

## РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ И РЕЖИМОВ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПОРОШКОВ ПРИПОЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

© **Усков Игорь Васильевич**, канд. техн. наук (uskov59@mail.ru); **Горохов Юрий Васильевич**, д-р техн. наук, проф. (160949 @list.ru); **Губанов Иван Юрьевич**, канд. техн. наук (igubanov@sfu-kras.ru); **Губанова Марина Игоревна** (g-m-i@mail.ru); **Лесив Елена Михайловна**, канд. техн. наук (emlesiv@inbox.ru)

Сибирский федеральный университет. Россия, г. Красноярск

Статья поступила 12.10.2017 г.

Главным фактором, определяющим дисперсность распыления частиц металлического порошка, является энергия дутья, регулируют которую, как правило, скоростью подачи газа-энергоносителя на струю расплава.

Авторами проведено исследование технологических режимов и на основе компьютерного моделирования разработана технологическая оснастка для диспергирования порошков припойных алюминиевых сплавов. Рассмотрены технические и технологические особенности схемы получения порошков из алюминиевых сплавов, предназначенных для пайки волноводов. Проведено компьютерное исследование в пакете инженерного анализа Solidworks Flow Simulation влияния геометрии конструктивных элементов оснастки на параметры диспергирования расплава АК12Ц10. При этом было принято, что скорость струи газа (аргона) при температуре 20 °С в месте соударения с расплавом должна быть максимальной при прочих равных условиях (начальное давление, температура газа и расплава). Установлены зависимости, необходимые и достаточные для проектирования конструктивных элементов оборудования и технологических режимов, обеспечивающих реализацию условий стабильного протекания процесса диспергирования расплава металла при получении на лабораторной установке порошка заданной фракции – 70 мкм. Приведено описание установки для диспергирования расплава АК12Ц10, на которой была изготовлена опытная партия порошка массой 400 г фракции 70 мкм и передана предприятию АО «ИСС» им. акад. М.Ф.Решетнева для промышленных испытаний при пайке алюминиевых волноводов. Испытание пасты при пайке элементов волноводов в промышленных условиях показало положительные результаты.

**Ключевые слова:** устройства для диспергирования металлических порошков; компьютерное моделирование конструкции распыляющей оснастки; пайка волноводов; алюминиевые припойные порошки и пасты.

Анализ различных методов получения металлических порошков с высокой степенью дисперсности показал [1–4], что для получения порошкообразных припоев из расплава на основе алюминия крупностью менее 100 мкм наиболее приемлемым является способ диспергирования расплава потоком газообразного энергоносителя. Диспергирование высокотемпературного металлического расплава в газовой струе сопровождается высокой скоростью охлаждения металла, скачкообразным изменением свойств расплава, находящегося в метастабильном состоянии, что усложняет исследование процесса диспергирования. Из литературных источников [5–8] известно, что

главным фактором, определяющим дисперсность частиц металлического порошка, является энергия дутья, регулируемая, как правило, скоростью подачи газа-энергоносителя на струю расплава.

Цель настоящей работы – исследование технологических режимов и разработка на основе компьютерного моделирования технологической оснастки и режимов диспергирования порошков припойных алюминиевых сплавов.

В качестве объекта исследования процесса диспергирования алюминиевых припойных сплавов выбран припой АК12Ц10, положительно зарекомендовавший себя в качестве припоя для пайки проволочных элементов волноводов [9]. Состав этого сплава подбирался на основе рекомендаций специальной литературы [10–14]. Разработку эффективной конструкции устройства, обеспечивающего стабильное протекание процесса диспергирования с высокой производительностью, целесообразно провести на основе компьютерного моделирования, широко применяемого в области проектирования процессов обработки металлов. В работе проведено компьютерное исследование в пакете инженерного анализа Solidworks Flow Simulation [15] влияния геометрии конструктивных элементов оснастки на параметры диспергирования расплава АК12Ц10. При этом было принято, что скорость струи газа (аргона) при температуре  $T_r = 20\text{ }^\circ\text{C}$  в месте соударения с расплавом должна быть максимальной при прочих равных условиях (начальное давление, температура газа и расплава). Температура плавления припоя АК12Ц10 составляет  $556\text{ }^\circ\text{C}$  [16]. Геометрическая модель диспергатора представлена на рис. 1.

