Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени Горного института, том XV—XVI, 1949

Обрабатываемые давлением легкие высокопрочные алюминиевые сплавы

Кандидат технических наук
Н. Н. Иванов-Скобликов

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальнейших проблем современной техники является облегчение веса металлических изделий. Эта задача разрешается путем применения легких прочных сплавов на алюминиевой основе и заменой ими всюду, где это возможно, тяжелых медных, никелевых и железных сплавов.

Бурное развитие алюминиевой промышленности в СССР обязывает металлургические и металлообрабатывающие заводы и предприятия как можно скорее освоить производство изделий из легких сплавов.

Алюминий, как основа этих сплавов, становится не только одним из самых необходимых материалов, но, благодаря своей легкости и большой распространенности в природе, — одним из самых доступных металлов.

Из практики известно, что наметились два пути облегчения веса изделий и сооружений.

Первый путь — применение легких сплавов, обладающих достаточно высокими значениями прочности и коррозионной устойчивостью; второй путь — применение тяжелых высококачественных сталей, позволяющих, благодаря высокому значению прочности, изготовлять изделия облегченного поперечного сечения.

С прогрессом современной металлургии конструкторам становится ясным, что простая углеродистая сталь уже не является единственным конструкционным материалом. Появились сплавы, составленные на основе алюминия, и специальные стали.

Опыт, накопленный за последнее время в различных отраслях промышленности, предъявивших повышенные требования в отношении облегчения веса сооружений, принуждает разделять весь вопрос о сплавах, дающих наибольшее снижение веса конструкций и изделий, на два вопроса.

К первой группе изделий могут быть отнесены такие, которые в своей работе испытывают только простые напряжения растяжения или сжатия; ко второй же группе относятся изделия, подвергаемые сложным — суммарным (в особенности переменным по знаку) воздействиям, связанным с растяжением, сжатием, изгибом, срезом и кручением. Для изделий, подвергаемых только простым воздействиям, облегчение веса вполне может быть осуществлено путем замены тяжелых сплавов легкими. Изготовле-

ние облегченных по весу изделий из тяжелых сплавов, обладающих макс мально высокими показателями механических качеств, связано со знач тельными технологическими трудностями. Так, например, можно было б достичь облегчения веса трубы, а значит, уменьшения потребной пл щади поперечного сечения за счет уменьшения толщины ее стенок. Одна изготовление таких труб с тонкими стенками из специальных сортов ста связано с целым рядом затруднений технологического порядка, пре од ление которых значительно удорожает стоимость изделий. Кроме то имеются определенные границы в отношении уменьшения толщины ст нок труб, изготовленных из специальных сталей, переходить которые п данном состоянии техники трубного производства невозможно. Трубы легких алюминиевых сплавов, давая такое же облегчение веса, не тр буют уменьшения толщины стенок, легче термически обрабатываются, че специальные стали, и устраняют целый ряд технологических трудност при их изготовлении.

Подобные же соображения должны быть целиком отнесены и на сл чаи изготовления других облегченных конструктивных форм.

Отсюда вполне понятно поэтому, что легкие сплавы завоевали се бесспорное преимущество в тех случаях, когда изделия подвергают в работе простым механическим воздействиям — растяжению и сжати Для изделий, подвергаемых в работе сложным механическим воздействия ответ, конечно, усложняется и требует в каждом отдельном случае обя тельного учета целого ряда факторов: абсолютной величины воздейству щих усилий, их характера и знака, величины физико-механических свой применяемых сплавов, учета более быстрой усталости сплавов, решен ряда вопросов технико-экономического порядка и т. д. В таких случа полный ответ может быть дан после проведения ряда экспериментов в ла раторных условиях и изучения поведения сплавов на практике.

Одним из основных требований к материалу изделий, подверга щихся каким бы то ни было воздействиям, является, наряду с высоки механическими свойствами и должным пределом усталости, обладание хо шей коррозионной стойкостью.

Известно, что обычные сорта торгового железа и стали не отвеча условию хорошей коррозионной стойкости и требуют для своего при нения, даже в обычных атмосферных условиях, обязательной очень хо шей защиты от ржавчины.

С этой точки зрения, легкие сплавы несколько отличаются по сво свойствам от железных. Сопротивляемость воздействию атмосферы и вл у них выше, чем у обычных сортов стали.

Хотя в последнее время и получили уже распространение нержав щие сорта сталей, однако обработка этих сталей, содержащих вес дорогие составляющие (как то: молибден, хром, никель и др.), оч затруднительна.

Если учесть, что изготовление изделий из таких сплавов еще бо затруднительно, особенно прессовка, штамповка и вытяжка, то станет поня что производство изделий из нержавеющих сортов специальных ста является пока еще сравнительно дорогим.

Классификация и характеристика сплавов

Как известно, все алюминиевые сплавы делятся на два основ класса: 1) сплавы для фасонных отливок и 2) сплавы для механичес обработки давлением: ковки, прокатки, прессовки, штамповки, тяжки и т. п.

Задачей настоящей статьи является краткая характеристика второго из указанных классов.

На рис. 1 показана схема классификации алюминиевых сплавов (1), из которой видно, что сплавы для обработки давлением делятся в свою очередь *на две группы (термически обрабатываемые и без термической* обработки); последние подразделяются опять каждая на четыре подгруппы, основанных как на двойных, так и на тройных системах.

