

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ В ОТЛИВКЕ

Расулов Ф.Р.

Азербайджанский технический университет, г. Баку, Азербайджан

Ключевые слова: литье, пропитка, композиционное покрытие, порошковая композита, намазка.

Аннотация. Изучено влияние порошковой намазки на процесс формирования чугуновой отливки с композиционным покрытием. Показано, что формирование структуры и свойств композиционного покрытия чугуновой отливки зависит от таких факторов, как химический и фракционный составы порошка и толщины его слоя, а также от температурного условия пропитки порошковой намазки жидким чугуном.

FEATURES OF COMPOSITION FORMING IN CASTING

Rasulov F.R.

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

Keywords: casting, impregnation, composite coating, powder composite, spreading.

Abstract. The effect of powder coating on the process of forming a cast iron with a composite coating is studied. It is shown that the formation of the structure and properties of the composite coating of cast iron depends on factors such as the chemical and fractional composition of the powder and the thickness of its layer, as well as on the temperature condition of the impregnation of the powder coating with liquid cast iron.

Введение. Структурные изменения при кристаллизации жидкого чугуна, проникающего в поры порошковой намазки, протекают следствием взаимодействия расплава с частицами порошка композиционного покрытия (КП). В первый момент после смачивания поверхности частиц порошка намазкой расплавом чугуна происходит поверхностная химическая реакция между ними, скорость которой зависит от состояния поверхности, температуры в зоне соединения и прежде всего от теплоты образования формирующего соединения и определяется законами диффузии. Вторая стадия – растворение металла частиц в расплаве. Образование твердого раствора и интерметаллической фаз и растворение твердого металла идут одновременно. Поэтому, несомненно, конечная структура будет зависеть от соотношения скоростей этих процессов. При этом непосредственно в контактной части намазки с жидким чугуном при полном расплавлении частиц эти изменения связаны с отбором избыточного тепла от расплава на их нагрев и плавление. В середине и периферийной частях слоя намазки частицы порошка частично растворяются в чугуне отливки. Причины этого следует искать в результатах гетерофазного взаимодействия частиц порошка со связующим расплавом. Поэтому вопросы, связанные с механизмом формирования фазой «граница частиц – металл», околосредоточной зоны, выраженностью химической и фазовой микронеоднородностей композиционного металла, приобретают первостепенное значение. Немаловажно

выяснение действительного значения степени кристаллографического сродства на происходящие в связующем металле структурные изменения под воздействием сплава на частицы порошковой намазки.

Известно, что в распыленном порошке сплава ХН80СРЗ никель в подавляющей части находится в боридной (Ni_3B) и силицидной (Ni_3Si_2), а хром – в боридной (CrB) и карбидной (Cr_7C_3) фазах.

Содержание и результаты работы

Исследовали металл центробежно – литых отливок втулок с размерами 102x43x160мм (102-наружный диаметр; 43-толщина стенки; 160-высота) с порошковой намазкой толщиной 5; 10 и 15мм из сплава ХН80СРЗ - серый чугун.

Частицы порошковой намазки сплава ХН80СРЗ, в исходном состоянии состоящие из 78-80% Ni; 15-17 %Cr; 3%B; 0,2-0,3%С; 0,7-1,2%Mn; 1%Si; 0,75%Р и 4,5%Fe, после кристаллизационного взаимодействия со связующим расплавом из серого чугуна состава СЧ15 (состав: 3,3-3,5% С; 2,1-2,2% Si; 0,6% Mn; 0,15% S и 0,2% Р) имеет в своем составе больше углерода и железа при уменьшении Ni и Cr.

Вид кривых объединения контактной прослойки частично растворившейся микрочастиц порошка компонентами основ (Ni и Cr) указывает на различную интенсивность его протекания и позволяет отчетливо выделить контактную прослойку, ядро частиц и определить их размеры (гранулометрический состав порошков соответствовал фракциям: +50-60; +63-100; +100-160; 160-200 и 200-315). Изменение химического состава микрочастицы порошка и контактной прослойки имеет диффузионное происхождение [1,2].

