

УДК: 621.785.5

## **ПОВЕРХНОСТНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ**

**М. А. Гурьев, С. Г. Иванов, Е. В. Черных, Е. А. Кошелева**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,  
г. Барнаул, Россия

Исследовано покрытие на стали 45Л, полученное способом поверхностного легирования бором, хромом и титаном в процессе отливки методом литья по газифицируемым моделям. Методами специального «цветного» травления исследовано распределение боридной фазы в поверхностно-легированном слое.

**Ключевые слова:** борирование, сталь, диффузия, литье, газифицируемые модели

## **SURFACE ALLOYING COMPONENTS BY CASTING ON GASIFIED MODELS**

**M. A. Guriev, S. G. Ivanov, E. V. Chernikh, E. A. Kosheleva**

Altai state technical university, Barnaul, Russia

Is investigated the coating produced by the method of surface alloying steel 45L with boron, chromium and titanium during casting by casting on gasified model. Methods of special "color" etching the distribution of boride phase in the surface-doped layer.

**Ключевые слова:** boriding, steel, diffusion, molding, gas models

Утрата геометрических параметров поверхностей вследствие износа является основной причиной выхода из строя деталей машин и инструмента. Оптимальным способом повышения их ресурса является нанесение покрытий. Одним из наиболее простых и технологичных методов нанесения покрытий является поверхностное легирование в процессе получения отливки [1 – 6].

Отливку с упрочненным поверхностным слоем получали методом литья по газифицируемым моделям (ЛГМ). Технология получения отливок с упрочненным поверхностным слоем заключается в нанесении на поверхность газифицируемой модели насыщающего состава в виде обмазки, тщательной сушки, сборки в блок и заливки жидким расплавом стали.

Приготовление образцов для изучения микроструктуры производили на автоматическом прецизионном станке «MICRACUT-201». Вырезанные темплеты запрессовывались в бакелитовый компаунд на автоматическом прессе «METAPRESS» и полировались на

автоматическом полировальном станке «DIGIPREP». Травление для выявления микроструктуры производили травителем «Ниталь» либо реактивом Льюиса. Специализированное травление для выявления боридной фазы и ее распределения производили пересыщенным раствором пикрата натрия. Наиболее яркое окрашивание наблюдалось при травлении реактивом Льюиса, промывке травленной поверхности в спирте и последующем травлении пикратом натрия). В отдельных случаях также применялось травление в растворе желтой кровяной соли и в растворе йода. В случае травления желтой кровяной солью, низкобористая фаза  $Fe_2B$  окрашивается в темно-синий цвет, а смешанные карбобориды – в серый, что позволяет разделить карбобориды и феррит. Высокобористая фаза ни раствором йода, ни раствором желтой кровяной соли не травится и не окрашивается.

В качестве насыщающей среды использовали обмазку следующего элементного состава ат. % Fe : B : C : Cr : Ti : N : H : O : Si:

0,77 : 1,85 : 0,32 : 0,12 : 0,27 : 0,08 : 0,63 : 0,42 : 0,06. Перед нанесением на литейную форму насыщающую среду разводили в воде до пастообразного состояния.

Толщина легированного бором, хромом и титаном слоя достигает 350 – 400 мкм. Легированный слой представляет собой эвтектику, при этом боридная фаза представлена преимущественно боридом железа  $Fe_2B$ , окрашенным в результате специального травления в синий цвет. Под легированным слоем располагается зона диффузии бора и углерода вплоть до глубины 2 мм, о чем свидетельствует мелкозернистая структура, представляющая собой преимущественно перлит. При этом порядка 30 % карбида перлита включает бор – то есть является карбоборидами, которые в процессе травления реактивом Льюиса и последующим травлением желтой кровяной солью окрашиваются в серый цвет. Далее располагается феррито-перлитная структура, представляющая основную металл. О диффузии бора в основном металле свидетельствует небольшое количество видманштетта на глубине 2 – 3 мм и ферритная оторочка по границам зерна.