На рис. 2 представлена схема другой классификации (2) алюминиевых сплавов. Согласно этой классификации, как обрабатываемые давлением, так и литейные сплавы (двойные и сложные) делятся на шесть групп: алюминий — кремний, алюминий — магний, алюминий — Mg_2Si, алюминий — медь, алюминий — цинк и алюминий — марганец. При этом для каждой из групп сплавов отмечается большее или меньшее значение растворимости того или иного компонента в алюминии в твердом состоянии (2). *Схема, построенная на таком принципе*, считается у нас рациональной, однако при классификации и характеристике алюминиевых сплавов для фасонного литья (3) последние классифицируются у нас по признаку наибольшего содержания компонента и делятся на следующие четыре группы: 1) сплавы, составленные на основе системы алюминий — цинк; 2) сплавы, составленные на основе *системы алюминий — медь;* 3) сплавы, составленные на основе алюминий — кремний и 4) сплавы, составленные на основе системы алюминий — магний. В каждую из этих групп включаются как двойные сплавы на основе указанных систем, так и сплавы более сложного состава.

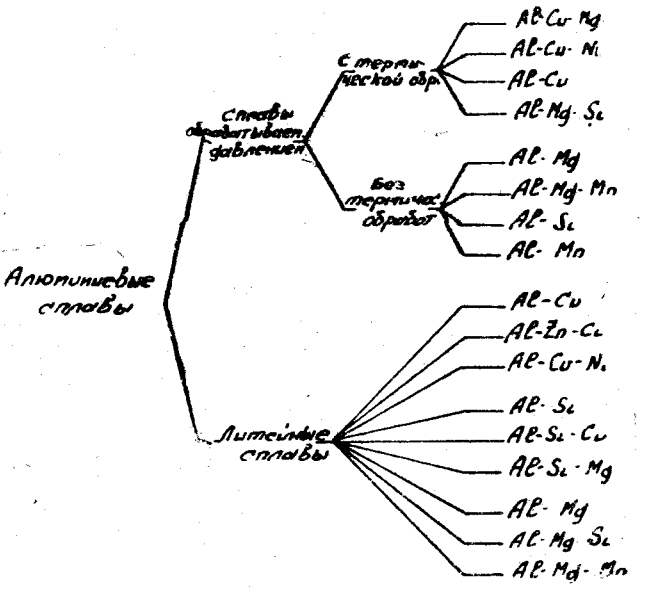


Рис. 1. Первая схема классификации алюминиевых *сплавов.*

Для сплавов, обрабатываемых давлением, провести полную аналогию с подобным разделением нельзя, так как тогда классификация не будет полною, и из поля зрения выпадут весьма важные сплавы, составленные на основе систем алюминий — Mg_2Si и алюминий — марганец, имеющие довольно широкое распространение в промышленности и быту. Отсюда вторая схема деления алюминиевых сплавов на группы для обрабатываемых давлением алюминиевых сплавов может считаться весьма рациональной.

Существует еще одно деление всех обрабатываемых алюминиевых сплавов на три категории: 1) сплавы малой прочности, но обладающие *большой пластичностью (например — торговые сорта алюминия); 2) сплавы* средней прочности и 3) сплавы высокой прочности.

Несомненно, что для ответственных изделий приходится выбирать в основном сплавы из третьей категории, т. е. высокопрочные алюминиевые

сплавы. Однако в отдельных случаях не исключается возможность подбо некоторых сплавов и из второй категории (средних по прочности) сплаво имея в виду особые их индивидуальные показатели по высокому пределу теку чести и коррозионной устойчивости. В виде примера можно привести сплав типа антикородаль (или известные у нас под наименованием электрал

Учитывая удобство второй схемы классификации алюминиевых спл вов, рассмотрим отдельно каждую из групп сплавов с точки зрения во можности изготовления из них ответственных изделий. Сплавы перво группы, составленные на основе системы алюминий — цинк (как двойны так и более сложные), хо и обладают после окончател ной обработки достаточно в сокими механическими сво ствами, однако не могут бы рекомендованы в силу чре мерно пониженной сопрот вляемости коррозии. В насто щее время не только обраб тываемые, но даже и литейны алюминиево-цинковые сплав полностью вытесняются из пр мышленной практики алюм ниевыми сплавами, изготовля мыми на основе других с стем. Поэтому отдельно з держиваться на рассмотрен этой группы сплавов нет н обходимости. Эти сплавы см гут найти себе применен только в случае их надежн защиты от коррозии.

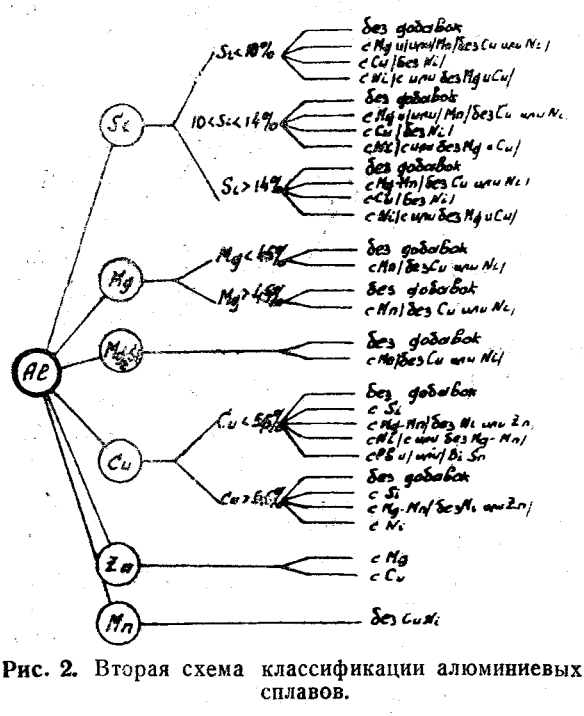


Рис. 2. Вторая схема классификации алюминиевых сплавов.

