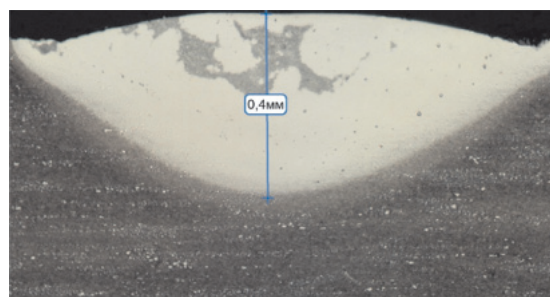


Рис. 4. Контур термического влияния зуба червячной фрезы (увеличение $\times 80$)



Рис. 5. Фотография процесса импульсной лазерной термообработки металла без оплавления поверхности (закалка)



Рис. 6. Фотография процесса импульсной лазерной термообработки металла с оплавлением поверхности (наплавка)

Данные режимы определяются плотностью энергии в зоне термообработки и длительностью импульса ЛИ.

Исследование микроструктуры фрезы проводилось на поперечном, относительно оси симметрии зубьев, микрошлифе участка режущей кромки, упрочнённой ЛИ (рис. 7). График распределения микротвёрдости в единицах HV0,05 по глубине микротвёрдости структуры, представлен на рис. 8.

В левой области снимка (светлая зона) наблюдается микроструктура порошка ПГ – СР4 – ОМ, в правой – неизменная структура стали Р18К5Ф2. Между ними видна переходная зона диффузионных процессов порошка ПГ – СР4 – ОМ и стали

P18K5Ф2. Микротвердость наплавленного слоя порошка (светлая зона) ЛИ в среде аргона составила 514 HV_{0,05}, а средняя зона после наплавки приобрела структуру игольчатого мартенсита с микротвердостью – 865 HV_{0,05}, при микротвердости фрезы 771 HV_{0,05}. Микротвердость замерена в соответствии с ГОСТ 9450-76.

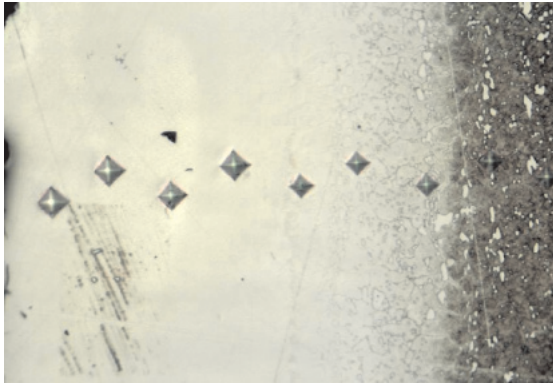


Рис. 7. Микроструктура зуба червячной фрезы с результатами замеров микротвёрдости (увеличение x200)

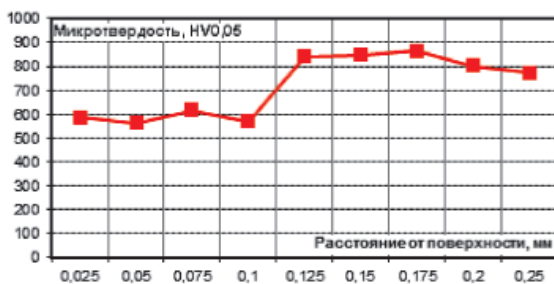


Рис. 8. График результатов замеров микротвёрдости в единицах HV_{0,05} по глубине

Анализ распределения микротвердости по глубине показывает возможность снижения хрупкости режущей кромки зуба фрезы за счет снижения микротвердости наплавленного слоя, но при высокой микротвердости переходного слоя и, соответственно, износостойкости. Однако данный подход требует дополнительной механической обработки.

Химический состав металла червячной фрезы (рис. 10, 11) соответствует зонам, обозначенным на рис. 9.



