

ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 621.746.393

Чигарев В.В.¹, Рассохин Д.А.², Лоза А.В.³

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИТОГО МЕТАЛЛА ЛЕГИРОВАНИЕМ В ОТЛИВКАХ ИЗ ЧУГУНА И СТАЛИ

В статье рассмотрены теоретические основы и приведены результаты экспериментальных исследований изменения структуры и свойств литого металла легированием. Как наиболее экономичный для чугунных и стальных отливок, предложен метод локального легирования заданных объемов изделия, предназначенный для улучшения его структуры и свойств.

Ключевые слова: легирование, структура, чугун, сталь, свойства металла.

Чигаров В.В., Рассохин Д.О., Лоза А.В. Зміна структури і властивостей литого металу легуванням у відливках із чавуну і сталі. У статті розглянуто теоретичні основи й наведено результати експериментальних випробувань зміни структури й властивостей литого металу легуванням. Найбільш економічний для чавунних і сталевих відливок запропоновано метод локального легування заданих об'ємів виробу, призначений для поліпшення його структури і властивостей.

Ключові слова: легування, структура, чавун, сталь, властивості металу.

V.V. Chigarev, D.A. Rassokhin, A.V. Loza. Modification of the structure and properties of cast metal by means of alloying in castings, made of iron and steel. In the article theoretical fundamentals and results of fundamental investigations were given, regarding changes in structure and properties of cast metal by means of alloying. The method of local alloying of specified part's volumes was proposed as the most economical one. It is offered for improvement of metal structure and properties.

Key words: alloying, structure, iron, steel, metal properties.

Постановка проблемы. Легирование металлов является одним из методов изменения их структуры и свойств, а также защиты от износа и окисления. В современных условиях хозяйствования развитие данного направления сдерживается по причине высокой стоимости легирующих элементов. Решение данной проблемы возможно путем применения локального легирования отдельных участков изделия, на которых при эксплуатации могут возникать наибольшие нагрузки.

Анализ последних исследований и публикаций. Научно-практические аспекты исследований о влиянии легирования на литую структуру изделий из черных металлов рассмотрены в научных работах отечественных и зарубежных исследователей. Значительный вклад в решение данной проблемы внесли Г.Ф. Баландин, В.А. Белевитин, С.И. Переборщикова, А.Н. Хабаров, О.В. Мартынов, Е.И. Астров, Ю.И. Комаров, М.И. Логанов, Г.М. Ицкович, Г.Г. Крушенко и др. По мнению ученых, решение данного вопроса применительно к изделиям производственного назначения, включает следующие аспекты:

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

Основная цель улучшения структуры металла изделий промышленного назначения – придание ему таких служебных свойств и характеристик, которые обеспечивают наибольший срок

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

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 статьи – на основе анализа существующих методов улучшения служебных свойств отливок легированием обосновать наиболее экономичное направление совершенствования промышленной технологии изготовления деталей из черных металлов.

Изложение основного материала. В металлургии и связанной с ней отраслях промышленности применяются детали, работающие в условиях высоких температур и значениях механических нагрузок. 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 для деталей, работающих в условиях высоких температур, когда структура детали в поверхностных слоях с течением времени изменяется.

Одним из эффективных методов защиты металлов от окисления при высоких температурах и продления их срока службы является их легирование. Легирующий компонент образует на поверхности металла защитный плотный оксид, препятствующий протеканию процесса окисления. Наиболее доступными легирующими элементами, эффективно повышающими жаростойкость материала, являются хром, кремний и алюминий. Это объясняется тем, что эти элементы влияют на структуру и свойства металла. При этом, обладая большим сродством к кислороду, чем железо, элементы в процессе окисления образуют плотные оксиды (Cr_2O_3 ; Al_2O_3 ; SiO_2), сквозь которые диффузия проходит с трудом.

При изготовлении быстроизнашиваемых деталей и металлургического оборудования из нелегированного чугуна, с целью повышения долговечности, а также улучшения показателей износостойкости, коррозионно- и термостойкости, для их производства применяют чугуны, легированные марганцем, хромом, алюминием и модифицированные титаном.