Двойные алюминиево-ма ганцевистые сплавы (как о дельную группу, согласно кла сификации) также нет особ необходимости рассматривать отдельно, так как показатели их механ ческих свойств далеко недостаточны для изготовления из них ответстве ных высокопрочных изделий. Однако присутствие небольшого содержан марганца в других сложных по составу алюминиевых сплавах довольн часто имеет место в практике производства сплавов, и в большинст случаев механические свойства таких сплавов от этого только выигрываю

Что касается алюминиевых сплавов остальных четырех групп, многие из них с несколько разным, правда, успехом (в каждом отдельно частном случае) могут быть рекомендованы для производства различн ответственных изделий высокой прочности.

Особенно следует обратить внимание на высокопрочные и обладая щие исключительной коррозионной устойчивостью сплавы алюминие магниевой группы. Эти сплавы, надо полагать, в недалеком будущем за мут превалирующее место среди всех остальных как обрабатываем давлением, так и литейных алюминиевых сплавов.

В настоящее время кроме перечисленных могут быть рекомендова также и сплавы, составленные на основах систем алюминий — кремни алюминий — медь и алюминий — Mg_2Si.

Следует только отметить, что при употреблении последних сплавов необходимо особое внимание обратить на защиту поверхности изготовленных из них готовых изделий от коррозии (в особенности это относится к первым двум системам).

Чем лучше будет защищена поверхность, чем правильнее будет организован своевременный контроль за ее состоянием в определенные периоды службы (различного рода проверки, переиспытания и повторная защита), тем срок службы таких изделий будет продолжительнее. Таким образом процессам защиты поверхности изделий от коррозии (оксидированию, лакировке и окраске) должно быть уделено максимально возможное внимание. Это относится не только к сплавам, составленным на основе систем алюминий — медь и алюминий — кремний, но также и ко всем остальным группам алюминиевых сплавов, в том числе и к алюминиево-магниевым, так как даже при употреблении последних и правильной их защите, можно в несколько раз увеличить время службы изготовленных из них изделий.

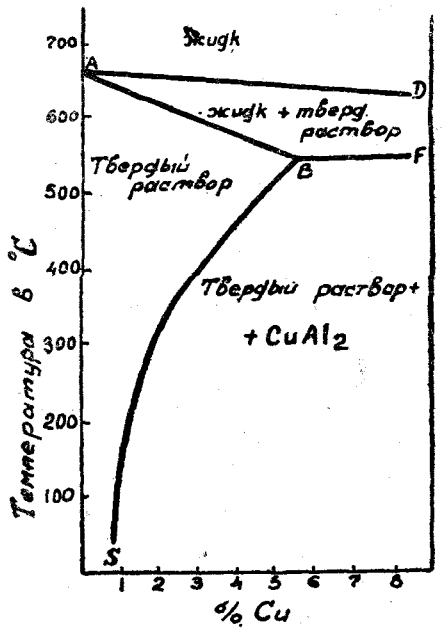


Рис. 3. Растворимость $CuAl_2$ в алюминии в зависимости от температуры.

Обрабатываемые алюминиевые сплавы, составленные на основе системы алюминий — медь, до настоящего времени являются одними из самых распространенных в промышленной практике.

Из диаграммы состояния системы алюминий — медь известно, что медь образует с алюминием ряд химических соединений, из которых наибольшее значение имеет соединение состава $CuAl_2$ (фаза β), которое образует с алюминием твердый раствор. Изменение растворимости этого химического соединения в алюминии в зависимости от температуры (рис. 3) имеет очень большое значение при термической обработке подобных сплавов. Добавление меди к алюминию при приготовлении сплавов сильно повышает механические свойства сплавов.

Двойные обрабатываемые алюминиево-медные сплавы в практике почти не применяются.

Наибольшее распространение в промышленности получили тройные, четверные и более сложные по количеству входящих в них компонентов сплавы. К таким относятся общеизвестные: дуралюмин, альклед, лауталь, сплавы типа Д-4 и Д-6,[1] сплавы типа игрек, RR и др. Из присадок, помимо меди, в каждом отдельном случае по разному (количеству) добавляются, например, такие элементы, как кремний, магний, марганец, никель и титан. Из практики известно большое количество наименований алюминиево-медных сплавов, имеющих одну и ту же общую основу, но все они почти целиком могут быть отнесены к тому или другому из приведенных выше наименований сплавов. Поэтому, не приводя здесь многочисленных их названий, можно охарактеризовать означенные типы сплавов как основные.

[1] Ранее назывались сплавы типа ВВ.

Процессы литья, плакировки, прокатки, прессовки и волочения сплавов типа лауталь, Д-4, Д-6, игрек и RR в основном сходны с аналогичными процессами производства высокопрочных алюминиевых сплавов вообще и дуралюмина в частности. Имеющаяся литература (4—15) достаточно полно освещает затронутые вопросы. Самые высокопрочные сплавы типа Д-4 и Д-6 с повышенным содержанием меди (12) обрабатываются несколько труднее, чем дуралюмин, но тем не менее вполне доступно для производственных условий.

Другие виды механической обработки (ковка, штамповка и т. п.) менее освещены в литературе, чем прокатка, прессовка и волочение, хотя производство кованых и штампованных изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов начинает занимать уже весьма солидное место в промышленности. Поэтому в этой статье вопросам ковки и штамповки легких сплавов уделено особое внимание.

Будучи по прочности почти равноценными стальному литью и некоторым сортам кованой стали и превышая по своим механическим свойствам ковкие чугуны, кованые и штампованные изделия из алюминиевых сплавов с успехом заменяют их там, где это возможно, давая максимальный выигрыш в весе в 2,82 раза для стали и в 2,54 раза для чугуна.[1] Следует только помнить, что при сравнении механических свойств надо исходить из свойств механически и термически обработанных алюминиевых сплавов. Правда, в некоторых случаях требования к прочности настолько низки, что в основном вопрос заключается в заполнении определенного объема или поддержании определенных габаритных размеров. Тем не менее, при замене тяжелых сплавов легкими следует чаще ориентироваться на обрабатываемые давлением, т. е. кованые, штампованные, прокатанные и т. п. алюминиевые сплавы высокой или средней крепости с обязательной термической обработкой готового изделия, если того требует природа сплава, для поднятия его механических свойств.

