М442518

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ЛУПАЧЕВ Александр Григорьевич

УДК 621.791.753.9:621.791.927.5:
621.746.073.004.67

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРЕСС-ФОРМ СВАРКОЙ И НАПЛАВКОЙ МАТЕРИАЛАМИ, СТОЙКИМИ ПРОТИВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ЖИДКИМИ АЛЮМИНИЕВЫМИ СПЛАВАМИ

Специальность 05.03.06 - Технология и машины сварочного производства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 1986

Работа выполнена в Могилевском машиностроительном институте на кафедре "Оборудование и технология сварочного производства"

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
ПАВЛИК СЕРГЕЙ КИРИЛЛОВИЧ

Официальные оппоненты:
Доктор технических наук, профессор ЛИВШИЦ ЛЕВ СЕМЕНОВИЧ
Кандидат технических наук, доцент ЧЕРНЫШОВ ГЕОРГИЙ ГЕОРГИЕВИЧ

Ведущее предприятие - Минский автомобильный завод

Защита диссертации состоится "13" марта 1986 г. на заседании специализированного Совета Д053.15.07 при Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана по адресу:
107005, г. Москва, 2-я Бауман

Ваш отзыв в 1-м экземпл
выслать по указанному адресу

С диссертацией можно оз
имени Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан "_

М442518

Ученый секретарь
специализированного Совета
докт.техн.наук, профессор

Зак. 187 Тир.
Ротапринт Могилевской обл.тип. им.Я.М.Свердлова. Объем 1 п.л.

Актуальность работы. Одним из основных технологических процессов экономичного формообразования деталей является литье под давлением в металлические пресс-формы. Пресс-формы для литья под давлением деталей из сплавов на основе алюминия изготовляют из теплостойких сталей 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 3Х2М2ФС, 3Х2В8Ф и других. При изготовлении пресс-форм требуется сложная и трудоемкая механическая и химико-термическая обработка, что обусловливает их высокую стоимость.

В процессе эксплуатации пресс-форм возникают различные повреждения. Наплавкой поврежденных участков, приваркой отломанных фрагментов пресс-форм, заваркой трещин и других дефектов можно существенно повысить технический ресурс пресс-форм. Сварка может применяться также для исправления брака механической обработки и для соединения частей пресс-формы при ее изготовлении.

В настоящее время пресс-формы восстанавливают и изготовляют с применением ручной дуговой сварки плавящимся или неплавящимся электродом. Из-за повышенной чувствительности материала пресс-форм к термическому циклу сварки применяют предварительный подогрев, а после сварки - термическую обработку. В качестве сварочных материалов используют штучные электроды для наплавки штампов или прутки из основного металла пресс-форм. Технический ресурс восстановленных пресс-форм не превышает 15...20% ресурса новых пресс-форм, что не удовлетворяет требованиям производства. Необходима разработка более простой и надежной технологии восстановления и изготовления литейных пресс-форм с применением сварки и наплавки, позволяющей значительно увеличить их технический ресурс.

Цель работы. Целью работы является повышение долговечности пресс-форм для литья алюминиевых сплавов под давлением, изготовленных из теплостойких инструментальных сталей, сваркой и наплавкой материалами, стойкими против взаимодействия с жидкими алюминиевыми сплавами.

Методы исследований. Начальный этап взаимодействия жидкого алюминиевого сплава с металлом наплавки исследовали путем регистрации термоэлектродвижущей силы процесса растворения. Структуру и состав зоны взаимодействия исследовали с помощью микроскопа Neophot-21, микротвердомера ПМТ-3, использовали микрорентгеноспектральный анализ на установке " Cameca-MS46 ".

1141125 18

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана

МГТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

Производили оценку технологической прочности по методике ЛТП МВТУ, а также определяли количество диффузионно-подвижного водорода в металле сварного соединения. Термостойкость сварного соединения определяли на специально спроектированной установке, а термостойкость наплавленного металла - на установке типа установки Л.Ф.Коффина. Влияние легирующих элементов на процесс взаимодействия твердого металла с жидким алюминием и оптимальный химический состав наплавленного металла определяли методами пассивно-активного случайного баланса, многомерного регрессионного анализа и линейного программирования с использованием ЭВМ ЕС-1022.