Форма узла диспергирования и результаты численного моделирования представлены на рис. 2.

В технической и патентной литературе приведены устройства [2] для получения металлических порошков распылением пленки расплава внешним кольцевым потоком сжатого газа, поступающего через форсунку, в выходной части ниппеля которой для повышения дисперсности получаемого порошка (пульверизата) выполнены щелевидные пазы для дополнительного ввода сжатого газа в зону распыления пленки расплава. Поступающие через щелевидные пазы струи газа внедряются в пленку расплава и создают в ней возмущения, способствующие образованию мелкодисперсных капель в факеле распыла. Известна также форсунка для распыления расплавов металлов, в которой для повышения дисперсности получаемых порошков на движущуюся пленку жидкого металла накладываются возмущающие ее звуковые колебания, генерируемые спрофилированными определенным образом каналами для подачи распыляющего газа.

Основные недостатки этих конструкций – отсутствие возможности регулирования давления газа, подаваемого в факел распыла, и необходимость их охлаждения в рабочем режиме.

Из анализа результатов моделирования (см. рис. 2) следует, что максимальная скорость при давлении энергоносителя  $p = 800$  кПа была достигнута в конструкциях КД-3 и КД-5. При этом конструкция узла диспергирования КД-5 обеспечивает высокую скорость потока газа (не менее 250 мм/с) при давлении  $p = 400$  кПа, поэтому она принята за основу при разработке диспергирующего лабораторного устройства, схема и внешний вид которого приведены на рис. 3.

Устройство состоит из патрубка газопровода 1 для подачи сжатого газа в корпус 2, ниппеля 3 с центральным каналом для подачи расплава через отверстие золотника 4 в регулируемый зазор между наружным конусом золотника и кольцеобразным соплом 5 с полукруглыми выступами, равномерно расположенными по его окружности. Через газопровод 1 в полость корпуса 2 подается сжатый газ (азот с контролируемым содержанием кислорода). Из полости корпуса газ истекает в регулируемый зазор между наружным конусом золотника 4 и кольцеобразным соплом 5 с полукруглыми выступами 6, равномерно расположенными по его окружности, высота которых регулируется с помощью пружин 7. Скорость струи газа, выходящей из кольцевого сопла, регулируется путем изменения положения золотника 4 относительно сопла 5. Осевое перемещение золотника определяет величину площади поперечного сечения зазора между наружной поверхностью золотника и внутренней поверхностью сопла, при этом скорость струи газа в зазоре пропорциональна этому изменению.

Эксперименты, проведенные по диспергированию расплава АК12Ц10, подтвердили результаты компьютерного моделирования. Процесс диспергирования протекал устойчиво, с постоянной скоростью.

Реологическое строение полученных с применением этих режимов порошков различных фракционных диапазонов приведены на рис. 4.

При величине зазора между фланцем и волноводной трубой 70...150 мкм (рис. 5) для изготовления припойной пасты необходим порошок крупностью +40...100 мкм. На разработанной авторами установке по заданию предприятия АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф.Решетнева (ИСС, Москва) получено 400 г порошка АК12Ц10 крупностью 70 мкм для дальнейших исследований при пайке элементов волноводов в промышленных условиях.

Паста на основе этого порошка испытана при пайке образцов в муфельной печи при температуре 590 °С в течение 8 мин. На рис. 6 представлена микрофотография

паяного соединения, полученного по этому режиму, которая подтверждает его высокое качество.

**Заключение.** На основе компьютерных исследований разработано лабораторное устройство для диспергирования металлического расплава потоком газообразного энергоносителя. С использованием этого устройства получена опытная партия припойного порошка АК12Ц10. Изучение реологического строения и дисперсионного распределения полученного порошкового припойного сплава показало удовлетворительную сходимость результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными.

