

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140412>

УДК 621.791.792

Ч-58

IMPROVING CASTINGS QUALITY BY LOCAL HARDENING METHOD

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Valerii V. Chigarev

chigarew07@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-2780-3204

Dmytro A. Rassokhin

radullik@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-3479-9485

Arkadii V. Loza

loza.ark@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3525-2614

В. В. Чигарев,

д-р техн. наук, проф.;

Д. А. Рассокин,

асп.;

А. В. Лоза,

ассист.

Priazovsky State Technical University, Mariupol

Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

Abstract. This paper studies the ways to improve the resistance of the metallurgical equipment details, produced by casting. One of such method provided is a method of local doping. The effectiveness of the local doping by powder fillers is considered. It is found that the local doping with the fillers in the form of ferro-vanadium increases the strength characteristics of the cast part in the strictly defined area. Mechanical tests are conducted and the fractographic analysis of the samples confirming the improvement of the quality of the cast metal is performed. The results can be used for the massive parts hardening when the doping of the entire cast is not economically feasible.

Keywords: strength, doping, local doping, ferrovanadium, fillers.

Аннотация. Выполнено исследование влияния метода локального легирования на прочность и качество литого металла деталей металлургического оборудования. Выявлена эффективность применения локального легирования наполнителями в виде феррованадия.

Ключевые слова: локальное легирование, феррованадий, прочность.

Анотація. Виконано дослідження впливу методу локального легування на міцність і якість литого металу деталей металургійного обладнання. Виявлено ефективність застосування локального легування наповнювачами у вигляді ферованадію.

Ключові слова: локальне легування, феррованадій, міцність.

REFERENCES

- [1] Bolotov A.N. Lokalnoe obemnoe legirovanie otlivok s ispolzovaniem sterzhney iz ekzotermicheskoy smesi [Local bulk doping of castings using cores from exothermic mixture]. *Liteynoe proizvodstvo – Foundry Engineering*, 2000, no. 9, pp. 37–38.
- [2] Kondratyuk S.Ye. O povyshenii svoystv litykh stalei [About increase of the cast steels properties]. *Liteynoe proizvodstvo – Foundry Engineering*, 2003, no. 8, pp. 39–41.
- [3] Gorelov V.G., Fedorov E.I., Rubenchik Yu.I., Galpern I.M. Mikrolegirovanie staley vanadiysoderzhashchey ligaturoy [Microalloying of steel with vanadium ligature]. *Liteynoe proizvodstvo – Foundry*, 1996, no. 8, pp. 11–12.
- [4] Chigarev V.V., Rassokhin D.A., Loza A.V. Povyshenie kachestva otlivok iz uglerodistykh stalei [Improvement of the quality of castings from carbon steel]. *Metall i litie Ukrayny – Metal and casting of Ukraine*, 2012, no. 1, issue 224, pp. 23–26.
- [5] Chigarev V.V., Rassokhin D.A., Loza A.V. Puti povysheniya kachestva metalla v krupnykh stalnykh otlivkakh [Ways to improve the quality of metal in massive steel castings]. *Vestnik Donbasskoy gosudarstvennoy mashinostroitelnoy akademii* [Bulletin of Donbass State Engineering Academy], 2011, issue 1, pp. 255–259.
- [6] Yamshinskii M.M., Fedorov G.E., Platonov E.A. Izgotovlenie otlivok s differencirovannymi svoystvami poverkhnosti [Production of castings with differentiated properties of surface]. *Metall i litie Ukrayny – Metal and casting of Ukraine*, 2004, no. 12, pp. 22–25.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Увеличение срока службы машин и деталей является одной из основных задач современного машиностроения. В связи с этим актуальными являются вопросы повышения качества и одновременно снижения стоимости литых деталей металлургического оборудования.

Как показал опыт эксплуатации машин и деталей, в первую очередь необходимо повышать такие эксплуатационные показатели, как износостойкость, стойкость к усталостному и коррозионному разрушению. В большинстве случаев выход из строя детали происходит от изменения ее первоначальных размеров в результате износа, смятия, разрушения под воздействием агрессивной среды и других факторов.

Перспективным направлением в машиностроении является использование новых технологий, которые придают деталям металлургического оборудования повышенные эксплуатационные характеристики, без существенного увеличения себестоимости изготовления детали. К такому направлению относится локальное легирование литых изделий.

Применение локального легирования при изготовлении деталей металлургического оборудования является предметом изучения не только отечественных ученых, но и зарубежных, о чем свидетельствует большое количество работ в этой области.

