

УДК 621.791.927.5

Макаренко Н. А.

## РЕМОНТ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Серые и высокопрочные графитизированные чугуны широко применяются для изготовления деталей, работающих в условиях агрессивных сред при повышенных температурах (изложницы для разливки черных и цветных металлов, кокили, детали печной арматуры и др.). Благодаря наличию значительного количества (7–2% объемн.) графитной фазы в структуре, чугуны обладают рядом ценных свойств, которые обуславливают их применение в этой области [1].

Проведены исследования эрозионного разрушения серого чугуна, который в данное время широко используется в качестве конструкционного материала для изготовления стеклоформ. Испытывали серый чугун состава: 3,5 % углерода; 1,76–2,18 % кремния; 0,17–0,35 % марганца; 0,02–0,03 % серы; 0,02 % фосфора. Испытания проводились в таких же условиях и на том же оборудовании, что и графитизированные стали. Скорость эрозионного разрушения данного материала составила 31,8 г/м<sup>2</sup>·ч. Поверхность чугуна, подверженная эрозионному разрушению, показывает, что проникновение процесса разрушения вглубь металла происходит по графитовым включениям (рис.1) [1–3].

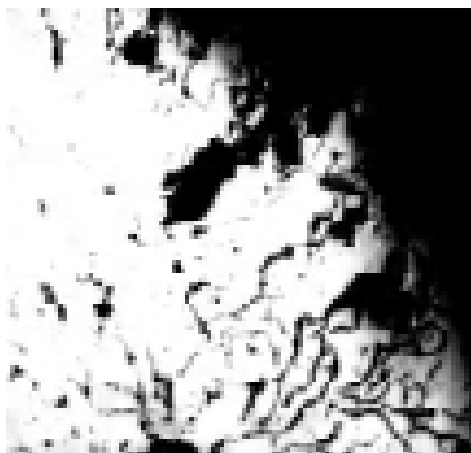


Рис. 1. Разрушение поверхности серого чугуна в угловой части образца

Плазма-МИГ процесс является эффективным способом повышения стойкости пресс-форм для формовки стеклянных изделий [3]. Исследование работы пресс-форм показало, что их рабочая поверхность в процессе формовки стеклянных изделий нагревается до 750<sup>0</sup>С, а в наиболее теплонапряженных местах температура доходит до 820–830<sup>0</sup>С, что делает невозможным применение газопорошковой наплавки стандартными порошками системы Ni-Cr-B-Si и даже Co-Cr-B-Si, термостойкость которых на 200–300<sup>0</sup>С ниже [4]. В связи с этим были предприняты разработки материалов (порошковых проволок) для наплавки пресс-форм, имеющих основание из чугуна.

При плавлении проволоки при плазма-МИГ процессе в режимах, обеспечивающих вращение дуги плавящегося электрода, глубина проплавления основного металла по оси наплавленного валика не превышает 0,5 мм (при этом, по периферии наплавленного валика проплавление основного металла практически отсутствует, несмотря на это несплавлений нет). Фактически процесс наплавки представляет собой процесс пайко-сварки, что позволяет получить заданный состав наплавленного металла уже в первом слое.

Однако при данном процессе применение стандартных порошковых проволок – невозможно, т.к. они должны обладать свойствами, учитывающими особенности плавления

электродного материала, находящегося под воздействием двух дуг – дуги плавящегося электрода и полоцилиндрической дуги. Поэтому разработка составов шихты порошковой проволоки, учитывающих особенности ее плавления при плазменном процессе с аксиальной подачей плавящегося электрода, – актуальная проблема.

Фактором, ограничивающим производительность наплавки, является особенность плавления порошковой проволоки – запаздывание плавления сердечника порошковой проволоки по отношению к оболочке [4]. При больших скоростях подачи порошковой проволоки сердечник не успевает плавиться и, разрушаясь, в виде кусков попадает в жидкую металлическую ванну, не растворяется в ней, что нарушает процесс легирования металла.

Цель работы – дать рекомендации по выбору оптимального материала, стойкого к термоэрозионному разрушению, предназначенному для изготовления пресс-форм. Разработать наплавочные материалы, учитывающие особенности плавления порошковой проволоки (для восстановления и упрочнения чугунного и стального формующего инструмента) и предложить технологию их наплавки.

Задачей исследований является определение основных факторов, влияющих на процесс термоэрозионного разрушения графитизированных серых чугунов и сталей, применяющихся для изготовления формующего инструмента в стекольном производстве (в частности, для пресс-форм, предназначенных для производства изоляторов типа ПС-70Д).

