

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

ИЛЬИНА Инна Ивановна

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКОСВАРКИ ЧУГУНА
ЛАТУННЫМИ ПРИПОЯМИ

(05.04.05 — Технология и машины сварочного производства)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском и конструкторском институте автогенного машиностроения—ВНИИАвтогенмаше.

Научный руководитель —
кандидат технических наук Асиновская Г. А.

Научный консультант —
доктор технических наук, профессор Шашков А. Н.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Лашко С. В.,
кандидат технических наук, доцент Немиро Г. С.

Ведущее предприятие — Московский ордена Ленина чугуно-литейный завод «Станколит».

Автореферат разослан « » 197 г.

Защита диссертации состоится « » 197 г.
на заседании С
Моск Н. Э. Бай-
мана.

Ва ярах просим
напра анская, д. 5.
С отеке МВТУ
им. Н.

Уче

М 19464 З.

ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении чугун является одним из основных конструкционных материалов. Вес чугунных отливок составляет до 50% веса машин. Производство чугунного литья в СССР непрерывно возрастает, что связано с простотой и дешевизной изготовления, хорошими литейными свойствами, с высокой износостойкостью, хорошей обрабатываемостью чугуна и т.п.

Вместе с тем, при изготовлении чугунных деталей на разных стадиях их обработки выявляются дефекты типа раковин, сколов, трещин и т.д., для устранения которых успешно применяются различные методы сварки, пайки и пайкосварки, используемые также и для ремонта чугунных изделий, вышедших из строя в процессе эксплуатации. Большой вклад в развитие и совершенствование способов сварки, создание новых присадочных материалов, технологии, а также изучение процессов, протекающих в шве и околошовной зоне, внесли советские исследователи Г.А.Асиновская, А.Е.Аснис, В.А.Батманов, Б.Г.Иванов, К.В.Любавский, Ю.А.Стеренбоген, В.Ф.Хорунов, К.К.Хренов, А.Н.Шажков и др.

Как показала практика сварки чугуна, наибольшие трудности возникают при устранении дефектов, выявленных на механически обработанных поверхностях, когда допуск на окончательную обработку незначителен. В этих случаях оказываются неприменимыми горячие методы сварки чугуна, т.к. деталь выходит из заданных размеров. Исключение же предварительного нагрева деталей при применении существующих высокотемпературных методов вследствие больших скоростей нагрева и охлаждения, как правило, приводит к потере технологической прочности и появлению труднообрабатываемых структур. Таким образом, для устранения дефектов на механически обработанных поверхностях потребовалась разработка специального процесса, снижающего объемные изменения и исключающего образование трещин и труднообрабатываемых структур в изделии.

Из всего многообразия способов ремонта чугуна в наибольшей степени этим условиям отвечает газопламенная пайкосварка латунными припоями. В основу разработки нового низкотемпературного процесса пайкосварки чугуна была положена рабочая гипотеза возможности устранения объемных изменений, вызываемых деформацией и ростом чугуна, а также обеспечения технологической прочности соединения снижением рабочей температуры процесса до начала структурных превращений, что значительно ниже температуры солидуса применяемых латунных припоев.



М1946/11

Предполагалось, что создание такого процесса возможно путем введения в состав флюса и припоя поверхностноактивных элементов, способствующих в условиях пониженных температур образованию прочного соединения с металлическими связями.

Таким образом, целью настоящей работы являлось исследование и разработка низкотемпературного процесса газопламенной пайкосварки чугуна латунными припоями, как метода исправления дефектов на обработанных поверхностях без предварительного подогрева изделия, а также создание новых технологических материалов, обеспечивающих возможность осуществления процесса при рабочей температуре ниже или близкой к $A_{с_1}$ при условии образования равнопрочного соединения.

В ходе работы для решения поставленной задачи использовались методы металлографического, микрорентгенспектрального и химического анализов, измерение микротвердости, dilatометрирование, термография, различные способы измерения механических свойств и другие экспериментальные методы.

Исследование тепловых параметров пайкосварки чугуна латунными припоями и выбор оптимальной рабочей температуры процесса.

По данным различных авторов значение рабочей температуры при пайкосварке известными латунными припоями и флюсами колеблется от 770°C до 950°C . Отсутствие объективных экспериментальных исследований вызвало необходимость уточнения термического цикла при пайкосварке чугуна латунными припоями с использованием обычно применяемых материалов (припоя ЛОК59-I-03 и прокаленной буры в качестве флюса).