Использование технологических процессов локального легирования должно тщательно анализироваться для конкретных условий. Применение одинаковых легирующих смесей с различными технологиями может дать различный результат. Необходим комплексный подход в изготовлении детали, начиная от выбора состава легирующих компонентов до способа и технологии установки легирующих наполнителей.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Авторами статьи выполнена работа по обобщению способов упрочнения литых деталей металлургического оборудования, а также способов повышения качества литого металла [4, 5]. Научно-практические аспекты исследований о влиянии легирования на литую структуру изделий из черных металлов рассмотрены в работах отечественных и зарубежных исследователей. Значительный вклад в решение данной проблемы внесли Г.Ф. Баландин, В.А. Белевитин, С.И. Переборщиков, А.Н. Хабаров, О.В. Мартынов, Е.И. Астров, Ю.И. Комаров, М.И. Логанов, Г.М. Ицкович, Г.Г. Крушенко, С.В. Видов [2]. По мнению ученых, решение данного вопроса применительно к изделиям производственного назначения включает в себя следующие аспекты:

- выбор оптимального соотношения основных легирующих элементов;
- обеспечение заданного фазово-структурного состава стали и чугуна;
- выбор экономически обоснованного варианта применения легирующих компонентов.

Основная цель улучшения структуры металла изделий промышленного назначения – приданье ему таких служебных свойств и характеристик, которые обеспечивают наибольший срок эксплуатации и минимальные затраты на проведение ремонта. Поэтому легирование изделия в целом или отдельных его частей направлено на эффективное функционирование производства с минимальными затратами.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – повышение качества и эксплуатационной стойкости деталей металлургического оборудования методом локального легирования за счет изменения технологического процесса изготовления путем установки порошковых наполнителей и обеспечения качественного слоя методом его создания в процессе формирования отливки.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В металлургии и связанный с ней отраслях промышленности применяются детали, работающие в условиях высоких температур и значений механических нагрузок. В основном такие детали изготавливаются методом литья из стали 25-35Л. Анализ результатов исследований микро- и макроструктуры деталей после их разрушения показывает, что разрушение детали практически всегда начинается с ее поверхности. При этом, несмотря на различные причины разрушения детали, структура и свойства поверхностных слоев в значительной степени влияют на работоспособность и общий ресурс работы всего изделия. Особенно сильно данный факт проявляется в деталях, работающих в условиях высоких температур, когда структура детали в поверхностных слоях с течением времени изменяется. Одной из таких деталей является чаша доменного шлаковоза.

Эксплуатация чаш происходит в тяжелых температурных условиях. Неравномерный нагрев стенок, частые и резкие теплосмены, ударные нагрузки – все это приводит к деформациям стенок чаши и развитию трещин. Изменение профиля корпуса достигает своих максимальных значений в верхней половине чаши. После проведения на ПАО «ММК им. Ильича» экспериментальных замеров температур внешней стенки чаши с использованием компьютерного моделирования были получены значения напряжений, позволяющие говорить о местном перегреве корпуса и развитии деформации ползучести материала стенки. Данный вид дефекта можно характеризовать как «утяжка». На ПАО «ММК им. Ильича» развитие дефекта на новых шлаковозных чашах начинается уже

после 10 месяцев эксплуатации. Рассматриваемый дефект наиболее характерен для чащ овальной формы, т. к. в сравнении с круглыми чашами для сталеплавильного производства они обладают меньшей жесткостью.

Чаша доменного шлаковоза в процессе эксплуатации наполняется расплавленным шлаком, температура которого может достигать 1600 °С. После наполнения шлаком происходит интенсивное распространение тепла по всему сечению чаши. Это объясняется значительной продолжительностью действия и мощностью источника тепла. Корпус чаши имеет на различных уровнях высоты неодинаковую толщину. Под влиянием неравномерного распространения тепла в корпусе возникают различные по величине и знаку напряжения. Известно, что неравномерность распространения тепла значительно усиливается в деталях, несимметричных по отношению к центру их массы, в массивных деталях, а также сложной конфигурации. Такой деталью является и чаша доменного шлаковоза. В случае достижения значений внутренних напряжений в материале выше предела текучести любая стальная деталь начинает пластически деформироваться, что вызывает остаточные напряжения и деформации ее после остывания. Первоначальные размеры конструкции могут изменяться.