Научная новизна работы. I. Установлены основные закономерности механизма взаимодействия наплавленного металла с жидким алюминием и его сплавами. Налипание кристаллизующегося алюминия на поверхность наплавленного металла происходит вследствие образования интерметаллидов алюминия с элементами материала наплавки, толщина слоя которых и концентрация легирующих элементов в нем определяется диффузией и поэтому возрастает с увеличением времени контакта и температуры расплава. Растворение поверхности наплавленной пресс-формы происходит за счет гидродинамического уноса образовавшихся интерметаллидов жидким алюминиевым сплавом.

2. Легирование наплавленного металла элементами, имеющими высокую энергию образования алюминидов, и элементами с высокой скоростью диффузии в жидком алюминиевом сплаве увеличивает интенсивность взаимодействия наплавленного металла с расплавом. Поэтому защиту наплавленного металла, контактирующего с жидкими алюминиевыми сплавами нужно осуществлять путем легирования элементами с малой энергией образования алюминидов и элементами с низким коэффициентом диффузии, которые тормозят процесс растворения. При рациональном выборе системы легирования скорость растворения аустенитного наплавленного металла в жидком алюминиевом сплаве может быть снижена в 6...7 раз.

Практическая ценность. Разработана технология восстановления пресс-форм для литья алюминиевых сплавов под давлением, позволяющая производить сварку и наплавку поврежденных участков пресс-форм без предварительной и последующей термической и химико-термической обработки; рекомендованы сварочные материалы, стойкие против взаимодействия с жидкими алюминиевыми

сплавами.

Технология внедрена на Рогачевском заводе "Диапроектор", Осиповичском заводе автомобильных агрегатов. Повторный срок эксплуатации пресс-форм составляет 70% от уровня новых. Экономический эффект от внедрения разработанной технологии составил 61,6 тысяч рублей.

Полученные в работе научные и практические результаты могут быть использованы при разработке технологии сварки и наплавки деталей металлургического оборудования, работающих в контакте с жидкими металлами.

Апробация работы. Основные результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах:

1. Научно-техническая конференция "Прогрессивная технология и современное оборудование литейного производства". Могилев, 1981.

2. Научно-техническая конференция "Повышение надежности и долговечности деталей машин, механизмов и сварных конструкций". Могилёв, 1982.

3. Научно-техническая конференция "Пути повышения эффективности использования инструментальных материалов". Минск, 1983.

4. Научно-техническая конференция стран-членов СЭВ и СФРЮ "Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин" ("Ремдеталь-83). Киев, 1983.

5. II Всесоюзная научно-техническая конференция "Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий". Запорожье, 1983.

6. Научно-технические конференции профессорско-преподавательского состава Могилёвского машиностроительного института (1980-1984 г.г.).

7. Научный семинар кафедры "Оборудование и технология сварочного производства" Могилёвского машиностроительного института, 1984.

8. Научный семинар кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана. Москва, 1984.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 142 страницах машинописного текста, иллюстрируется 75 рисунками и фотографиями, содержит 35 таблиц, состоит

из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы, содержащего 177 названий, приложения.

В первой главе проведен анализ условий работы пресс-форм, изучены причины, вызывающие их разрушение, установлены требования к сварочным материалам для сварки и наплавки пресс-форм.

Процесс литья под давлением характеризуется высокими параметрами циклического температурно-силового нагружения и сопровождается активным физико-химическим взаимодействием материала пресс-форм с жидким алюминиевым сплавом. Верхняя граница температурного цикла при прессовании сплавов на основе алюминия достигает 1023 К. В перерывах между циклами отливки температура пресс-форм падает до 373...423 К, а при остановках машины - до 293 К, скорость впуска жидкого металла достигает 226 м/с, а давление струи жидкого металла на поверхность пресс-форм - 61 МПа.

Исчерпание технического ресурса пресс-форм после нескольких десятков тысяч отливок происходит вследствие достижения предельного состояния по одному из разрушающих факторов: термическая усталость, вызывающая образование трещин и искажение исходной геометрии пресс-формы; изменение размеров пресс-формы за счет механического воздействия отливки; физико-химическое взаимодействие поверхности пресс-форм с обрабатываемым материалом, смазкой и окружающей средой.

Анализ причин выхода из строя пресс-форм, проведенный на 9 заводах показал, что более 70% повреждений пресс-форм приходится на три вида разрушения: приваривание отливки, размыв поверхности пресс-формы и трещины термической усталости. При этом 44% повреждений вкладышей пресс-форм и 65% повреждений стержней пресс-форм вызвано физико-химическим взаимодействием с обрабатываемым материалом.