Выполненная в работе запись термического цикла показала, что температура локального подогрева поверхности чугуна перед нанесением припоя, необходимая для обеспечения термодинамических условий смачивания, и максимальная температура поверхности после нанесения припоя равны соответственно 870°C и 953°C , что значительно превышает температуру эвтектичного превращения чугуна ($t_{\text{ку}} A_{с_1}$). Установлено, что по сечению образца создается неравномерное распределение температур. Высокие температуры в приконтактной зоне чугуна в сочетании с большой скоростью охлаждения (ω $960-700^{\circ}\text{C} = 10^{\circ}/\text{сек}$) способствуют, как показал проведенный металлографический анализ, образованию закалочных структур в з.т.в. Неравномерное распределение температур по сечению и неоднородность структуры в чугуне являются источниками возникновения внутренних напряжений и деформации, ограничивающих возможность применения обычного метода пайкосварки чугу-

на латунными припоями. Не последнюю роль при этом играют и необратимые объемные изменения в чугунах в результате роста.

Объемные изменения в чугунах изучались на dilatометре марки УВД. Режимы dilatометрирования моделировали термический цикл обычной пайковсварки латунными припоями и предполагаемой низкотемпературной (при T раб. близкой к As_7). В соответствии с полученными дифференциальными dilatограммами нагрев в вакууме до $900^\circ C$ (рис. 1а) сопровождается значительными структурными превращениями и необратимым ростом чугуна. При нагреве в этих же условиях до $750^\circ C$ фазовые превращения и объемные изменения в чугунах отсутствуют. (рис. 1б). Металлографическое исследование образцов до и после dilatометрирования показало увеличение числа феррита и графитовых включений в структуре чугуна с повышением рабочей температуры процесса, что связано с распадом перлитного цемента. Dilatометрирование простым методом при нагреве на воздухе позволило определить абсолютную величину роста чугуна для различных режимов нагрева. Полученные данные хорошо совпадали с результатами исследования в вакууме. Расчетным путем, используя нижеприведенное соотношение между объемами реагирующих фаз при распаде цемента ($Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$) и удлинением образца $\frac{\Delta l}{l}$, определялось количество углерода, перешедшего из цемента в графит.

$$\frac{\Delta l}{l} \% = \frac{V_F + V_G - V_C}{3 \cdot V_C \cdot C_C} \cdot 100, \text{ где}$$

V_F, V_G, V_C — объемы реагирующих феррита, графита и цемента;
 C_C — содержание углерода в цементе.

Полученные экспериментальные и расчетные данные выявили значительное влияние термического цикла процесса на исследованные параметры (табл. I).

Таблица I.

Температура нагрева образца T_0 $^\circ C$	750	800	850	900
Прирост длины образца $\frac{\Delta l}{l}, \%$	0,004	0,10	0,16	0,19
Количество углерода, перешедшего из цемента в графит $C, \%$	0,06	0,15	0,23	0,29

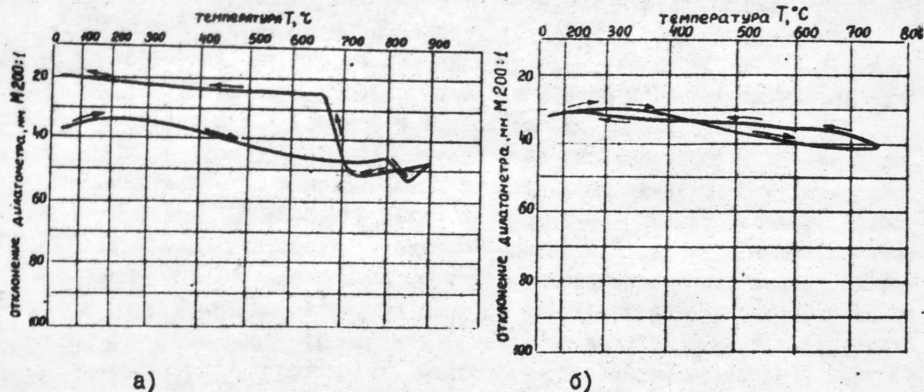


Рис 1 Дифференциальные дилатогаммы, полученные при нагреве в вакууме до температур: а) 900°C, б) 750°C.