В случае возникновения значительных температурных перепадов, вызывающих локальные тепловые напряжения, которые превышают предел прочности материала, возможна угроза появления микротрещин. Это значительно снижает надежность отдельных узлов и конструкции в целом. При длительной эксплуатации могут возникать остаточные деформации в отдельных элементах шлаковой чаши, которые влияют на ее несущую способность. Важнейшей задачей является не только уменьшение уровня термических напряжений в конструкции на этапах технологического процесса изготовления, но и выравнивание его по объему в процессе эксплуатации. Решение этой проблемы возможно различными способами, например способом локального легирования [6].

Для проведения экспериментального локального упрочнения был разработан порошковый наполнитель с заданным химическим составом. Основным легирующим элементом выбран феррованадий.

Положительное влияние ванадия на механические свойства и надежность стальных отливок общеизвестно [1, 3]. Стали, модифицированные ванадием, отличаются мелкозернистой структурой, однородностью химического состава и высокими механическими свойствами. Модифицирование стали ванадием приводит к повышению σ_b и σ_s при сохранении удовлетворительных δ и ψ . Положительное влияние ванадия проявляется

в образовании карбонитридных и нитридных соединений с измельчением зерна, удалении свободного азота из твердого раствора, в повышении температуры начала роста зерна аустенита. Это особенно важно для деталей, отливки которых отличаются большой конструктивной разностенностью и подвергаются при эксплуатации значительным знакопеременным нагрузкам.

Для подтверждения теоретических данных было проведено опытное легирование стальной отливки порошковыми наполнителями. В отливку было установлено несколько лент с наполнителем в виде феррованадия. Полученные результаты механических испытаний показали высокую эффективность легирования.

Так, твердость образцов увеличилась с 174...192 НВ для сравнительных образцов до 192...223 НВ для легированных. Ударная вязкость повысилась в два раза для отрицательных температур (-20 °С) и осталась на прежнем уровне для нормальных условий (+ 20 °С). Предел текучести увеличился на 28 %, а предел прочности не изменил своих значений для нормальных условий. Однако наибольший эффект от легирования стальных отливок ванадием следует ожидать при повышенных температурах эксплуатации, что и подтвердили экспериментальные данные. При температуре испытаний 600 °С рост значений предела текучести и предела прочности составил 49 и 53 % соответственно.

На фрактограммах образцов, взятых из стандартной плавки, наблюдается раскрытие волосовины с наличием широких «площадок» транскристаллитного скола. В образце рис. 1 «площадки» скола имеют слаборазвитую поверхность. В образцах, взятых из области легирования феррованадием, широких «площадок» транскристаллитного скола не наблюдается, излом имеет более развитую поверхность скола (рис. 2). Изучая вид скола и развитие трещины на представленных фрактограммах, можно с достаточной уверенностью судить о качестве легированного металла в сравнении с основным.

Полученные данные позволяют сделать вывод об эффективности применения локального легирования стальных отливок ванадием, эксплуатируемых в условиях высоких температур. Применение локального легирования отливок в местах их наибольшего нагружения позволяет создать изделие с заданными свойствами (с улучшенной структурой и повышенными механическими свойствами).

Такой способ воздействия может быть применен при изготовлении отливок, в том числе металлургических чащ, шлаковозов, что обеспечит экономию дорогостоящих сплавов и высокий эффект при эксплуатации литых деталей.

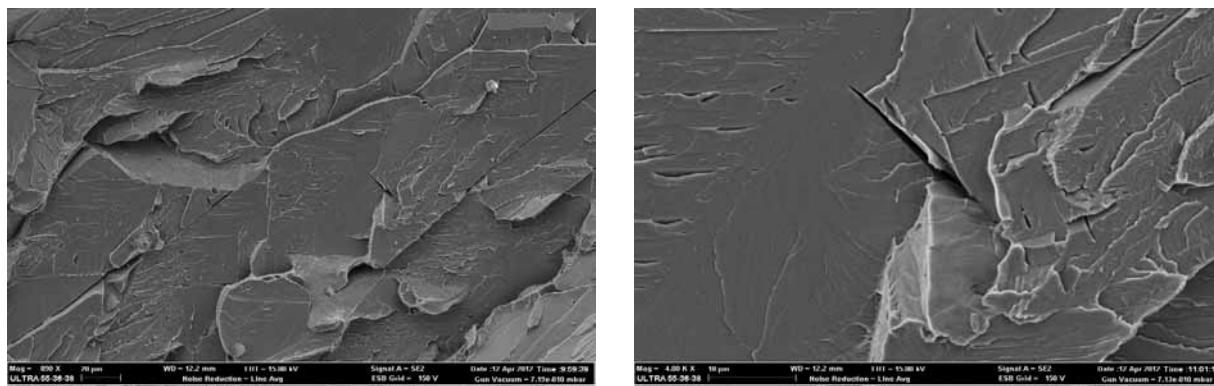


Рис. 1. Фрактограммы образца, взятого из стандартной плавки (увеличение): ***a*** – ×5000; ***б*** – ×20000