Исследовано влияние содержания различных химических элементов: кремния (1,1-1,9%) и хрома (0,0-1,4%) на структуру, твердость, микротвердость фазовых составляющих, износо-, коррозионно- и термостойкость чугуна (рис. 1) [1, 2]. Установлено, что с уменьшением содержания кремния и увеличением содержания хрома снижается объемная доля графита, возрастает количество и размер карбидной составляющей, а также микротвердость перлита, что обусловлено увеличением степени легированности феррита. Такие структурные изменения способствуют росту твердости, износо- и термостойкости, а также улучшению антикоррозионных свойств чугуна (табл. 1) [3].

Таблица 1

Химический состав и свойства исследуемых чугунов

Состав, % (по массе)					Твердость <i>НВ</i>	Относительная износостойкость	Число циклов до появления трещин	Потеря массы, г/(м ² -ч)
С	Si	Mn	Cr	Ti				
3,52	1,10	0,77	—	0,27	400	2,0	11	0,059
3,50	1,15	0,75	0,25	0,29	440	3,0	10	0,052
3,48	1,17	0,81	0,90	0,26	510	4,7	8	0,047
3,51	1,20	0,79	1,45	0,30	575	5,8	5	0,040
3,55	1,46	0,73	—	0,26	160	2,0	45	0,068
3,60	1,45	0,78	0,33	0,31	250	2,6	20	0,060
3,49	1,40	0,77	0,90	0,27	350	4,0	16	0,052
3,51	1,42	0,75	1,47	0,28	430	4,7	20	0,045
3,42	1,85	0,70	—	0,24	120	1,0	—	0,086
3,52	1,90	0,81	0,90	0,27	225	2,7	59	0,060
3,50	1,90	0,82	1,45	0,25	360	4,5	40	0,051

При исследовании чугунов с различной степенью легирования установлено, что высокую устойчивость к резким сменам температуры показали чугуны, содержащие 1,8—1,9 % Si и 0,66—1,45 % Cr. Они выдержали 50—79 циклов (тепловых ударов) без каких-либо признаков трещин. Термостойкость чугунов, содержащих 1,35—1,45 % Si и до 1,47 % Cr, была более низкой. На образцах этих чугунов после 20—45 циклов (в зависимости от содержания хрома) образовались сквозные трещины, распространяющиеся от торцов образца к центру. Наиболее чувствительными к термическим ударам оказались чугуны, содержащие 1,1—1,2 % Si и 0,45 % Cr, образцы из которых уже после 5—11 циклов имели сквозные трещины.

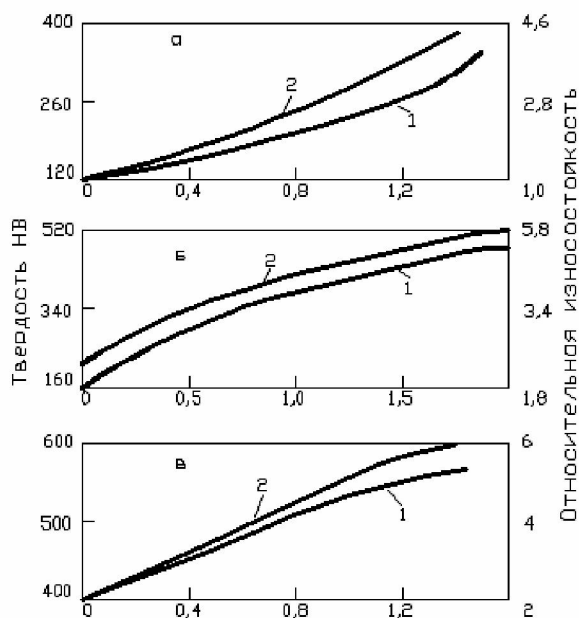


Рис.1 – Зависимость изменения твердости (1) и износостойкости (2) чугуна, содержащего 1,7-1,9% Si (а), 1,36-1,45% Si (б), 1,0-1,2% Si (в) от содержания хрома

