



## ЭЛЕКТРОДНЫЕ И ПРИСАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ И СВАРКИ ЛИТЕЙНЫХ ОЛОВЯННЫХ БРОНЗ (ОБЗОР)

Т. Б. МАЙДАНЧУК

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В машиностроении, металлургии и других отраслях промышленности широкое применение находят оловянные бронзы, из которых изготавливают методом литья детали, работающие в условиях повышенного износа. Для изготовления, а также устранения литейного брака и ремонта деталей из оловянных бронз находят применение сварочные и наплавочные процессы. В данном обзоре проведен анализ существующих разработок как в области современных технологических процессов сварки и наплавки оловянных бронз, так и новых электродных и присадочных материалов для этих целей. Рассмотрены основные трудности, возникающие при использовании сварочных процессов: высокая склонность к пористости (наиболее склонны медные сплавы), образование кристаллизационных трещин в сварных швах и зоне термического влияния, ликвация олова, что приводит к неоднородности структуры, а также повышенная склонность к образованию горячих трещин при наплавке бронзы на сталь как в наплавленном металле бронзы, так и в стали. Описаны способы сварки и наплавки литейных оловянных бронз, среди которых наиболее распространены: аргонодуговая сварка, сварка под флюсом и ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Показано, что применяемые в качестве электродных и присадочных материалов проволоки и ленты из деформируемых сплавов зачастую не обеспечивают требуемый химический состав наплавленного металла. Предпочтительно создание специальных порошковых проволок и покрытых электродов, обеспечивающих оптимизацию легирования металла и достижения требуемых свойств. К примеру, для сварки и наплавки литейных оловянных бронз (BrO10Ф1, BrO5Ц5С5) необходимы сварочные материалы, химический состав и свойства которых соответствовали бы основному металлу. На основе проведенного анализа сделан вывод о необходимости создания новых сварочных материалов (покрытых электродов, порошковых проволок) для сварки и наплавки бронз ответственного назначения. Библиогр. 40, табл. 4, рис. 1.

*Ключевые слова:* бронзы оловянные, электродные материалы, способы сварки и наплавки, металлургические особенности

В настоящее время сплавы на основе меди, такие как оловянные бронзы, находят широкое применение в узлах и парах трения машин и механизмов, работающих в условиях повышенного износа на различных режимах эксплуатации. Этому в значительной степени способствует благоприятное сочетание их физических и технологических свойств.

С каждым годом увеличивается выплавка изделий из оловянных бронз с использованием новых методов литья [1], при этом, однако, не удается полностью исключить брак (1...10 % в зависимости от культуры производства и технического уровня литейных цехов, а при изготовлении сложных отливок — 50...70 %) [2]. Поскольку оловянные бронзы относятся к дефицитным и дорогим сплавам на которые постоянно растут спрос и цена [3, 4], актуальна задача бережного использования данных металлов.

Частично устранение литейного брака решается путем применения различных сварочных процессов (наплавка, сварка, заварка). Также эти процессы используют:

- для восстановления изношенных бронзовых деталей, увеличивая таким образом срок их службы;
- при изготовлении биметаллических деталей взамен цельнолитых для экономии дорогого металла, а также уменьшения общего веса изделия;
- для изготовления лито-сварных изделий сложной конфигурации вместо литых.

Целью настоящего обзора является анализ свойств существующих марок оловянных бронз, определение основных трудностей, возникающих при сварке и наплавке данных сплавов, а также обобщение данных о сварочных процессах и присадочных материалах, используемых для сварки и наплавки оловянных бронз.

**Марки литейных оловянных бронз, выпускаемых промышленностью.** В промышленности, как правило, применяют оловянные бронзы, содержащие наряду с оловом такие легирующие элементы как цинк, свинец, фосфор, никель [5-7] (табл. 1).

Цинк добавляют для увеличения коррозионной стойкости бронзы в морской воде, а также для равномерного распределения тяжелого свинца в сплаве. К тому же цинк дешевле олова и меди.