По заданию предприятия АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф.Решетнева (ИСС, Москва) получено 400 г порошка марки АК12Ц10 крупностью 70 мкм. Испытание пасты при пайке элементов волноводов в промышленных условиях дало положительные результаты, полностью удовлетворяющие требованиям заказчика.

### **Библиографический список**

1. **Смирнов Г.Н.** Прогрессивные способы пайки алюминия. М., Металлургия, 1981 г., 240 с.
2. **Балашов В. М., Семенова Е.Г., Трефилов Н.А.** Технология производства антенн и устройств СВЧ. М. : Мир книги, 1992. 189 с.
3. **Сторчай Е.И.** Флюсовая пайка алюминия. М. : Металлургия, 1980. 124 с.
4. **Никитинский Н.Н.** Пайка алюминиевых сплавов. М., Машиностроение, 1983 г., 192 с.
5. **Балашов В.М., Семенова Е.Г., Цзюнь Лю Чжао.** Ресурсосберегающие технологии высокотемпературной пайки сложнопрофильных антенных конструкций в электропечах: Матер IV Всерос. конф. «Радиолокация и радиосвязь» (ИРЭ РАН. 29 ноября –3 декабря 2010). С. 826–839.
6. **Балашов В.М., Жук А.В.** Технология высокотемпературной пайки волноводных щелевых антенн в расплаве солей. СПб : ГЭТУ (ЛЭТИ), 2006. 62 с.
7. **Балашов В.М., Каплунов А.А., Макарова Н.П., Пашков И.Н.** Порошковые припои для ресурсосберегающих технологий высокотемпературной пайки сложнопрофильных волноводных конструкций // Вопросы радиоэлектроники, сер. Общетеchnическая. 2009. Вып. 3. С. 89–98.
8. **Балашов В.М., Каплунов А.А., Макарова Н.П., Пашков И.Н.** Высокотемпературные припойные пасты для пайки сложнопрофильных волноводных конструкций // Вопросы радиоэлектроники, сер. Общетеchnическая. 2009. Вып. 3. С. 98–107.

9. **Горохов Ю.В., Беляев С.В., Усков И.В. и др.** Применение процесса совмещенного литья-прессования при изготовлении алюминиевой проволоки для пайки волноводов // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2016. № 6. С. 65–70.
10. **Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В.** Промышленные цветные металлы и сплавы. М. : Металлургия, 1974. 448 с.
11. **Мальцев М.В.** Металлография цветных металлов и сплавов. М. : Металлургия, 1970. 368 с.
12. **Гуляев Б.Б., Петров С.М., Петрова С.Г., Абрамова А.А.** Синтез высокопрочных силуминов. Л. : ЛГУ, 1978. 30 с.
13. **Гуляев Б.Б., Сенченко В.Т.** Свойства расплавленных металлов. М. : Наука, 1974. С. 125–131.
14. Диаграммы состояния металлических систем (сборники ВИНТИ) / Под. ред. Н.В.Агеева. М. : ГКНТ АН СССР, 1955–1980. 7000 с.
15. **Алямовский А.А.** Solid Works Simulation. Как решать практические задачи. СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 445 с.
16. **ТУ 1-30857–2015.** ПАСВИСС (припойный алюминиевый сплав, выпускаемый ИСС), АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф.Решетнева (ИСС, Москва).

Development tooling and a mode dispersion of the powder solder aluminum alloys

© **Uskov I.V., Gorokhov Yu.V., Gubanov I.Yu., Gubanova M.I., Lesiv E.M.**

It is known that the main factor that determines the dispersity of atomization of particles of a metal powder is the blast energy, which is regulated, as a rule, by the speed of supply of the gas-energy carrier to the jet of the melt.