Наплавленный металл для сварки и наплавки пресс-форм должен обладать низкой активностью взаимодействия с жидким расплавом, высоким сопротивлением термической усталости, износостойкостью в широком диапазоне температур, хорошей обрабатываемостью, а также необходимой технологической прочностью.

При восстановлении пресс-форм материалами для наплавки штампов или материалами, близкими по составу к основному металлу, весьма затруднительно обеспечить отсутствие горячих и холодных трещин даже при подогреве пресс-форм. Ограничения в

свариваемости теплостойких инструментальных сталей, обусловленные пониженной технологической прочностью наплавленного металла и зоны термического влияния (ЗТВ), могут быть преодолены путем выбора сварочных материалов аустенитного класса и применением оптимальной технологии сварки.

Во второй главе изложены использованные в работе методики испытания металла наплавки и сварного соединения: на взаимодействие с жидкими алюминиевыми сплавами; на сопротивление термической усталости; на технологическую прочность.

Для сварки и наплавки применяли сварочные материалы, обеспечивающие наплавленный металл мартенситного, ферритно-аустенитного и аустенитного классов. Исследованы соединения, содержащие наплавленный металл 31 химического состава в пределах концентраций (%): C = 0,04...1,65; Si = 0,05...1,5; Mn = = 0,08...14,0; Cr = 0 ... 25,0; Ni = 0...80,0; W = 0 ... 8,0; Mo = 0 ... 15,0; V = 0 ... 0,9; Ti = 0 ... 2,5; Nb = 0...1,4.

Образцы из металла разного химического состава для испытания на растворение в жидком алюминиевом сплаве и на прочность сцепления с закристаллизовавшимся алюминием изготовляли путем наплавки в медный водоохлаждаемый кристаллизатор.

Испытание образцов на взаимодействие с расплавом производили в жидком алюминиевом сплаве АЛ-2 при T = 883...1023 K и технически чистом алюминии А9 при T = 1023 K. Образцы в кассетах помещали в тигель с расплавом объемом 0,17 м^3.

С целью испытания наплавленного металла на прочность сцепления с закристаллизовавшимся алюминием образцы погружали в расплав на 4...600 с, охлаждали и затем испытывали на срез в специальном приспособлении по зоне взаимодействия наплавленный металл – закристаллизовавшийся алюминий.

При испытании наплавленного металла на растворение в жидком алюминиевом сплаве образцы погружали в расплав на 300...18000 с. До и после погружения в расплав образцы взвешивали на аналитических весах и замеряли площадь их первоначальной поверхности. Стойкость наплавленного металла против взаимодействия с жидким алюминием оценивали по скорости растворения образца с учетом изменения реагирующей поверхности.

Оценку начального этапа взаимодействия твердого металла с жидким алюминием осуществляли по методу термопар. Для этого была собрана ячейка, состоящая из исследуемого материала и

графита, котрую помещали в жидкий алюминий. В такой ячейке в процессе растворения испытуемого материала изменяется химический состав жидкого алюминия и твердого металлического электрода вследствие взаимной диффузии, что вызывает изменение термоэдс. Время от момента погружения ячейки в жидкий алюминий до начала возрастания термоэдс характеризует устойчивость твердого металла к смачиванию жидким алюминием, а скорость изменения термоэдс характеризует интенсивность растворения.

Состав зоны взаимодействия твердого металла с жидким алюминием изучали при помощи микрорентгеноспектрального анализа на установке "Camecа", микроскопе "Neophot", микротвердомере ПМТ-3, горячую твердость определяли на приборе ТК-2, снабженном муфельной печью.

Сравнительные испытания образцов из наплавленного металла на сопротивление термической усталости выполняли по методике Л.Ф.Коффина. Размеры образцов были выбраны на основании расчета заданного времени их нагрева при определенных значениях величины тока, используемого для нагрева, а также условия обеспечения одноосного напряженного состояния образца в его рабочей части. В процессе термоциклирования производили запись петли гистерезиса в координатах температура-перемещение. Критерием стойкости служило число циклов теплосмен до разрушения.

Изучение сопротивления термической усталости сварного соединения производили на специально спроектированной установке, позволяющей в автоматическом режиме производить нагрев образца до заданной температуры и последующее охлаждение образца воздухом. Для исследования применяли прямоугольный образец сечением 15х25 мм с заваренным дефектом. Эта методика позволила определить места зарождения трещин термической усталости и направление их роста при заварке дефектов материалами разного химического состава.