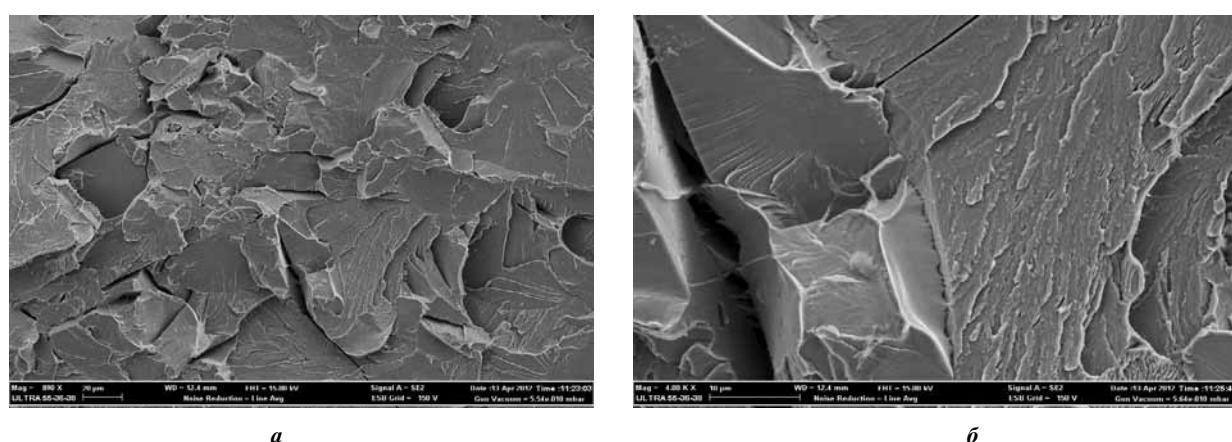


Рис. 2. Фрактограммы образца, взятого из области легирования феррованадием (увеличение): ***a*** – ×5000; ***б*** – ×20000

ВЫВОДЫ

1. Легирование изделия в целом или его отдельных частей направлено на увеличение ресурса работы оборудования и обеспечивает эффективное функционирование производства с минимальными затратами.

2. Многообразие способов легирования должно быть использовано не только для исследования свойств и долговечности деталей. Технология их изготовления должна быть переориентирована таким образом, чтобы структура затрат обеспечивала минимальную потребительскую стоимость.

3. Применение локального легирования отливок в местах их наибольшего нагружения позволяет создать изделие с заданными свойствами (с улучшенной структурой и повышенными механическими свойствами).

4. В случае локального легирования участков стального корпуса с минимальным расходом легирующих элементов могут быть увеличены пределы прочности и текучести до 50 % для деталей, работающих в условиях высоких температур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Болотов, А. Н. Локальное объемное легирование отливок с использованием стержней из экзотермической смеси [Текст] / А. Н. Болотов // Литейное производство. – 2000. – № 9. – С. 37–38.
- [2] Кондратюк, С. Е. О повышении свойств литых сталей [Текст] / С. Е. Кондратюк // Литейное производство. – 2003. – № 8. – С. 39–41.
- [3] Микролегирование сталей ванадийсодержащей лигатурой [Текст] / В. Г. Горелов, Е. И. Федоров, Ю. И. Рубенчик, И. М. Гальперн // Литейное производство. – 1996. – № 8. – С. 11–12.
- [4] Чигарев, В. В. Повышение качества отливок из углеродистых сталей [Текст] / В. В. Чигарев, Д. А. Раскохин, А. В. Лоза // Металл и литье Украины. – 2012. – № 1(224). – С. 23–26.

- [5] Чигарев, В. В. Пути повышения качества металла в крупных стальных отливках [Текст] / В. В. Чигарев, Д. А. Рассохин, А. В. Лоза // Вестник ДГМА. – 2011. – Вып. 1 (22). – С. 255–259.
- [6] Ямшинский, М. М. Изготовление отливок с дифференцированными свойствами поверхности [Текст] / М. М. Ямшинский, Г. Е. Федоров, Е. А. Платонов // Металл и литье Украины. – 2004. – № 12. – С. 22–25.

© В. В. Чигарев, Д. О. Рассохін, А. В. Лоза

Надійшла до редколегії 06.05.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. *O. M. Дубовий*