

Министерство образования Украины

Приазовский государственный технический университет

На правах рукописи

НГУЕН ВАН СЪЕМ

РАЗРАБОТКА БЕССЕРЕБРЯНЫХ ПРИПОЕВ
ДЛЯ ПАЙКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С
ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность: 05.03.06. Технология и оборудование
для сварки и родственных процессов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мариуполь - 1996

Работа выполнена в Приазовском
в межфакультетской научно-исслед
гических процессов"

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00757293 (X)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Харлашин П. С.

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Чигарев В. В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Гулаков С. В.
кандидат технических наук, доцент
Серебряник И. П.

Ведущее предприятие: концерн "Азовмаш"

Защита состоится 25 сентября 1996 года в 14⁰⁰ часов на засе-
дании специализированного совета К 14.01.02 при Приазовском государствен-
ном техническом университете по адресу: 341000, г. Мариуполь, Донецкой об-
ласти, пер. Республики, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Приазовского государ-
ственного технического университета.

Автореферат разослан 21 сентября 1996 года.

Ученый секретарь
специализированного совета
докт. техн. наук, проф.


В. Я. Зусин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Высокоэффективные быстрорежущие инструменты, оснащенные элементами из сверхтвердых материалов (СТМ) на основе синтетического алмаза и кубического бора, находят широкое применение для качественной и точной обработки поверхности деталей различного назначения. В зависимости от назначения этих инструментов, методы их получения различны. Пайка является наилучшим методом получения неразъемного соединения, однако, пайка СТМ к стальным корпусам инструментов является процессом, сложность которого заключается в том, что паяемые материалы имеют большое различие в коэффициенте термического линейного расширения (КТЛР): их нельзя нагревать свыше 750°C во избежание графитизации СТМ и разрушения закалочной структуры стального корпуса. Припой, применяемые в процессе пайки, должны смачивать паяемые материалы и растекаться по их поверхности, а швы - обладать высокой прочностью во избежание разрушения под действием высокой нагрузки и пластичностью для релаксации внутреннего напряжения после затвердевания припоев. Все эти необходимые требования к припоям создают значительные трудности в производстве быстрорежущих инструментов.

В настоящее время проблемы получения быстрорежущих инструментов решаются методом пайки с применением припоев, содержащих серебро и кадмий. Однако этот метод дорог из-за высокой стоимости серебра и экологически нечист из-за присутствия канцерогенного кадмия. Его широкому применению препятствует также острая дефицитность серебра. Поэтому весьма перспективным является метод пайки с использованием многокомпонентных припоев, не содержащих указанных компонентов. Исследованию таких составов припоев и разработке метода пайки при получении качественных быстрорежущих инструментов посвящена данная работа.

И. М. В. Стефанов
АН УССР

ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы являются разработка и исследование низкоплавких бессеребряных составов для пайки элементов из сверхтвердых материалов при изготовлении режущих инструментов.

В связи с этим решались следующие задачи:

1. Анализ технологических особенностей существующих методов пайки СТМ и их физико-химического взаимодействия с многокомпонентными металлическими системами.
2. Разработка составов бессеребряных припоев с температурой плавления до 750°C .
3. Методика определения поверхностных свойств и плотности металлических расплавов.
4. Исследование поверхностных свойств разработанных систем припоев. Анализ влияния промежуточного слоя (металлизации) при пайке СТМ.
5. Исследование качества паяного шва при пайке СТМ разработанными припоями с применением различных флюсов.
6. Апробация технологии пайки разработанными припоями на опытных партиях заготовок режущих инструментов.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ, НАУЧНАЯ НОВИЗНА. На основе анализа физико-химического взаимодействия СТМ с металлическими расплавами, физико-химических и механических характеристик серебросодержащих припоев, применяющихся для пайки СТМ, металлохимических

свойств элементов периодической системы и металлических систем теоретически обоснованы и экспериментально определены оптимальные составы бессеребряных припоев.

Разработана методика определения относительной погрешности вычисления поверхностного натяжения методом С.И. Попеля, Ю.П. Никитина и др. Дана оценка относительной погрешности оп-

ределения поверхностного натяжения жидкости методом лежащей капли, вызванной эллипсоидностью капли в плане. Предложен метод построения эмпирических формул для определения поверхностного натяжения по форме поверхности раздела жидкости - газ, по которому с помощью математического описания формы капли по ее размерам на фотоснимках можно определить непосредственно объем капли и поверхностное натяжение. Разработаны составы бессеребряных припоев для пайки АПШ со стальной державкой из сталей марки Ст.40Х и Ст.45. Разработана технология процесса пайки АПШ этими припоями с применением различных флюсов и методов нагрева паяемых материалов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Установлены физико-химические закономерности взаимодействия разработанных припоев на основе меди с элементами, содержащимися в составе АПШ. Разработана технология пайки АПШ бессеребряными припоями с применением различных флюсов на основе буры и с применением металлизации поверхностей АПШ активными металлами. Изготовлена и испытана опытная партия режущего инструмента, использование которого показало перспективность применения бессеребряных припоев разработанных составов в различных отраслях промышленности и инструментальных хозяйствах.