В литературе (4, 5, 16—18) уделяется больше внимания описанию ковки и штамповки чистого алюминия, чем его сплавов. И все же некоторые указания на эти способы обработки встречаются. Так Джеффрис (4) считает, что методы производства кованых изделий из алюминиевых сплавов в основном тождественны с методами, употребляемыми для ковки стали.

При температуре ковки распространенные алюминиевые сплавы немного тверже обыкновенной стали (при соответствующей для нее температуре ковки); вследствие этого молот для ковки таких сплавов должен быть на 25% тяжелее, чем для стальных поковок тех же размеров. При проектировании поковочного штампа допускается вытяжка в 10%, что несколько более установленных для стали стандартов. Допускаемая усадка примерно 1 мм на 1 м полости штампа, или, что то же, полость делается больше желаемого размера кованого изделия на 1 мм на каждый метр.

В случае больших обжатий, вытяжек или сверток рекомендуется производить операции ковки и штамповки в несколько переходов.

Перед каждым переходом заготовку необходимо нагревать до температур 420—480°.

Нагрев перед горячей ковкой или штамповкой рекомендуется проводить в электрическом муфеле. Время выдержки (в среднем от 2 до 5 часов) зависит от температуры печи, размеров заготовок, их количества и веса

[1] Соответственные цифры для замены меди и никеля 3,18, бронзы и латуни 3,07—3,00 и олова и цинка 2,61—2,57.

садки. Для нагревания можно пользоваться также и соляными (селитровыми) ваннами, причем, как правило, необходимо как в том, так и в другом случае точно регулировать и измерять температуру. Соляные ванны по сравнению с муфельными печами обладают большей производительностью. В них время нагрева, в зависимости от перечисленных выше условий, сокращается до 10—30 минут. Однако заготовки, нагреваемые в соляной ванне, следует до начала ковки быстро очищать от приставшей к ним соли, так как отскакивающие при обработке брызги соли могут представлять собою опасность для обслуживающего персонала и, кроме того, могут быть вкованы или вштампованы в поверхность металла.

Вследствие большей чувствительности алюминиевых сплавов при обработке (по сравнению с тяжелыми сплавами) необходимо более сильно закруглять кромки бойка молотов, края наковален, а также штампов, пуансонов и матриц. Для крупных молотов радиус закругления должен быть минимум 20 мм. Ковку и штамповку алюминиевых сплавов производят обычно на пневматических или паровых молотах, падающих молотах и гидравлических и эксцентриковых прессах. Однако Цеерледер (19), будучи в основном согласен, что для ковки алюминиевых сплавов действительны те же законы, что и для ковки тяжелых металлов, считает необходимым особенно принять во внимание специфические свойства алюминия, и в данном случае, исходя из производственной практики, рекомендует для ковки легких сплавов как наиболее пригодное оборудование — медленно действующие пресса, например, гидравлические, винтовые или кривошипные. Он утверждает, что падающий и паровой молоты менее пригодны для этих целей. При деформировании под падающим молотом алюминий требует больших усилий. Особенно обращается внимание на то, что не следует добиваться повышения энергии удара путем увеличения высоты падения бабы молота, так как в противном случае деформация не распространится на сердцевину поковки, а произойдет только поверхностное сплющивание, при котором между поверхностью и сердцевиной поковки наступают значительные напряжения, вызывающие образование внутренних трещин.

Так как при ковке легких сплавов температура нагрева заготовок значительно ниже, чем при обработке тяжелых сплавов, то скорость охлаждения их заметно меньше, и так как охлаждение, кроме того, частично уменьшается от теплоты деформации, то ковку можно производить гораздо дольше без повторного нагрева материала, чем при обработке тяжелых сплавов.

В качестве материала для ковки и штамповки следует пользоваться предварительно спрессованными или прокатанными заготовками.

Особенное внимание следует уделять направлению волокон обрабатываемого материала. Оно должно быть всегда параллельно направлению главного напряжения. При ковке необходимо позаботиться о том, чтобы волокна не имели резких перегибов.

При изготовлении штампов для алюминиевых сплавов необходимо обращать особое внимание на чистоту и шлифовку рабочих поверхностей. Штампы должны храниться в безупречных условиях. Выбор смазочного материала имеет большое значение. Обрабатывать алюминиевые сплавы в сухом виде не рекомендуется, а для глубокой штамповки наилучшим смазочным средством являются густые масла, как, например, вазелин, мазут или тяжелое машинное масло. Только в случае неглубокой или сквозной холодной штамповки смазка не является столь необходимой, но и здесь применение, например, парафинового масла весьма желательно,

так как получается более чистый рез, и долговечность самого штам сильно увеличивается. Избыток масла после штамповки должен смывать керосином. Если же в холодную штамповку идет прокатанный матери то хорошо пропускать листы или ленты через валики, обмотанные войл ком, пропитанным маслом. Применение валиков, кроме экономии време и расхода масла, имеет еще то преимущество, что штампуемый ли покрывается очень тонким слоем масла, который при дальнейшей рабо исчезает и не требует очистки керосином.

