

АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ В МАШИНОСТРОЕНИИ



ФРИДЛЯНДЕР
Иосиф Наумович

Академик, начальник лаборатории ВИАМа – Всероссийского института авиационных материалов, лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, премии Совета Министров СССР. Разработанные под его руководством высокопрочные, жаропрочные и криогенные алюминиевые сплавы являются основным конструкционным материалом всех советских и российских самолетов, вертолетов, жидкостных и твердотопливных ракет, ядерных сверхскоростных центрифуг для обогащения урана-235. За работы по созданию и применению в авиационном строительстве алюминий-литиевого сплава 1420 (в составе коллектива специалистов) И.Н. Фридляндер удостоен Государственной премии Российской Федерации за 1998 год.

Постоянно растущий интерес к применению алюминиевых сплавов в конструкции транспортных средств связан с тем, что эти сплавы обладают комплексом уникальных свойств.

На всем протяжении истории развития самолетостроения актуальной оставалась проблема снижения веса самолета, увеличения полезной нагрузки с целью повысить его рентабельность. В этой области настоящую революцию произвели новые алюминий-литиевые сплавы.

В 1965 году был установлен эффект упрочнения при термической обработке обширной группы сплавов в тройной системе алюминий – магний – литий. На этой основе был предложен сплав 1420, содержащий 2% лития, 5,5% магния, 0,1% циркония. Литий – самый легкий металл, поэтому и новый сплав на 10-12% легче применявшегося ранее для фюзеляжей самолетов дуралюмина Д16. К тому же этот сплав обладает высокой коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью, повышенным модулем упругости и достаточной прочностью. Со сплавом 1420 Россия действительно оказалась «впереди планеты всей».

Внедрению алюминий-литиевых сплавов способствовали работы академика И.О. Кишкина, профессора М.А. Дрица из Института металлургии РАН, в особенности построение им сложных диаграмм тройных и четверных спла-

вов. В 1970-1971 гг. началось серийное производство самолетов вертикального взлета Як-36 с клепаными фюзеляжами из сплава 1420. За все годы их эксплуатации не было выявлено ни одной неисправности, связанной с новым сплавом. Успеху этих работ во многом способствовал талант заместителя генерального конструктора КБ им. Яковлева С.В. Мордвинова и ведущего специалиста ВИАМа Н.В. Ширяевой.

Специалистами КБ им. А.И. Микояна был сделан революционный шаг в направлении изготовления фюзеляжа нового истребителя из сплава 1420 в сварном варианте. До этого никто в мире не делал таких самолетов из алюминиевых сплавов. Инициатива создания сварного самолета, модификации МиГ-29, принадлежала заместителю генерального конструктора Г.К. Вальденбергу, главному инженеру КБ Платонову, главному металлургу В.В. Варганову и главному сварщику Б.С. Денисову. Их решительно поддерживал генеральный конструктор Р.А. Беляков.

Функции фюзеляжа у МиГ-29 выполняют три плоских керосиновых бака, имеющих форму чечевицы. В сварном варианте не нужны герметики, нахлестка деталей. Это уменьшает вес баков на 12%. Кроме того, сплав 1420 на 12% легче Д16. В результате вес самолета уменьшается на 24%. Огромная величина для самолета.

Когда военные осознали эти цифры, они стали горячими сторонниками сварного алюминиево-литиевого самолета. У него возросла боевая дальность, кроме обычного вооружения, для борьбы с воздушным противником можно было установить дополнительное оборудование для поражения наземных целей. Истребитель становился истребителем-бомбардировщиком; увеличилась боевая дальность.

Но этот сварной истребитель-бомбардировщик надо было сделать, испытать и запустить в серию.

Сразу возникло много сложных проблем. Сплав 1420 в металлургическом производстве имеет два принципиальных отличия от обыч-

ных алюминиевых сплавов. Литий не только очень легкий, но и легко окисляющийся металл. А в существовавших на заводах авиационной металлургии плавильных печах и установках для отливки жидкий металл постоянно контактировал с воздухом. Это привело к сильному окислению сплава 1420. Необходимо было создать герметичные плавильные печи с защитой расплава аргоном.

Под руководством профессоров В.Г. Давыдова, О.Е. Грушко и бывшего главного инженера Каменск-Уральского металлургического завода (КУМЗ) В.И. Чертовикова была создана промышленная установка, где весь технологический процесс – плавка, перелив жидкого металла из печи в миксер и из миксера в кристаллизатор, – протекает под надежной защитой аргона.