Таблица 1. Марки литейных оловянных бронз [5]

Сплав	СНГ	США	Германия	Япония
	ГОСТ 613-79	ASTM B30;B427; B0505;B584	DIN 17656	JIS H5111; H5113;H115
Медно-оловянный	—	C91000	SnBz14(2.1057)	—
Оловянно-никелевый	— — —	C96000 C91700 C96800	— — —	— — —
Оловянно-фосфористый	БрО10Ф1 — — — —	— C90700 C90800 C91100 C91300	— — — — —	— H5113/class2 H5113/class2b — —
Оловянно-цинковый	БрО8Ц4 БрО10Ц2 —	C90300 C90500 —	— — Rg10(2.1087)	— — —
Оловянно-цинково-никелевый	—	C94700	—	—
Оловянно-свинцовый	— — — — БрО10С10 — — — — — БрО5С25 —	C92700 C92800 C93400 C93600 C93700 — C93800 C93900 C94000 C94100 C94300 C94500	— — — — — SnPbBz10(2.1177) SnPbBz10(2.1183) — — SnPbBz10(2.1189) — —	— — — — H5115/class3.3c — H5115/class4.4c — — — — H5115/class5
Оловянно-свинцово-никелевый	— —	C92500 C92900	— —	— —
Оловянно-свинцово-цинковый	БрО6Ц6С3 БрО5Ц5С5 — БрО4Ц7С5 — БрО3Ц12С5 БрО4Ц4С17 — — — — — —	— C83800 — C83900 C84200 C84800 — C92200 C92300 C92600 C93200 C93500	— — Rg 5(2.1097) — — — — — — — Rg 7(2.1091) —	— P5111/class6.6c — — — H5111/class1.1c — H5111/class7.7c H5111/class2.2c H5111/class3.3c — —
Оловянно-цинково-никелевый	БрО3Ц7С5Н1 — — — — —	— C83450 C94800 C94900 C97300 C97600	— — — — — —	— — — — — —

Свинец практически нерастворим в оловянных бронзах в твердом состоянии. Он повышает антифрикционные свойства, плотность отливок, а также улучшает обрабатываемость резанием, но при этом понижаются их механические свойства.

Для повышения механических свойств и жидкотекучести оловянные бронзы легируют фосфором, который также является раскислителем.

Никель (до 0,25 %) положительно влияет на оловянно-фосфористые бронзы, несколько повышая механические свойства и измельчая зерно. В оловянно-свинцовых бронзах никель также заметно измельчает зерно, что способствует более равномерному распределению свинца в отливках. На оловянно-цинковые бронзы никель (0,5...1,0 %) не оказывает заметного влияния.



Небольшие добавки к оловянным бронзам циркония, бора, титана, ниобия улучшают их механические свойства и обрабатываемость давлением в холодном и горячем состоянии.

Как видно из табл. 1, в СНГ выпускаются бронзы, аналогов которым нет в других странах (БрО10Ф1, БрО6Ц6С3, БрО4Ц4С17, БрО3Ц7С5Н1).

**Основные трудности при сварке и наплавке оловянных бронз.** Сварка и наплавка оловянных бронз сопряжена с определенными трудностями: высокая склонность к пористости (наиболее склонны из всех медных сплавов), образование кристаллизационных трещин в сварных швах и зоне термического влияния, ликвация олова и, соответственно, неоднородность структуры, а также проникновение оловянной бронзы в сталь при наплавке.

Пористость сварных швов вызывается выделением водорода и паров воды из металла сварочной ванны в процессе кристаллизации [8, 9]. Для предупреждения пористости используют сварочные материалы, которые обеспечивают разбавление газовой фазы и снижение тем самым парциального давления водорода в атмосфере дуги (за счет введения в состав покрытий электродов газообразующих составляющих), а также использование активных раскислителей металла сварочной ванны (электродные стержни и проволоки, легированные фосфором, кремнием, марганцем и алюминием) [10].

Большой проблемой при сварке и наплавке литейных оловянных бронз является возникновение кристаллизационных трещин [11, 12]. Межкристаллитные трещины берут свое начало на границе сплавления и могут иметь вид отдельных



Микроструктура (x100) зоны сплавления оловянной бронзы со сталью (трещина заполнена бронзой)