Разработана порошковая проволока для плазма-МИГ наплавки чугунных и стальных изделий, работающих в условиях термоциклических нагрузок. Установлены оптимальные режимы наплавки, даны рекомендации по термообработке наплавленного сплава с целью снятия внутренних напряжений.

Так как важной проблемой повышения стойкости чугунных пресс-форм является ликвидация отбела чугуна при наплавке термостойкого рабочего слоя на их поверхность (наличие отбела приводит к отслаиванию наплавленного металла при его эксплуатации в условиях термоциклических нагрузок), то в качестве наплавляемого металла целесообразно применять сплав Cu-Ni. Ввиду того, что плазменная наплавка осуществляется в среде аргона, количество газошлакообразующих компонентов должно быть сведено к минимуму. Как известно из [5], введение в состав порошковой проволоки компонентов, выделяющих в процессе наплавки  $BF_3$ , способствует стабилизации процесса наплавки и ликвидации несплавлений наплавленного металла с основным. Однако присутствие фтора в атмосфере дуги способствует увеличению глубины проплавления основного металла. В связи с этим была разработана новая система газообразующих компонентов, выделяющая в процессе наплавки  $BCl_3$ , который также применяется при пайке и обеспечивает эффективное смачивание припоем основного металла [5–9].

Никелево-медные сплавы обладают достаточно высокой стойкостью к термоциклическим нагрузкам [4], однако высокая стоимость, а также отсутствие месторождений на территории Украины этих металлов, требуют рационального их использования. Поэтому проблема повышения стойкости пресс-форм, наплавленных этими сплавами, стоит очень остро. Анализ показал, что присутствие бора в сплавах Ni-Cu играет двойную роль. С одной стороны, бор способствует измельчению зерна наплавленного металла и улучшает его механические характеристики; повышает сварочно-технологические характеристики порошковой проволоки и стойкость наплавленного металла к термоциклическим нагрузкам. С другой стороны, он образует легкоплавкие эвтектики [6], что отрицательно влияет на стойкость металла при термоциклических нагрузках. Бор является типичным металлоидом, имеющим явно выраженные кислотные свойства, наличие бора в жидком металле препятствует его десульфурации и дефосфотизации.

Проведенные исследования показали, что наименьшее количество серы и фосфора содержит металл, наплавленный порошковой проволокой, не содержащей В и Si. Таким образом, считаем целесообразным исключение В и Si из состава порошковой проволоки.

Известно, что ряд элементов способен улучшить служебные характеристики металлов при их малом (тысячные доли) содержании в металле. Ранее проведенные исследования показали, что на стойкость сталей для горячей штамповки положительно влияет введение в них незначительного содержания бериллия (0,02–0,04%). В связи с этим были проведены исследования по методике, описанной в [3, 4, 6], по влиянию бериллия на стойкость наплавленного металла к термоциклическим нагрузкам.

Бериллий является металлом и (в отличие от бора и серы) его кислотные свойства выражены слабо. К тому же, содержание Be в наплавленном металле крайне незначительно, вследствие чего Be не может влиять на процессы десульфурации и дефосфорации металла.

За основу наплавленного металла был принят сплав 20H50Д35СР, имеющий одну из наибольших стойкостей к появлению трещин термической усталости [3, 4, 6]. Сплав экономно легирован никелем и (по сравнению с другими сплавами, содержащими значительно большее количество никеля), имеет практически такую же стойкость к термоциклическим нагрузкам. Исследования показали, что микролегирование этого металла бериллием (при одновременном исключении из его состава бора и кремния) резко повышает его разгаростойкость. Максимальная разгаростойкость достигается при содержании бериллия в количестве 0,038%. Дальнейшее увеличение его содержания не приводит к повышению разгаростойкости наплавленного металла. Бериллий является весьма активным и токсичным (в состоянии порошка) металлом, поэтому вводить его в состав шихты порошковой проволоки необходимо в виде медно-бериллиевой лигатуры, применяемой в промышленности для производства бериллиевой бронзы. Влияние бериллия на улучшение свойств наплавленного металла объясняется тем, что бериллий имеет малый атомный радиус [7] и образует с Ni-Cu сплавом растворы внедрения, сильно искажая кристаллическую решетку. Известно аналогичное влияние бериллия на стали [8], позволяющие повысить их прочностные свойства при повышенных температурах. Оптимизация состава порошковой проволоки позволила выйти на следующий состав шихты: медно-бериллиевая лигатура (с содержанием Be – 3%) – 0,2–0,25%; ферроцерий – 3,1–3,4%; алюмокальций – 4,2–4,8%; хлорная медь ( $\text{CuCl}_2$ ) – 0,8–1,3%; бура плавляная – 1,2–1,5%; графит – 0,5–0,7%; медный порошок – до 100%. Оболочка проволоки изготавливалась из никелевой ленты НП-2 шириной 18 мм и толщиной 0,6 мм. Коэффициент заполнения составил – 42%, диаметр проволоки – 2,8 мм. Наплавка производилась на следующих режимах: ток плазменной дуги – 140А; напряжение на плазменной дуге – 26 В; ток дуги плавящегося электрода – 480 А; напряжение на дуге плавящегося электрода – 17 В; расход плазмообразующего газа (аргона) – 8 л/мин; расход защитного газа (аргона) – 18 л/мин; скорость наплавки – 42 м/ч. На указанных режимах производительность наплавки составила 27 кг/ч; толщина наплавленного валика – 3,4 мм; ширина наплавленного валика – 26 мм.