НА ЗАЩИТУ ВНОСЯТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ.

Рассматриваются технологические особенности существующих методов пайки СТМ и физико-химического взаимодействия составляющих их компонентов с многокомпонентными металлическими системами.

На основании физико-химического взаимодействия СТМ с металлическими расплавами и технологических требований к бессеребряным припоям выполнен анализ металлохимических свойств элементов для определения оптимальных химических составов при-

поев. Разработана методика изготовления припоев. Проанализированы данные их термографических исследований.

Предложена методика вычисления относительной погрешности определения поверхностного натяжения исследуемых припоев, с применением которой определено поверхностное натяжение и краевые углы смачивания чистых металлов и исследуемых припоев. Дано математическое описание формы капли, с помощью которого можно определить непосредственно величину поверхностного натяжения и объем капли по ее размерам на фотоснимках. Оценено влияние эллипсоидности капли на величину погрешности определения поверхностного натяжения жидкостей.

По данным анализа поверхностного натяжения и работы адгезии расплавов исследовано влияние металлизации и применение флюсов на растекаемость разработанных припоев.

Исследовано качество шва при пайке СТМ разработанными припоями с применением флюсов. Даны результаты механических испытаний на срез паяных соединений с использованием различных методов пайки СТМ со стальной державкой.

По результатам исследований и апробации технологии пайки выбраны припой оптимального состава и свойств для внедрения в промышленности. Показаны перспективные направления для дальнейшей оптимизации химсостава припоев для пайки СТМ.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ И ПУБЛИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Основные результаты и положения работы докладывались и обсуждались на II и III региональных научно-технических конференциях (г. Мариуполь, 1993, 1995 гг), на II Всеукраинской научно-практической конференции (г. Днепропетровск, 1995 г.) и опубликованы в I статье.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования по разработке составов бессеребряных

припоев на основе меди и технологии пайки СТМ с их применением.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованной литературы, включающего 152 наименования источников и содержит 208 страниц сквозной нумерации, в том числе 13 таблиц и 61 рисунок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. Анализ технологических особенностей существующих методов пайки СТМ и их физико-химического взаимодействия с многокомпонентными металлическими системами

В настоящее время находят применение следующие способы закрепления режущих элементов из СТМ к корпусу инструмента: механический, заливка жидким металлом, комбинированный и пайка. Наиболее надежное и качественное закрепление СТМ к корпусу инструмента достигается при использовании метода пайки. Однако для закрепления СТМ к корпусу инструмента необходимо обеспечить условия для протекания физико-химического взаимодействия между жидким металлическим припоем и неметаллическим СТМ, без которых не может реализоваться химическое сродство их компонентов друг к другу. Реализация этого процесса при пайке СТМ сильно затруднена, если в припое не содержатся элементы, являющиеся адгезионно-активными к СТМ и отличающиеся высоким химическим сродством к компонентам, входящим в их состав, т.е. к углероду, бору или азоту. К числу таких элементов относятся *Cr, Mn, Ti, Nb, V, Zr* и другие. Адгезионно-активные металлы можно использовать при пайке СТМ и в чистом виде путем металлизации поверхности инструментального материала.

Существенное влияние на прочность паяного соединения и работу инструмента оказывают также напряжения в шве, возникаю-

щие вследствие значительной разницы в значениях термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР) припоя и СТМ.

В последнее время для резцов и бурового инструмента все шире используются режущие элементы в виде двухслойных алмазно-твердосплавных пластин (АТШ). Их применение снимает проблему адгезионной пайки непосредственно СТМ и облегчает процесс соединения твердосплавной подложки из сплава ВК друг с другом или с корпусом инструмента. Для пайки АТШ в настоящее время используются серебросодержащие припои типа ПСр. Их применение при пайке АТШ под флюсом ПВ-284 обеспечивает достаточную прочность паяного соединения. Однако, дефицитность серебра ограничивает возможность широкого применения в промышленности припоев на его основе. Поэтому возникает необходимость разработки бессеребряных припоев, пригодных для пайки АТШ и не уступающих по своим характеристикам серебросодержащим припоям.