The purpose of this work was to study technological regimes and the development on the basis of computer simulation of technological equipment for dispersing powders of soldering aluminum alloys. For its achievement, technical and technological features of the scheme for obtaining powders from aluminum alloys intended for soldering waveguides are considered. A computer study was carried out in the package of the engineering analysis of Solidworks Flow Simulation of the influence of the geometry of the structural components of the tooling on the parameters of the melt dispersion AK12C10. It was assumed that the velocity of the gas jet - argon at a temperature  $T_2 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  at the site of collision with the melt should be maximum with all other conditions being equal (initial pressure, temperature of the gas and melt). Dependencies necessary and sufficient for the design of structural elements of equipment and technological regimes providing the realization of conditions for the stable flow of the process of metal melt dispersion when obtaining a predetermined value of the powder fraction of  $70\text{ }\mu\text{m}$  are established. on a laboratory installation. A description is given of a laboratory apparatus for dispersing a melt of AK12C10, on which a pilot batch of a  $70\text{ }\mu\text{m}$  powder with a mass of 400 g was produced and transferred to the JSC “ISS” them. acad. M.F. Reshetnev for industrial tests

when soldering aluminum waveguides. Testing paste for soldering waveguide elements in industrial conditions showed positive results.

**Keywords:** Devices for dispersing metal powders; computer simulation of the design of spraying equipment; soldering of waveguides; aluminum solder powders and pastes.

