

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОРПУСОВ МИКРОСБОРОК ИЗ СПЛАВОВ
ГРУППЫ АМГ УПРАВЛЕНИЕМ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ В ИХ
МАТЕРИАЛЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

П.А. Головкин, к.т.н.

АО «Плутон», 105120, Россия, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д.11.

p.golovkin@pluton.msk.ru; тел.: (495) 730-36-19

**IMPROVEMENTING THE QUALITY OF AlMg-Group MICROBORODS BY
CONTROLLING THE QUANTITATIVE CONTAINMENT OF INTERMETALLIC
CONNECTIONS IN THEIR MATERIAL**

P. A. Golovkin, Ph.D. in Engineering Science

Pluton JSC, 11 Nizhnij Syromyatnicheskaya St., Moscow, 105120, Russia.

p.golovkin@pluton.msk.ru; tel.: (495) 730-36-19

Аннотация

Рассматриваются причины нарушения вакуумной плотности материала и разрушения наносимого на поверхность корпусов микросборок из алюминиево-магниевых сплавов покрытия. Показано, что разрушение основного материала и наносимого покрытия часто связано с повышенным содержанием и строчечным расположением характерных для сплавов группы АМг интерметаллидных фаз. Для оценки качества материала предлагается использовать численный критерий – количественное содержание интерметаллидных фаз (КСИФ).

Ключевые слова: микросборки, алюминиевый сплав, материал, интерметаллидные фазы, плита, пруток, ковка, вакуумная плотность.

Abstract

The reasons for the violation of the vacuum density of the material and the destruction of the coating applied to the surface of the housings of microassemblies made of aluminum-magnesium alloys are considered. It is shown that the destruction of the base material and the applied coating is often associated with an increased content and line arrangement of intermetallic phases characteristic of alloys of the AlMg group. To assess the quality of the material, it is proposed to use a numerical criterion - the quantitative content of intermetallic phases (QCOIP).

Key words: microassemblies, aluminium alloy, material, intermetallic phases, slab, bar, forging, vacuum density.

Введение

Микросборки изделий микроминиатюризации (микросборки) являются ответственными приборами, входящими в системы управления различных изделий авиационного, космического и морского назначения, от их исправности напрямую зависит правильное функционирование последних. Внешний вид типовых микросборок представлен на рисунке 1. Ресурс микросборок, в зависимости от назначения и условий эксплуатации, должен составлять от 15000 до 130000 часов, сохраняемость в составе изделия – не менее 15 лет [1]. Столь высокие показатели могут быть обеспечены только при сохранении вакуумной плотности микросборок, для чего натекание атмосферных газов в их рабочую зону, не должно превышать 5×10^{-4} л×мкм.рт.ст./с. [1].

Хотя действующие нормативные документы [1] прямо указывают на то, что в процессе производства микросборок основными условиями обеспечения их качества являются строгое соблюдение технологической дисциплины и применение качественных материалов, одних только этих мер не достаточно. Одна из причин этого кроется в том, что действующие нормативные документы не учитывают в нужной мере требования, предъявляемые к электровакуумным приборам, разновидностью которых являются микросборки. В частности, нет документов, описывающих такие требования применительно к сплавам группы АМг, обычно применяемым для изготовления корпусов микросборок. Поэтому одного лишь проведения входного контроля материалов и покупных изделий в соответствии с действующей процедурой [2], как это предусмотрено [1], не достаточно. И даже проведение 100 % отбраковочных испытаний [1] на герметичность [3, 4] не позволяет полностью исключить попадание заказчику продукции со скрытыми дефектами материала и корпусных деталей, потенциально опасных с позиции сохранения вакуумной плотности приборов.

Некоторые исследователи [5] предлагают решить проблему надёжности [6] микросборок, закладывая в их конструкцию направленные на повышение их конструктивной прочности решения, но не учитывают при этом анизотропность и повреждаемость используемых материалов. Поскольку входной контроль применяемых материалов также не может обеспечить полной гарантии вакуумной плотности корпусных деталей микросборок, следует принимать усилия для её технологического обеспечения. В частности, этой цели можно добиться применением дополнительной деформационной проработки приобретаемых материалов, изменяющей их структуру таким образом, чтобы исключить натекание приборов в период их гарантийного срока хранения и эксплуатации [7], и тем обеспечив их необходимую надёжность.