Рис. 9. Микроструктура зоны наплавки фрезы, с обозначением участков для спектрального анализа

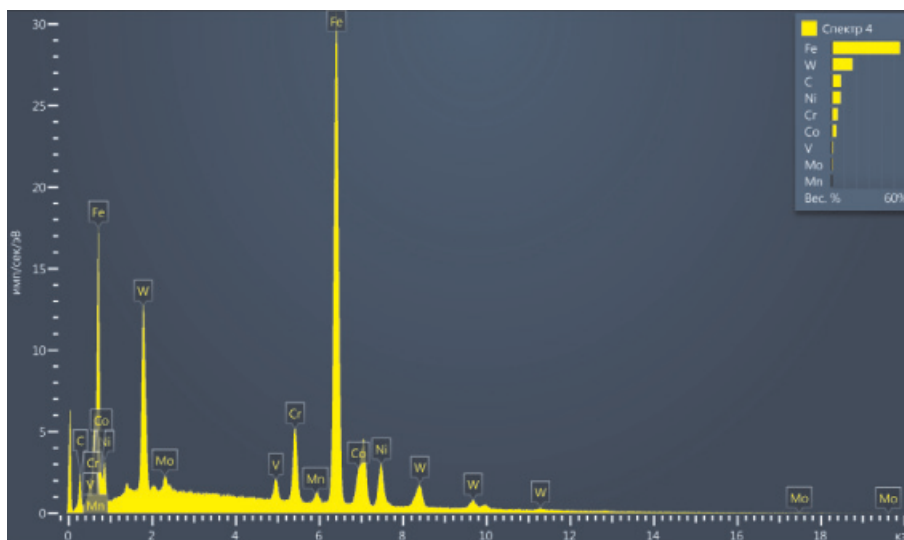


Рис. 10. Химический состав металла на участке «спектр 1». Процентное содержание по весу: V 1,44%; Cr 5,22%; Mn 0,24%; Fe 55,38%; Co 4,08%; Ni 7,49%; Mo 1,21%; W 17,18%

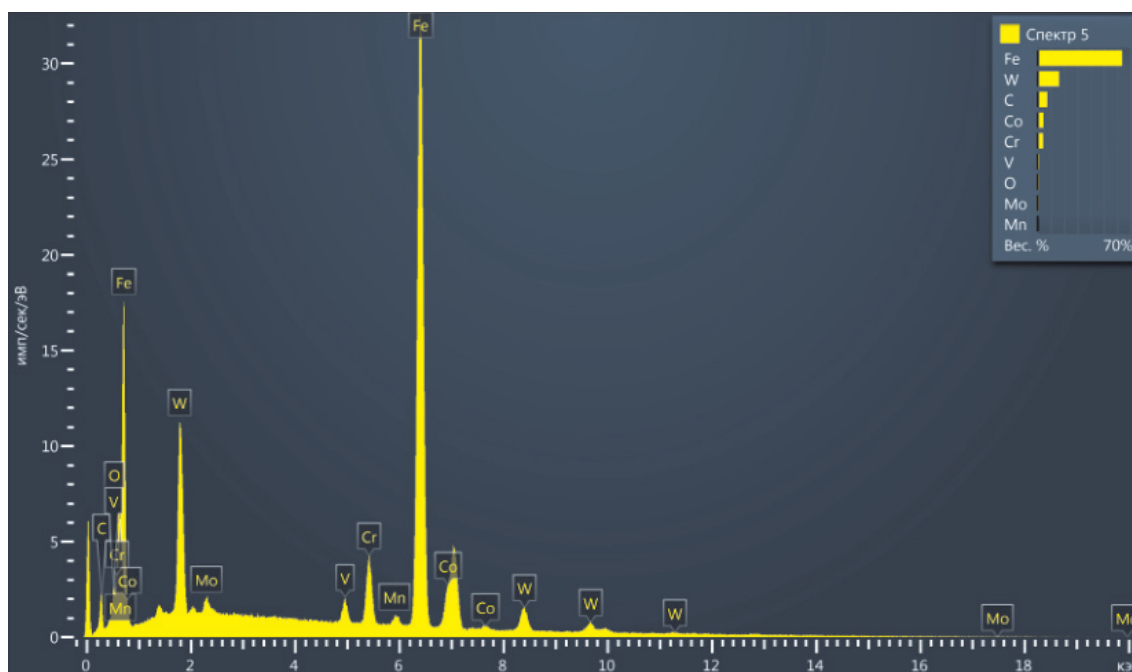


Рис. 11. Химический состав металла на участке «спектр 2».
 Процентное содержание элементов по весу:
 V 1,34%; Cr 4,16%; Mn 0,26%; Fe 63,82%; Co 4,45%; Mo 1,15%; W 16,24%

По химическому составу наплавленный металл отличается от основного металла фрезы по наличию в нём никеля до 7,49 вес. % в пределах обнаружения рентгеновского энергодисперсионного метода микроанализа.