К ноябрю 1986 г. были изготовлены три истребителя. Один проходил статические испытания, два другие – летные. Было принято решение о запуске в крупную серию МиГ-29 в алюминиево-литиевом варианте. Планировалось довести в конечном счете производство этих машин до нескольких сотен в год сразу на двух крупных серийных заводах: сухопутный вариант – на московском заводе «Знамя Труда» и морской вариант – на горьковском заводе. Работы шли в напряженном темпе, но в этот момент руководство КУМЗ заявило, что завод не может выполнить предлагаемую программу выпуска сплава 1420 и сплавов с литием для конструкторских бюро А.Н. Туполева, С.В. Илюшина и А.А. Антонова. Тогда главной задачей стало создание истребителей.

Летные и статические испытания первого и второго самолетов закончились успешно. Это усилило заинтересованность командования ВВС в том, чтобы принять истребитель на вооружение. Темпы работ усиливаются.

В 1987 г. началось производство сварных самолетов на заводе «Знамя Труда». В отработке технологии сварки и исследовании характеристик сварных соединений активное участие принимали специалисты предприятия В.В. Гринин, В.В. Овчинников и В.В. Алексеев.

Большой вклад в работы внес главный металлург завода «Знамя Труда» Л.Ф. Ермаков.

Два завода были готовы переходить к серийному выпуску сотен сварных алюминиево-литиевых МиГ-29 в год. Но уже в 1990 году производство было остановлено, а заказы – сняты ... Закончилась холодная война.

Однако опыт создания сварного МиГ-29 стал широко известен в мире. Под его влиянием в настоящее время и в Европе, и в США идут работы по созданию сварных фюзеляжей больших пассажирских и транспортных самолетов из алюминиево-литиевых сплавов.

Европейский авиастроительный консорциум «Эрбас Индастри» ведет большие работы по проектированию и созданию гигантского самолета А3XX на 800 человек. Он должен подняться в воздух в 2005 году. В одном из рабочих вариантов обшивки фюзеляжа этого самолета предусмотрено использование российского алюминиево-литиевого сплава 1424 – модификации сплава 1420. В 1998-2000 гг. из слитков сплава 1424, произведенных на КУМЗ, с успехом прокатали листы шириной 2600 мм на заводе фирмы «Хутовен» в Германии. В этой работе активно участвовали сотрудники ВИА-Ма, специалисты по алюминиево-литиевым сплавам и технологии прокатки. Сейчас эти листы проходят сертификацию в Германии и в ВИАМе.

Высокотехнологичный и высокоресурсный алюминиево-литиевый сплав 1441 применен для обшивки фюзеляжа морского самолета фирмы «Бериева». Достигнут большой выигрыш в массе.

На заводе «Энергия» по заказу американской фирмы «Макдональд-Дуглас» были изготовлены баки жидкого кислорода из сплава 1460 российского производства. Они предназначены для американской многоразовой ракеты «Дельта», которая должна выводить на низкую орбиту спутники всемирной связи. Применение сплава 1460 позволило снизить массу бака на 35%.

Широкому использованию алюминиевых сплавов в конструкции автомобилей взамен

стали препятствуют два существенных фактора: 1 – стоимость алюминиевых сплавов, которая в 2 раза выше стоимости стали; 2 – технологические трудности при его использовании в кузовах в условиях установившегося массового производства.

Однако об экономичности конструкции нельзя судить только по стоимости материала, следует учитывать и эффективно использовать все способствующие экономии средства: организационные, эксплуатационные, технологические, конструктивные. Последовательное выполнение этих правил позволило, например, сделать конкурентноспособными цельноалюминиевые конструкции для железнодорожного транспорта. По имеющимся данным, около 80% объема производимых в Европе вагонов подвижного состава изготовлено из алюминия, в то время как 20 лет назад этот показатель составлял 2%.

Конкурентноспособность современного автомобиля определяется соотношением между рыночной стоимостью, которая складывается, главным образом, из стоимости его разработки и производства, и качеством, которое определяется многими показателями – затратами на эксплуатацию, связанными прежде всего с топливной эффективностью; приемлемым сроком службы; безопасностью и комфортабельностью. В последние годы государственные регулирующие структуры развитых стран добавили к этому перечню также возможность эффективной переработки отходов (рецикликации) и экологическую безопасность.

Вопросы стоимости могут быть решены в пользу алюминия при больших объемах производства. Вторичная переработка даст ощутимый положительный результат при тесном взаимодействии изготовителей автомобильной техники с изготовителями материалов для нее.

Максимальный экономический эффект в результате вторичной переработки алюминия ожидается в том случае, если «алюминиевый» автомобиль будет специально сконструирован с учетом последующего быстрого демонтажа

для переработки. Автомобильные фирмы обратились к концепции модульного принципа проектирования, принятой ранее авиакосмическим комплексом и позволившей ему добиться значительных успехов.