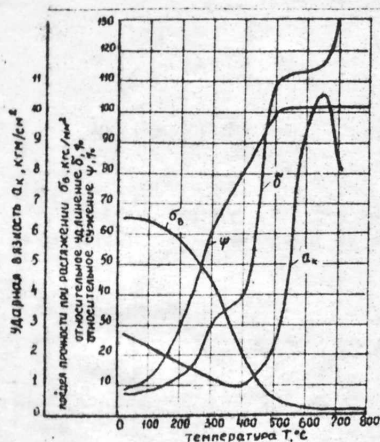


Рис 2 Свойства припоя ЛОМНА при комнатной и повышенных температурах.

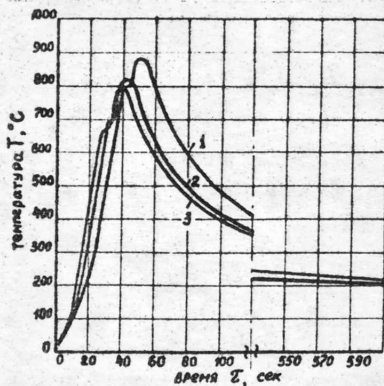


Рис 3 Термические циклы пайкосварки чугуна
1-припой ЛОМНА, флюс бура
2-припой ЛОК, флюс ФПСН-2
3-припой ЛОМНА, флюс ФПСН-2

Таким образом установлено, что в условиях быстропотекающих процессов, каким является пайкосварка без предварительного подогрева, рост чугуна определяется структурными превращениями, т.е. распадом перлитного цементита и графитизацией углерода, и величина его практически равна нулю при нагреве до начала структурных превращений. Следовательно для исправления дефектов на обработанных поверхностях необходимо снижение рабочей температуры ниже или близко к $A_{с1}$, (т.е. до $700-750^{\circ}\text{C}$), что практически исключает структурные и объемные изменения в чугуне. Такой процесс был осуществлен путем создания специальных припоев и флюсов.

Исследование и разработка состава флюса.

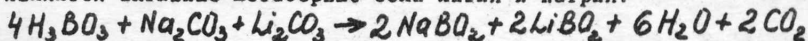
Требования к паяльным флюсам, а также их роль в процессах смачивания наиболее полно определены в работах Н.Ф.Лашко, С.В.Лашко, Ж.Бланка, Г.Манко и др. При разработке состава флюса для низкотемпературного газопламенного процесса пайкосварки чугуна латунными припоями к нему помимо общепринятых предъявлялись дополнительные требования:

1. Способствовать образованию прочных связей на границе чугуна-латунь в интервале рабочей температуры $700-750^{\circ}\text{C}$, что значительно ниже температуры солидуса латунных припоев.

2. Устранять отрицательное влияние свободного углерода поверхности чугуна на процессы смачивания последнего жидким припоем.

Кроме того, для стабилизации и облегчения выполнения технологии пайкосварки флюс должен быть индикатором начала процесса.

Исходя из анализа вопроса, а также учитывая природу образующихся на поверхности чугуна и латуни окислов, в основу разрабатываемого флюса была положена тройная композиция $\text{H}_3\text{BO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{Li}_2\text{CO}_3$. При взаимодействии этих компонентов конечными продуктами реакции являются активные метаборные соли лития и натрия:



За основные критерии оценки флюсов были приняты активность флюсования, характер взаимодействия с графитом на поверхности чугуна и температура плавления. Эти параметры определялись в зависимости от соотношения компонентов флюса. Температура плавления флюсов определялась визуально-полимерическим методом. Активность флюсования изучалась экспериментально по краевому углу смачивания на специально разработанной для этих целей установке, позволившей впервые приблизить изучение процесса смачивания к условиям газопламенного нагрева в отличие от существующих установок с печным нагревом и

инертной средой или вакуумом в рабочем пространстве.

Результаты исследования показали, что как по активности флюсования в интервале рабочей температуры 700–750°C, так и по температуре плавления в наибольшей степени предъявляемым требованиям отвечает флюс состава: 50% H_3BO_3 ; 25% Na_2CO_3 ; 25% Li_2CO_3 .

~~Исследовался~~ Исследовался характер взаимодействия флюса с графитом на поверхности чугуна. Установлено, что под действием флюса свободный углерод разрыхляется, уменьшается занятая им площадь, что в свою очередь снижает межфазную поверхностную энергию, улучшая тем самым термодинамические условия смачивания.