Упоминая, однако, об особенностях обработки алюминиевых сплав нельзя не сказать, что все это относится не только к сплавам, составле ным на основе системы алюминий — медь, но равным образом (в больш своей части) и к сплавам, составленным также и на основе других алю

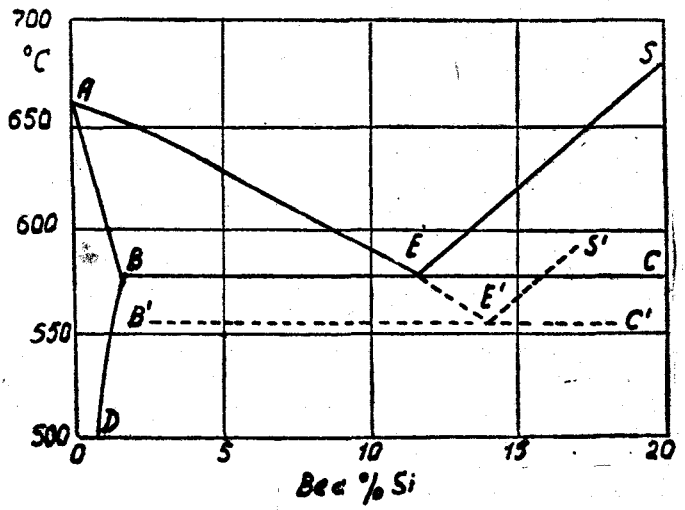


Рис. 4. Диаграмма состояния системы алюминий — кремний. Область богатых алюминием сплавов.

ниевых систем. Отсюда, прежде чем перейти к описанию других подробносте связанных с обработкой алюминиевых сплавов, следует отметить так и некоторые другие типы алюминиевых сплавов, составленных на осно других систем.

Сплавы, составленные на основе системы алюминий — кремний, получи за последнее время большое распространение в промышленности в облас фасонного литья и известны под наименованием силумины.

Однако надо иметь в виду, что наряду с их хорошими литейны свойствами и высокой сопротивляемостью коррозии, они в то же сам время прекрасно обрабатываются давлением (20—22). Если ко всему это добавить еще, что эти сплавы в условиях Советского Союза чрезвычайно удо но могут быть получены электротермическим путем (минуя электролиз) н посредственно из руд, то становится совершенно ясно, что для их широко применения открываются очень богатые перспективы (23).

Алюминий с кремнием образует эвтектику при 11,6—11,7% кремн (см. диаграмму на рис. 4). Растворимость кремния в твердом состоян сильно изменяется в зависимости от температуры, что видно из диаграмм на рис. 5. Применяемые сплавы алюминия с кремнием (силумины) наш достаточное освещение в литературе. В упомянутых выше источниках (

20, 24) приведены подробные перечни имеющихся статей и изданий о силуминах.

Механические качества двойных обработанных давлением силуминов (20) хотя и значительно выше чистого алюминия, но тем не менее далеко не достигают свойств высокопрочных алюминиевых сплавов. Опыты показали, что присадка третьего компонента, и в частности меди (24), дает возможность после соответствующей обработки получить у силуминов почти те же механические свойства, что и у сплавов типа дуралюмин и лауталь.

В последние годы все большее и большее внимание промышленности начинают привлекать к себе сплавы, составленные на основе системы алюминий — магний.

Основное их преимущество — большая коррозионная стойкость, сочетающаяся с хорошими показателями по механическим свойствам.

Диаграмма состояния системы алюминий—магний представлена на рис. 6. Как видно из нее, магний образует с алюминием твердый раствор. При повышении содержания магния в системе образуются фазы переменного состава. Растворимость магния в алюминии изучалась многими исследователями. На рис. 7 дана сводная диаграмма растворимости по данным различных авторов. По одним из последних данных (25) растворимость магния в алюминии составляет около 15% магния при эвтектической температуре (448°) и понижается до 2—3% при комнатной температуре для сплавов, находящихся в равновесном состоянии. Однако последнее достигается с большим трудом ввиду медленной диффузии магния в алюминий. Это влечет за собой устойчивость твердого раствора и склонность его к значительным переохлаждениям (26). Подробное исследование алюминиево-магниевых сплавов (27) показало, что равновесная диаграмма растворимости магния в алюминии не применима в производственных условиях. Практически сплавы с содержанием магния, много большим нежели 2—3%, являются гомогенными, т. е. закаленными, и не поддаются никакой производственной термообработке. На основании последних исследований (28) построена специальная „заводская" кривая растворимости магния в алюминии, которой можно руководствоваться при заводской обработке сплавов в промышленных условиях.

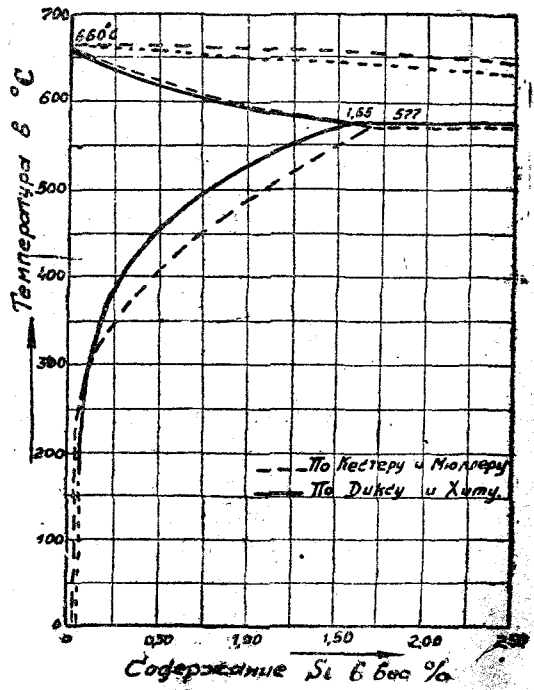


Рис. 5. Растворимость кремния в алюминии в зависимости от температуры.