Оценку склонности исследуемых материалов к горячим трещинам производили по методике ЛТП МВТУ, предусматривающей растяжение плоского разъемного образца в процессе наплавки на него продольного валика. Склонность сварного соединения к образованию холодных трещин оценивали по наличию трещин при сварке технологических проб и по содержанию в соединении диффузионно-подвижного водорода.

В третьей главе исследован механизм взаимодействия жидкого

алюминия с наплавленным металлом и проведена оптимизация химического состава наплавленного металла.

Взаимодействие наплавленного металла с жидким алюминием определяется комплексом последовательно протекающих процессов: восстановление окислов наплавленного металла жидким алюминием, смачивание поверхности наплавки жидким алюминием, взаимная диффузия атомов металла наплавки и жидкого алюминия, образование слоя интерметаллидов и гидроунос их в расплав.

Непосредственному контакту наплавленного металла и жидкого алюминия в начальной стадии взаимодействия препятствуют пленки оксидов, образующиеся непосредственно после механической обработки или в процессе эксплуатации пресс-форм. Расчеты и проведенные эксперименты показали, что алюминием легко восстанавливаются оксиды Ni , Mo , Nb , Fe , труднее - оксиды Ti, Cr , Mn , Si

После разрушения окисных пленок наступает процесс смачивания металла наплавки жидким алюминием. При взаимодействии алюминиевого сплава определенного состава с поверхностью наплавки поверхностная энергия на границе алюминий-газ изменяется незначительно, взаимодействие существенно зависит от поверхностной энергии твердый металл-газ. Установлено, что элементы W , Mo, Nb , Si , V уменьшают смачиваемость твердого металла жидким алюминием. Элементы Ni , Cr имеют высокую поверхностную энергию и могут хорошо смачиваться жидким алюминием. Так как окисные пленки защищают наплавленный металл лишь короткое время (I...5 с), а никель улучшает его смачиваемость, то система защиты поверхности наплавленного металла не может быть построена по принципу защиты от коррозии - путем создания прочных окисных пленок, содержащих преимущественно окислы хрома.

После достижения металлического контакта твердого и жидкого металлов основное влияние на взаимодействие оказывают процессы их взаимной диффузии и роста интерметаллидных прослоек. Ранжировать элементы по склонности к образованию алюминидов можно, сравнивая теплоты их образования. Показано, что наиболее стойкими являются алюминиды Ni и Ti , менее стойкими являются алюминиды Mn , Cr . Легирование наплавленного металла Ni способствовало росту интерметаллидных прослоек

контакте наплавленный металл-алюминий, легирование Mn замедляло рост прослоек. Толщина слоя алюминидов растет за счет взаимной диффузии атомов легирующих элементов и жидкого алюминия. Сравнение коэффициентов диффузии показывает, что если основа сплава - железо, то только Ni может ускорить процесс роста интерметаллидной прослойки, а элементы W , Mo , Nb замедляют рост интерметаллидной прослойки.

По фрактограммам излома поверхности образцов, находившихся в контакте с жидким алюминием, установлено, что процесс взаимодействия жидкого алюминия с материалом наплавки начинается с отдельных очагов схватывания, которые с течением времени распространяются по всей поверхности. Прочность сцепления закристаллизовавшегося алюминия с поверхностью наплавки зависит от времени контактирования, химического состава, материала наплавки и определяется химическим составом образующихся алюминидов. Все исследованные материалы разделены на две группы. Первая - материалы, легированные только Ni и Cr , вторая - материалы, дополнительно легированные W , Mo , Mn . Для первой группы материалов кривая прочности сцепления закристаллизовавшегося алюминия с поверхностью наплавки имеет максимум. Для второй - кривая носит возрастающий характер. В зависимости от времени контактирования и температуры разрушение происходит по алюминию или по металлу наплавки. Минимальную стойкость против налипания алюминия показали материалы с высоким содержанием Ni , что связано с большим значением отрицательного приращения изобарного потенциала при образовании алюминидов никеля.