Наблюдалось хорошее формирование наплавленного валика, надежное сплавление наплавленного металла с основным металлом – серым чугуном (СЧ 21-40). Для снятия внутренних напряжений применялся отжиг при  $T = 1100 \text{ K}$  в течении 3-х часов с последующим охлаждением (20 град/ч) до 473К, после чего наплавленные пресс-формы остывали с печью.

Наплавленный металла имел твердость 290–330 НВ и хорошо обрабатывался твердосплавными резцами ВК-8 на пониженных режимах резания. В нем отсутствовали поры, шлаковые включения и трещины. Шлифовка и полировка наплавленной поверхности не вызывала затруднений. Процесс наплавки сопровождался весьма незначительным разбрызгиванием.

Известно, что причиной выхода из строя до 80% чугунных деталей стеклоформирующего инструмента является износ вследствие термохимической эрозии, что связано с наличием большого количества графитной фазы в структуре. В связи с этим обращают на себя внимание графитизированные стали, в которых содержание графита в 2–3 раза меньше, чем в чугунах (рис. 2) [1, 3].

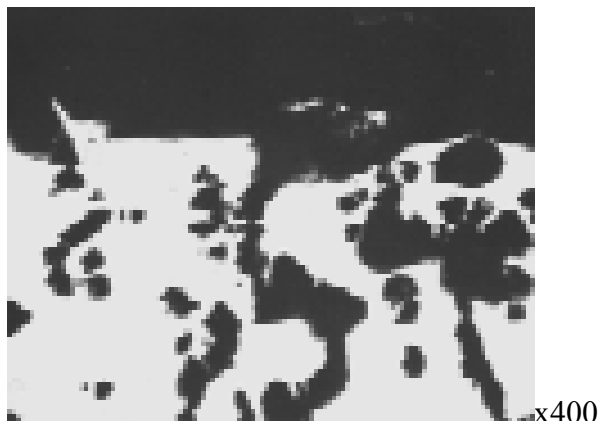


Рис. 2. Эрозионные разрушения графитизированных сталей

Применение наплавки с целью упрочнения и восстановления стеклоформирующего инструмента из сталей – эффективно.

В настоящее время актуальность решения данной проблемы возросла в связи с повышением цен в Украине на энергоносители и металл, поэтому обеспечить увеличение стойкости пресс-форм, изготовленных из сталей, возможно применив наиболее эффективный способ упрочнения и восстановления, такой как плазменная наплавка с аксиальной подачей порошковой проволоки, которая обеспечивает снижение стоимости изделий за счет уменьшения потерь от брака. Ранее эксплуатационные качества стремились улучшить путем выбора марок чугуна или стали. Так, сравнивая механизмы разрушения графитизированных сталей и чугуна сделан вывод, что на эрозионные процессы оказывает влияние прежде всего форма графитовых включений. Пластинчатая форма включений в наибольшей степени способствует проникновению процессов разрушения в поверхностные слои металла. В виду того, что графитная фаза (количество и форма включений) влияет на скорость эрозионного разрушения материала графитизированная сталь, имеющая в своей структуре компактные включения графита, является перспективным конструкционным материалом для изготовления деталей, работающих в условиях агрессивных сред и повышенных температур [3].