Такая производственная диаграмма растворимости магния в алюминии представлена на рис. 8. Из нее видно, что сплавы, содержащие до 8,2% магния, практически являются термически необрабатываемыми. Сплавы алюминия с магнием, с содержанием магния до 6—7%, известны в промышленности как сплавы, практически обрабатываемые давлением, и именуются

как сплавы типа магналий, гидроналиум, пералюман, альтмаг, дуранали зеевассер, алюмаг и бирмабрайт (2, 19, 26—35). Благодаря высокой корр

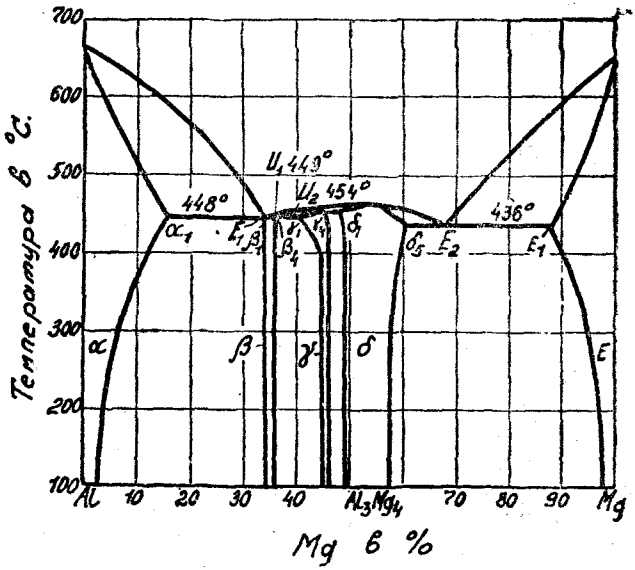


Рис. 6. Диаграмма состояния системы алюминий — магний.

зионной стойкости эти сплавы позволяют применять их для изделий и ра личных деталей, работающих в условиях морской или речной воды, пер менной влажности и т. д. Способность хорошо полироваться способствуе

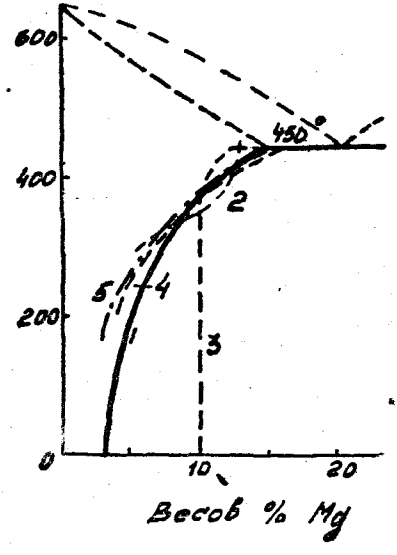


Рис. 7. Сводная диаграмма растворимости магния в алюминии. (1 — Сальдау и Сергеев; 2 — Мерика; 3 — Хансон и Гейер; 4 — Дикс и Келлер, 5 — Шмидт и Зибель).

еще большему повышению их коррозион ной стойкости. Следует также отметить, чт алюминиево-магниевые сплавы хорошо сва риваются. Однако, наряду с целым ря дом преимуществ, алюминиево-магниевы сплавы имеют крупный недостаток, хара ктеризующийся трудностью их обработк давлением.

Известно, что всякая гетерогенна система, состоящая из фаз с различным механическими свойствами, при наличи включений более жесткой составляющей обладает, при обработке давлением повы шенной хрупкостью. Это объясняется тем что вследствие высокого модуля „пласти ческой деформации" более жесткой состав ляющей, растягивающие напряжения расту у последней очень быстро, более мягка (пластичная) фаза испытывает в это врем сжатие, в результате более пластична фаза может в определенный момент разо рвать более жесткую фазу. В этот момен в пластичной фазе напряжения резко вос растают и естественно поэтому, что чем

больше в сплаве более хрупкой составляющей, тем больше вероятности его разрушения.

Несмотря на теоретическую растворимость магния в алюминии при температуре 450° до 15% (см. рис. 7), при литье отмечается сильно выраженная дендритная ликвация и имеются включения как β-фазы, так и хрупкого химического соединения $MnAl_6$, всегда присутствующих в торговых алюминиево-магниевых сплавах и располагающихся в стыках между зернами твердого раствора. Прочие примеси, встречающиеся в торговых алюминиево-магниевых сплавах, в первую очередь $FeAl_3$ и Mg_2Si, также значительно увеличивают трудность обработки этих сплавов. В особенности является затруднительной обработка высокопрочных алюминиево-магниевых сплавов с повышенным (8—12%) содержанием магния. Только в силу указанных причин сплавы типа магналий, алюмаг и др. не получили еще такого же широкого распространения, как сплавы типа дуралюмин.

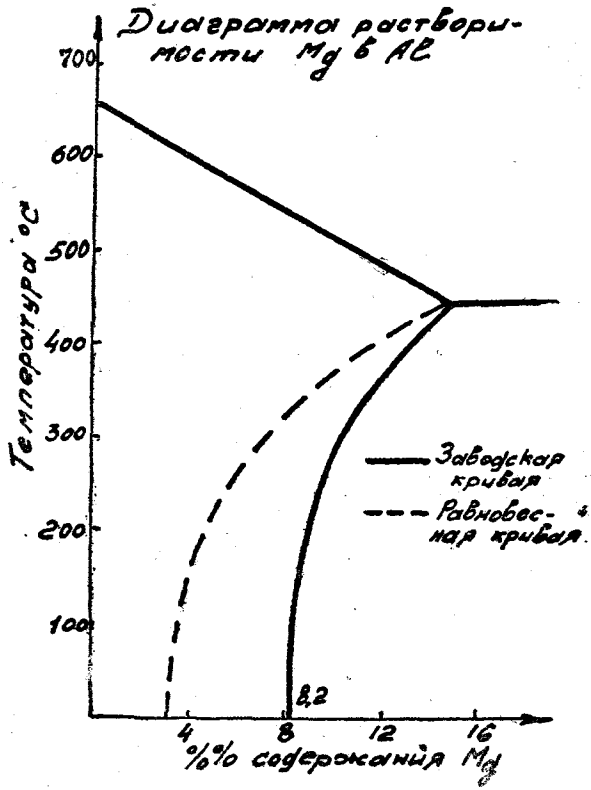


Рис. 8. Производственная диаграмма растворимости магния в алюминии.

Но отмеченные высокие качества сулят этой группе сплавов самые большие перспективы в области их применения. Применение при шихтовке сплавов типа магналий сверхчистого алюминия, а также и новых методов обработки, позволит, несомненно, быстро избавиться от всех имеющих место затруднений.

Заканчивая обзор обрабатываемых давлением высокопрочных легких сплавов, необходимо остановиться еще на одной очень важной группе алюминиевых сплавов. Эти сплавы, составленные на основе системы алюминий — Mg_2Si.

Химическое соединение Mg_2Si рассматривается в данном случае как самостоятельный компонент, потому что фактически оно ведет себя как простой элемент, и, с этой точки зрения, может являться основой для серии сплавов, которые нельзя рассматривать ни как сплавы, составленные на основе системы алюминий — кремний, ни как сплавы, составленные на основе системы алюминий — магний, и которые получают свои свойства (в результате своеобразной термической обработки) именно от этого компонента.

Как известно (36), алюминиевый угол системы алюминий — магний — кремний разделяется сечением Al — Mg_2Si на две части, из которых одна образуется из Al, Al_3Mg_2 и Mg_2Si, другая же — из Al, Mg_2Si и Si. На основании данных изученного интересующего нас сечения — квазибинарной диаграммы системы алюминий — Mg_2Si, при понижении температуры из α

твердого раствора выделяются кристаллы Mg_2Si. На их высокой дисперсности основывается старение и повышение механических свойств сплавов этого типа. Сплавы, составленные на основе системы алюминий — Mg_2Si, известны в практике под наименованием алудур, альдрей, сильмалек, монтегаль, альмалек и т. п. (36—38). Эти сплавы, отличаясь повышенной после термообработки электропроводностью, широко применяются для изготовления воздушных электрических проводов высокого напряжения.

Небольшое повышение содержания кремния и введение марганца дает возможность увеличить временное сопротивление и предел текучести сплавов типа алудур и альдрей. При этом коррозионная стойкость сплава не падает. Такого рода сложные сплавы получили наименование сплавов типа антикородаль или электраль.

Сплавы типа антикородаль (электраль), благодаря хорошей коррозионной устойчивости и высоким показателям по механическим свойствам после термообработки (закалки и искусственного старения), в особенности по пределу текучести, вполне могут быть рекомендованы в качестве материала для изготовления ответственных высокопрочных изделий.

Сплавы типа электраль относят к группе алюминиевых сплавов средней прочности. Хотя эти сплавы и не принадлежат к числу высокопрочных алюминиевых сплавов, характеризующихся большим временным сопротивлением разрыву (40 и более кг/мм^2), тем не менее из них вполне можно изготовлять ответственные изделия, так как присущий им предел текучести (30—33 кг/мм^2) после соответствующей термической обработки вплотную подходит к временному сопротивлению (32—37 кг/мм^2), что является почти исключительным среди всех прочих даже и высокопрочных алюминиевых сплавов, если последние после термообработки дополнительно не обрабатываются давлением.

Резюмируя краткий обзор, пригодный для изготовления ответственных конструкций и изделий алюминиевых сплавов, можно конкретизировать их состав и основные механические свойства в виде следующей таблицы (табл. 1).

Приведенные в табл. 1 основные механические свойства обработанных давлением алюминиевых сплавов получаются лишь в результате правильно проведенного режима термической обработки. Так как этот режим не является общим для всех сплавов, а в каждом отдельном случае является обособленным, то в табл. 2 приводятся подробные сведения о режиме термической обработки для каждого сплава в отдельности.

При употреблении алюминиевых сплавов следует помнить, что они в разных стадиях своей обработки обладают различными механическими качествами. В табл. 3 приведены характеристики механических свойств алюминиевых сплавов в различном их состоянии.

Более подробные сведения о механических качествах упомянутых алюминиевых сплавов, а равно и о других их физико-химических свойствах, обработке и применении можно почерпнуть из других литературных источников, имеющихся в настоящее время в большом количестве (40 до 95 вкл.).[1]

Заводы-производители полуфабрикатов легких сплавов часто могут сдавать свою продукцию заказчику в термически необработанном виде, так как, как правило, многие изделия, изготовляющиеся из этой продукции на других заводах, окончательной термической обработке подвергаются лишь в конце своего изготовления.

---

[1] По техническим соображениям приводится только часть имеющейся литературы.