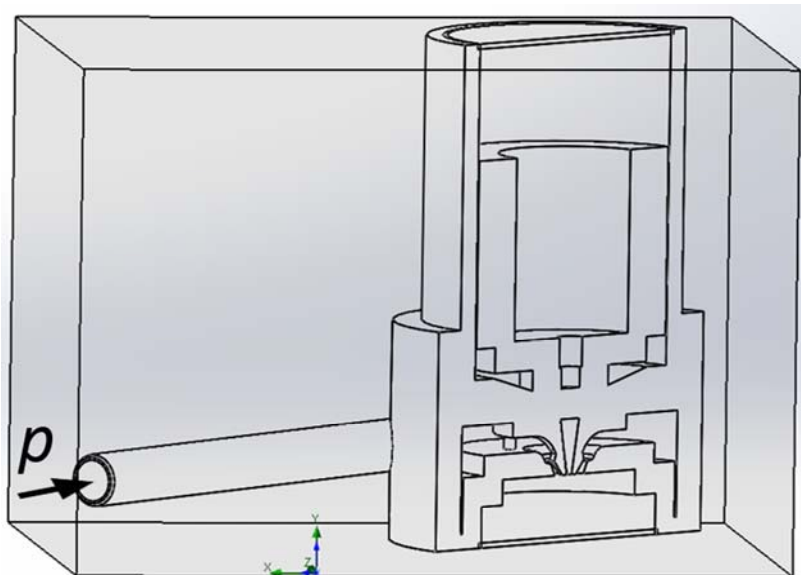


Рис. 1. Геометрическая модель диспергатора

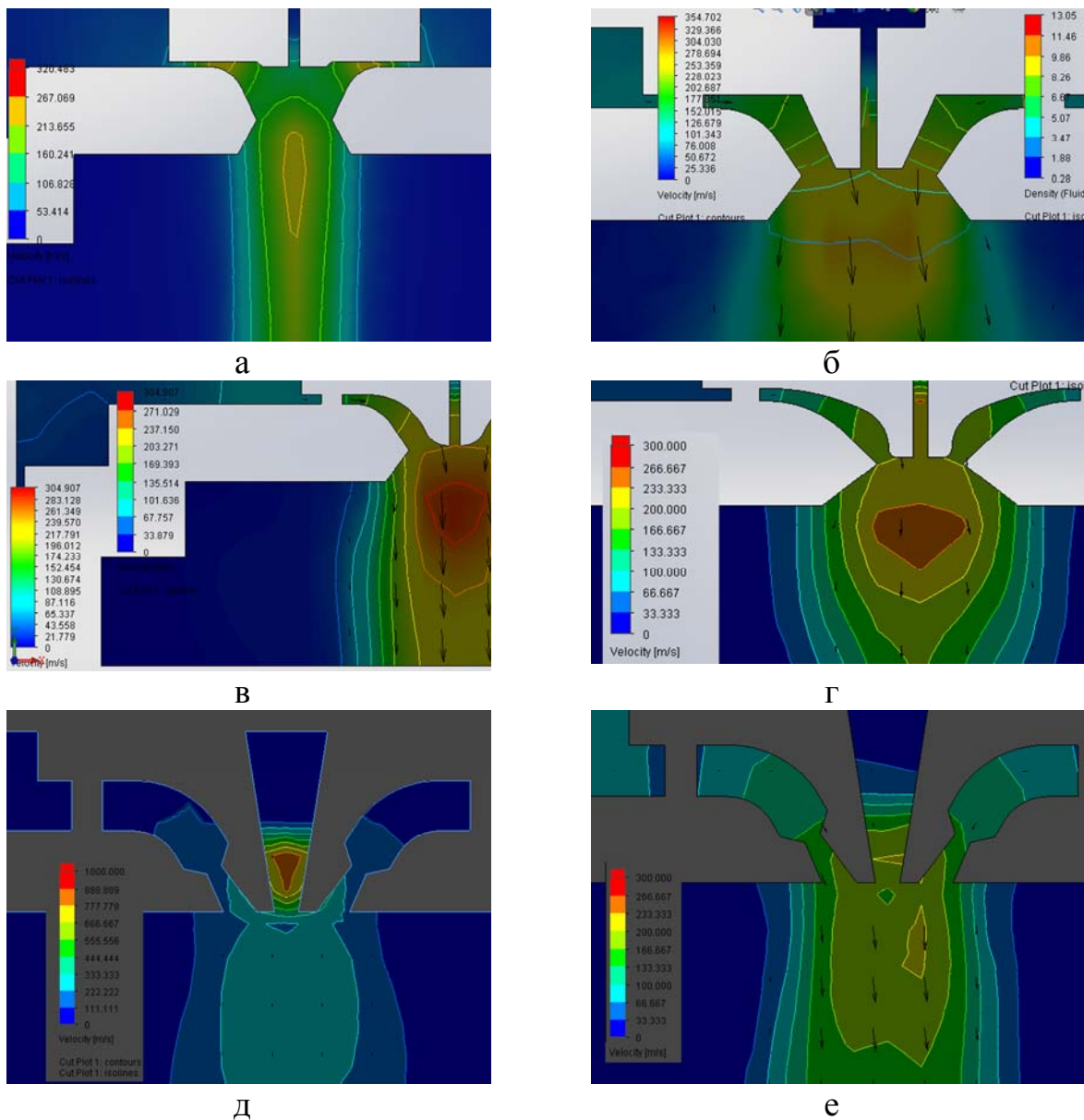


Рис. 2. Распределение поля скоростей и плотности потока по результатам компьютерного моделирования в Solidworks Flow Simulation в зависимости от конструкции узла диспергирования (КД) и давления энергоносителя: а – КД-1,  $p = 800$  кПа; б – КД-2,  $p = 800$  кПа; в – КД-3,  $p = 800$  кПа; г – КД-4,  $p = 800$  кПа; д – КД-5,  $p = 800$  кПа ; е – КД-5,  $p = 400$  кПа

