

## **ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА СВОЙСТВА ОЛОВЯННО-СВИНЦОВЫХ ПРИПОЕВ И СПОСОБЫ ИХ УДАЛЕНИЯ ПРИ РЕЦИКЛИНГЕ ИЗГАРИ**

**Г.В. ДОВНАР**, канд. техн. наук, **Б.М. НЕМЕНЁНОК**, д-р техн. наук,  
**Г.А. РУМЯНЦЕВА**, канд. техн. наук, **В.А. ШЕЙНЕРТ**,  
**А.Д. РУЛЕНКОВ**

Белорусский национальный технический университет

*Проведен анализ примесей, присутствующих в оловянно-свинцовых припоях, и оценено их влияние на свойства и качество паяных соединений. Показано, что допустимое содержание примесей в припоях определяется областью применения паяных соединений. При рециклинге оловянно-свинцовой изгари установлено, что в металлической фракции основными примесями являются медь, железо, никель и сурьма. Наиболее эффективными способами их удаления из получаемого припоя является фильтрация расплава и обработка его серой.*

***Ключевые слова:** припой, примеси, изгарь, качество, фильтрация, сульфиды.*

## **INFLUENCE OF IMPURITIES ON THE PROPERTIES OF TIN-LEAD SOLDERS AND METHODS FOR THEIR REMOVAL DURING DROSS RECYCLING**

**G.V. DOVNAR**, Ph. D in Technical Sciences, **B.M. NEMENENOK**, Dr. of Engineering Sciences, **G.A. RUMYANTSEVA**, Ph. D in Technical Sciences, **V.A. SHANERT**, **A.D. RULENKOV**

Belarusian National Technical University

*The analysis of impurities present in tin-lead solders is carried out and their influence on the properties and quality of brazed joints is evaluated. It is shown that the permissible content of impurities in the solders is determined by the area of application of the brazed joints. When recycling tin-lead ash, it was found that the main impurities in the metal fraction are copper, iron, nickel and antimony. The most effective ways to remove them from the resulting solder is to filter the melt and treat it with sulfur.*

***Keywords:** solder, impurities, ash, quality, filtration, sulfides.*

Надежность микроэлектронных изделий во многом зависит от качества соединений, выполненных пайкой. Среди многочисленных факторов, определяющих свойства паяных соединений (температура и время пайки, химический состав соединяемых материалов, качество подготовки паяемой поверхности) немаловажную роль играет химический состав и количество примесей в припоях. Применение оловянно-свинцовых припоев с низким содержанием химических примесей позволяет улучшить внешний вид паяных соединений, получить большее число соединений из одного килограмма припоя за счет уменьшения толщины паяного шва и количества дефектных соединений.

Особую значимость эта информация приобретает при рециклинге отходов припоев в виде изгари с целью определения степени влияния присутствующих в отходах примесей на качество получаемого припоя.

Широкое распространение в радиоэлектронной промышленности получили сплав олова со свинцом эвтектического состава ПОС-61 (61 мас. % олова и 39 мас. % свинца) или близкого к нему, а также оловянно-свинцовые припои в сочетании с цветными металлами. Исходя из изложенного важно оценить источники основных примесей в оловянно-свинцовых припоях, которые условно можно разбить на следующие группы:

группа № 1 – примеси, наследованные свинцом или оловом из рудного сырья (железо, никель, мышьяк, сера);

группа № 2 – примеси, попадающие в ванны для лужения и паяльные ванны из поверхностного слоя деталей, подлежащих пайке (золото, серебро, медь, никель, цинк, кадмий, фосфор, сера, углерод);

группа № 3 – примеси, вводимые в состав припоя в качестве легирующих добавок (золото, медь, сурьма, серебро, индий, редкоземельные металлы);

группа № 4 – примеси, попадающие в паяльные ванны и ванны для обслуживания в процессе растворения материалов оснастки ванны (алюминий, цинк, кадмий, никель, углерод, сера).