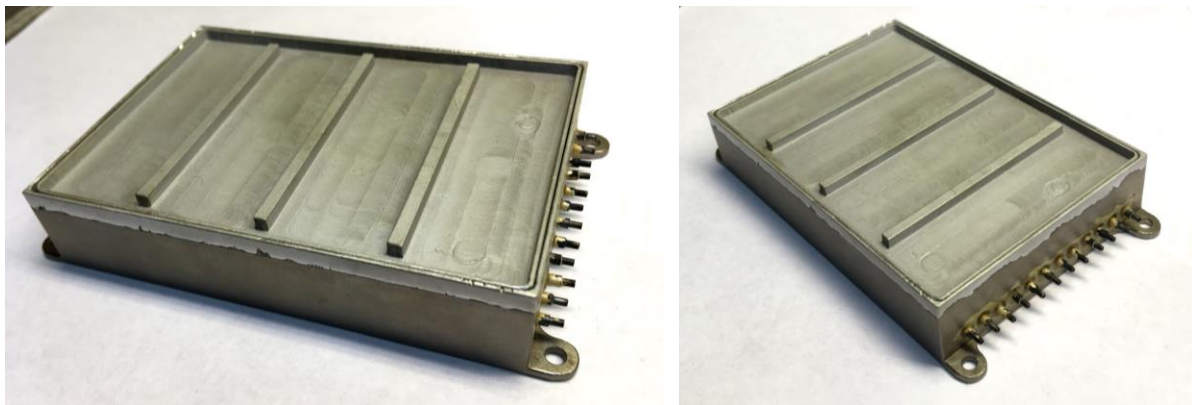


Рисунок 1. Внешний вид типовых корпусов микросборок после пайки-сборки

Для изготовления корпусов микросборок обычно применяются горячекатанные плиты [8, 9] и пресованные прутки [10] из сплавов АМг6 и АМг61, для изготовления крышек корпусов микросборок – более технологичный при прокатке сплав АМг5 [11]. Необходимо обратить внимание на структуру и свойства этих исходных материалов. Так, частой причиной выхода из строя микросборок, является повышенное количественное содержание и строчечное распределение в материале их корпусных деталей интерметаллических фаз [7], среди которых следует особо выделить Mg_2Al_3 и Mg_5Al_8 [12]. Эти фазы образуются основными компонентами сплава, а потому их формирование слабо связано с химической чистотой металлического материала.

Литература раскрывает негативное влияние повышенного содержания интерметаллидных фаз на сопротивляемость разрушению горячекатанных плит и пресованных прутков из алюминиевых сплавов, в особенности при их строчечном распределении в металлическом материале [13]. Доступные источники отличаются глубокой проработкой и учитывают, в том числе, направленность расположения интерметаллических соединений. Для количественной оценки влияния этих факторов на свойства материала разработанные специальные программные продукты [14].

Опыт обработки алюминиево-магниевых сплавов группы АМг [15, 16] показывает, что для оценки их сопротивляемости разрушающим факторам, достаточно применения такого критерия, как количественное содержание интерметаллических фаз – КСИФ [7]. Этот показатель резко возрастает в местах локализованных сдвиговых деформаций, и в условиях многократно повторяющейся однонаправленной деформации, где преобладает её межзёренно-рекристаллизационный механизм [15, 16], что характерно для различных исходных полуфабрикатов – плит, листов, прутков, поковок.