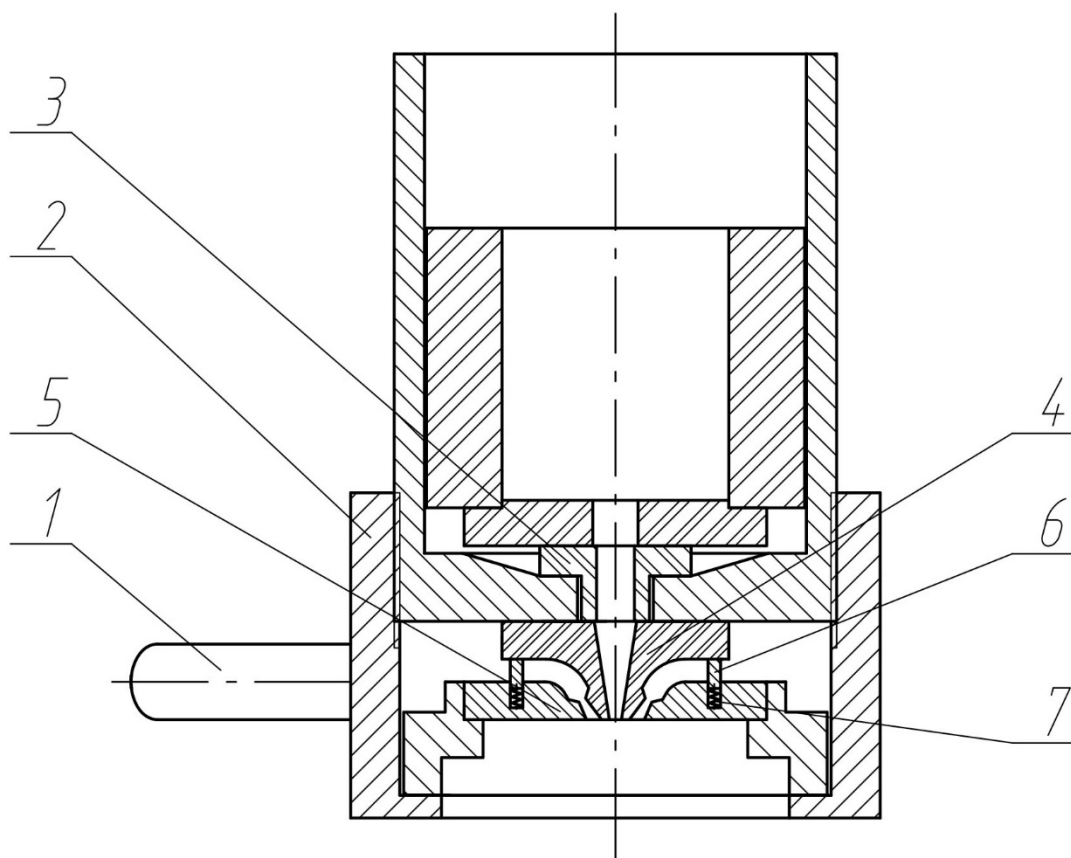
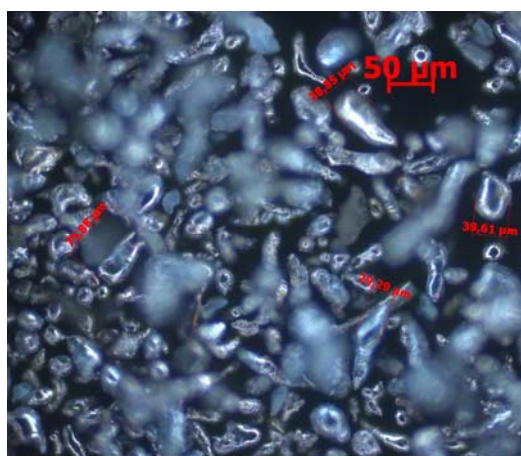
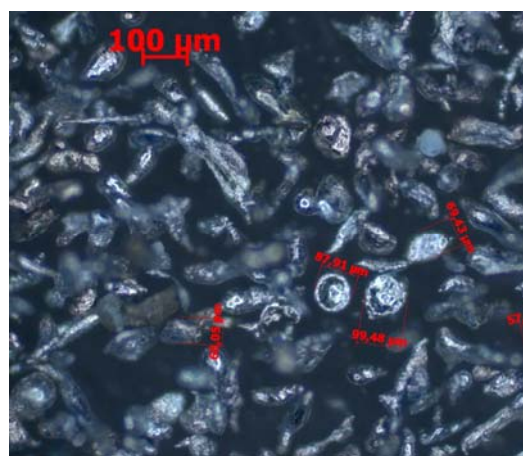


Рис. 3. Диспергатор в разрезе: 1 – газопровод; 2 – корпус; 3 – ниппель; 4 – золотник; 5 – сопло; 6 – полукруглые выступы; 7 – пружины



а



б

Рис. 4. Реологическое строение порошков фракционных составов в диапазонах: а – – 40 мкм; б – +40...71 мкм