проникновений между зернами или сетки по границам зерен. Основная причина образования трещин – жидкие прослойки между кристаллитами в момент воздействия растягивающих напряжений. Наличие жидких прослоек зависит от содержания в металле примесей, образующих легкоплавкие эвтектики. Для большинства оловянных бронз такими являются висмут, сера и фосфор. Также возникновение трещин связывают с образованием большого количества хрупкой  $\delta$ -фазы, богатой оловом. Для бронзы БрО10Ц2 склонность к образованию трещин в сварных соединениях растет с увеличением олова в сплаве и при наличии в нем более 0,004 % свинца [13]. При наплавке на сталь на возникновение трещин влияют также различие физико-химических свойств оловянных бронз и сталей и режимы наплавки. Размеры трещин различны – от нескольких микрон до нескольких (и даже десятков) миллиметров (рисунок). При наплавке оловянных бронз на сталь необходимо

Таблица 2. Марки оловянных бронз, обрабатываемых давлением [5]

Сплав	СНГ	США	Германия	Япония
	ГОСТ 5017-74	ASTM B103; B122; B139; B740	DIN 17662; 17664	JIS H3110; H3130
Оловянно-фосфористый	БрОФ2-0.25	—	—	—
	БрОФ4-0.25	C51100	CuSn4(2.1016)	C5111
	—	C53400	—	—
	БрОФ6.5-0.15	—	CuSn6(2.1020)	C5191
	—	C51000	—	—
	—	C53200	—	—
	БрОФ6.5-0.4	—	—	—
БрОФ7-0.2	—	—	CuSn6(2.1020); CuSn8(2.1030)	C5210
—	—	—	—	—
БрОФ8-0.3	—	C52100	CuSn8(2.1030)	C5212
—	—	C52400	—	—
Оловянно-цинковый	БрОЦ4-3	—	—	—
—	—	—	CuSn6Zn6(2.1080)	—
Оловянно-никелевый	—	C72500	CuNi9Sn2(2.0875)	—
	—	C72650	—	—
	—	C72700	—	—
	—	C72900	—	—
Оловянно-цинково-свинцовый	БрОЦС 4-4-2.5	—	—	—
	—	C54400	—	—
	БрОЦС 4-4-4	—	—	—

принимать меры, направленные на предупреждение образования в стали трещин (наплавку вести без расплавления стали при минимальной температуре нагрева ее поверхности, применять промежуточную наплавку кремниевой бронзой или латунию, использовать технологические процессы, при которых в стали будут развиваться минимальные напряжения растяжения) [14–16].

Следует отметить, что процесс образования трещин при сварке и наплавке оловянных бронз изучен недостаточно.

При сварке и наплавке оловянных бронз возможна ликвация олова в связи с большим температурным интервалом кристаллизации, из-за чего в металле возникает химическая неоднородность по сечению и, следовательно, неоднородность механических свойств. Для уменьшения ликвации необходимо выполнять сварку на минимальной погонной энергии и с перерывами для выравнивания температуры, применять промежуточный и окончательный отжиг и, как правило, использовать сварочные материалы с пониженным по сравнению со свариваемой бронзой содержанием олова [17, 18].

**Сварочные процессы и материалы для наплавки и сварки оловянных бронз.** Несмотря на все трудности при сварке и наплавке оловянных бронз в промышленности нашли применение многие сварочные процессы: сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродами, автоматическая под слоем флюса, ручная дуговая покрытыми электродами. Реже используется плазменно-дуговая, газопламенная, электрошлаковая, вибродуговая и другие способы сварки и наплавки.

Наибольшее распространение получила сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродами, отличающаяся универсальностью и простотой защиты металла сварочной ванны от воздействия окружающей атмосферы. В качестве защитной среды в основном применяются инертные газы – аргон, гелий, а также их смесь (70 Ar + 30 He)%, реже используется азот.

В зависимости от марки свариваемой бронзы и среды эксплуатации изделия применяют проволоки из деформируемых бронз, которые выпускаются в странах СНГ и за рубежом (табл. 2).

Для минимизации проплавления основного металла и попадания в плакирующий слой железа, существенно ухудшающего эксплуатационные свойства наплавленного металла, целесообразно применение аргонодуговой наплавки плавящимся и неплавящимся электродами при малых плотностях тока. Наиболее плотный металл получается при наплавке плавящимся электродом с использованием проволок сплошного сечения.

Широкому применению электродуговой сварки и наплавки оловянных бронз в защитных газах препятствуют низкие деформационные свойства литейных оловянных сплавов, поскольку изготовление из них сварочных проволок затруднено. Особенно велика потребность в проволоках малого диаметра. Эта проблема может быть решена использованием в качестве присадочного материала порошковых и композитных проволок, которые позволяют относительно несложно получать металл требуемого состава и удовлетворительного качества.