2. Разработка составов бессеребряных припоев

Смачивание поверхности паемых материалов жидкими припоями является необходимым условием при пайке любых материалов, в том числе и СТМ. Однако характер и степень смачивания материалов жидкими припоями зависят от физико-химического взаимодействия компонентов, входящих в состав этих материалов и припоев и условий проведения процессов пайки. Металлы, входящие в состав припоев, считаются адгезионно-активными по отношению к СТМ, если они растворяют в себе компоненты СТМ (углерод, азот и бор) или образуют с ними химические соединения: карбиды, нитриды, бориды, что обуславливает процесс смачивания припоем СТМ и растекание по нему его расплава. Наиболее активными карбидообразующими элементами являются переходные металлы IV - VI групп периодической системы (*Ti, V, Cr, Nb, Mo, W* и др.). К

числу металлов, обладающих высоким химическим сродством к азоту или бору, относятся алюминий, титан, ванадий, цирконий и другие переходные металлы IV-VII групп периодической системы.

Карбид вольфрама, главная составляющая алмазно-твердого сплава (АТШ), обладает слабыми металлическими свойствами и поэтому плохо смачивается припоями, в составе которых отсутствуют металлы, адгезионно-активные к углероду или вольфраму. Однако прочность качественного соединения АТШ пайкой определяется не только присутствием адгезионно-активных металлов в припое, но и рядом условий, таких как чистота поверхностей паяемых материалов, технологические параметры процесса пайки, разница в значениях ТКЛР и др.

Одними из основных требований к разработке новых составов бессеребряных припоев являются: температура не должна превышать 750 °С; предел прочности на срез паяного соединения АТШ с корпусом инструмента не должен быть меньше 220 МПа, припой в жидком состоянии должен хорошо смачивать как твердый сплав ЖК6, так и материал корпуса инструмента; ТКЛР основных материалов и припоя должны быть близкими; в составе припоев должны отсутствовать дефицитные и дорогостоящие компоненты, в том числе и серебро, а также легко испаряющиеся элементы. Этим требованиям могут удовлетворять только многокомпонентные припои. Научным основанием для разработки их оптимальных составов служит анализ металлохимических свойств элементов периодической системы и диаграмм плавкости двойных и тройных систем.

Сходство физико-химических свойств меди и серебра послужило основанием для исследования возможности использования меди в бессеребряных припоях в качестве заменителя серебра. Однако медь имеет высокую температуру плавления. Как видно из диаграмм состояния двойных сплавов на основе меди, наиболее силь-

ное понижение температуры их плавления вызывают следующие элементы: *P, Sb, As, Sn, In, Zn, Mg, Si, Ga, Pb, Mn, Ge*. По ряду причин, вытекающих из проведенного анализа взаимодействия элементов, для понижения температуры плавления бессеребряных припоев на основе меди для введения в их состав выбраны *Sn, Zn, Mn, Si, As*.

Вместе с проведением этих исследований был испытан второй метод "конструирования" припоев для пайки, который заключается в малом легировании низкоплавких и пластичных металлов или сплавов, не смачивающих паяемые материалы, адгезионно-активными металлами. В этой серии опытов легирование припоев производилось лигатурой на основе *Ni*, содержащей *Nb, Mo, W, Cr* и *Co* в соотношении 1 : 2 : 4 : 5 : 9.

Разработаны 4 серии бессеребряных припоев, составы которых приведены в табл. I. Качественные припойные сплавы подвергались термографическому исследованию для определения температур начала их плавления и полного расплавления.

Результаты исследований подтвердили теоретические предположения о значительном понижении температуры плавления припоев за счет введения в них *As, Cr, In, Sn, Zn*, в меньшей степени - *Mn*, а введение *Ni* несколько повышает температуру плавления. Выплавленные припои характеризуются следующими интервалами температур плавления: I серия - 650 - 800 °C; 2 серия 690 - 820 °C; 3 серия 280 - 780 °C; 4 серия 660 - 710 °C. Для полной оценки технологических качеств припоев в процессе работы проведены дальнейшие исследования с целью определения смачиваемости и адгезионной активности этих припоев по отношению к ВК 6 и стали 40X.