было замечено следов износа. На плитках же, отлитых из чугунов, содержащих 1,36—1,45 % Si и 0,33—0,91 % Cr, трещины появились после 43200—50400 циклов. За 6—7 мес они изнашивались на 5—10 мм. Увеличение содержания кремния до 1,8—1,9 % способствует значительному росту термостойкости. Срок службы плит, отлитых из чугунов, содержащих 1,8—1,9 % Si и 0—1,45 % Cr, определяется в основном их износостойкостью и составляет соответственно 3—9 мес в зависимости от содержания хрома. Износ футеровочных плит вагонов тушения кокса из чугуна СЧ 15—32 и чугунов, содержащих 1,8—1,9 % Si и 0,66—1,45 % Cr после 3 месяцев эксплуатации составил соответственно 15 и 3—5 мм (в зависимости от содержания хрома). Аналогичные результаты были получены и при испытании футеровочных плит желобов аглофабрик, отлитых из чугунов, содержащих 1,1—1,9 % Si и 0,0—1,47 % Cr.

В соответствии с результатами промышленных испытаний для изготовления футеровочных плит вагонов тушения кокса и желобов аглофабрик рекомендован чугун, легированный хромом (0,5—1,3%) и модифицированный титаном (0,1—0,4 %), содержащий 1,4—1,8 % Si. С 1974 г. плиты вагонов тушения кокса из разработанного чугуна изготавливают на Донецком заводе «Коксохимоборудование» в объеме потребности коксохимических заводов Украины [3].

С целью выбора состава, обеспечивающего увеличение срока службы рам люков коксовых печей, бронерам коксовых печей, крышек нагревательных колодцев, проведены исследования влияния кремния, хрома и алюминия на окалинстойкость и твердость чугуна (рис. 2) [3]. С ростом содержания кремния увеличивается склонность чугуна к графитообразованию, что обуславливает снижение его твердости и окалинстойкости. Влияние хрома и алюминия на структуру и свойства изучалось на чугуне, содержащем 1,9—2,0 % Si. С ростом содержания хрома увеличи-

Чувствительность чугуна к резким перепадам температур находится в прямой зависимости от значения внутренних напряжений, которые определяются теплоемкостью, коэффициентом теплопроводности и особенно коэффициентом линейного расширения. Коэффициент термического расширения карбидов значительно меньше, чем тот же показатель для аустенита и феррита, что, по всей вероятности, является основной причиной высокой чувствительности чугунов, содержащих большое количество карбидов, к воздействию термических ударов. На всех образцах, исследованных на термостойкость, зарождение трещин началось внутри карбидов. Из чугунов, содержащих 1,1—1,9 % Si и 0,0—1,47 % Cr, были изготовлены футеровочные плиты вагонов тушения кокса и желобов аглофабрик [3].

В процессе эксплуатации на плитках вагонов тушения кокса, отлитых из чугунов, содержащих 1,1—1,15 % Si и 0—1,45 % Cr, после 2400—4800 циклов обнаружили сквозные трещины. За этот период работы (10—20 сут) на плитках не

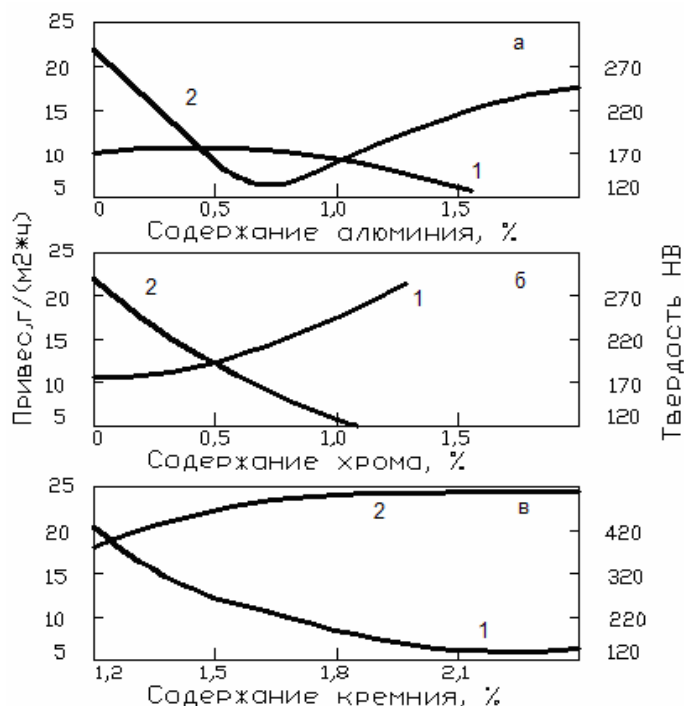


Рис. 2 – Графики зависимостей изменения твердости (1) и окислительной стойкости (2) чугуна от содержания: а - алюминия; б - хрома; в - кремния