Модульный принцип конструирования был использован фирмой Daimler-Chrysler, что позволило создать сварную раму из прессованного алюминиевого сплава для кабины в мусоровозном автомобиле Esonic. Большим достоинством алюминиевых сплавов является их высокая коррозионная стойкость, что обеспечивает сохранение корпуса автомобиля в рабочем состоянии даже после 20 лет эксплуатации в неблагоприятных погодных условиях. Это дополнительно снижает трудовые и финансовые затраты на техническое обслуживание автомобилей.

Применению алюминиевых сплавов в российском автомобилестроении препятствует отсутствие необходимой законодательной базы и финансовой поддержки конструкторских работ со стороны государства. В настоящее время масса алюминиевых деталей в автомобиле отечественного производства составляет примерно 15 кг. Эти детали используются главным образом в двигателях. В ОАО «ГАЗ» за счет замены стали на алюминий планируется облегчить автомобиль «Газель». ОАО «АВТОВАЗ» имеет некоторый положительный опыт применения алюминиевых деформируемых сплавов взамен сталей для производства наружных деталей автомобилей. Однако это – штучные экземпляры ручной сборки.

В большинстве случаев для корпусов легковых автомобилей алюминиевые сплавы применяют в виде деталей, полученных методом листовой штамповки из листов толщиной от 0,8 до 1,3 мм, для которых требуется хорошая штампуемость в сочетании с достаточными прочностными характеристиками в готовом изделии. Штампуемость листов зависит от химического состава, свойств и структуры сплава: размера и формы зерна, неоднородности зерен, количества, морфологии и размеров интерметаллических частиц, степени изотроп-

ности механических свойств, склонности сплава к деформационному упрочнению и старению. Размер зерна для алюминиевых сплавов не должен превышать 50 мкм. Крупное зерно является причиной появления на деформированных участках детали шероховатой поверхности, которая портит внешний вид и может быть одной из причин разрывов при глубокой вытяжке. С уменьшением величины зерна (по сравнению с оптимальным размером) возрастает сопротивление деформированию, увеличивается «пружинение» металла, существенно влияющее на точность размеров штампуемого изделия, повышается износ рабочих поверхностей штампа.

Наряду с хорошей штампуемостью, важное значение для листовых сплавов имеют прочность, характер дисперсионного упрочнения и сопротивление коррозии. Для оценки их прочности выбрали условный предел текучести, который должен быть как можно ниже перед операциями формообразования для обеспечения лучшей штампуемости и уменьшения пружинения при штамповке. После формовки и горячей сушки лакокрасочного покрытия требуется высокий предел текучести для достижения хорошей жесткости деталей и устойчивости против вмятин.

В Европе в качестве основного сплава для наружных деталей корпуса используют хорошо штампуемый сплав 6016, в Северной Америке в основном применяются сплавы 6111 и 6061 с более высокой прочностью, обеспечивает деталям более высокую устойчивость против вмятин.

Из отечественных сплавов системы Al-Mg-Si наиболее близким к зарубежным сплавам по уровню прочности и пластичности является сплав АВ. В то же время листы из сплава АВ склонны к разнотекучности с выраженной текстурой рекристаллизации. Это резко снижает их способность к формовке и ухудшает внешний вид детали, получаемой при холодной штамповке.

В ФГУП «ВИАМ» в 2001 г. проведены исследования, в результате которых разработан

режим термической обработки листов сплава АВ, обеспечивающий получение рекристаллизованной структуры с зерном размером 20х40 мкм. Испытания показали, что такие листы имеют изотропные свойства и по технологическим характеристикам сравнимы с листами из сплавов 6016, АМг2 и АМг4.

Старение листов сплава АВ с рекристаллизованной структурой рекомендуется проводить при 1700°С в течение 14 часов.

Известно, что сушка лакокрасочных покрытий при производстве автомобилей обычно осуществляется при температурах 170-2000°С с выдержкой от 20 до 60 минут. Установлено, что при 1700°С и выдержке 30 минут сплав имеет такие же свойства, как после естественного старения. Чтобы обеспечить требуемый уровень свойств, время выдержки при сушке лакокрасочных покрытий при 1700°С должно быть не менее 3 ч.

Такая длительная выдержка при сушке лакокрасочного покрытия технологически нео-

правдана и не всегда может быть принята. В связи с этим было исследовано влияние старения при более высоких температурах с выдержкой 20-60 мин на свойства сплавов. Старение листов сплава АВ при 190-2000°С в течение 30 мин приводит к существенному повышению механических свойств. Эти режимы могут быть рекомендованы для сушки лакокрасочного покрытия при использовании листов из сплава АВ для наружных окрашиваемых деталей корпуса.

Листы из серийного сплава АВ с регламентированными размером зерна и параметрами технологичности могут выпускаться в условиях промышленного производства при использовании разработанных режимов термической обработки.

Наиболее приспособленным для производства листов с регламентированной структурой является прокатное оборудование с линией непрерывной закалки, установленное на предприятии ОАО «Русский алюминий» в Самаре.