К числу прогрессивных способов электродуговой наплавки, позволяющих в широких пределах регулировать проплавление стали и обеспечивающих высокую производительность, следует отнести наплавку расщепленным и ленточным электродами [19–21]. Изучение особенностей горения дуги и проплавления основного металла такими электродами позволило установить, что минимальное проплавление стали при этом достигается благодаря интенсивному «блужданию» дуги и вызванному этим более благоприятному распределению тепловложения по ширине ванны. При наплавке ленточным электродом на проплавление основного металла и содержание железа в наплавленном слое существенно влияет скорость наплавки и плотность тока. Регулирование проплавления основного металла при наплавке ленточным электродом можно осуществлять и поворотом ленты по отношению к направлению наплавки (оси валика) на угол от 60 до 45°.

При автоматической сварке и наплавке под флюсом для большей производительности процесса можно использовать флюсы марок ОСЦ-45, АН-20, АН-26, АН-348-А, АН-М2, которые обеспечивают необходимый уровень сварочно-технологических свойств и металлургическую обработку сварочной ванны. При наплавке и сварке оловянных бронз желательно применять сварочную проволоку того же состава, что и наплавляемый металл. Одним из наиболее простых и экономичных способов получения наплавленного металла заданного химического состава при отсутствии нужных сварочных проволок является изготовление порошковых проволок. Разработаны порошковые проволоки для наплавки бронзы БрО6Ц6С3 [11], БрО8С21 [20, 22], а также для сварки БрО10Ц2 [23].

Наряду с автоматическими способами сварки и наплавки литейных оловянных бронз в промышленности широко применяется ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Этот процесс постоянно совершенствуется с целью повышения качества наплавленного металла и обеспечения возросших эксплуатационных требований.



Таблица 3. Химический состав сварочной проволоки и прутков для ручной дуговой сварки и наплавки оловянных бронз

Марка проволоки и прутка	ГОСТ на прокат проволока/пруток	ГОСТ на химический состав	Основные элементы, мас. %			
			Sn	P	Zn	Cu
БрОФ6.5-0.15	16130-90/10025-78	5017-74	6,0...7,0	0,1...0,25	—	Остальное
БрОЦ4-3	16130-90/6511-60	5017-74	3.5...4.0	—	2,7...3,3	

При дуговой наплавке и сварке оловянных бронз применяются электроды с различными составами покрытий [24]. В основном это покрытия, состоящие из галогенидов, а также раскисляющих, стабилизирующих и шлакообразующих материалов. Подавляющее большинство замесов покрытий изготавливается с применением в качестве связующего компонента сухой шихты водного раствора силиката натрия, обеспечивающего хорошую технологичность в изготовлении и применении таких электродов [17].

В качестве стержней для изготовления покрытых электродов для сварки и наплавки оловянных бронз используют тянутую проволоку (ГОСТ 16130–90) и литые прутки диаметром не менее 6...8 мм. Указанный стандарт предусматривает всего две марки сварочной проволоки: БрОФ 6.5-0.15 и БрОЦ4-3 (табл. 3). Кроме того, из оловянно-фосфористой бронзы марки БрОФ6.5-0.15 изготавливают холоднокатанные прутки по ГОСТ

10025–78, а из оловянно-цинковой бронзы – тянутые по ГОСТ 6511–60. Прутки по этим стандартам выпускаются диаметром от 5 до 10 мм [24].

Литые прутки обеспечивают более низкое качество наплавленного металла, чем деформированные, поэтому используются лишь в крайних случаях.

В табл. 4 приведены данные покрытых электродов, наиболее часто использующихся для сварки и наплавки оловянных бронз, а также заварки дефектов бронзового литья. Видно, что при использовании выше перечисленных электродов содержание олова находится на уровне 5,0...7,5 % (за исключением UTP-320), а значения механических свойств отличаются в несколько раз. Например: относительное удлинение наплавленного металла ОЗБ-2М равно 10 %, а Phosphor Bronze C Electrode – 45...50 %; предел прочности AS Bronz равен 260 МПа, а Phosphor Bronze C Electrode – 450 МПа. К тому же не всегда данные электро-

Таблица 4. Электроды для сварки (заварки), наплавки оловянных бронз

Марка электрода	Химический состав наплавленного металла, мас. %							Твердость <i>HV</i>	$\delta$ , %	$\sigma_B$ , МПа	Источник
	Sn	P	Mn	Ni	Fe	Si	Cu				
ОЗБ-2М	6,0	0,35	1,0	0,8	0,5	—	Остальное	115	10	340	[24]
ОК 94.25	7,0	0,15	0,5	—	<0,2	—	92,0	95	25...35	330...390	[33]
UTP-32	7,0	—	—	—	—	—	93,0	100	34	295...345	[32]
UTP-320	13,0	—	—	—	—	—	87,0	150	34	245...295	[32]
AS Bronz	7,0	0,1	0,5	—	—	—	Остальное	90	20	260	[35]
CP-33	5,3	0,09	—	—	—	—	-II-	—	27	400	[34]
CB 082	8,0	0,1	0,01	0,05	0,1	0,05	-II-	105	18	340	[31]
Capilla 48	6,0...8,0	—	—	—	—	—	-II-	100...110	—	280	[30]
E-CuSn-C	7,0...9,0	< 0,3	Si+Mn+Fe+Al+Ni+Zn≤0,5				-II-	—	—	—	[27]
Phosphor Bronze C Electrode	7,0...9,0	<0,35	—	—	0,25	—	-II-	85...100	45...50	450	[28]
Nihonweld N-CuSn-C	7,8	0,11	—	—	0,17	—	-II-	90...100	30	390	[29]
Nihonweld N-CuSn-A	5,15	0,18	—	—	0,52	—	-II-	65...75	24	424	[29]

ды имеют хорошие сварочно-технологические характеристики.

Для наплавки оловянных бронз широкое распространение получил плазменный способ [25]. При этом в качестве присадочного материала могут использоваться: проволока, прутки, неподвижная присадка (уложенная или каким-либо другим способом зафиксированная на поверхности), порошок. Наиболее часто используют наплавку с присадкой проволоки сплошного сечения. Марки этих проволок приведены выше. Особой разновидностью наплавки оловянных бронз является плазменно-порошковый способ, позволяющий существенно расширить перечень сплавов для наплавки механизированным способом. При плазменной наплавке обеспечивается минимальное проплавление основного металла при хорошем формировании валиков [25, 26]. К недостаткам способа следует отнести дороговизну оборудования и невысокую производительность процесса.

При ремонте цилиндрических деталей небольших диаметров и для наплавки тонких слоёв находит применение вибродуговая наплавка медных сплавов [36], которая позволяет наплавлять детали малых диаметров. Наплавка ведется в струе охлаждающей жидкости или пены, выполняющей также функции защитной среды.

Для наплавки за один проход слоя металла большой толщины ( $\geq 20$  мм) может быть использована электрошлаковая наплавка оловянной бронзы на сталь [37]. Обычно в качестве наплавочного материала применяют пластины или стружку из бронзы, которые предварительно укладывают на черный металл. Достоинством электрошлаковой наплавки является возможность применения литых электродов. Недостаток — трудоемкость подготовительных операций, а также необходимость использования больших токов при наплавке больших поверхностей. Электрошлаковый процесс целесообразно применять в тех случаях, когда требуется наплавлять большое количество металла.

Для сварки и наплавки оловянной бронзы используют и другие способы: газовая наплавка и сварка [38], импульсно-дуговая сварка в среде защитного газа и под флюсом [39], электроискровая наплавка [40], но они не нашли широкого применения. В случае использования данных способов применяют те же сварочные материалы, которые рассмотрены выше.

## Выводы

1. Для экономии дорогостоящих оловянных бронз с успехом используются такие сварочные процессы: заварка дефектов литья, наплавка с целью восстановления изношенных бронзовых деталей,

сварка при изготовлении сварно-литых изделий, а также наплавка на сталь для изготовления биметаллических деталей. При этом необходимо учитывать металлургические особенности сварки и наплавки этих сплавов: повышенную склонность к пористости, образованию кристаллизационных трещин в сварных швах и зоне термического влияния; ликвации олова и соответственно неоднородности структуры, образование трещин в стали, заполненных бронзой (при наплавке на сталь).