Таблица 1

Составы выплавленных припоев и результаты их
термографического исследования

Номер сплава	Расчетное содержание компонентов, мас. %												Температура, °С	
	Cu	Sn	In	Cr	Fe-As (20% мас)	Ni	Mn	Si	Zn	Al	Pb	ли-га-ту-ра	начала плав-ления	полного расплав-ления
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	670	705
1.2	48	48	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	625	685
1.3	46	46	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	675	720
1.4	49	49	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	650	680
1.5	49	49	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	600	650
1.6	46	46	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	640	670
1.7	44	44	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	660	685
1.8	48	48	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	700	740
1.9	48	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	680	720
1.10	10	10	-	-	80	-	-	-	-	-	-	-	750	800
2.1	42	5	-	-	-	5	10	10	28	-	-	-	685	720
2.2	50	5	-	-	5	-	-	6	34	-	-	-	770	820
2.3	48	9,5	-	-	-	-	12,5	10	18	-	-	2	650	690
2.4	39	10	-	-	-	-	12	10	24	-	-	5	700	745
2.5	42	8	-	-	-	-	10	6	22	-	-	12	700	820
3.1	-	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	290	320
3.2	-	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	460	495
3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	-	5	685	725
3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	10	725	780
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	5	395	420
3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	10	485	535
3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98	-	2	595	635
3.8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	10	270	285
3.9	5	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	260	280
3.10	10	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	315	345
3.11	20	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	500	540
3.12	18	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	530	585
4.1	28	32	-	-	15	-	-	1	22	-	-	2	650	710
4.2	32	32	-	-	14	-	-	2	18	-	-	2	665	700
4.3	28	30	-	-	15	-	2	2	20	-	-	3	670	710
4.4	28	26	-	-	14	-	4	4	20	-	-	4	635	660

3. Методика и эксперименты по определению поверхностных свойств и плотности компонентов припоев

Для экспериментального определения поверхностного натяжения металлических расплавов наиболее приемлем метод неподвижной капли, лежащей на твердой несмачиваемой подложке. По этому методу величина капиллярной постоянной (a^2) определяется в зависимости от соотношения параметров капли на фотоснимке. Она рассчитана с помощью графиков, разработанных С.И. Попелем и др., и таблиц, разработанных Адамсом и Башфортом. Относительная погрешность измерения величины a^2 зависит от величины нерезкости снимка, характеристики измерительного прибора, применяемого при обмере снимка, точности определения коэффициента увеличения фотокамеры, принятого угла наклона касательной, величины (H/R), характеризующей выбор размера капли данной жидкости и от самой величины a^2 . Кроме того, существуют так называемые нерегулярные ошибки, связанные с отклонением условий опыта от тех, для которых применимы расчетные формулы и таблицы, и др.

Относительная погрешность определения поверхностного натяжения по методу С.И. Попея и др. определяется по формуле:

$$\delta_{(\sigma)} = \delta_{(\rho)} + \delta_{(g)} + \delta_{o(F)} + (a \cdot \Delta h + b \cdot \Delta l), \quad (3.1)$$

где $\delta_{(\rho)}$, $\delta_{(g)}$ и $\delta_{o(F)}$ - соответственно относительные погрешности определения плотности вещества капли, ускорения свободного падения и самого метода; Δh и Δl - абсолютные погрешности измерения размеров капли; a , b - относительные погрешности по абсолютным величинам высоты и диаметра капли соответственно. Величины a , b определяются по разработанным нами таблицам в зависимости от параметров капли. При этом величины $\frac{1}{a}$, $\frac{1}{b}$ показывают, с какой точностью надо определять замеры h и l , чтобы относительная погрешность δ от их неточности была равна 1%.

Расчитано влияние эллипсоидности капли на относительную погрешность определения ϵ . Максимальная абсолютная ошибка, вызванная заменой среднего экваториального радиуса капли его наибольшим a или наименьшим b размером будет соответственно равна:

$$\Delta l_a = 2(a - r_{cp}) = 2a [1 - \varphi(\epsilon)], \quad (3.2)$$

$$\Delta l_b = 2(r_{cp} - b) = 2a [\varphi(\epsilon) - 1], \quad (3.3)$$

где $\varphi(\epsilon)$ - функция от эксцентриситета (ϵ) эллипса, значения которой даны в таблицах.

Учитывая приведенную формулу (3.1), имеем возможность оценить относительную погрешность, вносимую эллипсоидностью формы капли в плане: $\Delta l = \Delta l_r + \Delta l_a$, (3.4) где Δl - общая погрешность замера экваториального диаметра капли, м; Δl_r - погрешность, вызванная неточностью измерительного инструмента, м; Δl_a - абсолютная погрешность, вызванная эллипсоидностью капли при замене среднего радиуса капли его наибольшим или наименьшим размером, м. При этом замечено, что при больших размерах l относительная погрешность измерения ϵ слабо зависит от экваториального диаметра и эллипсоидности капли, и точность определения изменяется от 2,5 до 1,0 %. При меньших значениях l эллипсоидность больше сказывается на относительной погрешности определения ϵ , изменяясь от 5,0 до 1,5 %. Поэтому при последующих экспериментах нами были использованы капли больших размеров.

Для применения машинной математической обработки экспериментальных данных нами построены эмпирические формулы для определения ϵ по форме поверхности раздела жидкость - газ.