Микрорентгеноспектральным анализом установлено, что наибольшая глубина проникновения в жидкий алюминий наблюдается у Ni , интенсивно диффундирует в жидкий алюминий Cr , меньшую скорость диффузии имеют W , Mo , Mn. Ширина зоны взаимодействия возрастает с увеличением времени контактирования и зависит не только от концентрации элементов с большой скоростью диффузии (например Ni), но также от концентраций элементов, имеющих низкую скорость диффузии в жидком алюминии (W , Mo , Mn), которые тормозят диффузию подвижных атомов Ni . Сравнение зоны взаимодействия сплавов Х20Н80 и 10Х16Н25Г6М3В8 с жидким алюминием показывает, что глубина проникновения Ni и Cr в 10 раз меньше для наплавленного металла 10Х16Н25Г6М3В8, легированного W , Mo , Mn , чем для Х20Н80, не содержащего этих элемен-

тов. На сопротивление наплавленного металла растворению в жидком алюминии легирующие элементы оказывают такое же влияние, как и на процесс схватывания и образования диффузионных прослоек, поскольку интенсивность растворения определяется скоростью химических реакций образования алюминидов, гидродинамическим уносом их в жидкий расплав и взаимной диффузией легирующих элементов через границу раздела твердый металл-расплав.

Влияние химического состава на процесс растворения возрастает с повышением температуры алюминия и скорости его перемещения относительно наплавленного металла. С уменьшением содержания никеля до 20% стойкость наплавленного металла против растворения резко возрастает. Установлена корреляционная связь между интенсивностью растворения и скоростью изменения термоэдс. Определенная группа аустенитных материалов имеет меньшую скорость растворения, чем материал пресс-форм. С использованием экспериментальных данных рассчитаны энергии активации процесса растворения наплавленных материалов разного химического состава в жидком алюминии в зависимости от температуры расплава. Среди исследованных материалов максимальную энергию активации имеет сплав 10Х16Н25Г6М3В8, он же имеет и минимальную скорость растворения. По полученным уравнениям рассчитаны максимальные температуры, при которых допустима эксплуатация наплавленных металлов разных химических составов в условиях работы пресс-форм.

Для оценки степени влияния легирующих элементов на процесс растворения применен метод пассивно-активного случайного баланса. Установлено, что Ni снижает, а W , Mo , Mn увеличивают стойкость наплавленного металла против взаимодействия с жидким алюминием.

С целью определения оптимального состава материала наплавки проведена оптимизация химического состава наплавленного металла. Предусматривалось достижение максимальной стойкости наплавленного металла против взаимодействия с жидким алюминием при сохранении других свойств на уровне не ниже свойств материала пресс-форм. Методом многомерного регрессивного анализа получено уравнение регрессии, которое описывает скорость растворения наплавленного металла в жидком алюминии.

$$K = -57{,}89 - 35{,}93\,C + 0{,}77Si - 0{,}82Mn + 0{,}51Cr + 3{,}10Ni - 1{,}85W + 11{,}06V - 5{,}27Mo - 3{,}11Nb + 1{,}38Fe .$$

Оптимальный химический состав наплавленного металла рассчитывали с использованием метода линейного программирования. В качестве целевой функции для оптимизации выбрали стойкость наплавленного металла против растворения в жидком алюминии. Наплавленный металл должен содержать (%): C = 0,1; Si = 0,3; Mn = 10,0; Cr = 11,6; Ni = 3,0; Mo = 3,0; W = 2,0; Fe = 70,0.

Сталь оптимизированного химического состава (10Х12Н3Г10 М3В2) превосходит сталь 10Х16Н25Г6М3В8, которая показала наилучшую стойкость против взаимодействия с жидким расплавом, по двум основным показателям: имеет меньшую скорость растворения в жидком алюминии и меньшую прочность сцепления с закристаллизовавшимся алюминием.

В четвертой главе исследованы свойства сварных соединений в процессе изготовления и эксплуатации.

Исследование сопротивления термической усталости как одного из основных факторов, обеспечивающих работоспособность пресс-формы показало, что максимальное число циклов до появления трещин термической усталости имеют наплавки из жаропрочных сплавов типа ХН77ТЮ (9350 циклов теплосмен при Т = 973 К). Меньшее сопротивление термической усталости имеют сплавы типа 25-20. Наплавленный металл 10Х16Н25Г6М3В8 имел показатель термостойкости равный 9030 циклов, а оптимизированного химического состава 10Х12Н3Г10М3В2 - 7350 циклов. Эти стали более термостойки, чем материалы пресс-форм 4Х5В2ФС (3100 циклов), 3Х2В8Ф (2800 циклов).