Определению содержания примесей в оловянно-свинцовых припоях посвящено большое количество работ, например, [1–4]. В результате проведенных исследований установлено, что содержание золота в припоях данного класса может составлять от 0,1 до 1,9 %,

серебра – 1,9–2,0 %, меди – 0,03–0,5 %, кадмия – 0,0005–0,15 %, мышьяка – 0,003–0,2 %, серы – до 0,0015 %, сурьмы – 0,1–1,0 %, алюминия – 0,005–0,008 %, железа – 0,002–0,3 %, никеля – 0,01–0,05, висмута – 0,03–1,0, цинка – 0,002–0,008 %, фосфора – 0,001–0,01 %.

В таблице 1 представлена информация о допустимом содержании примесей, согласно требованиям некоторых национальных стандартов [1, 2].

Таблица 1 – Допустимое количество примесей в припое, содержащем 60 мас. % Sn и 40 мас. % Pb (по международным стандартам) [1, 2]

Международный стандарт	Элементы											
	Sn	Cu	Sb	Cd	Bi	As	Al	Zn	S	Fe	Ni	Pb
ГОСТ 21930	59,0–61,0	0,05	0,05	–	0,1	0,03	0,002	0,002	0,02	0,02	0,02	Остальное
QQ-S-517E, США	59,6–61,5	0,08	0,2–0,5	–	0,25	0,03	0,005	0,003	–	0,02	–	Остальное
DIN-1707, Германия	59,5–60,0	0,05	0,12	–	0,1	0,01	–	–	–	0,02	–	Остальное
BS-219, Великобритания	59,0–60,0	0,08	0,5	0,005	0,1	0,03	0,001	0,003	–	0,02	–	Остальное
JIS-Z 3282, Япония	59,0–61,0	0,03	0,1	–	0,03	0,03	0,005	0,005	–	0,002	–	Остальное

Значительные расхождения в допустимом содержании примесей объясняются техническими возможностями промышленных предприятий, производящих слитки припоев, и областью применения припоев.

Чтобы определиться с оптимизацией содержания примесей в припоях, необходимо проанализировать влияние указанных элементов на свойства расплава припоя и качество паяных соединений.

*Медь.* Попадает в ванны погружения при обслуживании и пайке медных и медненных деталей. Она имеет относительно высокую скорость растворения в расплавленном оловянно-свинцовом припое и предел ее растворимости при температуре 250 °С составляет 0,4 % [5]. Медь образует с оловом два интерметаллических соединения –  $Cu_2Sn_4$  и  $Cu_6Sn$  [4, 5], появление которых ухудшает реологические свойства жидкого расплава. Информация по допустимому содержанию меди в припоях не однозначна [1–3, 6]. По данным авторов работы [6] содержание меди в расплаве припоя до 0,5 % слабо влияет

на скорость растекания припоя по всем основным металлам и практически не влияет на скорость смачивания припоями поверхности. Увеличение содержания меди в припое от 0,5 до 0,6 % приводит к росту вязкости расплава и снижению его растекания по поверхности паяемых деталей.

Авторы работы [7] предлагают поддерживать содержание меди в расплаве припоя на уровне 0,25 %, что позволяет избежать образования интерметаллических соединений. Аналогичной точки зрения придерживаются и авторы работ [4]. В работах [8, 9] рекомендуется вводить в расплав оловянно-свинцовых припоев добавки меди и никеля в количестве 0,5–1,0 %, которые повышают коррозионную стойкость припоев и паянных ими изделий. Это связано с их пассивирующими свойствами – образованием пассивной пленки на поверхности расплава припоя и плотных нерастворимых продуктов коррозии, играющих роль барьера.

*Золото.* Применяется для покрытия поверхности активных компонентов (диодов, транзисторов) микросхем. Золото хорошо растворяется в олове и расплаве оловянно-свинцового припоя с образованием ряда интерметаллидов различного состава –  $Au_2Pb$ ,  $Au_6Sn$ ,  $AuSn$ ,  $AuSn_2$ ,  $AuSn_4$  [5, 10]. Для уменьшения растворения золотого покрытия в оловянно-свинцовых припоях в их состав вводят золото в количестве 0,2–1,0 %. Добавка золота улучшает пластичность припоя и его растекаемость по паяемой поверхности. Однако при увеличении содержания золота в припое до 2,5 % и выше пластичность припоев ухудшается, а прочность паяных соединений уменьшается [2]. Автор работы [1] полагает, что содержание золота в ванне не должно превышать 0,08 %, а ряд исследователей считают [2, 10], что содержание золота в ванне не должно превышать 0,2 %, поскольку при увеличении содержания растворенного в ванне золота до 0,1–0,2 % ухудшается смачиваемость поверхности паяемых деталей, а через 4–5 месяцев ванна становится непригодной для работы. Поэтому при пайке позолоченных деталей необходимо уменьшать поверхность контакта покрытие–припой, температуру и время пайки, а также поддерживать содержание золота в расплаве на уровне 0,01 %. Следует отметить, что ни один из международных стандартов не регламентирует содержание золота в припоях.