Легированный слой имеет типичную структуру литой эвтектики, скелет которой сформирован бористой фазой преимущественно на основе гемиборида железа  $Fe_2B$ , имеющего микротвердость  $HV_{\mu}^{0,01}$  от 1400 до 1600. Вторая составляющая эвтектики представлена перлитом, содержащим значительное количество карбоборидов типа  $Fe_{23}(C,B)_6$  и  $Fe_3(C,B)$  [7 – 16], окрашенных в темный цвет. Микротвердость эвтектического перлита находится в интервале  $HV_{\mu}^{0,01}$  от 560 до 783, при этом средняя микротвердость по результатам 50 замеров составляет  $630 HV_{\mu}^{0,01}$ .

Расположенная под легированным слоем переходная зона имеет явное диффузионное происхождение, о чем свидетельствует наличие видманштеттовой структуры [17 – 23], представляющей собой ферритные иглы в теле зерна и ферритную оторочку по границам зерен. Микротвердость видманштеттового феррита –  $HV_{\mu}^{0,01}$  385 – 406. Фазовый состав переходной зоны – видманштеттов феррит в количестве 7 – 8 %, остальное – перлит. Средняя по результатам 50 замеров микротвердость перлита  $HV_{\mu}^{0,01}$  – 540, интервал микротвердости – от  $HV_{\mu}^{0,01}$  512 до  $HV_{\mu}^{0,01}$  560.

Необходимо также отметить, что хром, как правило, легирует преимущественно бориды и карбобориды железа, тогда как титан

обычно образует твердые растворы в ферритной фазе, а также карбиды и силициды, располагающиеся как правило, в цементитной фазе перлита. Соединений титана с бором не удалось выявить ни энергодисперсионным, ни рентгеновским методами.

Полученная в результате поверхностного легирования структура имеет высокие механические и эксплуатационные свойства. Упрочненное подобным образом изделие будет иметь высокие показатели износостойкости благодаря высокой поверхностной твердости. А также хорошую работоспособность в условиях ударных нагрузок, определяемых хорошей ударной вязкостью, мелкозернистой структурой и пластичностью поверхностного слоя.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-656.2014.8.*

#### Список литературы

1. Гурьев, А.М. Особенности формирования структуры диффузионного слоя на литой стали при химико-термической обработке / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, Д.М. Махаров, В.И. Мосоров, Е.В. Черных, О.А. Гурьева, С.Г. Иванов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2005. - Т. 2. - № 1. - С. 39-41.
2. Лыгденов, Б.Д. Особенности формирования структуры диффузионного слоя и разработка технологии упрочнения литых инструментальных сталей с учетом дендритной ликвации / Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, И.А. Гармаева, А.Ц. Мижитов, В.И. Мосоров // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2006. - Т. 3. - № 3. - С. 84-86.
3. Теория и практика получения литого инструмента / А.М. Гурьев, Ю.П. Хараев // Барнаул, 2005. – 220 с.
4. Гурьев, М.А. Упрочнение литых деталей поверхностным легированием / М.А. Гурьев, С.Г. Иванов, А.М. Гурьев // В сб.: проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств: Гурьев А.М., Марков В.А. сб. науч. тр. X международной научно-практической конференции. - Барнаул, 2009. - С. 40-46.
5. Гурьев, А.М. Новые материалы и технологии для литых штампов. Барнаул, 2000. – 158 с.
6. Гурьев, М.А. Технология упрочнения стальных изделий в процессе литья / М.А. Гурьев, Д.С. Фильчаков, С.Г. Иванов, А.М. Гурьев, В.Б. Деев // Литейщик России. - 2013. - № 6. - С. 36-38.
7. Гурьев, А.М. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом борировании феррито-перлитной стали / А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, А.Н. Жданов, Л.Н. Игнатенко, Н.А. Попова // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2001. - № 2. - С. 58.
8. Гурьев, А.М. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом карбоборировании

*Ползуновский альманах № 2 2015*

## ПОВЕРХНОСТНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

феррито-перлитной стали / А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, А.И. Крымских, Л.Н. Игнатенко, Н.А. Попова // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2000. - Т. 43. - № 11. - С. 60.

9. Иванов, С.Г. Фазовые превращения и структура комплексных боридных покрытий / С.Г. Иванов, И.А. Гармаева, А.П. Андросов, В.В. Зобнев, А.М. Гурьев, В.А. Марков // Ползуновский вестник. - 2012. - № 1-1. - С. 106-108.

10. Гурьев, А.М. Исследование процессов диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии / А.М. Гурьев, Ю.П. Хараев, О.А. Гурьева, Б.Д. Лыгденов // Современные проблемы науки и образования. - 2006. - № 3. - С. 65-66.