Однако, при внедрении флюса в производство изготовление его путем сплавления компонентов вызвало значительные трудности, т.к. высокая поверхностная активность входящих в состав соединений лития, вызывала быстрое разрушение тиглей. В связи с этим исследовалось 2 способа получения флюса: 1) методом смешения сухих компонентов; 2) растворением последних в горячей воде с последующим выпариванием и прокаливанием.

Для изучения взаимодействия компонентов флюсов, полученных различными способами, в процессе нагрева был применен метод термографии с использованием комплексной термоаналитической установки, дериватографа ОД-102. Расшифровка полученных дериватограмм выявила механизм взаимодействия компонентов и предопределила поведение флюсов в процессе пайки. Установлено, что при нагреве сухих исходных компонентов эндотермический эффект, характерный для реакции диссоциации $Li_2CO_3 \rightarrow Li_2O + CO_2 + \Delta Q$ перекрывает экзотермический эффект образования метаборатов $B_2O_3 + Li_2O \rightarrow 2LiBO_2 - \Delta Q$. В результате во всем интервале нагрева, вплоть до 900°C наблюдалось интенсивное выделение CO_2 , что как показали исследования, явилось причиной порообразования в шве.

При растворении компонентов в горячей воде реакция образования метаборатов натрия и лития преобладает над реакцией диссоциации и практически завершается при 580°C. Потеря веса заканчивается при 700°C и при рабочей температуре пайки флюс имеет практически стабильную композицию: $NaBO_2 + LiBO_2 + Li_2O$. Отсутствие в зоне пайки двуокиси углерода обеспечивает плотный высококачественный паяный шов при применении припоя ЛОК59-1-03.

Разработка для ремонта ответственных изделий нового латунного припоя, содержащего алюминий, потребовала корректировку состава

флюса. Для офлюсования образующихся в шве неметаллических включений, содержащих Al_2O_3 , во флюс была введена добавка галогенидов натрия. Варьирование компонентов флюса в широких пределах позволило выявить оптимальный с точки зрения предъявляемых требований состав: H_3BO_3 -45,0%; Na_2CO_3 -22,5%; Li_2CO_3 -22,5% и солевая лигатура ($NaCl$ -72,5%; NaF -27,5%) - 10%. Температура плавления флюса равная $650^\circ C$ делает его индикатором начала низкотемпературного процесса, а высокая поверхностная активность обеспечивает возможность получения высококачественного паяносварного соединения при рабочей температуре $700-750^\circ C$ т.е. практически до начала структурных превращений в чугуна.

Создание рациональной промышленной технологии изготовления флюса позволило внедрить его в серийное производство. Флюс указанного состава под маркой ФПСН-2 изготавливается по ЦМТУ-05-II2-68 одним из заводов МЦМ. Новизна разработки подтверждена авторским свидетельством.

Исследование и разработка состава припоя.

При разработке и выборе состава припоя, исходя из требований, предъявляемых к готовому изделию, предусматривались две марки различного назначения.

Для пайкосварки деталей общего назначения, как показал анализ существующих латунных припоев, а также проведенные экспериментальные исследования и дальнейшее промышленное внедрение, в наибольшей мере поставленным требованиям отвечал выпускаемый промышленностью припой марки ЛОК59-I-03.

Для пайкосварки деталей ответственного назначения потребовалась разработка специального припоя близкого по цвету и имеющего равнозначную с чугуном твердость. В основу при этом была положена тройная система $Cu-Zn-Mn$.

Изучалось влияние марганца на технологические и физико-механические параметры припоя. Установлено, что марганец повышает прочность и твердость сплава и осветляет шов, что улучшает товарный вид соединения. Однако, технологические свойства припоя неудовлетворительны, т.к. марганец способствует кипению расплавленного припоя и порообразованию в шве. Кроме того, при механической обработке и контакте с атмосферой металл шва приобретал желтую окраску.

Для обеспечения стабилизации цвета шва и улучшения технологических свойств припой легировался никелем и небольшими добавками алюминия. Предполагалось, что алюминий, обладающий значительно большим, чем марганец изобарным потенциалом, затормозит окисление сплава, что и получило подтверждение дальнейшими экспериментальными исследованиями и термодинамическим расчетом механизма окисления.