Однако наиболее эффективно использовать (еще при проектировании стеклоформирующего инструмента) преимущества плазменного процесса наплавки с аксиальной подачей порошковой проволоки и изготавливать изделия из дешевой технологичной конструкционной стали, на которую в последующем наносится слой наплавленного металла, стойкого к термоциклическим нагрузкам, что значительно уменьшит стоимость изделий и даст возможность неоднократно их восстанавливать.

Для этих целей была разработана порошковая проволока, обеспечивающая повышение разгаростойкости наплавленного металла, уменьшение глубины проплавления и уменьшение рабочих токов при плазменной наплавке комбинированным способом, учитывающая все особенности данного процесса.

Для изготовления порошковой проволоки применяли ленту из никеля марки НП-2 сечением 0,5x15 мм и порошкообразной шихты, мас. %: хром – 62,5; вольфрам – 15,637; бор – 0,063; алюминий – 10; титан – 11,8.

Диаметр полученной проволоки составляет 3 мм.

Выполнялась многослойная плазменная наплавка комбинированным способом плавящимся и неплавящимся электродами на пластины размером 20x80x200 мм на следующих режимах: ток неплавящегося электрода – 110–120 А; напряжение дуги неплавящегося электрода – 45–47 В; ток плавящегося электрода – 550–570А; напряжение дуги плавящегося электрода – 27–32 В; плазмообразующий газ (аргон) расход – 4–6 л/мин; скорость наплавки – 42 м/ч.

Определялся ток плавящегося электрода, при котором начиналось вращение дуги плавящегося электрода.

Наплавка происходила спокойно, с малым разбрызгиванием, поверхность наплавленных валиков ровная, гладкая. Шлак отделяется легко. Глубина проплавления определялась как среднее значение трех замеров на макрошлифах, выполненных по продольной оси наплавленного валика.

Определение разгаростойкости проводилось по методике проблемной лаборатории наплавки ЖДМИ. Образец контактным способом нагревался до температуры  $1100^{\circ}\text{C}$ , затем охлаждался проточной водой до  $50^{\circ}\text{C}$ . Время нагрева и охлаждения составляло 15 с. Регистрировалось появление первой видимой трещины. Определялся также минимальный ток плавящегося электрода, при котором наблюдалось устойчивое вращение дуги плавящегося электрода. Это  $I_{\min} - 470-475 \text{ A}$ .

Преимущества предлагаемой к использованию порошковой проволоки заключается в том, что она не содержит дефицитного вольфрама, дает более высокую разгаростойкость наплавленного металла, обеспечивает минимальную глубину проплавления основного металла (4 мм), имеет меньший ток начала вращения дуги плавящегося электрода, что позволяет работать на меньших токах при плазменной наплавке комбинированным способом плавящимся и неплавящимся электродами.

При содержании компонентов больше или меньше оптимального состава характеристики порошковой проволоки ухудшаются.

Разработано две технологии, которые были применены для изготовления опытной партии стальных пресс-форм для стеклянных изоляторов ПС-70Д.

1. Наплавка производилась на стальные выточенные заготовки кольцевыми швами в один слой, после чего фрезерованием наплавленная заготовка разрезалась на 2 части и плоскость разъема наплавлялась аргоно-дуговой сваркой той же порошковой проволокой. Затем производилась фрезеровка плоскости разъема, зажим профрезерованной пресс-формы в специальные приспособления и совместная обработка на токарном станке рабочей части.

Такая технология позволила обеспечить высокую стойкость плоскости разъема пресс-форм, т.к. при замене чугунных пресс-форм наплавленными стальными оказалось, что вследствие резкого повышения срока службы пресс-форм, процесс окисления поверхности разъема явился основной причиной выхода их из строя.

2. Литая заготовка стальной пресс-формы разрезалась на части в соответствии с чертежом. Плоскости разъема, как уже отмечалось, также подвержены износу (хотя и в меньшей степени), поэтому их наплавляли полуавтоматом в аргоне порошковой проволокой той же марки, что и основную рабочую поверхность. После шлифовки или фрезеровки этих плоскостей до толщины 3 мм, части формы собирались в специальном кондукторе с винтовыми прижимами и вместе с кондуктором помещались на вращатель или станок. Наплавка производилась при вращении изделия таким образом, чтобы линейная скорость перемещения плазмотрона относительно поверхности сохранялась постоянной (в пределах 30 м/ч). Наплавка велась на режимах, ранее подобранных на образцах и указанных выше. Толщина наплавленного слоя составила  $5 \pm 0,5$  мм. Слой шлифовался до толщины 4,5 мм.