При формировании КП отливки особое значение приобретает способы литья при котором значительно изменяется условия пропитки расплавом пористой порошковой намазки. В связи с этим, нами было проведено исследование влияния условия пропитки порошковой намазки при центробежном способе литья, а также при литье в песчано-глинистой форме.

Центробежным способом литья в основном отливают цилиндрические отливки типа втулки и т.д. Исходя из этого, было поставлена задача, установить особенности структурообразования в КП центробежной чугунной отливки типа втулки.

Технология процесса литья отливка с композиционным покрытием (ОКП) включает изготовление порошковой жидкостекольной пасты, нанесения ее на рабочую поверхность вкладыша изложницы, сушку намазки, сборку формы с установкой вкладыша с порошковой намазкой в полость изложницы, заливку жидкого чугуна во вращающуюся форму через специальный желоб, выдержку в ней отливки для пропитки слоя пористой намазки и затвердевание, частичное охлаждение, извлечение отливки из остановившейся формы, охлаждение ее на воздухе и контроль.

Опыты показали, что такие отливки (типа втулок) можно получить центробежным способом литья, предусматривающим изготовление намазки из порошка никелевого сплава. Крупность частиц порошка 0,2÷0,063 мм с добавкой 5-8% жидкого стекла. Намазки толщиной 3-15 мм наноситься на внутреннюю рабочую поверхность вставки центробежной формы. Чугун для опытных отливок

плавили в индукционной печи ИЧТ-1. Расплав чугуна модифицировали (в ковше вместимостью 100 кг) порошкообразной лигатурой Al-Si-Ca в количестве 0,3%. Температура чугуна после модифицирования составляла $1420 \pm 20^{\circ}\text{C}$, а температура заливки – 1340; 1380 и 1420°C .

Установлено, что КП формируется за счет пропитки расплава в поры намазки с перестройкой, частичным или полным растворением частиц порошка сплава ХН80СРЗ на определенной глубине.

Исследовали влияние температуры заливки чугуна на глубину пропитки и структуру переходной зоны комбинированной отливки. Результаты исследования показали, что при заливке чугуна с температурной $1340\text{-}1460^{\circ}\text{C}$ глубина пропитки слоя намазки получается не более 1,5-2,6 мм. Микроструктура основного металла отливки состояла из перлита и 5-7% феррита с тонкопластинчатым графитом. Из-за небольшого перегрева над ликвудусом чугуна, контактирующий с порошковым материалом слоя намазки имеет повышенную вязкость, поэтому его пропитка в поры затруднена и каркас частиц порошка в контактном слое не разрушается, а сформировавшаяся переходная зона «частица-расплав» имеет незначительную ширину 2,0-2,5 мкм. В структуре наблюдается резкий переход от матрицы чугуна к основе КП. При заливке с 1390°C глубина пропитки увеличивается. С повышением температуры заливки до 1420°C улучшаются условия проникновения расплава вглубь намазки, каркас частиц разрушается на большую глубину ($l=10\text{-}12$ мм) и объемная доля структурных составляющих чугуна в композиционном слое возрастает. Образуется точечный контакт частиц сплава ХН80СРЗ со связкой, находящейся в межзеренном пространстве КП, а форма и размер частиц не изменяется [1].

В контактной зоне с намазкой количество цементита уменьшается и зерна перлита (аустенита) под воздействием гидродинамического воздействия центробежной силы проникают в расплавленную зону металла намазки. При центробежном литье каждая частица порошковой намазки и жидкого чугуна залитого во вращающуюся форму, испытывают действие силы тяжести

$$P_m = mg, \quad (1)$$

и центробежной силы

$$P_u = m\omega^2 r, \quad (2)$$

где m - масса частицы, кг; g - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; ω - угловая скорость вращения формы, $\text{рад}/\text{с}$; r - радиус вращения частицы, м.