Установлено, что припой состава: 4% Cu; 10% Mn; 5% Ni; 0,2-0,5% Al; Zn - остальное имел равную с чугуном твердость (180HB) и стабильный близкий к основному металлу белый цвет, не изменяющийся при механической обработке и контакте с атмосферой. Однако, исследование процесса смачивания чугуна этим припоем с флюсом ФПСН-2 показало, что краевой угол смачивания в отличие от результатов, полученных с припоем ЛОК59-I-03, достигает оптимального значения при более высокой рабочей температуре (~800°C).

В связи с этим исследовалось влияние добавки олова в систему **Cu-Zn-Mn-Ni-Al** на характер межфазного взаимодействия на границе твердый чугун-жидкий припой. Экспериментально установлено, что олово в данной системе является элементом-активатором процесса смачивания и при содержании в сплаве от 0,3 до 0,7%, снижает рабочую температуру пайкосварки на 60-100°C.

На основании проведенных исследований установлен оптимальный с точки зрения предъявляемых требований состав припоя: Cu=48 + 51%; Mn= 9,5 - 10,5%; Ni = 3,5-4,5%; Al=0,2-0,6%; Sn=0,3-0,7%.

Структура сплава однофазная, β -фаза, микротвердость которой 186-197 HV. Исследованы при высоких температурах механические свойства разработанной в процессе настоящей работы специальной белой латуни (рис.2). Это позволило создать промышленную технологию изготовления припоя в виде непрерывной проволоки. Организован промышленный выпуск припоя на экспериментальном заводе качественных сплавов по ТУЦМО-ОЗН 93-67 и ВТУ ВНИИавтогенмаш под маркой ЛОМНА. Припой ЛОМНА обеспечивает паяносварной шов по цвету и твердости (180-200 HB), близкий к основному чугуну, что позволяет применять его для исправления дефектов на наиболее ответственных поверхностях. Новизна разработки подтверждена авторскими свидетельствами и патентами.

Исследование условий и природы образования связей
при низкотемпературной пайкосварке чугуна латунными припоями.

Как показали исследования термического цикла низкотемпературного процесса (рис 3), применение специального поверхностноактивного флюса ФПСН-2, устраняющего отрицательное влияние графита поверхности чугуна на процессы смачивания, а также специальных латунных припоев, активизированных оловом, позволило снизить рабочую температуру пайкосварки до температуры значительно ниже температуры солидуса примененных латунных припоев. Так для припоя ЛОК59-1-03 и ЛОМНА с флюсом ФПСН-2 рабочая температура составляет $\sim 700^{\circ}\text{C}$, что соответственно на 200 и 150°C ниже температуры солидуса этих припоев. Установлено также, что при пайкосварке чугуна припоем ЛОМНА и ЛОК с флюсом ФПСН-2 температурно-временные параметры процесса значительно ниже, чем при обычных способах пайкосварки с бурой и другими обычноприменяемыми флюсами на основе бурой и борной кислоты.

Теоретическому обоснованию механизма взаимодействия твердой и жидкой металлических фаз при пайке, наплавке и др. сварочных процессах посвящены работы Ю.Л.Красулина, Н.Ф.Лашко, С.В.Лашко, С.Н.Лоцманова, И.Б.Петрунина, М.Х.Шоршорова и др. Известно, что состав фаз, находящихся в контакте, устанавливается в соответствии с требованием равенства их химических потенциалов. И даже незначительное время их сосуществования способствует протеканию процессов гетерогенной диффузии в направлении установления фазового равновесия. Интенсивность протекания этих процессов в соответствии с законами диффузии определяется температурой, длительностью контактирования, градиентом концентрации и диффузионной подвижностью атомов.

Возможность образования металлических связей на границе чугуна-латунь при рабочей температуре процесса ниже температуры солидуса припоя подтвердилось исследованием характера и кинетики роста диффузионной прослойки в зоне контакта припоя с основным металлом.

