

05.03.06

С - 741

Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

УДК 621.791.92:669.35.6:669.15

ОСИПОВ Александр Минеевич

ТЕХНОЛОГИЯ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ  
БРОНЗЫ НА СТАЛЬ ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ

Специальность 05.03.06

"Технология и машины сварочного производства"

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск - 1986

Работа выполнена на кафедре "Оборудование и технология сварочного производства" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

- Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент П.А.НОРИН
- Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор Ф.Д.КАЩЕНКО  
— кандидат технических наук, доцент М.В.АВДЕЕВ
- Ведущее предприятие — Копейский машиностроительный завод имени С.М.Кирова.

Направляем Вам для ознакомления автореферат диссертации инженера Осипова А.М. Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании специализированного совета или прислать свой отзыв в 2-х экземплярах, заверенный печатью, по адресу: 454044, г.Челябинск, проспект им. В.И.Ленина, 76, ученому секретарю специализированного совета.

Защита состоится "30" января 1987 г. в 15 часов в ауд. 244 главного учебного корпуса на заседании специализированного совета К 053.13.02, в Челябинском политехническом институте.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке института.

Автореферат разослан "29" декабря \_\_\_\_\_ 1986 г.

Ученый секретарь специализированного совета кандидат технических наук, доцент Г.В.САВЕЛЬЕВ

*(подпись)*



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В решении задач, поставленных ХХУП съездом КПСС по ускорению социально-экономического развития страны, одно из ведущих мест отводится широкому внедрению в производство ресурсосберегающих техники и технологии, в том числе дуговых способов наплавки.

В настоящее время при изготовлении биметаллических деталей – поршней, втулок, крышек, широко применяются дуговые способы наплавки в различных средах (флюсы, газы). При наплавке внутренних поверхностей (например, в подшипниках скольжения), применение защитных сред особенно усложняет процесс наплавки, а также снижает его эффективность. Поэтому разработка технологии изготовления подобных деталей и деталей других типов с применением дуговых способов наплавки проволокой сплошного сечения открытой дугой представляет как научный, так и практический интерес.

В промышленности нашли применение самозащитные проволоки сплошного сечения для сварки сталей, созданные в Институте электросварки имени Е.О.Патона АН УССР. Разработка подобных проволок для наплавки цветных металлов является также актуальной.

Применение вибродуговой наплавки для нанесения тонких слоев металла на детали способствует повышению эффективности дуговых процессов наплавки.

В связи с этим исследования и разработки, направленные на создание технологии вибродуговой наплавки цветных сплавов на сталь самозащитными проволоками сплошного сечения, являются актуальными и способствуют решению народно-хозяйственной задачи – повышению экономичности процессов дуговой наплавки.

Цель работы – разработка научно-обоснованной технологии вибродуговой наплавки бронзы на сталь открытой дугой проволокой сплошного сечения на основе изучения механизма защиты металла от окисления кислородом воздуха с обеспечением требуемых свойств наплавленных деталей.

На защиту выносятся:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований температуры электродных капель и сварочной ванны, поверхностного натяжения медных сплавов, содержащих кремний;
- результаты термодинамических расчетов процессов окисления и газопоглощения при наплавке открытой дугой;
- результаты экспериментальных и теоретических исследований роли кремния в защите расплавленного металла от окисления при дуговой наплавке кремнистой бронзы на сталь открытой дугой;
- теоретически обоснованный и экспериментально подтвержденный механизм защиты расплавленного металла от окисления при дуговой наплавке открытой дугой электродами сплошного сечения, содержащими кремний;
- установленная роль кремния в медном сплаве в поглощении и выделении водорода из металла при дуговой наплавке без защиты;
- разработанная технология вибродуговой наплавки бронзы на сталь открытой дугой.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования являлись сплавы на основе меди с кремнием и другими элементами. В настоящей работе выполнялись теоретические и экспериментальные исследования. Процесс наплавки контролировали вольтметром М-104, амперметром М-106, двухлучевым осциллографом С8-11. Для определения состава металла применяли стандартные методики. Определение поверхностного натяжения производили методом лежащей капли, исследование состава шлаковой пленки осуществляли с помощью микросонда MS -46 фирмы "Камека". Определение водорода в металле производили по стандартным методикам. Для определения размера капель применяли скоростную киносъемку камерой КС-1. Расчеты выполняли на ЭВМ.