При центробежном литье центробежная сила, действующая со стороны частицы m на соседние, направлена радиально от оси вращения и представляет собой дополнительную силу тяжести, возникающую во вращаемой материальной частице. Под действием центробежной силы возникают гидродинамические и гидростатические явления, определяющие особые условия заполнения формы с порошковой намазкой на рабочей поверхности; при этом изменяются условия пропитки порошковой намазки жидкой фазой, питания, охлаждения и затвердевания ОКП [1]. Минимальную частоту вращения формы Π_{\min} , рассчитывали по форму [126]:

$$\Pi_{\min} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r_0}} \geq 386,3 \text{ с}^{-1}, \quad (3)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободнопадающего тела; $r_o = 0,006 \text{ м}$ – радиус внутренней поверхности опытной отливки типа тел вращения (штулки с размерами 102x160x43 мм).

Контроль качества поверхности ОКП показал, что при частоте вращения более 600 об/мин и толщине намазки до 5 мм имеет место смывание слоя покрытия с рабочей поверхности формы (очевидно под гидравлическим воздействием заливаемого жидкого металла); увеличение толщины слоя намазки в пределах 10-15 мм полностью устраняет этот дефект и качество формирующегося КП улучшается. Средняя весовая скорость заливки составляла 2,0 кг/с.

Установлено, что структура и свойства металла КП чугунных отливок изменяются по причине частичного растворения частиц порошка в жидком чугуне и взаимной диффузии компонентов из частиц в жидкий раствор чугуна и наоборот из затвердевающего чугуна отливки к частицам порошка. В приконтактных участках возникает переходная зона между частицами порошка и «белой составляющей» чугуна $\text{Fe}_3(\text{C},\text{B})$; Она представляет собой легированный комплексный карбид $(\text{Fe},\text{Cr})_3\text{C}$, Cr_3C_7 , $\text{Fe}_7\text{Ni}(\text{C})$ – аустенит, который возникает благодаря диффузии из частиц более богатых компонентов в образующиеся составляющие чугуна и вследствие смыкания жидкого раствора – связывающего чугун вокруг частиц порошка.

Для исследования структуры переходной зоны на опытных отливках вырезали образцы и готовили микрошлифы, которые после травления изучали под микроскопом. Размеры переходной зоны определяли по изменению соотношения структурных составляющих КП и чугунной связки, а также по замерам микротвердости.

Из обычного серого чугуна отливки штулки без КП извлекаются из центробежной формы при температуре $700\text{-}800^\circ\text{C}$, когда в результате усадки между формой и отливкой образуется зазор и отливка свободно выходит из формы. В отливках штулок с КП предсудачное расширение происходит при той же температуре, а компенсация расширения усадкой заканчивается при температуре $960\text{ - }1100^\circ\text{C}$. К моменту извлечения зазор между ОКП и формой несколько меньше, чем в случае с отливкой из обычного серого чугуна, однако достаточный для беспрепятственного извлечения отливки из формы.

Металлографическое исследование металла КП было проведено на шлифах, вырезанных из опытных отливок в продольном и поперечном направлениях. Качество пропитки изучали на нетравленных шлифах с помощью оптического микроскопа и измерением твердости. Качество пропитки КП при температуре заливки выше 1370°C было удовлетворительным. Установлено, что строение КП центробежной отливки из сплава ХН80СРЗ – серый чугун состоит из двух зон – периферийной и переходной. Периферийная прослойка КП толщиной 2,4-4,2 мм целиком формируется из компактно спеченных частиц порошков с незначительной (до 9-11%) цементитно-ледебуритной фазо влияющими белого чугуна. Распределение хромитов беспорядочно; микротвердость хромитов 1230-1450 МПа. При высокой температуре заливки в приграничных слоях наблюдаются также карбиды и бориды хрома[3].

В зависимости от толщины порошковой намазки чугуна - ХН80СРЗ по толщине её поперечного сечения наблюдаются характерные слоистые строения, которые зависят от фракции порошка, толщины порошковой намазки, температуры заливки, толщины стенки отливки и величины напора жидкого металла по высоте отливки. Однородная по качеству и строению металла КП отливки получается при строгой выдержке режима литья. Так в диффузионной зоне металла КП чугуна-ХН80СРЗ и приграничной прослойке чугуна микротвердость резко повышается, а в остальной части пропитки твердость металла КП практически остается неизменной. Изменение твердости в диффузионной зоне КП наблюдается до 20-25 мкм от наружной поверхности, в чугуне - на расстоянии 20-25 мкм от контактной поверхности с порошковой намазкой.