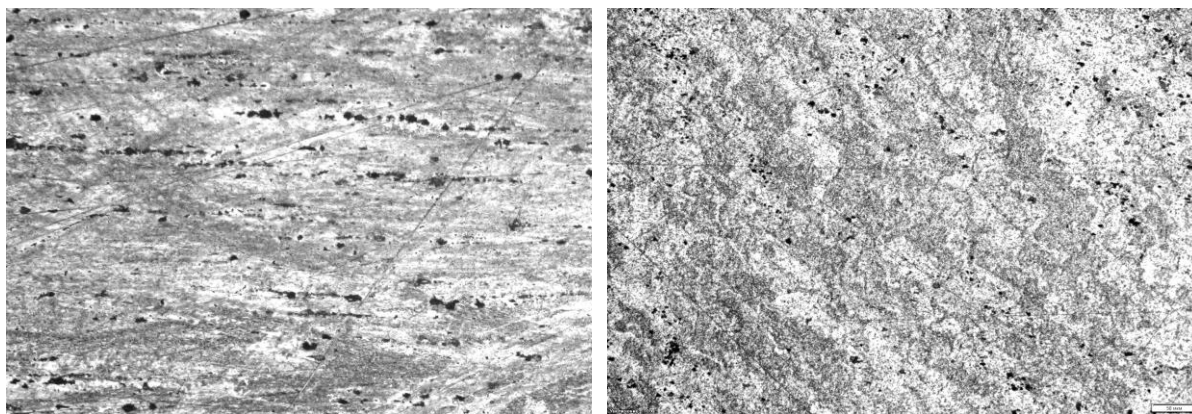


Рисунок 2. Строчечное и равномерное распределение интерметаллических фаз в структуре материала горячекатаной плиты (слева) и поковки (справа) из сплава АМгб с различным КСИФ, 200[×]

Примеры характерного для материала горячекатаных плит, строчечного распределения интерметаллических фаз, и достигнутого путём сложнойковки их ненаправленного распределения, приведены на рисунке 2. Видно, что количество и направленность интерметаллических соединений в металлическом материале изменяются неотрывно друг от друга. Эта общая зависимость даёт основания к принятию такого приближения, как отказ от показателя ориентации интерметаллических включений в материале заготовки [17]. Ограничившись выявлением влияния величины накопленной деформации при той или иной температуре на КСИФ материала, можно существенно упростить оценку качества материала полуфабрикатов и поковок, заготовок. Такое феноменологически оправданное решение одновременно делает оценку качества материалов из сплавов группы АМг более универсальной и позволяет использовать классические инженерные решения для проведения необходимых металлографических исследований [18].

Следует отметить известную связь между процессами поро- и трещинообразования. А именно: при встрече интерметаллического включения, микротрещины затупляются и превращаются в микропоры [19], которые и заполняются вновь образующимися в материале фазами, усугубляя процесс разрушения. Принятие такого приближения, как равенство величины разрыхления и КСИФ в материале поковок из сплавов группы АМг, позволяет проводить не только оценку вакуумной плотности материала деталей, но и прогнозирование качества нанесения технологических и специальных неорганических покрытий, а также паяемости.

Одним из требований к корпусам микросборок является то, что их наружные металлические поверхности должны быть коррозионностойкими в соответствующих условиях на весь гарантируемый период [1], и проведение ковочных операций существенно облегчает достижение этого условия. Опыт показывает [7], что равномерно деформированный металлический материал отличается минимальным энергетическим контрастом на поверхности получаемых из него деталей, и достигаемое распределение сил Ван-дер-Ваальса [20] препятствует повреждению и разрушению наносимых на них покрытий. В то же время, действующие нормативные документы [21] совершенно не учитывают последнее обстоятельство, не разделяя применяемые материалы по способу их изготовления и не предполагая проведение их термической обработки для стабилизации характеристик нанесения покрытий и паяемости.

С учётом напряжений растяжения, формируемых на поверхности деталей после нанесения на них покрытий и проведения операций лужения и пайки-сборки, такая практика часто приводит к разрушению материала корпусных деталей и потере вакуумной плотности готовых приборов уже в процессе их хранения и эксплуатации. Пример разрушения крышки микросборки из сплава АМг5 после нанесения на неё химического никеля ХН 6...9 [22] приведён на рисунке 3. Структура материала разрушенной детали в этом случае характерна для горячекатаных листов и плит, и отличается строчечным расположением и большим количеством интерметаллических частиц, как это было ранее показано на рисунке 2.