Как показали исследования, в условиях пониженной рабочей температуры развитие диффузионных процессов подавлено. В результате прослойка в зоне контакта припоя ЛОК с чугуном, представляющая собой твердый раствор на базе Fe_3Si , имеет незначительную толщину (1-2 мкм) и не снижает прочности паяносварного соединения. В работе была изучена природа диффузионного слоя, образующегося на границе ЛОМНА -

чугун в условиях низкотемпературной пайкосварки. Прослойка была искусственно выращена и имела толщину 6-8 мкм. Результаты микро-рентгеноспектрального анализа соединения на микрозонде MS -46 фирмы Камера четко выявили диффузионное перемещение марганца с явно выраженным обогащением зоны контакта. Результаты сканирования и записанные на ленте самописца концентрационные кривые позволили установить примерный состав диффузионной прослойки, которая содержит 50% Mn, 40% Fe; > 0,8% C; и небольшие примеси Ni и Zn. Наличие всплеска на концентрационной кривой и кривой распределения микротвердости свидетельствуют об интерметаллидной природе диффузионного слоя. Однако, незначительная ширина прослойки затруднила точную расшифровку ее фазового состава.

Обработка технологических параметров процесса
низкотемпературной пайкосварки чугуна латунными
припоями и результаты внедрения в промышленность.

Исследование различных способов заполнения дефектов припоем (ванный, послойный, капельный) показало, что ванный способ позволяет получать чистый и плотный паяный шов, а паяное соединение отвечает всем предъявляемым требованиям в условиях станкостроения, машиностроения и др. Изучено влияние характера ацетилено-кислородного пламени при использовании новых технологических материалов, на основании чего установлено оптимальное соотношение горючего газа и окислителя:

$$\beta = \frac{V_{O_2}}{V_{C_2H_2}} = 1,15 \quad (\text{нормальное пламя})$$

Выявлена необходимость и температурный интервал проковки шва, равный 750-650°C и осуществляемой непосредственно после кристаллизации припоя. На основании проведенных исследований технологических параметров процесса были составлены технологические рекомендации по применению процесса в промышленности.

Микроисследование паяносварных соединений выявило плотный и свободный от неметаллических включений металл шва как при пайкосварке припоем ЛОК59-1-03, так и при применении припоя ЛОМНА с флюсом ФПСН-2.

Для исследования плотности металла шва применялась цветная дефектокопия, позволяющая контролировать дефекты величиной 0,005 мм и производились гидравлические испытания образцов, запаянных припоем ЛОМНА, под давлением до 100 атм. Указанные методы выявили герметичность металла шва в этих условиях.

Коррозионные испытания, проводившиеся в условиях, имитирующих работу изделий, показали удовлетворительную стойкость соединения в эмульсиях и растворах, применяемых при работе металлорежущих станков.

Исследование прочностных показателей паяносварных соединений, выполненных низкотемпературным методом, показало, что прочность соединения превышает прочность чугуна СЧ21-40 и СЧ28-48 и составляет $\sigma_B = 28 \pm 34 \text{ кгс/мм}^2$. Равнозначная с чугуном твердость металла шва, выполненного припоем ЛОМНА, создает хорошую обрабатываемость соединения. Высокие прочностные показатели дают возможность применять указанный способ для ответственных конструкций.

Практическим преломлением настоящей работы явилось внедрение разработанного процесса и технологических материалов в промышленность. Припой ЛОМНА и флюс ФПСН-2 нашли широкое применение в различных отраслях промышленности: станкостроении, машиностроении, автомобилестроении, на ремонтных предприятиях объединения "Союзсельхозтехника" и др. Экономия от внедрения процесса получается за счет уменьшения окончательного брака литья в связи с появившейся возможностью расширения номенклатуры исправляемых дефектов. Применение 1 тн. припоя ЛОМНА с соответствующим количеством флюса ФПСН-2 для исправления дефектов, выявленных на последних операциях механической обработки составляет $\sim 600 \text{ тыс. руб.}$

В В В О Д Ы

1. Исследованы теоретические основы и разработан процесс низкотемпературной пайкосварки чугуна латунными припоями. Установлено, что снижение рабочей температуры процесса до температур, близких к $A_{с1}$, т.е. значительно ниже температуры солидуса латунных припоев, позволяет устранять дефекты на механически обработанных поверхностях без предварительного подогрева изделия.

2. Доказана возможность снижения рабочей температуры процесса введением специальных поверхностно-активных добавок во флюсы и припои.

3. Изучена тройная система $\text{NaBO}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-Li}_2\text{CO}_3$ как основа поверхностно-активного флюса. Создана специальная установка и разработана методика исследования активности флюсования в условиях газопламенного процесса пайкосварки.

4. Выявлено, что наличие в составе флюса Li_2CO_3 значительно улучшает термодинамические условия смачивания чугуна латунью, устраняя отрицательное действие графита и обеспечивая взаимодействие

жидкого припоя с твердым основным металлом при рабочей температуре ниже температуры солидуса припоя.