Результаты исследования показали, что при разработке технологии центробежного литья комбинированных отливок типа втулок при объемном соотношении чугуна к порошкообразному сплаву ХН80СРЗ, равном 75:25, необходимо корректировать температурный режим литья для получения КП с переходной зоной с плавным переходом. Чрезмерное повышение температуры заливки (выше 1420⁰С) приводит к полному разрушению каркаса частиц намазки и переходу их в расплав. Повышение дисперсности порошка намазки (-35-63 мкм) предотвращает разрушение каркаса частиц порошка и позволяет получать бездефектные отливки втулок с КП. За счет изменения толщины порошкового покрытия стало возможным регулировать скорость охлаждения чугуна отливки. Так, увеличение толщины намазки до 10 мм и 15 мм привело к повышению глубины отбела в контактной зоне чугуна на 1,2-1,5 мм и 3,5-5,0 мм. При этом предотвращались размыв намазки, образование спаев, трещин на поверхности КП отливки.

При проведении опытов по пропитке порошковой намазки жидким чугуном в процессе литья в песчано-глинистую форму изучали влияние температуры заливки чугуна, толщины намазки на структурообразование в КП отливки типа диск чугунной задвижки. С увеличением толщины пористой порошковой намазки из сплава ХН80СРЗ в структуре у наружной поверхностной зоны КП «ХН80СРЗ-серый чугун» наблюдается больше частиц порошка в исходной форме и меньше структурные составляющие, с формировавшиеся из чугуна, пропитавшегося в поры порошковой намазки.

Металлографическим исследованием металла КП установлено значительное различие в структурах наружной и внутренних зон, причем это различие увеличивается с увеличением их толщины. Так, при прочих равных условиях при толщине КП 10 мм и температуре заливки чугуна 1420⁰С структура 60-66% площади шлифа наружных зон состоит в основном из обширных участков спекшихся блоков и отдельных частиц порошка, сохранивших исходную форму, а структура чугуна, проникшего в межчастичные поры порошка, состоит из сорбитизированного перлита тонкой игольчатой формы, ледебурита и незначительного количества точечного графита (рис. 1, X500). Структура середины поперечного сечения композиционного сечения на 46-54% состоит из нерасплавившихся или частично расплавившихся частиц порошка,

более крупных зерен перлита с аустенитно-карбидной оторочкой, а также отдельных включений вермикулярного графита (рис. 1,в, X500).

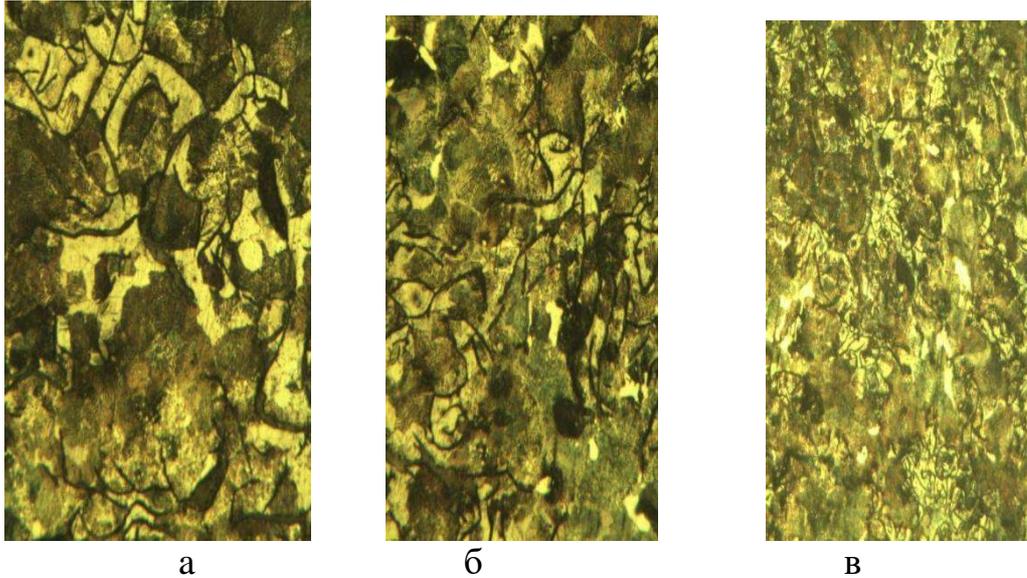


Рис. 1. Микроструктура КП «ХН80СР3-серый чугун», х 500: а - у наружной поверхности; б - середины покрытия; в - у контактной зоны. Толщина стенки отливки - 43 мм, а покрытия - 10 мм; температура заливки чугуна -1460⁰С