вається схильність чугуна к карбидообразованию, растет его твердость и окислительная стойкость.

Совместное легирование алюминием (0,6—0,75 %) и хромом (0,9—1,0 %) чугуна, содержащего 1,9—2,0 % Si, способствует значительному росту окислительной стойкости. При легировании алюминием в количестве 0,6—0,7 % чугуна, содержащего 1,9—2,0% Si и 0,9% Cr, вместе с повышением окислительной стойкости существенно снижается твердость (2900—2200 Н/мм²), что является важным фактором для механически обрабатываемых деталей.

Срок службы рам люков и бронированных рам коксовых печей, крышек нагревательных колодцев, изготовленных из жаростойкого чугуна, в 2,0—2,2 раза выше срока службы указанных деталей, отливаемых из нелегированных чугунов.

Исследование литой структуры стали наиболее рационально проводить на непрерывнолитых заготовках, так как в процессе непрерывного литья можно обеспечить одинаковые (или заданные) условия кристаллизации при введении различных элементов.

Введение РЗМ в процессе непрерывной разливки стали непосредственно в кристаллизатор МНЛЗ [4] (0,025-0,05% РЗМ) привело к уменьшению количества устойчивых окисных включений (сталь 45) в 2,27 раза. Существенно изменились размеры включений: уменьшилось в 2-3 раза количество крупных частиц сульфидов и окислов, увеличилось число мелких - размером до 3 мкм. Наблюдается повышение свойств литого металла: пластических на 20-30%, ударной вязкости - на 40-50%.

Обеспечение прогнозируемого фазово-структурного состава стали, определяемого условиями кристаллизации, было рассмотрено на сталях 25Л [5]. Установлено положительное влияние повышенной скорости охлаждения при кристаллизации и остывании отливки на прочностные свойства и ударную вязкость различнолегированных сталей. Улучшение свойств, при ускоренном теплоотводе, обусловлено формированием более дисперсной и однородной структуры, увеличением плотности дислокаций и микроискажений. Результат: повышение прочности на 200-400 МПа, твердости на 80-200 HV, ударной вязкости в 2-3 раза.

Инжекция порошкообразных реагентов, таких как лигатура ФСМг7 в потоке азота [6] повышает в среднем для стали 45Л относительное удлинение в 1,5 раза, относительное сужение в 1,28 раз, КСУ⁺²⁰ в 1,4 раза, КСУ⁻⁶⁰ в 2,83 раза. Повышение пластических свойств и ударной вязкости металла было достигнуто за счет рафинирования и снижения микрон неоднородности расплава.

Микролегирование среднеуглеродистой стали 45Л ванадийсодержащей лигатурой ФС40ВД позволило получить однородную и мелкозернистую структуру, обеспечивающую повышение и стабилизацию механических свойств. Количество лигатуры - в пределах 0,2-0,4% увеличивает средние значения σв на 110 МПа, σт на 35 МПа, ψ на 3%, КСУ на 40 кДж/м² [7].

Важной задачей для получения качественных жаростойких покрытий на отливках из сталей является выбор оптимального соотношения основных компонентов. Хром - основной элемент, смещающий начало интенсивного окисления стали в сторону более высоких температур. Алюминий - элемент, наиболее эффективно повышающий жаростойкость железа. Для достижения на отливках жаростойкого слоя толщиной 4,5-5 мм рекомендовано использовать механическую смесь: 80% ФХ650А+20%А1. Основа отливки - сталь 35Л.