Помимо угрозы физического разрушения и нарушения вакуумной плотности корпусных деталей микросборок, повышенное содержание и неравномерное распределение в их материале интерметаллических фаз является одной из причин повреждения наносимого перед проведением пайки-сборки покрытия. Зарождаясь на поверхностях раздела отличающихся повышенной электроотрицательностью цепочек интерметаллидов [23] и матрицы основного металлического материала, их электрохимическое взаимодействие быстро приводит к вспучиванию и полному разрушению наносимого покрытия. То есть, такой материал и наносимые на него покрытия отличаются пониженной коррозионной стойкостью [12]. Вид цепочек интерметаллических фаз на фоне рисок от фрезерования корпуса микросборки и дальнейшее вспучивание на нём покрытия ХН6, представлены на рисунке 4.

Это значит, что применяемые технологические решения должны заведомо обеспечить вакуумную плотность корпусов микросборок и сопротивляемость материала их деталей и наносимых покрытий воздействию вредных факторов.



Рисунок 3. Разрушение крышки микросборки после нанесения на заготовку из сплава АМг5 покрытия ХН 6...9. Увеличение 10, 16, 40[×]

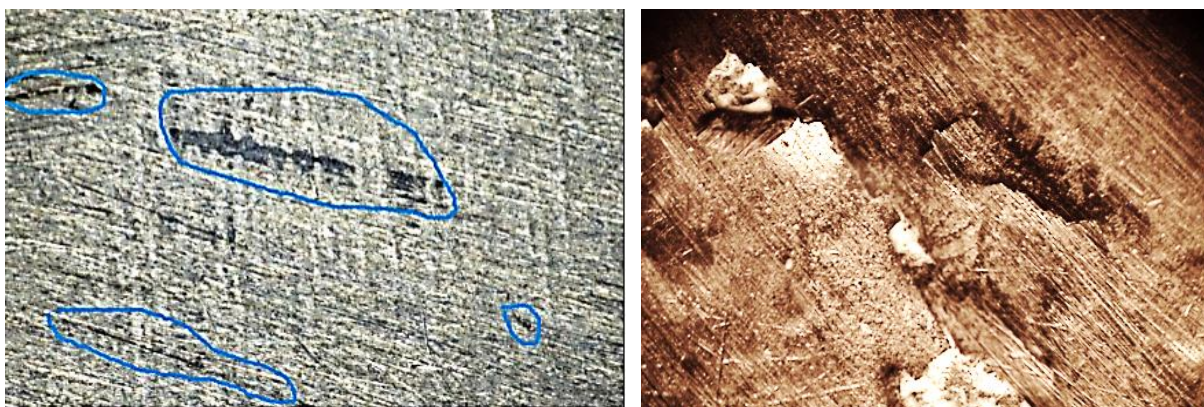


Рисунок 4. Цепочки интерметаллических фаз на фоне рисок от фрезерования корпуса (слева, 200[×]) и дальнейшее вспучивание покрытия ХН6 (справа, 100[×]).

Так вызревает обоснование применения его дополнительной деформационной обработки для стабилизации характеристик при нанесении покрытий на корпусные детали. Получение заготовок корпусов микросборок путём сложнойковки [24] при пониженных относительно рекомендуемых [25] температурах, опробовано и не представляет сложной задачи. В то же время, получение крышек корпусов, отличающихся значительным отношением их размеров в плане к собственной толщине, может быть затруднено. А именно:ковка заготовок с такой геометрией приводит к повышенным нагрузкам на молот и неравномерности протекающих в заготовке процессов. Поэтому заготовки крышек корпусов микросборок целесообразно получать из поковок обычной для корпусов микросборок конфигурации с использованием электроэрозионного, либо механического оборудования. Несмотря на некоторый рост трудоёмкости, с учётом степени ответственности готовых изделий микроминиатюризации, такое технологическое решение представляется оправданным.