*Серебро.* Попадает в ванну при пайке деталей, покрытых серебром. Со свинцом и оловом серебро не образует твердых растворов. В определенных условиях серебро с оловом образует интерметаллические соединения  $Ag_2Sn$ ,  $Ag_3Sn$ ,  $Ag_6Sn$  [1, 3, 7]. Серебро добавляют в припой (более 1,0 %) в основном для пайки изделий, покрытых тонким слоем серебра, и для получения вакуумно-плотных соединений, так как добавка серебра в припой уменьшает их окисленность и увеличивает жидкотекучесть [1, 3].

Присутствие серебра в ваннах с расплавом припоя 60 % Sn–40 % Pb в количестве 1,0–2,5 % благотворно влияет на его поверхностные свойства, поэтому оно считается допустимой примесью [1, 3, 4].

*Кадмий.* Загрязнение ванн кадмием происходит в процессе обслуживания и пайки микросхем, содержащих на лицевой поверхности навесной монтаж, выполненный припоями, в состав которых входит кадмий. По данным авторов работ [1, 3, 4] при добавке в ванну кадмия в количестве не более 0,1 % время смачиваемости припоями поверхности большинства металлов возрастает. При увеличении содержания кадмия в ванне до 0,5 % смачиваемость поверхности стали, меди и латуни ухудшается. Из-за легкой испаряемости кадмия его источником в процессе пайки могут стать паяемые материалы, содержащие кадмий (латунь и др.). Часто наблюдаются случаи, когда при изготовлении оправок применяют винты, изготовленные из материала, содержащего кадмий. Это особенно опасно при пайке деталей, покрытых золотом, так как кадмий напыляется на золоченую поверхность и образует с золотом интерметаллическое соединение. Поэтому не рекомендуется паять узлы из латуни и других материалов, содержащих цинк или кадмий в вакуумных печах, в которых паяют детали из других материалов.

*Мышьяк.* Основным источником мышьяка является свинец, в котором он присутствует в качестве постоянной примеси. Авторы работ [3, 4] относят мышьяк к одной из самых вредных примесей. Содержание его в слитках припоев, применяемых для пайки электронных изделий, не должно превышать 0,0005 %. В присутствии мышьяка в оловянно-свинцовых припоях наблюдается увеличение краевого угла смачивания на меди, латуни, низкоуглеродистой стали. Совместное присутствие в расплаве припоя цинка и мышьяка увеличивает их вязкость из-за образования интерметаллического соединения  $AsZn$ . Аналогичное явление наблюдается при пайке ме-

ди в ваннах, содержащих 0,08–0,1 % меди. В этом случае образуются тугоплавкие интерметаллиды  $\text{Sn}_3\text{As}_2$  и  $\text{Cu}_3\text{As}$ , а паяемые поверхности меди не смачиваются припоем. Авторы работ [2, 3] рекомендуют уменьшить количество мышьяка, допускаемое ГОСТом 21930, не менее чем в 10 раз.

*Алюминий.* Основной отрицательный эффект от воздействия алюминия связан с тем, что он способствует окислению расплавленного припоя и паяемые соединения приобретают тусклый цвет при содержании алюминия 0,005–0,008 % [1, 3, 4]. Введение в расплав припоя 0,0014 % алюминия приводит к несмачиванию поверхности образцов из стали припоем, содержащим 60 % Sn и 40 % Pb, даже в присутствии активного флюса  $\text{ZnCl}_2\text{--NH}_4\text{Cl}$  [3]. По данным авторов работы [4] добавка в расплав припоя алюминия в количестве 0,001 % и 0,5 % сурьмы не изменяют смачивающих свойств припоя при пайке меди, латуни и стали. Совместное присутствие алюминия и цинка в количестве 0,003 % приводит к ухудшению смачивающих свойств припоя, а наличие в припое 0,04 % алюминия и 0,02 % фосфора снижает прочность паяных соединений.