Научная новизна. Впервые получены данные о температуре металла электродных капель и ванны при наплавке бронзы на сталь открытой дугой, позволившие провести термодинамические расчеты окисления элементов бронзы.

Экспериментально установлено и расчетами подтверждено, что кремний, растворенный в сплавах на основе меди в количестве свыше 2%, обеспечивает защиту жидкого металла от окисления.

На основе полученных данных с применением ионной теории шлаков объяснен механизм защиты металла от окисления газобразным кислородом за счет снижения ионов меди в шлаке, обеспечивающих перенос кислорода из газовой фазы в металл.

Впервые показано, что при наплавке открытой дугой проволокой с высоким содержанием кремния обеспечивается получение наплавленного металла, отвечающего техническим требованиям на биметаллические детали, работающие в условиях трения.

Практическая ценность. На основании полученных результатов исследований разработаны рекомендации, позволяющие создавать проволоки сплошного сечения на основе медных сплавов для наплавки бронзы на сталь открытой дугой. К подобным типам электродных проволок можно отнести проволоку Бр.КМц 3-1.

Разработанные технологические схемы получения сталелитейных биметаллов применительно к конкретным деталям узлов трения, позволили перейти от цельнобронзовых деталей к биметаллическим с экономией цветного металла в 5-6 раз при одновременном улучшении эксплуатационных характеристик узлов трения.

Итогами проведенной работы явились разработка технологического процесса вихредуговой наплавки бронзы на сталь открытой дугой и внедрение его в производство. Изготовленные биметаллические детали прошли широкие эксплуатационные испытания в различных узлах трения машин.

Экономический эффект от внедрения технологии наплавки открытой дугой на Копейском машиностроительном заводе им. С.М.Кирова, Саранском заводе технологического оборудования и Чебоксарском заводе тяжелых тракторов и др., составил свыше 300 тыс. рублей. Разработанная технология наплавки бронзы на сталь открытой дугой демонстрировалась на научно-технической выставке ЧПИ-82.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на республиканском семинаре "Новые способы и материалы для наплавки" (г. Пенза, 1977); на итоговом совещании по производственным и научно-исследовательским работам (г. Ленинград, 1978); на зональных научно-технических конфе-

ренциях "Пути повышения эффективности, качества и надежности в сварочном производстве" (г. Красноярск, 1979, 1982); на Всесоюзных конференциях по сварке в судостроении и судоремонте (Владивосток, 1983); на 2-ой Всесоюзной конференции по сварке цветных металлов "Актуальные проблемы сварки цветных металлов" (г. Киев, 1984); на 3-ей Всесоюзной конференции по сварке цветных металлов (г. Тольятти, 1986), на Всесоюзной конференции "Экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов в сварочном производстве" (г. Челябинск, 1986); на конференциях по сварке (г. Липецк, 1983; г. Курган, 1982; г. Челябинск, 1977-1985).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений, содержит 110 страниц машинописного текста, 55 рисунков, 35 таблиц и 102 наименования литературных источников.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель работы, ее научная новизна и основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе анализа литературных данных доказана целесообразность получения биметалла сталь-бронза вибродуговой наплавкой открытой дугой проволокой сплошного сечения, раскрыта роль воздуха в этом процессе, обоснованы цель и задачи исследований.

Во второй главе приведены методики определения температуры электродных капель и сварочной ванны при наплавке проволокой Бр.КМц 3-1, получены зависимости температуры металла капель от сварочного тока при различных вылетах, дана расчетная оценка возможности окисления металла при наплавке открытой дугой проволокой марки Бр.КМц 3-1. Проведена экспериментальная проверка потерь элементов при наплавке в атмосфере.

В третьей главе исследован механизм защиты металла при наплавке открытой дугой от окисления атмосферным кислородом.

При этом проведена расчетная оценка роли выделяющихся паров металла и марганца на процесс защиты металла от окисления. Показана роль кремния в медных сплавах в защите расплавленного металла от окисления кислородом воздуха. Проведены исследования поверхностной активности кремния в сплавах меди. Раскрыт механизм защиты расплавленного металла от окисления кислородом воздуха. Расчетным путем установлена концентрация кремния в объеме металла, обеспечивающая защиту поверхности жидкого металла от окисления.

В четвертой главе представлены результаты исследований влияния режимов наплавки открытой дугой на сталь на образование пор в металле шва. Исследовано влияние влажности воздуха на содержание водорода в металле и на пористость наплавленного металла.

В пятой главе приведены данные о влиянии режимов наплавки на основные характеристики металла, наплавленного открытой дугой, шероховатость, механические свойства наплавленного слоя, влияние предварительного подогрева на пористость. Излагается разработанная технология наплавки бронзы на сталь открытой дугой на внутренние и наружные поверхности деталей. Показана экономическая эффективность.

В заключении представлены общие выводы по работе, а в приложении акты внедрения работы на заводах страны, а также приведен расчет экономического эффекта.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Состояние вопроса и задачи исследований

Наиболее распространенными материалами для изготовления биметаллических деталей на медной основе являются бронзы, которые применяют в литом и прокатанном виде.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что применение биметаллов в узлах трения позволяет экономить цветные металлы и одновременно повышать их долговечность. Методы производства

биметаллов с применением дуговых способов наиболее экономичны. Однако применение защитных сред (флюсов, защитных газов) для дуговой наплавки снижает эффективность процесса изготовления биметаллов.

Одним из перспективных способов получения биметаллов может быть вибродуговая наплавка открытой дугой, проволоками сплошного сечения, позволяющая наносить тонкие слои на втулки малого диаметра и имеющая ряд преимуществ перед другими дуговыми способами получения биметаллов.

На основании анализа полученных данных в диссертационной работе были поставлены следующие задачи исследований:

- выполнить термодинамические расчеты по определению возможности окисления бронзы марки Бр.КМц 3-1 в условиях дуговой наплавки открытой дугой;
- исследовать механизм защиты металла (Бр.КМц 3-1) от окисления кислородом газовой среды (кислородом воздуха);
- исследовать влияние атмосферы воздуха на поглощение водорода и пористость, а также механические характеристики наплавленного металла при дуговой наплавке без защиты проволокой Бр.КМц 3-1;
- разработать технологию наплавки проволокой Бр.КМц 3-1 на сталь открытой дугой и внедрить ее в производство.

#### Окисление элементов бронзовой проволоки при дуговой наплавке в условиях атмосферы воздуха

Для проверки возможности окисления марганца, кремния и меди в бронзе кислородом воздуха в работе выполнены термодинамические расчеты. Для этого были определены температура электродных капель методом калориметрирования и металла ванны с помощью термопар. На основании полученных экспериментальных данных были построены зависимости температуры капель от сварочного тока при различных вылетах электрода (рис.1). Можно



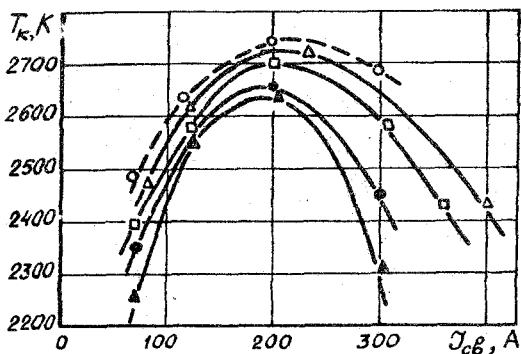


Рис. 1

Изменение температуры металла капле в зависимости от  $I_c$  при различных вылетах электрода ( $l_e$ ):

- -  $l_e = 0$ ;
- -  $l_e = 6$  мм;
- -  $l_e = 9$  мм;
- ▲ -  $l_e = 15$  мм;
- △ -  $l_e = 25$  мм

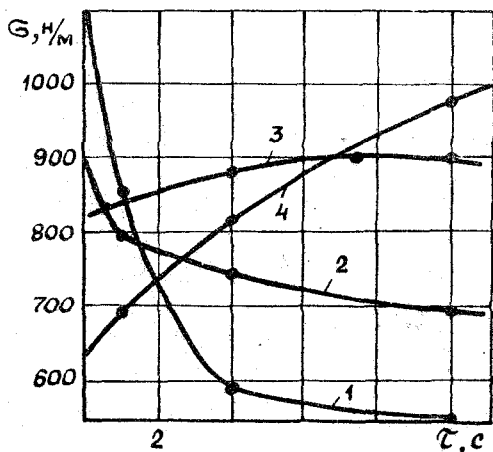


Рис. 2

Зависимость поверхностного натяжения сплава от времени взаимодействия с кислородом воздуха при температуре  $1800^\circ C$ : 1 - Cu; 2 - Cu-Si (Si = 0,52%); 3 - Cu-Si (Si = 2,21%); 4 - Cu-Si (Si = 4,68%)

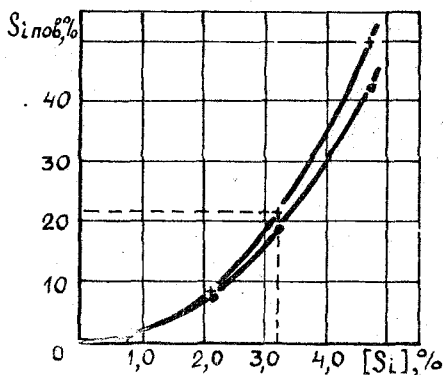


Рис. 3

Зависимость поверхностной концентрации кремния от его объемной концентрации в сплавах:

- -  $1400^\circ C$ ;
- + -  $1800^\circ C$ .

видеть, что зависимость температуры электродных капель от сварочного тока имеет максимум. Такой характер изменения температуры электродных капель определяется мощностью, вводимой в жидкий металл через активное пятно ( $q$ ) и отношением времени взаимодействия капли с кислородом воздуха к массе переходящей капли.

Установлена удовлетворительная сходимость результатов экспериментальных значений температуры электродных капель при наплавке проволокой Бр.КМц 3-1 на воздухе с расчетными по формуле А.А.Ерохина. Температура металла электродных капель при наплавке открытой дугой проволокой марки Бр.КМц 3-1 при изменении сварочного тока от 80 до 400 А изменяется в пределах 2200...2750 К. Средняя температура металла ванны составляет 1743 К.

Для оценки возможности окисления кремния, входящего в состав электродной проволоки марки Бр.КМц 3-1, была рассчитана упругость диссоциации  $SiO_2$  в растворе по формуле

$$P_{O_2} = P_{O_2}^{\circ} \cdot \frac{1}{X^n}, \quad (1)$$

где  $P_{O_2}^{\circ}$  - упругость диссоциации  $SiO_2$ ;  $X$  - мольная доля кремния в металле.

Для реакции диссоциации оксида кремния

$$\lg P_{O_2}^{\circ} (SiO_2) = - \frac{\Delta G_T^{\circ}}{4,575T}, \quad (2)$$

где  $\Delta G_T^{\circ} (Si) = 223090 - 45,62 T.$

Полученные расчетные значения упругости диссоциации оксида кремния в расплаве  $P_{O_2}$  (табл. I) оказались меньше парциального давления кислорода в воздухе ( $P = 0,21$  атм). Из этого следует, что при наплавке открытой дугой проволокой Бр.КМц 3-1 наплавленный металл должен окисляться,

Таблица I

Содержание кремния в сплаве, в долях	Упругость диссоциации оксида кремния при температуре, К, атм		
	1373	1673	2237
1,0	$2,86 \cdot 10^{-26}$	$6,68 \cdot 10^{-20}$	$3,63 \cdot 10^{-12}$
0,03	$9,5 \cdot 10^{-25}$	$2,22 \cdot 10^{-18}$	$1,21 \cdot 10^{-10}$
0,01	$2,86 \cdot 10^{-24}$	$6,68 \cdot 10^{-18}$	$3,63 \cdot 10^{-10}$

Экспериментально установлено, что кремний и марганец практически не выгорают из металла, наплавленного проволокой Бр.КМц 3-1. Таким образом при наплавке открытой дугой существует звено, лимитирующее подвод кислорода из газообразной фазы в наплавленный металл. Из анализа литературных данных известно, что может быть два пути защиты металла от окисления при наплавке проволокой Бр.КМц 3-1 открытой дугой. Первый путь — парами элементов, выделяющихся в зоне горения дуги, а второй может быть связан с образованием оксидной пленки из  $SiO_2$  на поверхности металла.

Расчетные данные показывают, что суммарная упругость пара над расплавом при 2573 К равна 200 мм рт.ст., а это ниже, чем атмосферное давление. Из полученных данных следует, что пары бронзы не могут обеспечить защиту расплавленного металла от окисления.

Для проверки влияния  $SiO_2$  на защиту металла от окисления были проведены исследования электродами с различным содержанием кремния.

Установлено (табл.2), что с увеличением содержания кремния в электроде его потери из наплавленного металла уменьшаются и при содержании кремния в металле свыше 2% его выгорание практически прекращается.

Подобный характер влияния кремния наблюдается в сплавах Cu-Si-Mn, Cu-Si-Ti (табл.3), (табл.4).

Таблица 2

Содержание кремния, %	
в стержне	в наплавленном металле
0,27	0,11
1,12	0,52
2,20	2,10
3,18	3,18
4,63	4,60

Таблица 3

Сплав	Содержание элементов, %			
	электрод		наплавленный металл	
	Si	Mn	Si	Mn
	0,96	2,86	0,62	1,98
Cu-Si-Mn	2,13	2,66	1,98	2,52
	4,49	2,14	4,41	2,09

Таблица 4

Сплав	Содержание элементов, %			
	электрод		наплавленный металл	
	Si	Ti	Si	Ti
	3,30	0,53	3,30	0,50
Cu-Si-Ti	4,40	2,09	4,35	1,99
	5,34	3,04	5,30	3,04

Если предположить, что защита металла связана с образованием на поверхности оксидной пленки, состоящей только из кремния, тогда можно утверждать, что кремний в вышеперечисленных сплавах должен быть поверхностно активным элементом.

Определение поверхностного натяжения сплавов Cu-Si, Cu-Si-Mn, Cu-Si-Al методом лежащей капли показал (табл.5), что с увеличением содержания кремния в сплавах его поверхностное натяжение уменьшается.

Таблица 5

Состав сплава		Аргон	
		Температура, К	$\sigma \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$
Cu-Si	(Si = 0,52%)	2073	899
Cu-Si	(Si = 2,20%)	2073	833
Cu-Si	(Si = 4,68%)	2073	634
Cu-Si-Mn	(Si = 0,96%, Mn = 2,86%)	1873	1023
Cu-Si-Mn	(Si = 2,13%, Mn = 2,66%)	1873	1063
Cu-Si-Mn	(Si = 4,49%, Mn = 2,14%)	1873	871
Cu-Si-Al	(Si = 0,85%, Al = 20,3%)	1773	1060
Cu-Si-Al	(Si = 1,21%, Al = 19,7%)	1783	979
Cu-Si-Al	(Si = 1,84%, Al = 20,8%)	1873	920

С увеличением времени взаимодействия металла с воздухом и содержанием кремния в металле (рис.2) поверхностное натяжение повышается, что может быть связано с увеличением площади, занимаемой шлаковой пленкой, состоящей из  $\text{SiO}_2$ . Наличие пленки  $\text{SiO}_2$  на поверхности металла подтверждено с помощью микроскопа MS -46 фирмы "Камека".

В результате расчетов по формуле, полученной в настоящей работе,

$$X \geq \frac{z_{\text{Cu}}^2}{z_{\text{Cu}}^2 + z_{\text{Si}}^2 (K-1)}, \quad (3)$$

( X - мольная доля кремния в поверхностном слое;  $z_{\text{Cu}}$ ,  $z_{\text{Si}}$  - атомные радиусы кремния и меди, K - коэффициент), установлено, что для образования сплошной пленки  $\text{SiO}_2$  на поверхности металла, поверхностная концентрация кремния в сплаве должна составлять больше 24%. При этой поверхностной концентрации

его объемная концентрация, как показали расчеты (рис.3), должна оставлять более 3%. Экспериментально установлено, что металл не окисляется (табл.2), если концентрация кремния в объеме составляет более 2%.

Расчетами установлено (табл.6), что с увеличением содержания кремния в металле уменьшается содержание ионов меди в шлаке, которые способствуют переносу кислорода из газовой фазы в металл, так как обладают переменной валентностью.

Таблица 6

[Si], % мас	C <sub>u</sub> 2O в шлаке, % мас		
	1973 К	2373 К	2753 К
0,2	$9,7 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$
1,0	$7,6 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$9,4 \cdot 10^{-2}$
2,0	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$
2,5	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$
3,0	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$
6,0	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$

#### Пористость металла, наплавленного проволокой марки Бр.ЮИц 3-1 на сталь открытой дугой

На образование пор в наплавленном металле оказывают влияние прежде всего составы основного металла и сварочной проволоки, а также газовая среда.

Сравнивая полученные данные о влиянии расхода аргона, азота, воздуха и влияние атмосферы на пористость металла, наплавленного бронзовой проволокой на сталь, следует отметить, что наименьшая пористость наплавленного металла, как отдельно го валика, так и слоя, наблюдается при наплавке в аргоне. Наибольшая - в атмосфере. Однако пористость в слое, наплавленном в потоке воздуха, в атмосфере и в азоте отличаются незначительно.

Полученные данные о влиянии основных режимов наплавки открытой дугой проволокой Бр.КМц 3-1 в воздухе свидетельствуют, что с увеличением скорости подачи проволоки пористость в слое снижается, с увеличением скорости наплавки — повышается. Вибрация снижает пористость в металле. Подогрев образца перед наплавкой до температуры 573 К также снижает пористость в металле.

Образование пористости в металле при наплавке меди и ее сплавов связывают с водородом и кислородом. При этом каждый газ в отдельности не вызывает пористости, а только их совместное действие. Общее количество водорода по стадиям его выделения из жидкого металла можно представить в виде выражения

$$[H] = [H]_{кр} + [H]_{дифф} + [H]_{ост} , \quad (4)$$

где  $[H]_{кр}$  — водород, выделяющийся в процессе охлаждения и кристаллизации жидкой сварочной ванны;  $[H]_{дифф}$  — водород, выделяющийся из затвердевшего металла путем диффузии,  $[H]_{ост}$  — остаточный водород.

Для определения возможности образования пор за счет совместного действия кислорода и водорода при дуговой наплавке меди и ее сплавов без защиты были рассчитаны их равновесные значения для реакции



по уравнению, полученному в настоящей работе

$$\lg P_{H_2O} = 2 \lg [H\%] + \lg [O\%] - 0,854 + \frac{13,46}{T} . \quad (6)$$

(Для  $P_{H_2O}^{нас} = 0,04$  атм и  $T = 1773$  К).

Сравнивая равновесные значения кислорода и водорода с содержанием водорода и кислорода ( $[O] > 0,0021\%$ ) в металле, определенное экспериментально при наплавке открытой дугой, было установлено, что они приближаются к равновесным и тем ближе, чем меньше содержание водорода. Установлено также, что с увеличением влажности воздуха растет содержание водорода и пористость в металле.

С увеличением содержания кремния в наплавленном металле снижается содержание водорода. При этом пористость в металле располагается у верхней кромки наплавленного слоя. Такую закономерность можно объяснить влиянием шлаковой пленки, состоящей из  $SiO_2$ . Эта пленка не только защищает металл от растворения в нем водорода при наплавке открытой дугой, но также задерживает водород у поверхности металла. В этом случае при механической обработке наплавленной поверхности поры удаляются.

Установлено, что подача осушенного воздуха в зону дуги снижает количество водорода, растворенного в меди и, как результат, устраняет образование пористости.

Впервые показано, что при наплавке открытой дугой проволокой Бр.Кмц 3-I обеспечивается получение биметалла, отвечающего требованиям стандарта для биметаллических деталей, работающих в условиях трения.

#### Внедрение в производство технологии наплавки бронзы на сталь открытой дугой

На основании исследования влияния основных параметров режимов наплавки (скорости подачи проволоки, напряжения холостого хода, скорости наплавки и др.) на характеристики наплавленного слоя (размеры валиков и слоя, шероховатость, проплавление) и производительность процесса плавления электрода были установлены оптимальные режимы наплавки.

Установлено, что прочность сцепления основного металла с наплавленным, твердость, износостойкость соответствуют требованиям стандарта на литой металл.

На основании полученных результатов исследований разработана технология вибродуговой наплавки бронзы Бр.Кмц 3-I на сталь открытой дугой при изготовлении различных биметаллических деталей горно-добывающих машин, компрессоров, промышленных тракторов (осей, поршней, втулок и др. деталей).

Для наплавки используются вибродуговые головки, установленные на токарных станках, источники постоянного тока. Для подвода сварочной проволоки при изготовлении втулок спроектирован специальный хоботок. Разработанная технология подготовки



поверхности проволоки (травление, промывка, сушка) обеспечивает снижение разбрызгивания и повышение коэффициента расплавления при наплавке открытой дугой.

Разработанный технологический процесс вибродуговой наплавки бронзой Бр.КМц 3-1 на сталь внедрен на следующих заводах: Копейском заводе им. С.М.Кирова, Пензенском ПО "Компрессормаш", Саранском заводе технологического оборудования; Челябинском "Ремстройдормаш"; Чебоксарском заводе тяжелых тракторов. Общий экономический эффект составил свыше 300 тыс. рублей.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлено и расчетами подтверждена взаимосвязь между режимами горения дуги и температурой металла электродных капель при наплавке открытой дугой проволокой Бр.КМц 3-1. Изменение температуры металла капель в зависимости от силы сварочного тока проходит через максимум, который наблюдается при  $I_{сб} = 200$  А. Такой характер изменения температуры связан с изменением величины  $q \cdot \frac{c}{m_n}$ .

2. Расчетным путем установлено, что в условиях наплавки открытой дугой упругость диссоциации оксида  $SiO_2$  в расплаве  $Cu-Si$  значительно ниже, чем парциальное давление кислорода в газовой фазе. Это свидетельствует о возможности окислений металла кислородом воздуха, однако экспериментально установлено, что при наплавке проволокой Бр.КМц 3-1, содержащей 3% Si и 1% Mn на воздухе окисление этих элементов не наблюдается, что является свидетельством существования тормозящего звена в процессе передачи кислорода из газовой фазы в металл.

3. Расчетом и экспериментально показано, что в условиях наплавки открытой дугой проволокой Бр.КМц 3-1 пары металла не могут обеспечить защиту жидкого металла от окисления.

4. Экспериментально определено, что с увеличением содержания кремния в электродах, изготовленных из сплавов  $Cu-Si$ ,  $Cu-Si-Mn$ ,  $Cu-Si-Ti$  его концентрация в металле, наплавленном открытой дугой, увеличивается. При содержании кремния в сплавах свыше 2% выгорания как кремния, так и марганца и титана не происходит.

5. Показано, что кремний в сплавах  $\text{Cu-Si}$ ,  $\text{Cu-Si-Mn}$ ,  $\text{Cu-Si-Al}$ , является поверхностно-активным элементом. С увеличением времени взаимодействия сплавов, содержащих более 3% кремния с кислородом воздуха поверхностное натяжение металла растет. Это связано с образованием шлаковой пленки, состоящей из  $\text{SiO}_2$ , наличие которой установлено экспериментально и подтверждено расчетами. При этом с повышением концентрации кремния в металле уменьшается содержание ионов меди в шлаковой фазе, благодаря чему затрудняется передача кислорода в металл через шлак.

6. Определение содержания водорода в наплавленном металле свидетельствует, что с уменьшением остаточного водорода в металле плотность наплавленного металла растет. При этом поры, как правило, расположены у верхней кромки наплавленного слоя, что связано с наличием пленки из  $\text{SiO}_2$  на поверхности металла.

7. Показано, что снижение влажности воздуха заметно улучшает плотность металла шва при наплавке открытой дугой проволокой Бр.КМц 3-1.

8. Экспериментально установлена взаимосвязь между размерами валиков, шероховатостью, механическими свойствами наплавленного металла и режимами горения дуги. Получено, что при вибродуговой наплавке открытой дугой проволокой марки Бр.КМц 3-1 все свойства наплавленного металла отвечают требованиям технической эксплуатации биметаллических деталей, работающих в условиях трения.

9. Полученные результаты настоящей работы положены в основу разработки технологии вибродуговой наплавки бронзы на сталь открытой дугой проволокой марки Бр.КМц 3-1 при изготовлении биметаллических деталей и могут быть использованы при разработке самозащитных проволок сплошного сечения. Внедрение разработанной технологии изготовления биметаллических деталей в производство обеспечит экономический эффект свыше 300 тыс. рублей.