Установлено, что для получения качественных поковок, которые могут быть использованы для изготовления деталей корпусов микросборок, целесообразен нагрев заготовок до температуры не более 320 °С. Тогда характерная температура материала поковок составляет 370...400 °С. Столь узкий интервал позволяет рассматривать зависимость твёрдости материала от КСИФ как функцию одной переменной, а именно, величины накопленной деформации, приняв температуру материалаковки за константу. В этом случае, при соблюдении стандартных рекомендаций дляковки алюминивно-магниевых сплавов, КСИФ не превышает критического с позиции обеспечения вакуумной плотности материала и уровня его технологичности при нанесении покрытий перед лужением и пайкой-сборкой, уровня.

Выводы:

1. Использование для изготовления деталей корпусов микросборок заготовок из горячекатаных плит и пресованных прутков без применения дополнительной деформационной проработки их материала ввиду повышенного содержания и направленного расположения в нём интерметаллических фаз приводит к нарушению вакуумной прочности и выходу из строя готовых изделий микроминиатюризации.

2. Повышенное содержание в материале корпусных деталей микросборок интерметаллических фаз ввиду их повышенной электроотрицательности относительно основной матрицы твёрдого раствора, приводит к возникновению электрохимического взаимодействия между их составляющими, приводящего, в том числе, к ускоренному разрушению наносимого на поверхность деталей перед лужением и пайкой-сборкой, технологических и специальных неорганических покрытий.

3. Стандартные методики проверки применяемых для изготовления корпусных деталей микросборок материалов, а также контроля и испытаний готовых корпусов микросборок не позволяют с достаточной степенью надёжности обеспечить их разбраковку по показателям падения вакуумной плотности и стойкости наносимых неорганических покрытий.

4. Применение дополнительной деформационной проработки материала заготовок из алюминиевых сплавов группы АМг позволяет эффективно управлять в нём количественным содержанием интерметаллических фаз – КСИФ, показателем, напрямую влияющим на характеристики вакуумной плотности материала корпусных деталей микросборок и стойкости к разрушению наносимых на них перед лужением и пайкой – сборкой, технологических и специальных неорганических покрытий.

5. Установлено, что КСИФ резко возрастает в местах локализованных сдвиговых деформаций и в условиях многократно повторяющейся деформации, способствующих преобладанию её межзёренно-рекристаллизационного механизма. Это характерно для различных исходных полуфабрикатов – плит, листов, прутков, поковок, а значит, учёт одного лишь показателя КСИФ, без учёта их направленности интерметаллических фаз, позволяет производить корректную оценку качества металлического материала.

6. Качественная вакуумно плотная структура материала деталей из алюминий-магниевого сплава группы АМг может быть получена с применением исходных заготовок с нагрева до температуры не более 320 °С. В этом случае температура материала поковок не выходит за пределы 370...400 °С, и такой малый её разброс ограничивает негативное проявление межзёренной локализованной деформации. Материал таких поковок отличается ненаправленной структурой с пониженным показателем КСИФ, хорошо соответствующей требованиям вакуумной плотности, коррозионной стойкости и сопротивляемости разрушению наносимых покрытий.

Литература:

1. ОСТ 92-4950-84 / Микросборки. Общие технические требования / –М.: ОНТИ, 1985. -26 с., изм.
2. ГОСТ 24297-2013 / Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля / –М.: Стандартиформ, 2019. -15 с.; изм.
3. ОСТ 92-4316-90 / Изделия отрасли. Порядок выбора методов контроля герметичности / –М.: ОНТИ, 1992. -56 с., изм.
4. ОСТ 92-9555-82 / Электрорадиоэлементы и блоки герметизированные. Методы испытания на герметичность / –М.: ОНТИ, 1982. -54 с., изм.
5. О.Ш. Хади, А.Н. Литвинов / Моделирование напряженно-деформированного состояния корпусов микросборок в процессе их изготовления и эксплуатации. Динамика и прочность (глава 1). Избранные тр. Всеросс. научн. конф. по проблемам науки и технологий / –М.: РАН, 2013. -С. 3...26.
6. ГОСТ 27.002-2015 / Надёжность в технике. Термины и определения / –М.: Стандартиформ, 2016. -28 с.
7. Головкин П.А. / Повышение качества корпусов микросборок электронных СВЧ- приборов с использованием ковочных операций / –М.: Технология машиностроения, 2020, № 9, с. 5...7.

8. ГОСТ 17232-99 Плиты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия / –М.: Издательство стандартов, 2000. -12 с.

9. ГОСТ 56370-15 Плиты из алюминиевых сплавов для судостроения. Технические условия / –М.: Издательство стандартов, 2015. -10 с.

10. ГОСТ 21488-97 Прутки прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия / –М.: Издательство стандартов, 2001. -22 с.

11. ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки / –М.: Издательство стандартов, 2001. -12 с.; изм.

12. Петров А.П. Головкин П.А. Перспективные технологии лёгких и специальных сплавов / К 100-летию со дня рождения акад. А.Ф. Белова / Режимы горячей деформации и технологичность сплавов систем Al-Mg и Al-Mg-Sc / –М.: Физматлит, 2006; 432 с.; -С 213...221.

13. Телешов В.В., Чурюмов А.Ю. / Анализ влияния характеристик двухфазной матричной структуры на вязкость разрушения деформируемых алюминиевых сплавов / –М.: Технология лёгких сплавов, 2012, № 2, с. 22...40.

14. Телешов В.В., Чурюмов А.Ю. / Компьютерное моделирование двухфазной матричной структуры для прогнозирования её влияния на вязкость разрушения алюминиевых сплавов / –М.: Заводская лаборатория. Диагностика металлов. 2013. – Т.79, № 5. -С. 31...34.

15. Управление деформированной структурой алюминиево-магниевых сплавов [Текст] / П.А. Головкин / Технология металлов. - 2005. - N 11. -С. 10-16.

16. Галкин В.И., Головкин П.А. / О влиянии механизмов деформации на структуру и свойства металлического материала / –М.: Упрочняющие технологии и покрытия, № 5, 2021, с. 207...214.

17. Головкин П.А. Повышение качества корпусов микроборок управлением структуры их материала / Тезисы докл. междунар. научн.-практ. конф. «Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению» / Секция 5 «Прогрессивные технологии и процессы в машиностроении» / 07...11.01.2022 г. / –Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУВО «КНАГУ», 2022. -550 с.; С. 353...355.

18. ГОСТ 21073.4-75 / Металлы цветные. Определение величины зерна планиметрическим методом / Цветные металлы. Методы анализа. Общие требования / –М.: Издательство стандартов, 2002. -24 с., -С. 20...24.

19. Ресурс пластичности при обработке металлов давлением / Богатов А.А, Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. / –М.: Металлургия, 1984. -144 с.

20. Ю.С. Бараш / Силы Ван-дер-Ваальса / –М.: Наука, 1988. -344 с.
21. ОСТ 92-1152-75 / Сварка и пайка. Подготовка поверхности деталей под сварку и пайку. Обработка сборочных единиц после сварки и пайки / –М.: ОНТИ, 1975. -54 с., изм.
22. ГОСТ 9.305-84 ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытий / –М.: Издательство стандартов, 2003. -105 с.
23. В.С. Синявский, В.В. Истомина, В.В. Уланова / Исследование термомеханической обработки сплавов системы Al-Mg с целью повышения их коррозионной стойкости / Труды ВИАМ, выпуск 7 / Алюминиевые сплавы. Коррозионностойкие конструкционные сплавы / –М.: ОНТИ, 1975. -с. 93...103.
24. ПИ 1.2.085-78 Ковка и штамповка деформируемых алюминиевых сплавов / –М.: ВИАМ, 1978. -17 с.
25. ОСТ 92-1619-87 / Заготовки штампованные из алюминиевых сплавов. Типовой технологический процесс горячей объемной штамповки / –М.: ОНТИ-2, 1977, -44 с.; изм.