Максимальное значение сопротивлению термической усталости сварного соединения показали сплавы ХН77ТЮ и 10Х16Н25Г6М3В8. Трещины термической усталости возникали на линии сплавления и распространялись в основной металл.

Твердые мартенситные прослойки, которые образуются в ЗТВ при наплавке, в процессе термоциклирования отпускаются. С ростом температуры цикла снижение твердости в ЗТВ интенсифицируется. После 30-60 циклов "нагрев-охлаждение" твердость околошовного участка стабилизируется и близка к твердости основного металла после термической обработки.

Горячая твердость наплавленного металла определяет его стойкость против смятия и абразивного износа. Твердость металла, наплавленного проволокой оптимизированного химического состава и проволокой 10Х16Н25Г6М3В8, при температуре 973 К

близка к твердости материала пресс-форм. Следует учесть, что материалы пресс-форм приобретают максимальную твердость после сложной термической обработки, в то время, как для аустенитного наплавленного металла такая обработка не нужна.

Однофазные аустенитные швы склонны к образованию горячих трещин. Особенно чувствительны к режимам наплавки нихромы. Увеличение погонной энергии для сплава ХН77ТЮ с 1020 Дж/см до 10250 Дж/см приводит к уменьшению критической скорости деформации с 9 до 3,6 мм/мин. Эффективным путем повышения критической скорости деформации является легирование его тяжелыми элементами (W, Mo), что одновременно повышает устойчивость против растворения. Максимальную стойкость против образования горячих трещин показал сварной шов, выполненный проволокой 10Х16Н25Г6М3В3, содержащий тяжелые легирующие элементы.

В состоянии после термической обработки материал пресс-форм имеет структуру отпущенного мартенсита с равномерно распределенными дисперсными включениями карбидов. Нагрев такого материала выше температуры аустенитного превращения при сварочном цикле приводит к образованию неотпущенного мартенсита в ЗТВ. Работоспособность сварного соединения зависит от твердости и ширины мартенситной прослойки, которая определяется режимами сварки и начальной температурой свариваемого изделия. При сварке сталей 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС не удается обеспечить благоприятную структуру ЗТВ при скоростях охлаждения, имеющих место при дуговой сварке, например, при сварке в среде аргона с кислородом проволокой диаметром 1 мм даже при подогреве до 673 К в ЗТВ будет структура мартенсита. Ширина прослойки мартенсита изменяется от 0,6 до 2,2 мм при сварке на токах от 100 до 200 А. Поэтому площадь наплавленного металла при ремонте пресс-форм целесообразно регулировать наплавкой параллельных валиков с поперечными перемещениями электрода при сварке на минимальной погонной энергии. Максимальное значение микротвердости сварного соединения наблюдается непосредственно у линии сплавления. Возрастание микротвердости в ЗТВ наблюдается при сварке всеми исследованными проволоками. При наплавке валика на металл с азотированной поверхностью твердость околошовной зоны практически не отличается от твердости при наплавке на металл без азотирования, но твердость металла шва возрастает на 1000 МПа в связи с легированием азотом. При сварке термообработанных

сталей 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС на токах выше 120 А в ЗТВ появляется участок отпуска, ширина которого возрастает с увеличением режима сварки. Снижение твердости материала пресс-формы влечет за собой увеличение скорости его растворения в жидком алюминии.

Опасность образования холодных трещин в ЗТВ при сварке материалов пресс-форм требует снижения диффузионно-подвижного водорода. Минимальное содержание диффузионно-подвижного водорода получается при сварке аустенитной проволокой в среде аргона с 5% кислорода и составляет 0,9...0,95 мл на 100 грамм наплавленного металла. В тех же условиях сварка электродами НИИ-48Г дает содержание водорода 1,9 мл, а электродами ЭН-60М - 3...5 мл. При сварке проволокой оптимизированного и близкого к нему состава определена область режимов, дающих швы без холодных трещин в ЗТВ.