Особенностями структуры переходной зоны КП-чугун является уменьшение участков, занятых частицами порошка, и увеличение количества структур-составляющих, характерных для легированных чугунов, которые состоят из перлита, цепочки аустенита вокруг частично расплавившихся частиц (~17-21% от наблюдаемой площади шлифа) порошка и включений мелкопластинчатого графита (рис. 1,в X500). За счет растворения частиц в жидком чугуне и легирования его значительными количествами никеля, хрома и бора приводит к образованию равномерной по толщине переходной зоны и формированию структуры чугуна типа нирезист [4]. Исследования показывают, что структура КП зависит от температуры заливки и толщины порошковой намазки. В отличие от структуры КП, формирующейся при заливке чугуна с температурой 1400⁰С, повышение $T_{зал}$ на 60-80⁰С способствует частичному расплавлению частиц порошка в периферийной и срединной зонах и интенсивному растворению их непосредственно в контактной зоне «покрытие-чугун» [5]. При уменьшении толщины порошковой намазки до 5 мм участки шлифа, занятые нерасплавленными частицами порошка, резко уменьшаются, блоки спекшихся частиц встречаются значительно реже, их размеры в 2,6-3,6 раза меньше и они изолированы друг от друга (рис. 1,а и в, X500).

Установлено, что структура КП толщиной 10 мм аналогична структуре таковых толщиной 5 мм (рис. 2). Однако при толщине намазки 5 мм в структуре КП имеется значительное количество аустенита; аустенитная оторочка вокруг частично расплавившихся частиц порошка утолщается; наблюдается расширение отдельных участков, занятых аустенитом, а графитовые включения значительно больше и крупнее, чем при покрытии толщиной 10 мм. На образование аустенитной оторочки вокруг частично расплавившихся частиц порошка значительное влияние оказывает легирование γ - фазы никелем и несомненно

температурные условия: при пропитке пористой порошковой намазки жидким чугуном в начальный момент между сплавом частиц и жидкой фазой по контактной поверхности протекает химическая реакция, чугун насыщается в основном никелем.

Отметим, что все эксперименты по пропитке пористой порошковой намазки проводили при температуре заливки чугуна 1420 - 1480⁰С, что на 180 - 260⁰С выше температуры ликвидуса сплава. Приведенные микроструктуры КП «ХН80СР3- серый чугун» подтверждают вывод о превосходстве температурного условия формирования качественного КП чугуновых отливок. Уменьшение структурной неоднородности, наравне с повышением температуры заливки или уменьшением толщины порошковой намазки, можно также достичь снижением скорости охлаждения наружной зоны металла КП. Для этого необходимо уменьшить теплоотдачу от чугуна КП к форме, применяя экзотермические теплозащитные покрытия, наносимые на рабочую поверхность формы.