11. Гурьев, А.М. Особенности формирования диффузионного слоя при термоциклическом борировании углеродистой стали / А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, Л.Н. Игнатенко, Н.А. Попова // В книге: эволюция дефектных структур в конденсированных средах; сб. тезисов докладов 5-ой Международной школы-семинара. - 2000. - С. 149-150.

12. Лыгденов, Б.Д. Фазовые превращения в сталях с градиентными структурами, полученными химико-термической и химико-термоциклической обработкой / дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук // Новокузнецк, 2004 - 185 с.

13. Гурьев, А.М. Распределение атомов бора и углерода в диффузионном слое после борирования стали 08кп / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, В.И. Мосоров, Б.С. Инхеев // Современные наукоемкие технологии. - 2006. - № 5. - С. 35-36.

14. Лыгденов, Б.Д. Термоциклирование. Структура и свойства. / Б.Д. Лыгденов, Ю.П. Хараев, А.Д. Грешилов, А.М. Гурьев // Барнаул, 2014. - 252 с.

15. Лыгденов, Б.Д. Влияние режимов борирования на упрочнение поверхности уплотнительного кольца из стали 40ХН2МА / Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, И.А. Гармаева // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2007. - Т. 4. - № 2. - С. 90-93.

16. Guriev, A.M. Transition zone forming by different diffusion techniques in borating process of ferrite-pearlite steels under the thermocyclic conditions / A.M. Guriev, E.V. Kozlov, B.D. Lygdenov, A.M. Kirienko, E.V. Chernyh // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2004. - Т. 1. - № 2. - С. 54-60.

17. Гурьев, А.М. Новые методы диффузионного термоциклического упрочнения поверхности стальных изделий бором совместно с титаном и хромом / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, С.Г. Иванов, О.А. Власова, И.А. Гармаева, Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев // Успехи современного естествознания. - 2007. - № 10. - С. 84-85.

18. Гурьев, А.М. Комплексное диффузионное упрочнение тяжело нагруженных деталей машин и инструмента / М.А. Гурьев, С.Г. Иванов, Е.А. Кошелева, А.Г. Иванов, А.Д. Грешилов, А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, Г.А. Околович // Ползуновский вестник. - 2010. - № 1. - С. 114-121.

19. Лыгденов, Б.Д. Оптимизация состава смеси для химико-термической обработки цапг токарных полуавтоматов и кондукторных втулок / Б.Д. Лыгденов, А.Д. Грешилов, Ю.П. Хараев, А.М. Гурьев // Ползуновский альманах. - 2003. - № 3-4. - С. 105.

20. Гармаева, И.А. Исследование влияния различных факторов при борировании на механические свойства стали с применением математической модели / И.А. Гармаева, Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, О.А. Власова // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2008. - № 10. - С. 30-32.

21. Гурьев, А.М. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борировании из насыщающих обмазок / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, А.Д. Грешилов, С.А. Земляков // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2011. - № 3. - С. 34-40.

22. Оптимизация химического состава насыщающих смесей при диффузионном борировании инструментальных сталей // Е.А. Кошелева, А.М. Гурьев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2009. - № 5. - С. 76-77.

23. Гурьев, А.М. Структура и свойства упрочненных бором и бором совместно с титаном поверхности штамповых сталей 5ХНВ и 5Х2НМВФ / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, М.А. Гурьев, А.Г. Иванов, Б.Д. Лыгденов, С.А. Земляков, А.А. Долгоров // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2010. - Т. 7. - № 1. - С. 27-31.

24. Гурьев, А.М. Термоциклическое борирование как метод повышения прочности инструментальных сталей // А.М. Гурьев, О.А. Власова, Б.Д. Лыгденов, И.А. Гармаева, А.М. Кириенко, С.Г. Иванов, Е.А. Кошелева // Ползуновский альманах. - 2007. - № 1-2. - С. 85.

**Гурьев Михаил Алексеевич** – к. т. н., докторант

**Иванов Сергей Геннадьевич** – к. т. н., с. н. с.

**Черных Евгения Владимировна** – к. ф.-м. н., доцент, докторант

**Кошелева Елена Алексеевна** – к. т. н., доцент

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия