

УДК 669.715

О.А. Сетюков

АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ 1201 В КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ «БУРАН»

Приводятся результаты применения алюминиевого сплава 1201 в конструкции многоразовой космической системы «Энергия–Буран», особенности выбора сплава, связанные с требованиями конструкции. Приводятся механические свойства деформированных полуфабрикатов при комнатной, повышенных и криогенных температурах. Даются ссылки на авторов-разработчиков и производителей, участвовавших в создании МКС «Буран».

Ключевые слова: сплав 1201, свойства, применение, конструкция МКС «Буран».

Results of application of 1201 aluminum alloy in structures of «Energiya-Buran» reusable space system and features of the choice of the alloy caused by the design requirements are described. Mechanical properties of wrought semiproducts are presented for room, enhanced and cryogenic temperatures. References to the authors – researchers, designers and manufacturers participating in creation of «Buran» reusable spaceship are given.

Key words: 1201 alloy, properties, application, «Buran» reusable spaceship.

В 1972 году в США официально разворачиваются работы по проекту многоразового транспортного космического корабля «Спейс Шаттл» («Space Shuttle»). «Спейс Шаттл» в первом полете был с экипажем на борту. По сообщению журнала «Welding», в конструкции американской ракеты «Сатурн», выводящей корабль на орбиту, использован алюминиевый сплав 2019.

Спустя несколько лет в СССР была принята программа по созданию многоразовой космической системы, аналогичной по своим характеристикам американской системе «Спейс Шаттл». Впоследствии эта многоразовая космическая система (МКС) получила название «Энергия–Буран», главным разработчиком которой было НПО «Энергия». Комплекс «Энергия–Буран» мог выводить на орбиту не только космический корабль, но и груз массой до 100 тонн. Ракета-носитель орбитального корабля была огромной. Диаметр топливных баков 2-й ступени – около 8 метров, длина самого большого, водородного бака – более 40 метров.

В конструкции МКС и многоразового космического корабля «Буран» (рис. 1–3) нашли широкое применение алюминиевые сплавы. Использование баков с кислородно-водородным топливом и герметичной обитаемой кабины наложило определенные ограничения в выборе алюминиевых сплавов. В СССР имелся большой опыт использования сплава АМгб системы Al–Mg в сварных конструкциях межконтинентальных баллистических ракет. Однако его механические характеристики не удовлетворяли требованиям конструкции МКС. Кроме того, при температурах водорода пластические свойства сплава АМгб значительно падали. В связи с этим возникла необходимость разработки сплава с улучшенными характеристиками. В 1965–1970 гг. в ВИАМ были разработаны сплавы на основе системы легирования Al–Cu – марки Д20, Д21, близкие по составу аме-

риканскому сплаву 2219. Однако по политическим соображениям было принято решение воспроизвести состав сплава, примененного в конструкции космического корабля «Спейс Шаттл».

Разработанный в ВИАМ под руководством академика РАН И.Н. Фридляндера сплав 1201 (аналог сплава 2219) был использован в качестве основного материала в конструкции герметичной цельносварной кабины «Бурана» объемом более 70 м³, в носовом отсеке которой размещены экипаж и большая часть аппаратуры управления кораблем. Кроме того, сплав 1201 использован в сварных кислородных и водородных топливных баках.

Сплав 1201 на основе системы легирования Al–Cu–Mn с добавками Zr, Ti и V является термически упрочняемым сплавом. Он сваривается всеми видами сварки, в том числе аргоно-дуговой. Деформированные полуфабрикаты из сплава 1201 [1–5] обладают высокими механическими свойствами при комнатной, повышенной (до +250°C) и криогенной (-259°C) температурах. Поскольку естественное старение не вызывает изменения свойств, то после закалки полуфабрикаты подвергаются искусственному старению. Это позволило не регламентировать время перерыва между закалкой и старением, что выгодно отличает сплав от известных сплавов типа дуралюмин (Д16-Т, 1163-Т, 2024). Сплав также обладает высокой технологичностью при литье, обработке давлением (прокатке, ковке, штамповке и прессовании). Полуфабрикаты из сплава 1201 имеют практически изотропные свойства, что позволило получать равнопрочные сварные соединения в различных направлениях относительно направления деформации. Отличительной особенностью сплава 1201 по сравнению с свариваемым сплавом АМгбМ является сохранение пластичности и соотношения временного сопротивления к пределу текучести при снижении

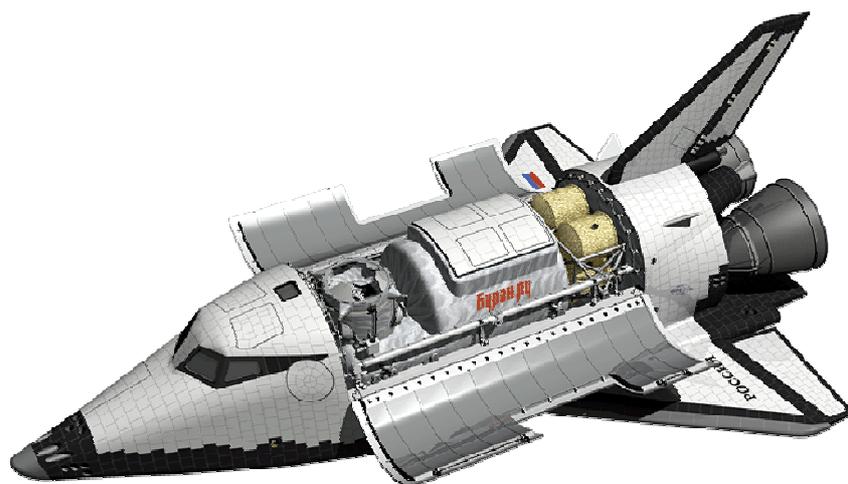


Рис. 1. Внешний вид конструкции МКК «Буран»

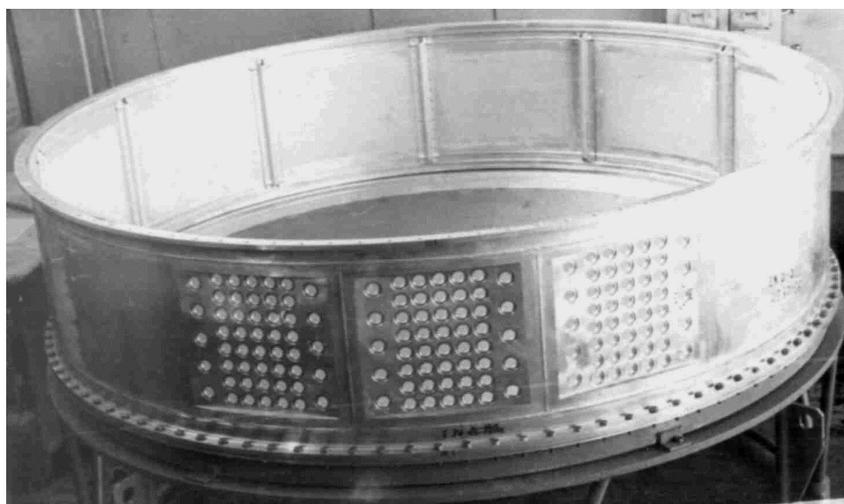


Рис. 2. Обечайка приборного отсека из сплава 1201



Рис. 3. Топливный бак из сплава 1201 на транспортном самолете КБ им. В.М. Мясищева

Основные свойства полуфабрикатов из сплава 1201 ($d=2,85 \text{ г/см}^3$, $E^{20^\circ}=72 \text{ ГПа}$)

Полуфабрикат	σ_a^*	$\sigma_{50}^{150^\circ}$	$\sigma_{0,2}^{20^\circ}$	$\sigma_{0,2/50}^{150^\circ}$	$\sigma_{0,2/100}^{175^\circ}$	δ^* , %
	МПа					
Плита	465/510	300	380	220	145	12/11,5
Лист	425/470	–	355	150	85	8,5/10

* В числителе – значения при 20°C, в знаменателе – при -130°C.

температуры до криогенной. При этом излом является однородным и в нем отсутствует слоистость.

Специфические условия работы орбитального корабля «Буран», особенности конструкции и уровень развития как металлургической, так и машиностроительной отраслей определили выбор металлических материалов для конструкции планера «Бурана». Эксплуатация изделия в широком диапазоне температур требовала сохранения работоспособности и надежности материалов как при длительном воздействии низких температур (-130°C), так и после многократных длительных нагревов. На основании опыта применения авиационных материалов в конструкциях отечественных и зарубежных широкофюзеляжных и гиперзвуковых самолетов, опыта эксплуатации материалов в конструкциях ракет-носителей одноразового применения и космической техники НПО «Энергия» и НПО им. С.А. Лавочкина и испытаний, проведенных в ВИАМ, был выбран ряд металлических материалов для планера «Бурана». При выборе материалов и технологий изготовления полуфабрикатов для конструкции планера учитывались не только эти требования, но и наличие производственной базы для изготовления деталей. Для алюминиевого сплава 1201 такая производственная база имела.

Сплав 1201 в конструкциях самолетов не применялся, однако по своим характеристикам он был наиболее перспективен с точки зрения повышения весовой эффективности орбитального самолета. Так, в НПО «Молния» под руководством Главного конструктора, Генерального директора Г.Е. Лозино-Лозинского совместно с ВИАМ и ЦАГИ был установлен объем испытаний для определения работоспособности предварительно выбранного материала 1201. Особое внимание уделялось испытаниям при температурах от -130 до +150°C при одновременном воздействии нагрузок, определению длительной прочности и ползучести в интервале рабочих температур, вязкости разрушения и влиянию термодублирования на механические свойства. Сложности, с которыми столкнулись создатели кабины прежде всего по обеспечению предъявляемых требований по герметичности, заключались в том, что погонная длина герметичных сварных швов составила 153 м.

Совместно с металлургическими заводами СМЗ (г. Самара) и БКМПО (г. Белая Калитва)

были разработаны технологии получения крупных круглых (диаметром до 1100 мм) и плоских слитков, из которых получены листы, плиты (толщиной до 90 мм и шириной до 2000 мм), поковки (массой до 100 кг), прессованные профили (сечением до 500 см²), раскатные кольца. Для получения качественных сварных соединений отработана технология очистки металла от шлаковых и неметаллических примесей с низким содержанием водорода. Нормы по допустимым дефектам были исключительно жесткими. Контроль полуфабрикатов и заготовок из них проводился ультразвуковым методом.

На основании комплексных работ в ВИАМ составлена нормативно-техническая и технологическая документация на все виды полуфабрикатов из сплава 1201. Выпущена производственная инструкция на изготовление деталей и узлов из алюминиевого деформированного сплава 1201. В этих документах приводятся режимы термической обработки, механические свойства листов и плит (см. таблицу), профилей и поволоков при комнатной, повышенной (до +250°C) и криогенной (-269°C) температурах, длительная прочность и ползучесть, чувствительность к концентраторам напряжений, вязкость разрушения. Приводятся характеристики процесса сварки и свойства сварных соединений, коррозионная стойкость и методы защиты от коррозии, а также технологичная пластичность полуфабрикатов при холодной и горячей пластической деформации. Даны режимы изготовления деталей из плит, поволоков и штамповок, режимы механической обработки, сварки, клепки и получения болтовых соединений, методы контроля полуфабрикатов и деталей.

В ВИАМ совместно с НИАТ, ИЭС им. Е.О. Патона (Украина) отработана технология сварки (ЭЛС и АрДЭС) полуфабрикатов и деталей из сплава 1201. Совместно с НПО «Молния» и Тушинским машиностроительным заводом проведены работы по изготовлению деталей и сборка из них конструкции кабины, испытанию ее в предполетных условиях и в условиях полета и посадки.

В настоящее время ВИАМ продолжает разрабатывать усовершенствованные алюминиевые сплавы типа 1201 применительно к сварным конструкциям, в том числе криогенного назначения. Примерами являются сплавы марок 1469, 1461 с пониженной плотностью, содержащие литий [6–9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформированные, спеченные и литейные алюминиевые сплавы: Справочное руководство. М.: Металлургия. 1972. 552 с.
2. Фридляндер И.Н. и др. Алюминиевые сплавы. Конструкционные сплавы. М.: Металлургия. 1968. Вып. 6. 456 с.
3. Фридляндер И.Н. и др. Алюминиевые сплавы. Деформируемые сплавы. Вып. 3. М.: Машиностроение. 1964. С. 175–181.
4. Фридляндер И.Н. Воспоминания о создании авиакосмической и атомной техники из алюминиевых сплавов. М.: Наука. 2005. С. 186–194; 200–202.
5. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева: 1946–1996. Избранные материалы. Многоразовая космическая система «Энергия–Буран». М.: РКК «Энергия». 1996. 832 с.
6. Антипов В.В., Колобнев Н.И., Хохлатова Л.Б. Развитие алюминийлитиевых сплавов и многоступенчатых режимов термической обработки //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 183–195.
7. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
8. Антипов В.В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 157–167.
9. Доспехи для «Бурана». Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия–Буран» /Под общ. ред. акад. РАН Е.Н. Каблова. М.: Фонд «Наука и жизнь». 2013. 128 с.