2. Из-за низкой пластичности оловянных бронз не всегда можно изготовить сварочную проволоку, которая может использоваться для автоматической сварки и наплавки, а также для изготовления стержней покрытых электродов.

3. Для сварки, наплавки, заварки дефектов литья бронз с содержанием олова больше 8,0 % практически отсутствуют отечественные сварочные электродные материалы, в том числе и покрытые электроды.

4. Для применения в промышленности механизированных процессов сварки и наплавки оловянных бронз перспективным является создание и освоение выпуска специальных порошковых проволок, обеспечивающих получение швов и наплавленного металла требуемых составов и свойств.

1. Пономаренко О. И., Шинский И. О., Моргунов Н. Н. Литье по газифицируемым моделям бронзовых сплавов // Литейн. пр-во. — 2004. — № 11. — С. 30.
2. Управление литейными системами и процессами: Монография / О. И. Пономаренко, Т. В. Лысенко, А. Л. Становский, О. И. Шинский. — Харьков: Изд-во Харьк. политех. ин-та, 2012. — 368 с.
3. www.non-ferrous@metalresearch.ru.
4. Макаревич О. П., Федоров Г. Е., Платонов С. О. Виробництво виливків із спеціальних сталей. — К.: Вид-во Київ. політехн. ін-ту, 2005. — 712 с.
5. Осинцев О. Е., Федоров В. Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: Справочник. — М.: Машиностроение, 2004. — 336 с.
6. Смирязин А. П., Смирязина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы: Справочник. — М.: Металлургия, 1974. — 488 с.
7. Литейные бронзы / К. П. Лебедев, Л. С. Райнес, Г. С. Шемтов и др. — Л.: Машиностроение, 1973. — 312 с.
8. Джевага И. И. Электродуговая сварка цветных металлов и сплавов. — Л.: Судпромгиз, 1961. — 139 с.
9. Наплавка изношенных бронзовых деталей металлургического оборудования / Г. П. Хмель, Е. Г. Красненко, В. М. Илюшенко и др. // Автомат. сварка. — 1966. — № 3. — С. 68–71.
10. Редчиц В. В. Предупреждение пор при сварке цветных металлов плавлением // Там же. — 1991. — № 6. — С. 31–34.
11. Механизированная заварка дефектов литья оловянистой бронзы / В. М. Илюшенко, С. И. Опанасенко, М. М. Фишкис и др. // Там же. — 1966. — № 2. — С. 64–66.
12. Джевага И. И., Журавлев Ю. А. Связь между структурой и стойкостью швов на бронзе против кристаллизационных трещин // Там же. — 1965. — № 11. — С. 14–19.
13. Симаненков Л. Н. Исследование и разработка технологии электродуговой сварки оловянной бронзы марки Бр. ОЦ10-2: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1981. — 16 с.