*Железо.* Присутствие железа в расплаве припоя в количестве 0,1 % приводит к увеличению зернистости и вязкости припоя [3, 4], а также к хрупкости паяных швов. Совместное присутствие примесей железа и серы приводит к образованию соединения  $\text{FeS}_2$ , не растворимого в припое. Поэтому содержание железа в расплаве припоя в соответствии с международными стандартами должно быть снижено не менее чем на порядок.

*Цинк.* Он обладает относительно большим сродством к кислороду и повышает вязкость расплава припоев, отрицательно сказывается на смачиваемости припоями паяной поверхности деталей и уменьшает прочность паяных соединений [1, 3, 4]. Наличие цинка в расплаве припоя в количестве 0,05–0,1 % увеличивает скорость окисления припоя в 2 раза по сравнению с чистым сплавом.

*Висмут.* Присутствие висмута в расплаве припоя в количестве не более 1,0 % увеличивает растекание припоев и уменьшает время смачивания поверхности паяемых деталей [3, 4]. Особенно это заметно для меди. С увеличением содержания висмута до 5 % скорость смачивания меди возрастает пропорционально количеству вводимого в ванну висмута. Висмут не относят к вредным примесям, однако единой точки зрения на его допустимое количество

в припоях не существует. Рекомендуемое количество висмута в припое колеблется от 0,25 % до 2,0 %. При содержании висмута более 2,0 % увеличивается хрупкость паяных соединений и в них появляются микротрещины [1, 3]. Авторы работ [2, 3] рекомендуют считать верхним пределом содержание висмута в расплаве припоя в ванне 0,25 %. Это количество совпадает с требованиями стандарта США (таблица 1). В ГОСТе 21930, стандартах Германии и Великобритании допустимое содержание в припоях висмута ограничивается 0,1 %.

*Сурьма.* Введение в расплав оловянно-свинцовых припоев сурьмы в количестве 1–5 % благоприятно сказывается на смачивании поверхности меди припоями даже в отсутствии флюса [3]. Сурьма, введенная в припой в количестве до 6 %, значительно повышает прочность паяных соединений. Согласно стандарту Великобритании BS-219, содержание сурьмы в оловянно-свинцовых припоях допускается в пределах 0,2–0,5 % (таблица 1). Однако для пайки изделий электронной техники рекомендуется поддерживать содержание сурьмы на уровне 0,2 %, чтобы исключить переход олова при низких температурах из  $\beta$  в  $\alpha$ -модификацию и возникновения «оловянной чумы».

Для пайки изделий военного назначения стандартами США содержание сурьмы ограничивается в припоях 0,2 %. Аналогичные требования выдвигаются и в стандартах Франции. Японские стандарты содержат более жесткие ограничения по содержанию сурьмы в припоях для военных изделий (класс S) – не более 0,1 % [2]. Однако большинство исследователей считают, что допустимое количество сурьмы в оловянно-свинцовых припоях не должно превышать 0,5 %.

*Фосфор.* Имеются противоречивые данные по допустимому содержанию фосфора в припоях от 0,02 до 0,001 % [3, 4]. При содержании фосфора в оловянно-свинцовых припоях более 0,001 % на поверхности меди и нержавеющей стали припой скатывается в шарики [4]. Имеются сведения, что добавка фосфора в количестве 0,001–0,01 % в расплав припоя при температуре припоя 240–300 °C снижает окисляемость поверхности припоя, а по мере увеличения содержания фосфора в припое скорость окисления припоя возрастает [3]. Поэтому большинство авторов считают, что содержание фосфора в припоях не должно превышать 0,01 % [3, 10].