При сварке пресс-форм материалами, отличающимися по химическому составу от основного металла, необходимо стремиться к уменьшению перемешивания наплавляемого и основного металлов. С этой целью целесообразно применять проволоку малого диаметра (0,8 - 1,2 мм) и небольшие сварочные токи. Экспериментально установлено, что при сварке на токе 90 А доля участия основного металла в металле шва с учетом возмущений, воздействующих на сварочный контур, изменяется в пределах 0,1552... 0,1835, а при сварке на токе 140 А - в пределах 0,297...0,352. Установлено, что имеющее место отклонение химического состава металла, наплавленного на токах 90...140 А, не приводит к значительному изменению скорости растворения металла сварного шва в жидком алюминии. При наплавке валика на сталь 3Х2В8Ф проволокой 10Х16Н25Г6М3В8 при изменении тока от 90 до 140 А скорость растворения наплавленного металла изменяется от 0,04911 мм/ч до 0,04438 мм/ч. Такая величина не превосходит скорость растворения стали 10Х16Н25Г6М3В8, которая равна 0,04568 мм/ч. Отклонение химического состава наплавленного металла можно снизить применяя поперечные колебания электрода. При наплавке валика с поперечными колебаниями электрода по траектории "восьмерка" на токе 140 А доля участия основного металла в металле шва составляет 0,136, а при сварке без колебаний - 0,324.

На основании проведенных исследований разработана технология восстановления и изготовления пресс-форм для литья под давлением алюминиевых сплавов, которая предусматривает исполь-

зование полуавтоматической сварки в смеси аргона с 5% кислорода. Сварка производится аустенитной проволокой диаметром 0,8 - I,2 мм на токах 90...I40 А.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

I. Проведенный анализ заводских данных о причинах выхода из строя пресс-форм позволил определить, что исчерпание технического ресурса пресс-форм для литья алюминиевых сплавов под давлением происходит вследствие достижения предельного состояния по одному из разрушающих факторов: физико-химическое взаимодействие поверхности пресс-формы с расплавом; термическая усталость; изменение размеров пресс-формы за счет механического воздействия отливки. Разрушение поверхности пресс-форм носит локальный характер, монолитность разрушенных участков с телом пресс-формы может быть восстановлена только методами сварки и наплавки.

2. По результатам экспериментально-теоретических исследований установлено, что механизм взаимодействия наплавленного металла с жидкими алюминиевыми сплавами определяется комплексом последовательно протекающих процессов: восстановление окислов наплавленного металла атомами алюминия; смачивание поверхности наплавки расплавом; взаимная диффузия атомов наплавленного металла и расплава; образование слоя интерметаллидов, смыв их в расплав. Одним из основных факторов, контролирующих интенсивность взаимодействия, является образование слоя интерметаллидов, толщина слоя и концентрация легирующих примесей в нем определяется диффузией и поэтому возрастает с увеличением времени контакта и температуры расплава.

3. Результаты экспериментальных исследований позволили установить, что налипание алюминиевого сплава на поверхность наплавленного металла происходит вследствие образования алюминидов с элементами материала наплавки и начинается с отдельных очагов схватывания, площадь которых растет с увеличением числа отливок и температуры расплава.

Налипание и растворение наплавленного металла в жидком алюминиевом сплаве существенно зависит от содержания в нем элементов, имеющих высокую энергию образования алюминидов, в частности никеля. Замена в сварочной проволоке элементов, образующих алюминиды с высокой энергией связи, на элементы с малой энергией (в частности, замена части Ni на Mn) повышает сопротивление наплавленного металла налипанию на его поверх-

ность алюминия и растворению в расплаве.

4. Эксперименально установлено, что легирование металла шва элементами с большой атомной массой (W , Mo) замедляет растворение наплавленного металла в жидком алюминиевом сплаве в связи с низкой скоростью самодиффузии их в расплаве. Эти элементы создают препятствие для выхода из наплавленного металла высокоподвижных атомов (например, Ni и Cr) в жидкий алюминий.

5. Разработана методика ускоренных оценочных испытаний наплавленного металла на интенсивность взаимодействия с жидкими алюминиевыми сплавами, основанная на измерении термоэдс процесса растворения, величина которой зависит от химического состава твердого и жидкого металлов и изменяется вследствие взаимной диффузии атомов контактирующих металлов, что позволяет по началу роста термоэдс определить время задержки растворения, а по скорости изменения термоэдс определить интенсивность растворения испытываемого металла в расплаве.

6. Построена статистическая модель влияния легирующих элементов на скорость растворения металла наплавки в жидком алюминиевом сплаве и найден оптимальный химический состав наплавленного металла, характеризующийся пониженным содержанием никеля (до 3%) и повышенным содержанием марганца (до 10%). Отклонение химического состава наплавленного металла по длине наплавки из-за колебания глубины проплавления вследствие возмущений технологических параметров наиболее целесообразно уменьшать за счет поперечных перемещений электрода в процессе наплавки.