Испытания стойкости пресс-форм в производственных условиях показали: стойкость наплавленных пресс-форм выросла с 10 до 42 часов. Кроме того, применение наплавленных пресс-форм позволило осуществлять их ремонт с помощью аргоно-дуговой сварки. При наплавке всей рабочей поверхности пресс-форм аргоно-дуговой сваркой пришлось бы наплавлять два слоя из-за большого перемешивания наплавленного металла с основным, что не экономично. Поэтому аргоно-дуговая сварка применима только для ремонта рабочей поверхности и наплавки плоскости разъема, которая не так сильно нагружена.

Натурные испытания в производственных условиях показали, что пресс-формы выдерживают в 4 раза больше формовок, по сравнению с применяемыми на производстве пресс-формами из серого чугуна.

### ВЫВОДЫ

1. При выборе конструкционного материала для изготовления стеклоформирующего инструмента рекомендуется отдавать предпочтение графитизированным сталям, имеющим в своей структуре компактные включения графита, а не широко применяющимся в настоящее время в Украине графитизированным чугунам.

2. Установлено, что оптимальным наплавочным материалом для восстановления и упрочнения чугунных пресс-форм является металл типа 20Н50Д35СР, микролегирование которого бериллием (при одновременном исключении из его состава бора и кремния) приводит к резкому повышению его разгаростойкости, при этом максимальная ее величина достигается при содержании бериллия в количестве 0,038%, а при дальнейшем увеличении содержания бериллия разгаростойкость наплавленного металла повышается.

3. Определено, что наиболее оптимальным вариантом при конструировании пресс-форм для изготовления стеклянных изоляторов ПС-70Д является выполнение ее заготовки из стали 20 – дешевого, хорошо обрабатываемого на токарном станке материала, при этом при разработке технологии необходимо предусматривать последующее применение упрочнительной и восстановительной плазма-МИГ наплавки.

4. Разработан наплавочный материал для плазма-МИГ наплавки стеклоформирующего инструмента, выполненного из стали 20, представляющий собой порошковую проволоку, для изготовления которой применяли ленту из никеля марки НП-2 сечением 0,5x15 мм и порошкообразную шихту, состоящую из (мас.%): хром – 62,5; вольфрам – 15,637; бор – 0,063; алюминий – 10; титан – 11,8.

5. Разработаны два варианта технологии изготовления стальных пресс-форм, которые являются эффективной высокопроизводительной технологией, обеспечивающей высокое качество изделий за счет применения плазма-МИГ наплавки.

6. Натурные испытания в производственных условиях показали, что пресс-формы, изготовленные по разработанным методикам, выдерживают в 4 раза больше формовок, по сравнению с применяемыми на производстве пресс-формами из серого чугуна.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Волчок И. П. Конструкционные материалы для стеклоформирующего инструмента / И. П. Волчок. – Запорожье : Издательский центр «Павел», 2007. – 294 с.

2 Акимов И. В. Эрозионная стойкость графитизированной стали в агрессивной среде при повышенных температурах / И. В. Акимов, В. А. Савченко, А. Ю. Яковлев // Вестник двигателестроителя. – №4. – 2006. – С. 133–135.

3 Чигарев В. В. Повышение стойкости наплавленного слоя к термоциклическим нагрузкам при plasma-MIG наплавке / В. В. Чигарев, К. А. Кондрашов, Н. А. Макаренко // Вісник ПДТУ : зб.наук.праць. – Маріуполь. – 2000. – №10. – С.190–191.

4 Макаренко Н. А. Разработка наплавочного материала, стойкого к термоциклическим нагрузкам / Н. А. Макаренко // Зб. наук. праць Українського державного миколаївського технічного університету. – Миколаїв : УДМУ. – 2003. – №8(396). – С. 47–54.

5 Есенберлин Р. Е. Пайка и термическая обработка деталей в газовой среде и в вакууме / Р. Е. Есенберлин. – Л. : Машиностроение, 2002. – 192 с.

6 Гуревич С. М. Справочник по сварке цветных металлов / С. М. Гуревич. – М. : Машиностроение, 2004. – 238 с.

7 Некрасов Б. В. Курс общей химии / Б. В. Некрасов. – М. : Госхимиздат, 2005. – 971 с.

8 Свойства элементов. Справочник в 2-х ч. / Под ред. Самсонова Г. В. М. – Металлургия, 2006. – 598 с.

9 Некрасов Б. В. Курс общей химии. / Б. В. Некрасов. – М. : Госхимиздат, 2005. – 971 с.