*Сера.* Допустимое количество серы в припоях не регламентировано ни одним национальным стандартом кроме ГОСТ 21930. Однако установлено [4], что содержание серы в оловянно-свинцовом припое в количестве 0,25 % приводит к несмачиванию поверхности меди, латуни, стали и к ухудшению внешнего вида паяемых соединений. Сера образует тугоплавкие сульфиды PbS и SnS, которые концентрируются на поверхности расплавленного припоя. Растворимость серы в свинце составляет 0,0001 %. Сера в припое, содержащем 60 % Sn и 40 % Pb, в количестве 0,0015 % приводит к увеличению зернистости и вязкости сплава. Присутствие серы в расплаве припоя в количестве более 0,001 % может стать причиной сульфидной коррозии. Согласно [3] содержание серы не должно превышать 0,02 %, а для пайки изделий электронной техники это количество рекомендуется уменьшить на порядок.

*Углерод.* В международных стандартах отсутствует информация по допустимому содержанию углерода в оловянно-свинцовых припоях. Известно, что при пайке высокотемпературными припоями повышенное содержание углерода (более 0,001 %) приводит к разбрызгиванию припоев при пайке, появлению пористости в швах, сажистых налетов на поверхности паяных соединений после затвердевания [3]. Загрязнение поверхности оловянно-свинцовых припоев углеродом в основном происходит в процессе переработки слитков на сортамент. Углерод не образует со свинцом и оловом соединений и не растворяется в них, поэтому в процессе обслуживания и пайки в ваннах он «всплывает» на поверхность припоя и загрязняет поверхность спаянных узлов. Из этого следует, что содержание углерода в припое по аналогии с высокотемпературными припоями не должно превышать 0,001 %.

В Республике Беларусь отсутствуют собственные месторождения оловянного сырья, поэтому основным источником олова являются его производственные отходы. К одному из видов таких отходов относится оловянно-свинцовая изгарь, которая по усредненному составу содержит около 67 % металлической составляющей, а также оксиды олова и свинца. Наиболее ценным компонентом таких отходов является олово, стоимость которого значительно превышает стоимость многих цветных металлов и составляет около 35 долларов США за 1 кг.



Анализ химического состава оловянно-свинцовой изгари показал, что в ее металлической части содержится около 42 % олова, примерно 24 % свинца и до 1,5 % меди [11]. Шлаковая составляющая изгари состоит из 18 % оксидов олова и 11 % оксидов свинца. На долю соединений никеля, кальция, висмута и кремния приходится до 5 %.

Результаты ситового анализа показали, что основная часть изгари (около 90 %) имеет размер частиц более 3 мм. Наиболее подходящей продукцией, которую можно получить из данной изгари, являются оловянно-свинцовые припои марок ПОС40, ПОС61 и ПОС61М. При этом следует учитывать, что наиболее универсальным является припой марки ПОС61, в котором содержание меди не должно превышать 0,05 %. В припое ПОС61М допускается 1,2–2,0 % меди, но он не пригоден для пайки «волной» [11].

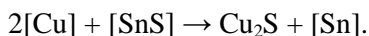
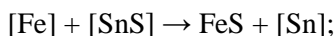
В результате первичной плавки изгари получен 50%-й выход оловянно-свинцового сплава. По результатам термограмм охлаждения данного сплава установлено, что он соответствует ПОС40 с температурой ликвидуса 236,6 °С и температурой солидуса 180 °С. Спектральный анализ подтвердил содержание в сплаве 40,03 % Sn; 59,26 % Pb; 0,2 % Cu; 0,31 % Fe; 0,11 % Sb; 0,04 % Ag; 0,05 % Bi.

Переплав различных партий изгари показал, что содержание основных компонентов и примесей в составе получаемого сплава колеблется в следующих пределах: 40,03–62,0 % Sn; 39,0–59,26 % Pb; 0,05–0,87 % Cu; 0,1–0,31 % Fe; 0,03–0,11 % Sb; 0,02–0,04 % Ag; 0,01–0,05 % Bi. В отдельных партиях присутствует до 0,1 % Ni; 0,01 % As; 0,05 % Ca; 0,12 % Si. Это свидетельствует о смешивании изгари с оловосодержащими отходами других производств (припоями, типографскими и антифрикционными сплавами) [11].