На основании дифференциального уравнения 2-го порядка

Лапласа:
$$\frac{y''}{[1 + (y')^2]^{3/2}} + \frac{y'}{x[1 + (y')^2]^{1/2}} = \frac{y + y_0}{A},$$

где A - капиллярная постоянная, были рассчитаны координаты линии меридионального сечения капли и ее объема на ЭВМ IBMAT-386ДХ. Подобные графики отражают функции:

$$\begin{aligned}x &= a_x \cdot \varphi^{b_x} \cdot \exp(c_x \cdot \varphi), & y &= a_y \cdot \varphi^{b_y} \cdot \exp(c_y \cdot \varphi), \\v &= a_v \cdot \varphi^{b_v} \cdot \exp(c_v \cdot \varphi),\end{aligned}$$

где $a_x, b_x, c_x, a_y, b_y, c_y, a_v, b_v, c_v$ определяются методом наименьших квадратов.

Таким образом, выполнено численное интегрирование дифференциального уравнения Лапласа и определены все коэффициенты эмпирической зависимости, необходимые для расчета геометрических параметров. Полученные данные сведены в таблицы. В результате стало возможным осуществление принципиально нового способа измерения плотности и поверхностного натяжения металлов и сплавов при высоких температурах с применением ЭВМ.

С помощью полученных данных нами были определены физико-химические характеристики чистых металлов. Сопоставление геометрических форм капель расплавов чистых металлов и полученных расчетным путем показывает их абсолютную идентичность, что гарантирует точность выполненных измерений.

Эксперименты по определению поверхностных свойств чистых металлов и исследуемых припоев проводились на установке, разработанной ПГТУ. Относительная погрешность измерения ρ и σ чистых металлов в данной работе удовлетворительно согласуется с приводимыми в литературе значениями других авторов.

Исследована температурная зависимость этих параметров, описываемая в общем виде линейными уравнениями:

$$\rho = \rho_0 - b(t - t_{пл}); \quad \sigma = \sigma_0 - b'(t - t_{пл}),$$

где ρ_0, σ_0 - соответственно плотность и поверхностное натяжение чистых металлов: Cu, Zn, Sn, Pb, Al, In при температуре плавления ($t_{пл}$).

Исследовано влияние добавок олова, марганца, хрома и кре-

мния на поверхностное натяжение и плотность расплавов *Fe-As* в пределах концентраций, мас. %: *As* - 10,2 - 20,1; *Sn* - 2,8 - 9,3; *Mn* - 10,8 - 20,5; *Cr* - 3,1 - 9,3 и *Si* - 10,3 - 28,9. Выявлено, что с повышением концентрации *Sn*, *As* поверхностное натяжение σ сплавов *Fe-As* уменьшается, а добавки *Si*, *Mn*, *Cr* приводят к росту величины этой характеристики.

4. Исследование поверхностных свойств разработанных припоев. Анализ влияния промежуточного слоя при пайке СТМ

Исследованы поверхностные свойства разработанных припоев относительно стали 40Х и сплава ВК6, которые показали, что твердый сплав ВК6 смачивается ими хуже, чем сталь 40Х. Для активизации поверхности паяемых материалов необходимо применять флюсы или металлизацию поверхности.

При исследовании поверхностных свойств припоев первой группы, изготовленных на основе меди и олова с отдельным добавлением в них *Cr* (4 - 8 %); *In* (2 %); *Ni* (4 %), лигатуры (4 %) и ферромнганца (2 - 12 %), выявлено, что *Cr* уменьшает σ ; мнганец проявил несколько меньшую, а индий - большую поверхностную активность по сравнению с хромом. Эти припои плавятся при температуре 650 - 800 °С.

Температура плавления второй группы припоев, изготовленных на основе меди (39 - 50 %), с отдельным введением *In* (18 - 34 %); *Sn* (5 - 10 %); *Fe-As* (5 %); *Ni* (5 %); *Mn* (10 - 12,5 %); *Si* (6 - 10 %) и лигатуры (2 - 12 %) ограничена пределами 690 - 820 °С. Для всех припоев этой группы в отношении сплава ВК6 характерна близкая к прямолинейной температурная зависимость поверхностных свойств расплавов. Поверхностное натяжение этих припоев на обоих подложках характеризуется повышенными значениями по сравнению с другими припоями,

не содержащими адгезионно-активных компонентов. Эти составы при оптимальном соотношении компонентов могут быть применены в качестве бессеребряных припоев для пайки СТМ.

Температура плавления припоев III группы находится в широких пределах от 280 до 780 °С в зависимости от добавки к ним адгезионно-активных металлов. По отношению к обоим материалам подложек при температуре 660–800 °С наблюдается резкое снижение краевого угла смачивания и значительное повышение работы адгезии.

Температура плавления припоев IV группы находится в пределах 660–710 °С. Выявлено, что введение в состав 2 % *Mn* при равном содержании *Si* и увеличении содержания лигатуры с 2 до 3 % улучшает растекаемость капли припоя по стали 40X. При увеличении содержания *Mn*, *Si* и лигатуры заметно улучшается растекаемость расплава припоев по обоим материалам БК6 и 40X.