Чтобы избежать образования скоплений глинозема и сульфидов неблагоприятной формы,

при раскислении стали алюминием рекомендуется дополнительное модифицирование включений. Таким модификатором является кальций. Известно, что при вводе кальция после глубокого раскисления алюминием, концентрация кислорода в стали быстро уменьшается до 0,0001%, что недостижимо при обычном раскислении алюминием и даже при использовании редкоземельных элементов, когда самая низкая концентрация кислорода составляет 0,0004%.

Ввиду ограниченной растворимости кальция в жидком железе, при высоком парциальном давлении (1,98 атм. при температуре 1600 С⁰) применяют ферросплавы с пониженным содержанием кальция (в сочетании с алюминием и кремнием). Для увеличения эффективности этих элементов целесообразно ввести в сплав элемент, имеющий ограниченную растворимость, но растворяющий кальций и снижающий упругость его паров. Применение бария снижает упругость паров сплава (не более 0,7 атм. при 1600 С⁰), уменьшает взрывной характер реакции. Кальций и барий полностью растворяются один в другом в жидком состоянии.

Более подробно влияние бария изложено в работе [8]. Раскислитель на основе бария: Са-Si-Ba-Al (% соответственно 13,0-43,5-10,1-19,9(Fe-11,6%)). Сплавы кальция с кремнием и алюминием, содержащие барий, существенно превосходят обычный силикокальций по влиянию на модификацию включений в стали, раскисленной алюминием.

Для экономии легирующих элементов и дефицитных сплавов разработана технология локального объемного легирования отливок. Изготовление основы детали из углеродистых сталей 35Л-45Л и объемное легирование сотообразными вставками [9] повышает износостойкость на 20-30%. Установленные во время сборки в полость литейной формы легирующие вставки, изготовленные из смеси порошка углеродистого феррохрома, образуют износостойкий сплав с твердостью HRC 60. Толщина легирующих вставок должна превышать двойную высоту легируемого слоя, так как при расплавлении легирующего элемента его объем уменьшается в 2 раза (с учетом сотообразующей конструкции). Такое легирование осуществляется в строго заданном месте.

По другому варианту, наплавочный порошок, связующее и органический растворитель готовят для создания легирующей композиции. Состав спекают, наносят на поверхность формы и отверждают просушиванием. Форму заливают сталью 35Л, 45Л. Образуется упрочняющий слой, равный толщине предварительно нанесенного на поверхность формы слоя легирующей композиции. Твердость поверхностно-легируемого слоя-43-46 HRC. Износостойкость может быть увеличена на 40-50%.

Среди возможных способов локального легирования промышленных отливок технологически наиболее удобным является применение порошковой проволоки, содержащей легирующие компоненты. При помощи данного метода может быть обеспечено легирование отдельных участков изделия, которые подвергаются максимальным нагрузкам во время эксплуатации.

Выводы

1. Легирование деталей из чугуна и стали является эффективным методом изменения их структуры и свойств. Легирование изделия в целом или отдельных его частей направлено на увеличение ресурса работы оборудования и эффективное функционирование производства с минимальными затратами.
2. Метод локального легирования является одним из наиболее экономичных, по сравнению с другими способами дополнительного введения легирующих компонентов, позволяет обеспечить максимальное усвоение химических элементов и их минимальный расход на единицу продукции.
3. Среди возможных способов локального легирования отливок технологически наиболее удобным и перспективным является применение порошковой проволоки, содержащей легирующие компоненты. Рациональный подбор компонентов и соблюдение технологии заливки позволяет обеспечить заданный фазово-структурного состав стали (или чугуна) и требуемые технологические свойства, как отдельных участков, так и изделия в целом.

Список использованных источников:

1. Степина А.И. Увеличение срока службы футеровочных плит желобов аглофабрик / А.И. Степина, В.В. Зотов, А.Ф. Гордиенко и др. // Эксплуатационная надежность металлургического оборудования: Сб. М., 1981. С. 73-74.
2. Степина А.И. Увеличение срока службы деталей коксохимического оборудования/ А.И. Степина, В.В. Зотов, О.Ф. Сиренко и др. // Бюл. ин-та «Черметинформация». 1978. -№8. - С. 56-57.