Одним из сдерживающих факторов более глубокой переработки изгари в качественные припои типа ПОС61 является загрязнение получаемого сплава медью (до 2 %), железом, никелем, сурьмой. Для его получения был апробирован способ очистки ПОС61М от примесей методом фильтрации. По данным авторов работы [12] фильтрация черного свинца при температурах 250–478 °С позволяет удалять железо на 95,9–99,3 % в зависимости от температуры фильтрации и исходного содержания железа в сплаве. Продукт первичной плавки изгари в виде слитка расплавляли в специальной

установке, выдерживали при пониженных температурах, близких к линии ликвидус и вплоть до эвтектического превращения (180 °С), что позволяло выделиться кристаллам интерметаллидов из расплава и осесть на поверхности керамического фильтра. Полученный состав фильтрата по содержанию меди, железа и сурьмы соответствовал ПОС61. Вместе с тем, необходимо отметить низкую производительность процесса и сложность его реализации.

Авторы работы [12] предлагают удалять железо и медь из черного олова с помощью серы. Растворимость SnS в олове возрастает с температурой и при 500 °С составляет около 1 % [5]. Сродство железа и меди к сере больше, чем у олова, поэтому протекают реакции [12]:



Твердые частицы Cu<sub>2</sub>S и FeS всплывают на поверхность металла, а замешивание измельченного древесного угля ускоряет этот процесс.

Анализ зависимости изобарных потенциалов образования разных сульфидов от температуры показывает, что с помощью серы из олова можно удалить Mn, Zn, Cd, Ni, Cu, Fe и Pb, но нельзя удалить Sb, Bi, As. Кривые для Cu<sub>2</sub>S и FeS пересекаются при температуре 450 °С. Поэтому при температурах ниже 500 °С железо удаляется раньше и полнее меди, а при более высоких температурах в первую очередь и с большей полнотой удаляется медь. Изобарный потенциал образования сульфидов свинца (PbS) приближается к аналогичному показателю FeS только при температурах ниже 50 °С, а с ростом температуры вероятность образования PbS снижается. Поэтому добавки серы можно использовать и для рафинирования оловянно-свинцового припоя при переработке изгари.

### **Выводы.**

1. Проведен анализ влияния примесей, присутствующих в оловянно-свинцовых припоях, на свойства припоя и качество паяных соединений. Показано, что допустимое содержание примесей зависит от области применения паяных соединений. Даны рекомен-

дации по снижению содержания ряда примесей в припое, содержащем 60 % олова и 40 % свинца.

2. Установлены значительные колебания по составу основных компонентов и примесей в слитках, полученных при переплаве оловянно-свинцовой изгари. Основной причиной повышенного содержания примесей является смешивание изгари с оловосодержащими отходами от других производств.

3. Показано, что низкотемпературная фильтрация расплава, полученного при переплаве изгари, позволяет перевести припой ПОС61М в ПОС61. Учитывая большое сродство серы к железу и меди, ее можно использовать для удаления указанных примесей из оловянно-свинцовых припоев.

### Список литературы

**1. Манко, Г.Г.** Пайка и припои. Материалы, конструкции, технологии и методы расчета / Г.Г. Манко. – М.: Машиностроение, 1968. – 323 с.

**2. Россошинский, А.А.** Олово в процессах пайки / А.А. Россошинский, Ю.К. Лапшов, Б.П. Яценко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 195 с.

**3. Отмахова, Н.Г.** Влияние примесей в припоях на качество паяных соединений / Н.Г. Отмахова // Электронная техника. Серия 6. Материалы. – 1989. – № 5. – С. 3–10.

**4. Ackroyd, M.L.** Effect of certain impurity elements on the wetting properties of 60 % tin – 40 % lead solders / M.L. Ackroyd, C.A. MacKay, C. J. Thwaites // Metals Technology. – 1975. – Vol. 2. – P. 73–85.

**5. Хансен, М.** Структуры двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко. – М.: Металлургия, 1962. – 1488 с.

**6. Дорохина, М.Н.** Изучение влияния примесей на стойкость оловянно-свинцовых припоев / М.Н. Дорохина // Труды ГИПРОЦМО. – 1970. – Вып. 31. – С. 28–37.