Исследовано влияние металлизации хромом поверхности сплава БК6 на растекаемость разработанных припоев на основе меди. При этом по изменениям краевого угла смачивания и температуры перегрева растекающейся капли над точкой плавления установлено, что металлизация хромом эффективна только в случае применения припоев, не содержащих адгезионно-активных веществ.

Исследовано влияние различных флюсов (№ 1 – $Na_2B_4O_7 + 20\% Na_2CO_3$; № 2 – $Na_2B_4O_7$, Na_2CO_3 и $NaCl$ в соотношении 7 : 2 : 1) на процессы пайки припоями, содержащими адгезионно-активные элементы. Установлено, что при применении указанных флюсов поверхностное натяжение припоев уменьшается и их растекаемость заметно улучшается.

5. Исследование качества паяного шва при пайке С Т М разработанными припоями с применением различных флюсов

Для проведения предварительных испытаний швов на прочность

готовили из пластинок стали марки 40X толщиной 2 мм и шириной 14-15 мм паяные образцы типа IV в соответствии с ГОСТ 23047-78. Образцы спаяны в печи разработанными припоями с применением флюса № 2. Рекомендуемые параметры пайки образцов: зазор $S = 0,2 + 0,4$ мм, время выдержки $\tau = 8-12$ мин, температура пайки 750°C .

Исследовано качество швов при пайке образцов типа IV из стали 45 разработанными припоями с применением различных флюсов и различных способов нагрева. При этом применены флюсы № 2, № 3, № 4, № 5. Флюс № 3, содержащий те же компоненты, что и ранее испытанный флюс № 2, но с добавлением 10 % борного ангидрида, снижает химическую активность припоев при температуре пайки до 850°C , что вызывает возникновение непропаев. Флюс № 4, аналогичный по составу флюсу № 2, но приготовленный с использованием обезвоженной буры, способствует снижению газовыделения в процессе пайки. При температуре пайки $730-760^{\circ}\text{C}$ флюс № 4 проявил универсальность по отношению как к припоям различных составов, так и к способам нагрева. Флюс № 5, отличающийся от флюса № 4 применением в качестве связующего вещества глицерина, при температуре 800°C обеспечил наилучшее заполнение зазора и формирование шва.

Кратковременность пребывания припоев в жидком состоянии при индукционном нагреве вызывает снижение прочности связи шва со сталью и разрушение при испытаниях на прочность происходит по спаю или одновременно по спаю и шву. Наибольшую прочность шва обеспечивает капиллярная пайка в печи, которая рекомендуется для использования в дальнейшей работе.

На основе полученных результатов экспериментальных и теоретических исследований выполнены дополнительные работы по оптимизации составов мышьяксодержащих припоев, подвергнутых дифференциальному термическому анализу и испытанию качества швов.

По результатам испытаний определены оптимальные составы рекомендуемых припоев, (мас. %):

1. *Cu* - 48; *Sn* - 9,5; *Mn* - 12,5; *Si* - 10; *Zn* - 18, лигатура- 2 (№ 2.3)
2. *Cu* - 42; *Sn* - 5; *Ni* - 5; *Mn* - 10; *Si* - 10; *Zn* - 28, (№ 2.1)
3. *As* - 9+12; *Sn* - 5+6; *Cr* - 3+6; *Zn* - 18+20; *Cu* - остальное (№ 5).

Окончательная технологическая отработка пайки рекомендуемыми составами припоев выполнена в процессе апробации на промышленных опытных партиях заготовок режущего инструмента.

6. Апробация технологии пайки разработанными припоями на опытных партиях заготовок режущего инструмента

Опробованы оба варианта технологии пайки разработанными припоями № 2.1, № 2.3 и № 5, отработанные при изучении качества паяных швов: пайка с индукционным нагревом на воздухе и печная пайка в защитной газовой среде с использованием в обоих случаях флюса № 4 в виде порошка или пасты. В качестве элементов режущего инструмента применяли заготовки из спеченного твердого сплава ВК6 диаметром 28 мм и высотой 12 мм и державки плоские из стали 45 толщиной 3 мм, шириной 15 мм и цилиндрические ϕ 15 мм из стали 40X. Пайка в печи осуществлялась при температуре 720-750 °С и времени выдержки около 10 мин.

Результаты испытаний паяных соединений представлены в табл. 2, из которой видно, что при пайке элементов режущего инструмента с АШ припоями составов № 2.1; 2.3 при 750 °С и состава № 5 при 720 °С обеспечивается прочность шва на срез на уровне 230 - 310 МПа.