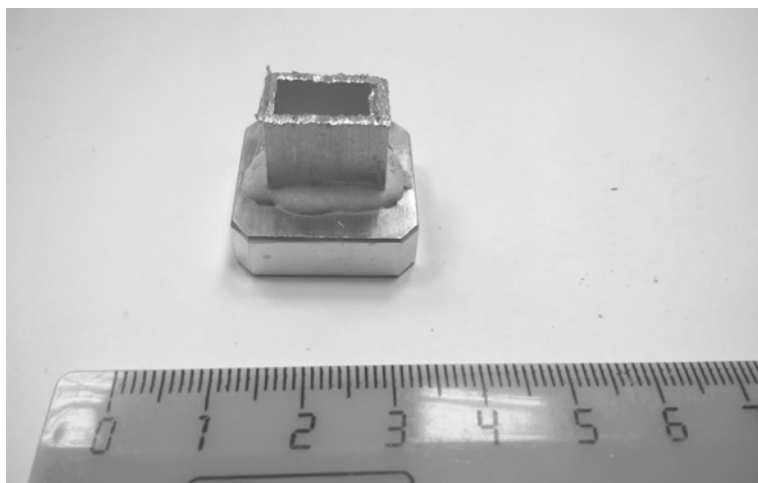


Рис. 5. Внешний вид образца, подготовленного для пайки

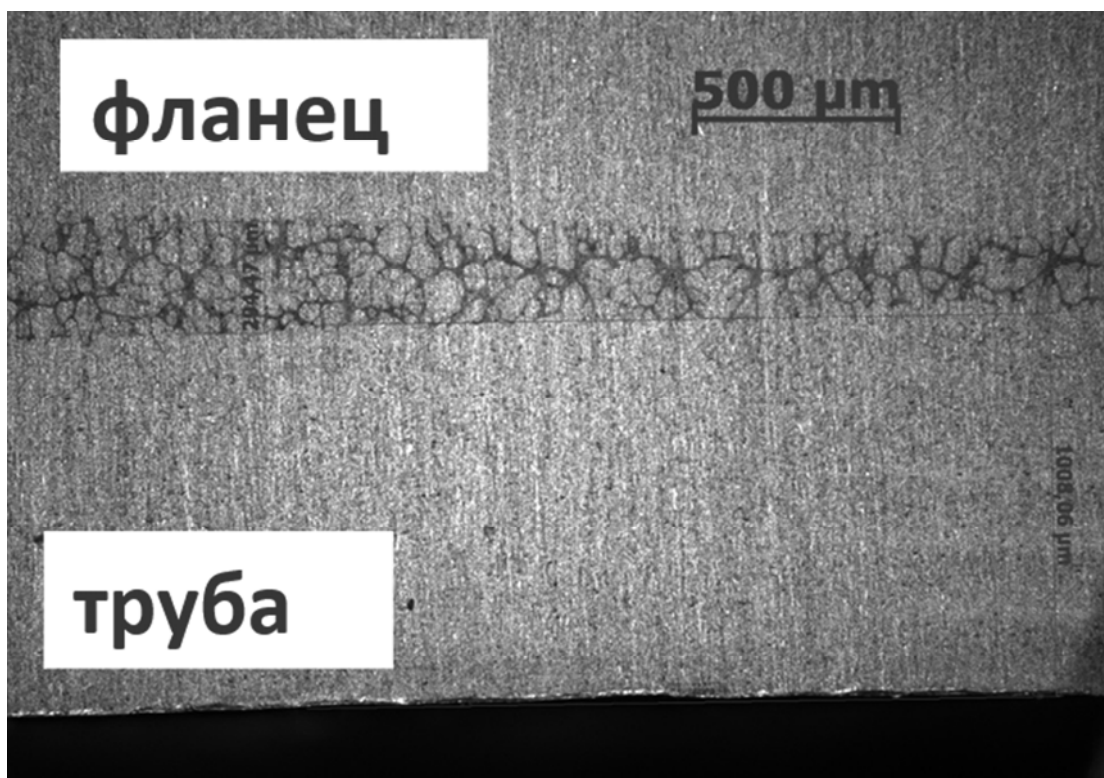


Рис. 6. Микрофотография паяного соединения