**7. Ronald, P.** Solder paste compositions and application techniques for PWB's. Pt 1. / P. Ronald, S. Anjard // Electri-Onics. – 1983. – Vol. 9. – P. 37–40.

**8. Лисицкий, Б.С.** Влияние легирующих добавок на свойства припоев на основе олова / Б.С. Лисицкий, В.П. Жиликов // Сварочное производство. – 1982. – № 5. – С. 20.

**9. Скорчелетти, В.В.** Теоретические основы коррозии металлов / В.В. Скорчелетти. – Л.: Химия, 1973. – 240 с.

**10. Davis, P.E.** The proper use of tin and tin alloys / P.E. Davis, E.F. Duffer // *Electronic Packaging and Production*. – 1975. – Vol. 15. – № 7. – P. 86–88.

**11. Комплексная** переработка оловянно-свинцовой изгари в припой и лигатуры / Б.М. Немененок [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2020. – № 1. – С. 93–98.

**12. Металлургия** олова / Н.Н. Марач [и др.]. – М.: Металлургиздат, 1964. – 360 с.

## References

**1. Manko, G.G.** *Payka i pripoi. Materialy, konstrukcii, tekhnologii i metody rascheta* [Soldering and solders. Materials, structures, technologies and calculation methods] / G.G. Manko. – Moscow: Mashinostroenie Publ., 1968. – 323 p.

**2. Rossoshinskij, A.A.** *Olovo v processah pajki* [Tin in soldering processes] / A.A. Rossoshinskij, YU.K. Lapshov, B.P. YAcenko. – Kiev: Naukova dumka Publ., 1985. – 195 p.

**3. Otmahova, N.G.** *Vliyanie primesej v pripoyah na kachestvo payanyh soedinenij* [Influence of impurities in solders on the quality of soldered joints] / N.G. Otmahova // *Elektronnaya tekhnika. Seria 6. Materialy = Electronic equipment. Series 6. Materials*. – 1989. – No. 5. – P. 3–10.

**4. Ackroyd, M.L.** Effect of certain impurity elements on the wetting properties of 60 % tin – 40 % lead solders / M.L. Ackroyd, C.A. Mackay, C.J. Thwaites // *Metals Technology*. – 1975. – Vol. 2. – P. 73–85.

**5. Khansen, M.** *Struktury dvojnnyh splavov* [Binary alloy structures] / M. Khansen, K. Anderko. – Moscow: Metallurgija Publ., 1962. – 1488 p.

**6. Dorokhina, M.N.** *Izuchenie vliyaniya primesej na stoykost' olovyanno-svintsovykh pripoev* [Study of the effect of impurities on the resistance of tin-lead solders] / M.N. Dorokhina. *Trudy GIPROTSMO = Proceedings of the State Research, Design and Engineering Institute of Alloys and Processing of Non-Ferrous Metals*. – 1970. – Vup. 31. – P. 28–37.

**7. Ronald, P.** Solder paste compositions and application techniques for PWB's. Pt 1. / P. Ronald, S. Anjard // *Electri-Onics*. – 1983. – Vol. 9. – P. 37–40.

**8. Licickij, B.S.** *Vliyanie legiruyushchih dobavok na svojstva pripoev na osnove olova* [Effect of Alloy Additives on the Properties of Tin-Based Solders] // B.S. Licickij, V.P. ZHilikov // *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production*. – 1982. – No. 5. – P. 20.

**9. Skorcheletti, V.V.** *Teoreticheskie osnovy korrozii metallov* [Theoretical Foundations of Metal Corrosion] / V.V. Skorcheletti. – Leningrad: Himiya Publ., 1973. – 240 p.

**10. Davis, P.E.** The proper use of tin and tin alloys / P.E. Davis, E.F. Duffer // *Electronic Packaging and Production*. – 1975. – Vol. 15. – № 7. – P. 86–88.

**11. Kompleksnaya pererabotka olovyanno-svincovoj izgari v pripoj i ligatury/** B.M. Nemenok [et al.] // *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. – 2020. – No. 1. – P. 93–98.

**12. Metallurgiya olova** [Tin metallurgy] / N.N. Marach [et al.]. – Moscow: Metallurgizdat Publ., 1964. – 360 p.

*Поступила 19.10.2021*

*Received 19.10.2021*