Для апробации технологии пайки с использованием рекомендованных припоев изготовлены отрезные резцы, оснащенные АШ, которые были испытаны на заводе медбиоспецтехоборудования (г. Мариуполь) при токарной обработке деталей высокой твердости (закаленная сталь 35ХГСА).

Таблица 2

Результаты механических испытаний паяных соединений
опытных партий заготовок режущего инструмента

№ при- поя	Предел проч- ности на срез ^ж , к _{ср} , МПа	Место и характер раз- рушения образцов	Характер дефектов разрушенного шва заготовки	кол-во образ- цов; с дефек- тами / общее
2.1	230	по шву	участок непропая длиной 1,5 мм	1 / 5
2.1	257	по шву с захватом ВК6	дефектов нет	- / 5
2.3	278	по шву с захватом ВК6	дефектов нет	- / 5
2.3	265	по телу заготовки ВК6	дефектов нет	- / 5
5	280	по шву с захватом ВК6	дефектов нет	- / 5
5	295	по телу заготовки ВК6	дефектов нет	- / 5
2.1	жж 270	по телу заготовки ВК6	дефектов нет	- / 5
2.1	жж 284	по телу заготовки ВК6	дефектов нет	- / 5
2.3	жж 276	по шву с захватом ВК6	дефектов нет	- / 5
2.3	жж 231	по телу заготовки ВК6	сетка трещин вблизи шва	1 / 5
5	жж 300	по шву с захватом ВК6	дефектов нет	- / 5
5	жж 310	по телу заготовки ВК6	дефектов нет	- / 5

ж - усредненные результаты 5 испытаний; жж - способ нагрева заготовок - ТВЧ, а для припоев без выделения звездочками - печной, время выдержки в камере печи - 10 мин.

Положительные результаты, полученные при использовании опытных резцов, подтвердили правильность направления исследований и выбора рекомендованных оптимальных составов бессеребряных припоев и показали возможность их применения взамен дорогостоящих и дефицитных припоев, содержащих серебро.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании анализа металлохимических свойств элементов периодической системы Д.И. Менделеева и характера их взаимодействия, а также требований к припоям для пайки СТМ, выплавлены опытные партии четырех серий составов бессеребряных припоев, содержащих: 1. $Cu, Sn, Cr, In, As, Fe, Ni$; 2. $Cu, Sn, As, Ni, Mn, Si, Zn$; 3. Cu, Sn, Al, Pb ; 4. $Cu, Sn, As, Fe, Mn, Si, Zn$.

2. Для расчета поверхностного натяжения разработанных припоев разработана методика оценки погрешности его определения по методу Попеля С.И. и др.

Разработан новый метод построения эмпирических формул для определения плотности и поверхностного натяжения расплавов и оценки погрешности этих определений.

Разработана методика оценки относительной погрешности определения поверхностных свойств расплавов методом лежащей капли, вызванной эллипсоидностью в плане.

3. Получены новые данные по плотности и поверхностному натяжению систем $Fe-As$ с отдельным добавлением, мас. %: $Sn - 2,8+9,3$; $Mn - 10,8+20,5$; $Cr - 3,1+9,3$; $Si - 10,3+28,9$. Выявлено, что температурная зависимость этих свойств описывается линейными уравнениями с отрицательными величинами dp/dT и ds/dT .

4. Исследованы поверхностные свойства всех разработанных составов припоев четырех групп, при этом выявлено, что припой II группы № 2.1 и № 2.3 при температуре до $750^{\circ}C$ имеют высокие значения работы адгезии, а величины краевых углов смачивания этими припоями поверхностей подложек из сплава Вж6 и сталей 40X, Ст.45 резко уменьшаются при повышении температуры.

5. При исследовании поверхностных свойств расплавов всех

групп припоев выявлено, что при отсутствии в составе припоев адгезионно-активных элементов сплав ВК6 смачивается их расплавами хуже, чем сталь 40Х, что подтвердило необходимость выполнения в этом случае операции активации паяемых поверхностей ВК6 с помощью флюсов или металлизации хромом.

6. Определены оптимальные параметры технологии пайки и состава, отвечающие заданным требованиям: время выдержки при температуре пайки в печи 10 мин; состав флюса при температуре пайки 720+750 °С – обезвоженная бура, углекислый натрий, хлористый натрий в соотношении 7:2:1; рекомендуемые составы бессеребряных припоев, обеспечивающие при температуре пайки ~ 750 °С прочность швов на срез на уровне 230 – 280 МПа, мас. %: 1. № 2.1: $Cu - 42; Sn - 5; Ni - 5; Mn - 10; Si - 10; Zn - 28$; 2. № 2.3: $Cu - 48; Sn - 9,5; Mn - 12,5; Si - 10; Zn - 18$; лигатура – 2.