Основное содержание работы отражено в следующих работах:

1. Норин П.А., Осипов А.М., Колганов Л.А. Вибродуговая наплавка бронзы на внутренние поверхности стальных деталей // Сварочное производство. - 1976. - № 4. - С.16-17.

2. Осипов А.М. Металлургические особенности вибродуговой наплавки бронзы на внутренние поверхности стальных деталей // XXIV итоговое совещание по производственным и научно-исследовательским работам в области сварки. - Ленинград. - 1978. - С.57-59.

3. Осипов А.М., Норин П.А. О роли окислительной газовой среды при наплавке бронзовой проволокой //Сборник трудов: Вопросы сварочного производства /ЧПИ. - Челябинск. - 1979. - № 207. - С.137-140.

4. Осипов А.М., Норин П.А. Температура металла электродных капель при вибродуговой наплавке бронзовой проволокой марки КМц 3-1 //Пути повышения эффективности качества и надежности в сварочном производстве: Тезисы докладов 3-й зональной конференции. - Красноярск. - 1979. - С.89-91.

5. Норин П.А., Осипов А.М. Температура металла электродных капель при вибродуговой наплавке бронзовой проволокой марки Бр.КМц 3-1 //Вопросы сварочного производства. Сборник научных трудов ЧПИ. - № 206. - Челябинск. - 1981. - С.206-210.

6. Норин П.А., Осипов А.М. Выбор методики определения диффузионного водорода при дуговой наплавке меди и ее сплавов // Научно-техническая конференция сварщиков Урала. Тезисы докладов. - Курган. - 1982. - С.148-149.

7. Норин П.А., Осипов А.М. Наплавка бронзы марки Бр.КМц 3-1 на сталь открытой дугой //Пути повышения эффективности сварочного производства: У Сибирская научно-техническая конференция. - Красноярск. - 1982. - С.96-97.

8. Норин П.А., Осипов А.М. Образование пор при дуговой наплавке проволокой марки Бр.КМц 3-1 без защиты //Сварка в судостроении и судоремонте: Тезисы Всесоюзной конференции. - Владивосток. - 1983. - С.119.

9. Норин П.А., Осипов А.М. Термодинамическая устойчивость пленки в медных сплавах //Прогрессивные технологические процессы восстановления деталей наплавкой: Тезисы докладов. Научно-тех. конференция. - Липецк. - 1983.-С.48-49.

10. Норин П.А., Осипов А.М., Деев Г.Ф. Влияние кремния, марганца и алюминия на поверхностное натяжение меди //Актуальные проблемы сварки цветных металлов: Доклады II-ой Всесоюзной конференции по сварке цветных металлов. - Киев. - 1985. - 462 с.

12. Рыс Г.Г., Норин П.А., Осипов А.М. Зависимость скорости окисления и расплавов от концентрации кремния в металлах // Вопросы производства и обработки стали: Сб. научных трудов ЧПИ. - Челябинск. - 1985. - С.25-29.

12. Осипов А.М., Норин П.А. Вибродуговая наплавка бронзы незащищенной дугой // Прогрессивная технология сварки, наплавки и резки металлов : Сб. трудов. - Иркутск. - 1985. - С.34-36.

13. Норин П.А., Осипов А.М. Опыт и перспективы применения наплавки бронзы на сталь открытой дугой // 3-я Всесоюзная конференция по сварке цветных металлов и сплавов: Тезисы докладов. - Тольятти. - 1986. - С.74.

14. Норин П.А., Осипов А.М. Пористость металла при наплавке бронзы на сталь открытой дугой // Экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов в сварочном производстве: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - Челябинск. - 1986. - С.191.

15. Норин П.А., Осипов А.М., Пацкевич И.Р. Влияние кремния на защиту металла от окисления при дуговой наплавке бронзовой проволокой // Автоматическая сварка. - 1987. - № I (в печати).

*Осипов*

**Александр Минеевич Осипов**

**ТЕХНОЛОГИЯ ВИБРОДУТОВОЙ НАПЛАВКИ БРОНЗЫ  
НА СТАЛЬ ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ**

**Специальность 05.03.06 - Технология и машины  
сварочного производства**

**А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

---

Подписано в печать 25.12.86. ФБ 08012. Формат 60X90 1/16.  
Печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 562/1366.

---

УОП ЧМ. 454044, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.