14. *Вайнерман А. Е., Осеткин А. А.* К вопросу образования трещин при наплавке медных сплавов на сталь. // Автомат. сварка. — 1968 — № 6. — С. 23–25.
15. *Тимофеев В. Н., Исаев Н. И.* Наплавка сплавов меди на стальные поверхности // Там же. — 1965. — № 4. — С. 34–37.
16. *А. с. 548391 СССР, МКл.<sup>2</sup> В 23к 9/04*. Способ наплавки / В. В. Ардентов, А. Е. Вайнерман, П. И. Гайдай и др. — № 2051592; Заявл. 05.08.1974; Опубл. 28.02.1977, Бюл. № 8.
17. *Абрамович В. Р., Демянцевич В. П., Ефимов Л. А.* Сварка плавлением меди и сплавов на медной основе. — Л.: Машиностроение, 1988. — 215 с.
18. *Hanke H., Retzlaff O., Schultz H.-W.* Schweissen von Gusszinbronze // Schweissttechnik. — 1968. — № 2. — S. 1–12.
19. *Тимофеев А. И., Потахин В. П.* Автоматическая наплавка бронзы Бр.АМц9-2 ленточным электродом по облицовке. // Свароч. пр-во. — 1967. — № 10. — С. 14–16.
20. *Илюшенко В. М., Седов В. Е.* Наплавка оловянно-свинцовой бронзы на сталь расщепленным электродом // Автомат. сварка. — 1969. — № 6. — С. 52–54.
21. *Илюшенко В. М.* Прогрессивные методы электродуговой наплавки медных сплавов на сталь. // Сварка и наплавка тяжёлых цветных металлов. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1978. — С. 30–32.
22. *А. с. 202391 СССР, МПК В 23к*. Порошковая проволока для наплавки / В. М. Илюшенко, В. Е. Седов, С. И. Опанасенко, В. В. Подгаецкий. — № 1046324; Заявл. 03.01.1966; Опубл. 14.09.1967, Бюл. № 19.
23. *А. с. 593868 СССР, МКл.<sup>2</sup> В 23к 35/30*. Состав сварочной проволоки / И. И. Джевага, Л. Н. Симаненков. — № 2429560; Заявл. 18.10.1976; Опубл. 25.02.1978, Бюл. № 7.
24. *Закс И. А.* Электроды для дуговой сварки цветных металлов и сплавов: Справочное пособие. — С.-Пб.: Стройиздат, 1999. — 192 с.
25. *Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А.* Плазменная наплавка. — Киев: Экотехнология, 2007. — 292 с.
26. *Илюшенко В. М.* Сварка и наплавка тяжёлых цветных металлов. — Киев: Знание, 1977. — 24 с.
27. [www.hzdayang.com/aws-ecusn-c.html](http://www.hzdayang.com/aws-ecusn-c.html).
28. [www.brazing.com/MSDS\\_PhosBronze\\_E.pdf](http://www.brazing.com/MSDS_PhosBronze_E.pdf).
29. [www.nihonweld.com/products.do?item\\_id=15402](http://www.nihonweld.com/products.do?item_id=15402).
30. [www.rs-nt.ru/capilla-gmbh-germany/376/2687](http://www.rs-nt.ru/capilla-gmbh-germany/376/2687).
31. [www.stlg-sd.ru/sb\\_082](http://www.stlg-sd.ru/sb_082).
32. *UTP Schweissmaterial GmbH.* — Bad Krozingen, 2004.
33. *ESAB welding handbook.* Filler materials for manual and automatic welding. — Fourth ed. Goeteborg, 2005.
34. *Kobe steel welding consumables: Catalog.* — Tokyo, 2006.
35. *ASKANYAK:* Сварочные электроды и проволока // Каталог выпускаемой продукции. — Стамбул, 2005.
36. *Пацкевич И. Р., Баутина В. А.* Вибродуговая наплавка бронзы на сталь // Свароч. пр-во. — 1962. — № 11. — С. 43–35.
37. *Дудко Д. А., Щербина Н. Я., Подсацкий В. В.* Электрошлаковая наплавка меди и ее сплавов на сталь с использованием кипящих флюсов // Автомат. сварка. — 1979. — № 2. — С. 34–37.
38. *Гвоздем М. С.* Заварка дефектов в отливках из цветных металлов // Литейн. пр-во. — 1963. — № 9. — С. 42.
39. *Потапьевский А. Г., Агарков Л. А., Осадченко А. Е.* Механизированная импульсно-дуговая наплавка бронзы на стальные изделия // Судостроение. — 1967. — № 8. — С. 46–50.
40. *Пушкин И. А.* Некоторые особенности восстановления изношенных бронзовых втулок электродуговой наплавкой // Сварка Урала-2001: Тез. докл. — Нижний Тагил: Нижне-Тагил. технол. ин-т, 2001. — С. 127–129.

Поступила в редакцию 16.10.2013

## ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ, НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И РЕМОНТА

В Санкт-Петербурге с 15 до 18 апреля 2014 г. состоится 16-я Международная ежегодная научно-практическая конференция «Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика».

Приглашаем принять участие в конференции, подробно ознакомить слушателей и коллег со своими новыми разработками, посвященными методам повышения долговечности и надежности изделий; технологиям наплавки, напыления, осаждения, сварки; технологиям ремонта – диагностике дефектации, мойке, очистке, восстановлению размеров, обработке покрытий, окраске, консервации.

Информацию об условиях участия и требованиях к оформлению докладов Вы найдете на сайте конференции – [www.technoconf.ru](http://www.technoconf.ru).

**Контакты:** (812) 444-93-37, 444-93-36, (921) 973-46-74.  
E-mail: [info@plasmacentre.ru](mailto:info@plasmacentre.ru); <http://plasmacentre.ru>; <http://technoconf.ru>