7. На основе анализа выполненных теоретических исследований и экспериментов дополнительно разработаны и исследованы методом дифференциального термического анализа составы мышьяксодержащих бессеребряных припоев, обеспечивающие при температуре пайки 720 °С прочность паяных швов на срез 280–310 МПа, мас. %: № 5: $As - 9+12; Sn - 5+6; Cr - 3+6; Zn - 18+20; Cu -$ остальное.

8. Определены значения ТКПР рекомендованных припоев, величины которых находятся между соответствующими значениями ТКПР сталей и твердосплавных материалов, что обуславливает компенсирующее влияние припоев при релаксации напряженно-деформированного состояния, повышая качество соединения.

9. Промышленные испытания токарных резцов, изготовленных по разработанной технологии с применением рекомендованных припоев, показали перспективность их успешного применения для пайки СТМ взамен припоев, содержащих дорогостоящее и дефицитное серебро.

Основное содержание диссертации изложено в публикациях:

1. Некоторые особенности метода лежащей капли для определения поверхностного натяжения металлических расплавов / Харлашин П.С., Нгуен Ван Съем, Бакланский В.М. и др. // III региональная науч.-техн. конф. - Т. I. - Мариуполь: ПГТУ, 1995. - С. 15.
2. Апробация технологии пайки разработанными бессеребряными припоями на опытных партиях заготовок режущего инструмента / В.М.Бакланский, Нгуен Ван Съем, П.С.Харлашин и др. // III региональная науч.-техн. конф. - Т. I. - Мариуполь: ПГТУ, 1995. - С. 16.
3. Исследование качества паяного шва при пайке СТМ бессеребряными припоями с применением различных флюсов / П.С.Харлашин, М.А.Воронкин, Нгуен Ван Съем и др. // III региональная науч.-техн. конф. - Т. I. - Мариуполь: ПГТУ, 1995. - С. 20.
4. Построение эмпирических формул к определению поверхностного натяжения по форме поверхности раздела жидкость-газ / П.С.Харлашин, В.И.Мазан, Нгуен Ван Съем и др. // Вестник ПГТУ, № I. - Мариуполь: ПГТУ, 1995. - С. 30.
5. Харлашин П.С., Бакланский В.М., Нгуен Ван Съем. Разработка технологии сварки давлением с применением адгезионно-активного покрытия, образующего прочное неразъемное соединение с СТМ в вакууме при температурах до 900 °С для режущего инструмента // II Всеукраинская науч.-практическая конф. - Днепропетровск: ДМетИ, 1995. - С. 45.
6. Харлашин П.С., Воронкин М.А., Нгуен Ван Съем. Влияние металлизации твердосплавной подложки на растекаемость разработанных припоев // II региональная науч.-техн. конф. - Т. I. - Мариуполь: ММИ, 1993. - С. 37.
7. Харлашин П.С., Нгуен Ван Съем. Некоторые особенности определения поверхностного натяжения методом неподвижной капли // II региональная науч.-техн. конф. - Т. I. - Мариуполь: ММИ, 1993. - С. 52.
8. Харлашин П.С., Нгуен Ван Съем. Исследование поверхностных свойств металлических систем // II региональная науч.-техн. конф. - Т. I. - Мариуполь: ММИ, 1993. - С. 42.

АННОТАЦИЯ

Нгуен Ван Съем. Разработка бессеребряных припоев для пайки режущего инструмента с элементами из сверхтвердых материалов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.06 - Технология и оборудование для сварки и родственных процессов. Приазовский государственных технических университет. г. Мариуполь, Украина. 1996 г.

Диссертация содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке новых бессеребряных припоев для пайки алмазно-твердосплавных пластин (АТП) и бипластин кубического нитрида бора (БПК). Разработаны три припоя на основе меди, имеющих температуру плавления до 750 °С и прочность паяного шва на срез до 310 МПа. Разработан новый метод определения поверхностного натяжения жидких металлических систем с помощью ЭВМ.

ANNOTATION

Nguyen Van Xiem. Working out the non-silver alloys for brasing the tool and the elements of superhard materials. The thesis on competition of the degree of Philosophy's Doctor on Speciality 05.03.06. Technology and equipment for welding and allied processes. Prazovsky State Technical University. Ukraine, 1996.

The thesis contains the results of theoretical and experimental researches on the working out the new non-silver alloys for brasing the diamond - hard - metal plates and the boron cubic nitride - hard - metal plates. The three non - silver alloys on the copper - basis which have the melting temperature up to 750 °C and the brasing strength up to 310 MPa had been developed. The new method for determining the surface tension of liquid metal systems by computer had been worked out as well.

Ключові слова: пайка, безсрібляний припой, ріжучий інструмент, надтвердий матеріал, поверхнєве натяження, механічні властивості.

112 88. 811

314405

AB 36.211