5. На базе проведенных исследований разработан состав флюса для низкотемпературной пайкосварки чугуна латунными припоями. Организован промышленный выпуск его под маркой ФПСН-2 (ЦМТУ-05-112-68) по разработанной при проведении настоящей работы технологии. На состав флюса выдано авторское свидетельство № 241953.

6. Исследовано влияние легирования системы медь-цинк марганцем, никелем, оловом, алюминием на физико-механические и технологические свойства припоя. Установлено, что цвет и твердость, близкие к чугуну могут быть достигнуты при совместном легировании медноцинковых сплавов марганцем и никелем. Выявлено, что малые добавки алюминия в систему $Cu-Zn-Mn-Ni-Sn$ улучшают технологические свойства припоя и способствуют стабилизации цвета шва.

7. Изучены механические свойства припоя, что позволило создать промышленную технологию изготовления его. Установлено, что припой марки ЛОМНА отвечает требованиям станкостроения, машиностроения и др. отраслей и может быть применен для исправления дефектов, выявленных на ответственных изделиях. Организован промышленный выпуск припоя по ТУЦМО-03 № 93-67 и ВТУ ВНИИавтогенмаш.

Новизна разработки подтверждена двумя авторскими свидетельствами № 270465 и № 310765 и патентами США, ФРГ, Англии, Японии, Франции.

8. Изучены природа и условия образования связей на границе чугун-припой. Установлено, что при пайкосварке новыми технологическими материалами при рабочей температуре ниже солидуса припоя образуются прочные металлургические связи.

9. Изучен и разработан технологический процесс низкотемпературной пайкосварки чугуна латунными припоями. Выявлены высокие механические и коррозионные свойства паяносварного соединения, а также хорошая обрабатываемость его в различных условиях. Процесс и разработанные технологические материалы внедрены более, чем на 100 предприятиях страны и награждены медалью ВДНХ. Длительная практика показала отсутствие плохообрабатываемых структур и трещин при применении метода для изделий сложной конфигурации без предварительного подогрева. Экономический эффект от внедрения в

промышленность I тн. припой ЛОМНА с соответствующим количеством флюса ФПСН-2 при устранении дефектов на механически обработанных поверхностях составляет ~ 600 тыс.руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ильина И.И. Некоторые вопросы низкотемпературной пайкосварки чугуна, "Газопламенная обработка металлов", материалы II научно-технической конференции молодых специалистов, ВНИИавтогенмаш, ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, М., 1968.
2. Ильина И.И., Асиновская Г.А. Разработка теоретических основ низкотемпературной пайкосварки чугуна и результаты внедрения процесса в промышленность. "Пайка материалов в машиностроении" ч.I, материалы III Всесоюзной конференции по пайке и склеиванию, Рига, 1968г.
3. Шашков А.Н., Асиновская Г.А., Ильина И.И. Низкотемпературная пайкосварка чугуна латунными припоями "Труды ВНИИавтогенмаш", Изд-во "Машиностроение", вып.XV, М., 1968г.
4. Шашков А.Н., Асиновская Г.А., Ильина И.И. Низкотемпературная пайкосварка чугуна белым припоем. "Труды ВНИИавтогенмаш, изд-во "Машиностроение", вып.XVI, М., 1968г.
5. Ильина И.И., Шашков А.Н., Асиновская Г.А., Иванов Б.Г., Журавичкий Ю.И. Пайкосварка чугуна сплавом ЛОМНА, "Сварочное производство", 1971, №1.
6. Ильина И.И., Журавичкий Ю.И. Низкотемпературная пайкосварка чугуна, инф. листок ВНИИавтогенмаш, ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, №248, М., 1968г.
7. Шашков А.Н., Асиновская Г.А., Ильина И.И. Припой для пайки и пайкосварки чугуна. Авторское свидетельство №270465, 6 мая 1968г. Патенты: 1) США №3516825; 2) Англия №1,186,249; 3) ФРГ №1583930; 4) Франция №1555831; 5) Япония №596727.
8. Шашков А.Н., Асиновская Г.А., Ильина И.И., Иванов Б.Г., Журавичкий Ю.И. Флюс для пайки и низкотемпературной пайкосварки чугуна латунными припоями. Авторское свидетельство №241953, 3 февраля 1969г.