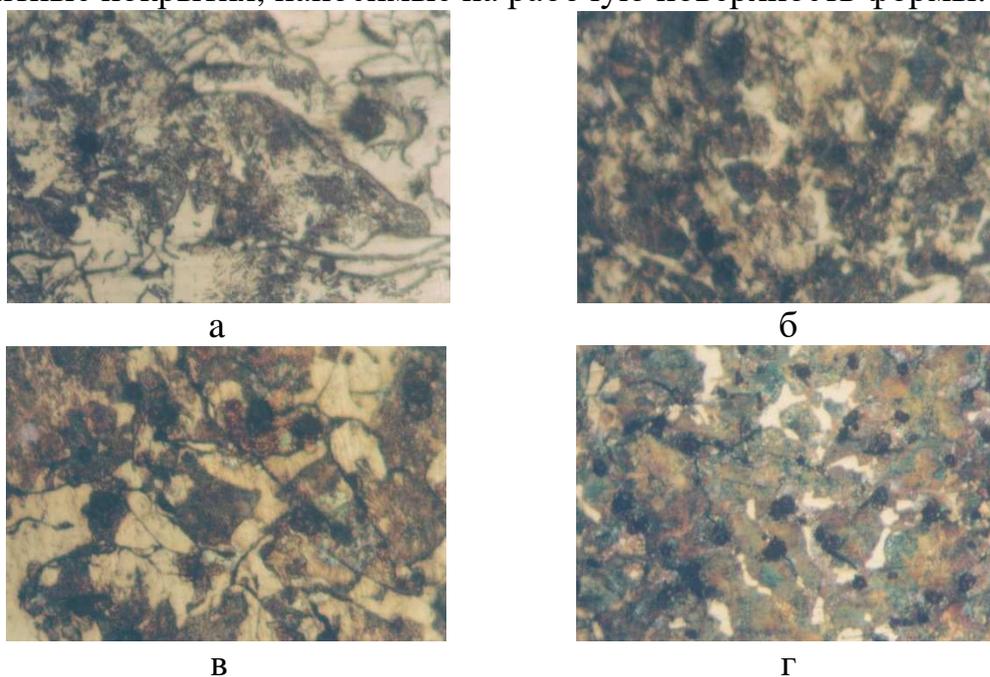


Рис. 2. Микроструктура КП «ХН80СР3- серый чугун» чугунной отливки, х 200: а и в - у наружной поверхности; б и г -у контактной зоны

Общая толщина стенки отливки - 43 мм; а,б-толщина покрытия -10 мм; в,г-толщина покрытия -5 мм; температура заливки чугуна -1460⁰С.

Существенные различия в структуре чугунов, залитых в формы с порошковой намазкой и без нее, наблюдаются непосредственно в контактной зоне с намазкой, в остальной части поперечного сечения стенки отливок структурные составляющие идентичны, не смотря на различные скорости охлаждения.

Анализ исследований структуры чугуна ОКП «ХН80СР3- серый чугун» показал тенденцию к общему уменьшению количества графита. Размер включений уменьшается от 300- 320 мкм (в отливках без КП) до160- 180 мкм с некоторым увеличением их толщины. Количество перлита значительно увеличивается, достигая 83-90% в образцах из ОКП тогда как в исходном чугуне без КП она составляет 55-60%. Структура чугуна таких же отливок, но с КП, то

есть охлажденного с большой скоростью, распределение графита равномернее, чем в чугуна без КП, однако в последних наблюдается общее увеличение количества графита и феррита (до 36 - 40%). Микроструктуры по толщине КП «ХН80СР3- серый чугун» толщиной 5 и 10 мм были практически одинаковыми, о чем свидетельствует и структура поверхности разрушения.

Вывод. В чугунной отливке формирование структуры и свойств КП зависит не только от химического, фракционного состава частиц порошка и толщины покрытий, но и от температурного условия пропитки порошковой намазки жидким металлом.

Список литературы

1. Новрузов Г.Д., Расулов Ф.Р. Взаимодействие жидкого чугуна с обмазкой из композитов в центробежной форме // Материалы Учебно-методической и научно-технической конференции профессоров-преподавателей и аспирантов. Часть II. АзТУ, 2001. С. 247-249.
2. Averbach V.L., Warren B.E. Interpretation of X-ray Patterns of Cold-Worked Metal // J. Appl. Phys. 1949. V. 20, P. 885-889.
3. Campbell J. Feeding Mechanisms in castings // AFS Cast Metals Research Journal. 1989. V. 5, №1. P. 20-26.
4. Расулов Ф.Р. Формирование композиционного покрытия в отливке пропиткой порошкового композита жидким металлом в процессе литья // Ученые записки АзТУ. 2010. Т. IX (34), №2. С. 62-66.
5. Расулов Ф.Р. Особенности поверхностного легирования отливки в литейной форме // Вестник машиностроения. 2017. №4. С. 86-88.

Сведения об авторе:

Расулов Физули Расул оглы – к.т.н., доцент, АзТУ, г.Баку.