7. Установлено, что защиту наплавленного металла, контактирующего с жидкими алюминиевыми сплавами, нужно осуществлять путем легирования наплавленного металла элементами с низкими коэффициентами диффузии и элементами с малой энергией образования алюминидов, которые тормозят процесс растворения. При рациональном выборе системы легирования скорость растворения наплавленного металла в жидком алюминиевом сплаве может быть снижена в 6...7 раз.

8. Высокая работоспособность наплавленного металла предложенного состава, оцененная по стойкости против взаимодействия с жидкими алюминиевыми сплавами, сопротивлению термической усталости, горячей твердости, свойствам зоны сплавления, позволяет длительно эксплуатировать сварные соединения в условиях

циклического термомеханического воздействия, что обеспечивает продление послеремонтного технического ресурса пресс-форм на 70 %.

9. Разработаны рекомендации по ремонту пресс-форм сваркой и наплавкой, в соответствии с которыми ремонт пресс-форм наиболее целесообразно производить полуавтоматической сваркой аустенитной проволокой диаметром I – I,2 мм в смеси аргона с 5 % кислорода на токах 90...I40 А, которая позволяет качественно заваривать дефекты без предварительного подогрева и последующей химико-термической обработки.

I0. Внедрена в производство технологическая инструкция по ремонту сваркой и наплавкой пресс-форм для литья алюминиевых сплавов под давлением. Использование технологии на предприятии позволило получить экономический эффект 6I600 рублей за счет повышения долговечности пресс-форм.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

I. Павлюк С.К., Лупачев А.Г. Восстановление форм для литья алюминиевых сплавов. – Литейное производство, I98I, № I, с. 29-30.

2. Лупачев А.Г. Ремонт сваркой пресс-форм для литья под давлением. – Прогрессивная технология и современное оборудование литейного производства: Тез. докл. респ. конф. – Минск, I98I, с. 55 – 56.

3. Павлюк С.К., Лупачев А.Г. Растворимость наплавленного аустенитного металла шва в жидком алюминии. – Повышение надежности и долговечности деталей машин, механизмов и сварных конструкций: Тез. докл. респ. конф. – Минск, 1982, с.I20-I2I.

4. Лупачев А.Г., Алимбочков В.П. Стойкость наплавленного металла против налипания алюминия. – Повышение надежности и долговечности деталей машин, механизмов и сварных конструкций: Тез. докл. респ. конф. – Минск, I982, с. I2I-I22.

5. Павлюк С.К., Лупачев А.Г. Сварка теплостойких инструментальных сталей при изготовлении и ремонте пресс-форм. – В сб.: Материаловедение в машиностроении. – Минск: Вышэйшая школа, I983, с.8[illegible].

6. Ремонт технологической оснастки для литья деталей из алюминиевых сплавов. / С.К.Павлюк, А.Г.Лупачев, В.Г.Лупачев,

И.М.Кузменко. – Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин: Тез. докл. научно-техн. конф. стран – членов СЭВ и СФРЮ. – М., 1983, с. 152-153.

7. Павлюк С.К., Лупачев А.Г. Повышение долговечности литейных пресс-форм наплавкой жаропрочными материалами. – Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий: Тез. докл. II Всесоюзной научно-техн. конф. – Запорожье, 1983, с.174.
8. А.с. 605706 (СССР). Устройство для дуговой сварки с поперечными перемещениями электрода. / С.К.Павлюк, А.Г.Лупачев, И.С.Ротач. – Опубл. в Б.И., 1978, № 17.
9. А.с. 732099 (СССР). Устройство для дуговой сварки с поперечными перемещениями электрода. / С.К.Павлюк, А.Г.Лупачев, В.М.Белоконь. – Опубл. в Б.И., 1980, № 17.
10. А.с. 799927 (СССР). Устройство для дуговой сварки плавящимся электродом с колебаниями электрода. / С.К.Павлюк, А.Г.Лупачев, В.М.Белоконь, В.Г.Лупачев. – Опубл. в Б.И., 1981, № 4.
11. А.с. 984762 (СССР). Устройство для дуговой сварки с колебаниями электрода. / С.К.Павлюк, В.М.Богданов, А.Г.Лупачев. – Опубл. в Б.И., 1983, № 48.