При микроструктурном исследовании на поверхности рабочей кромки зубьев фрезы выявлено наличие поверхностного упрочнённого слоя с нетравящейся структурой и карбидами. Высокая твердость упрочнённого слоя оказывает положительное влияние на износостойкость фрезы, которое проявляется при высокой температуре кромки инструмента. Большое влияние на износостойкость инструментальной стали оказывает содержание карбидов, количество остаточного аустенита. При высокой температуре износостойкими являются только стали, устойчивые против отпуска. Уменьшение твердости вследствие распада мартенсита сильно снижает износостойкость. При наплавке твердых сплавов нужно снижать до минимума последующую механическую обработку.

Были проведены исследования по лазерной наплавке стали P18K5Ф2. При термообработке в процессе нагрева и охлаждения происходит ряд фазовых превращений и изменений структуры металла, характер которых определяется видом термического цикла. Для наплавки стали не-

обходимо нагреть элемент объема до температуры T_{γ} и затем быстро охладить его до температуры ниже T_{α} . Наплавка происходит в жидком состоянии, когда температура металла и порошка в зоне обработки достигает температуры плавления. Как правило, качество поверхности детали при этом ухудшается, однако становится возможным получение других структур.

Заключение

Основное влияние на процесс лазерной наплавки высокопрочных покрытий с повышенной износостойкостью оказывают физико-химические свойства как самих материалов, так и среды, в которой происходит технологический процесс. Это объясняется отличием распределения теплового поля в различных материалах, характеризующихся различной химической активностью и теплофизическими свойствами. Поэтому температурная зависимость зоны напыления и наплавки в основном характеризуется удельным энерговыделением источника энергии и учетом всех видов воздействия среды на металл. Анализ взаимосвязи параметров технологических комплексов и показателей качества процесса наплавки показал, что большое влияние на качество оказывает их стабильность и оптимальные значения, а все показатели зависят от температуры и физико-химических свойств среды.

Список литературы

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / под ред. Григорьянца А.Г. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.: ил.

2. Модель формирования микроструктур в металлах при лазерной обработке / В.В. Звездин, А.В. Хамадеев, Р.Б. Каримов, Р.А. Кисаев // Проектирование и исследование технических систем: Межвуз. науч. сборник. – Вып. № 11. – Наб. Челны: Изд-во ИНЭКА, 2008. – С. 150–154.

3. Физические основы лазерной обработки материалов: учебное пособие / Лосев В.Ф., Е.Ю. Морозова, В.П. Ципилев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 199 с.

4. Хисамутдинов Р.М., Автоматизация расчетов параметров инструментов червячного типа для компенсации систематической составляющей // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика, телекоммуникации, управление. – 2011, – № 2. – С. 166–168.

5. Хисамутдинов Р.М., Звездин В.В., Песошин В.А., Галанина Н.А. Имитационное моделирование процесса лазерной закалки инструмента // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 3. – С. 193–199.

References

1. Grigoryants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A. I. Tekhnologicheskie protsessy lazernoy obrabotki: Ucheb. posobie dlya vuzov / Pod red. Grigoryantsa A.G. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2006. 664 p.: il.

2. Model formirovaniya mikrostruktur v metallakh prilazernoy obrabotke / Zvezdin V.V., Khamadeev A.V., Karimov R.B.,

Kisaev R.A. // Proektirovanie i issledovanie tekhnicheskikh sistem: Mezhevuz. nauch. sbornik. Vyp. no. 11 Nab. Chelny: Izd-vo INEKA, 2008. pp. 150–154.

3. Fizicheskie osnovy lazernoy obrabotki materialov: uchebnoe posobie / Losev V.F., E.Yu. Morozova, Tsipilev V.P. // Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011. 199 p.

4. Khisamutdinov R.M., Avtomatizatsiya raschetov parametrov instrumentov chervyachnogo tipa dlya kompensatsii i sistematicheskoy sostavlyayushey // Nauchno- tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika, telekommunikatsii, upravlenie. 2011, no. 2. pp. 166–168.

5. Khisamutdinov R.M., Zvezdin V.V., Pesoshin V.A., Galanina N.A. Imitatsionnoe modelirovanie protsessa lazernoy zakalki i nstrumenta // Vestnik Chuvashskogo universiteta. 2015. no. 3. pp. 193–199.

Рецензенты:

Исрафилов И.Х., д.т.н., профессор, заведующий отделением энергетики и информатизации, заведующий кафедрой высокоэнергетических процессов и агрегатов, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны;

Панкратов Д.Л., д.т.н., профессор кафедры машиностроения, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.