Таблица 1

Химический состав и основные механические свойства важнейших обрабатываемых давлением алюминиевых сплавов, могущих быть использованными в качестве материалов для изготовления ответственных высокопрочных изделий

№ по порядку	Наименование сплавов	Удельный вес	Химический состав в %							Механические свойства после соответствующей механич. и термич. обработки *			
			Медь	Кремний	Магний	Марганец	Никель	Железо	Титан	предел текучести при ост. деф. 0,2% в кг/мм²	временное сопротивление разрыву в кг/мм²	относительное удлинение в % при расч. длине образца $L = 11{,}3\sqrt{\omega}$, где ω пл. поп. сеч. образца	модуль нормальной упругости в кг/мм²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Дюралюминий .	Около 2,8	4,0—4,8	0,5—0,8	0,5—0,8	0,5—0,8	—	Не более 0,5	—	22,0—28,0	38,0—43,0	15,0—20,0	От 6300 до 8000 кг/мм **
2	Лауталь	Около 2,8	4,0—5,0	0,75—1,25	—	0,5—0,8	—	Не более 0,5	До 0,3	22,0—28,0	38,0—43,0	15,0—23,0	
3	Сплавы типа Д-4 и Д-6 . . .	2,8	4,4—5,2	0,6—0,80	0,5—0,8	0,7—1,2	—	Не более 0,5	До 0,2	25,0—30,0	40,0—48,0	12,0—20,0	
4	Сплав RR-56 .	2,75	1,75—2,25	0,5—0,9	0,6—1,0	—	1,1—1,5	До 1,5	До0,15	32,0—40,0	40,0—50,0	10,0—20,0	
5	Сплавы игрек (у)	Около 2,8	3,75—4,25	Не более 0,5	1,3—1,7	—	1,8—2,2	Не более 0,5	—	24,0—33,0	36,0—43,0	15,0—22,0	
6	Силумин . . .	2,7	2,7—3,2	5,5—6,5	—	—	—	Не более 0,5	—	20,0—28,0	33,0—40,0	15,0—22,0	
7	Магналий . . .	2,6—2,65	Менее 0,01	Не более 0,3	6,0—8,5	До 0,8	—	Не более 0,3	—	16,0—22,0	31,0—41,0	15,0—25,0	
8	Электраль . . .	2,7	Не более 0,1	0,75—1,25	0,4—0,7	1,0—1,3	—	Не более 0,5	—	30,0—33,0	32,0—37,0	8,0—14,0	

* Механические свойства: для сплавов №№ 1, 3 и 5 даются после закалки в воде и естественного старения; для сплавов №№ 2, 4, 6 и 8 после закалки в воде и искусственного старения и для сплавов № 7 — после отжига и закалки на воздухе.

** Модуль упругости некоторых сплавов типа магналий равен 8000 кг/мм², например: сплав алюман с 0,5% Mg и 0,05% Mo (39).

Таблица 2

Режим термической обработки важнейших обрабатываемых давлением алюминиевых сплавов

№ по порядку	Наименование сплава	Нагрев перед закалкой			Среда для закалки	Старение (облагораживание)		Охлаждение
		температура в °С	время выдержки			температура в °С	время выдержки в часах	
			в селитр. ванне *	в элек. муфеле в часах				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Дуралюмин	490—500	От 2 мин. до 1 часа	2,0—4,0	Холодная вода	Комнатная	72 **	—
2	Лауталь	500—510	От 2 мин. до 1 часа	2,0—4,0	То же	120—130	16	На воздухе
3	Сплавы типа Д-4 и Д-6	495—505	От 2 мин. до 1 часа	2,0—4,0	„	Комнатная	120 **	—
4	Сплав RR-56 . . .	510—535	От 2 мин. до 1 часа	1,5—4,0	„	155—175	20	В воде
5	Сплав игрек (у) . . .	500—515	От 2 мин. до 1 часа	1,5—4,0	Кипящая вода	Комнатная	120 **	—
6	Силумин	520—540	От 2 мин. до 1 часа	2,0—4,0	Холодная вода	120—130	24	На воздухе
7	Магналий	425—435	0,75—1,5 часа	3,0—5,0	Воздух	Не производится		—
8	Электраль	530—540	От 2 мин. до 1 часа	2,0—4,0	Холодная вода	150—160	18	На воздухе

* Время выдержки при нагреве в селитровой ванне перед закалкой указано в зависимости от толщины.

** Можно ускорить старение выдержкой в течение 1 часа (для сплавов № 1 и 3) при 80°—100° в воде и сплава № 5 при 100° в кипящей воде. Кроме того, сплав игрек (у) часто подвергают старению при температуре 160—200° в течение 12 часов. *При этом*

Механические свойства сплавов

дуралюмин, лауталь, супердуралюмин, RR-56, игрек (у), силумин, магналий и электраль (соответствующих химическому составу, приведенному в табл. 1) в различных стадиях обработки

Стадия обработки или наименование сплава после соответствующей обработки	Механические свойства				
	предел упругости (при остат. деформ. 0,02%) в кг/мм²	предел текучести (при остат. деформ. 0,2%) в кг/мм²	временное сопротивление разрыву в кг/мм²	относительное удлинение при расчетн. длине $L = 11{,}3\sqrt{\omega}$ (где ω — пл. поп. сеч. образца в %)	твердость по Бринеллю в кг/мм²
1	2	3	4	5	6
1. Дуралюмин					
Отлитый в изложницу: сырой	5—10	7—12	12—20	0,5—5,0	40—60
Отлитый в изложницу: после 24-час. выдержки при темпер. 500°, закалки и естеств. старения	9—13	12—21	20—26	2,0—6,0	65—90
После горячей обработки давлением	10—13	12—15	20—25	10—15	60—80
После холодной обработки давлением	16—23	20—25	30—40	2—6	70—100
Обработанный и отожженный при температуре 350—400°	4—8	6—10	18—23	15—20	40—50
Механически обработанный и закаленный с 490—500° в воду (сразу после закалки)	13—18	15—20	28—32	15—22	80—90
То же, но после естественного старения в течение 3—5 дней	20—26	22—28	38—43	15—23	100—130
То же, но после дополнительной холодной деформации	33—38	35—40	50—56	2—5	140—160
2. Лауталь					
Отлитый в изложницу: сырой	7—13	9—15	15—25	до 10	50—70
Отлитый в изложницу: закаленный после 24-час. выдержки при температуре 500—520°	10—14	12—18	20—27	3—10	65—75
Отлитый в изложницу: то же, но после искусственного старения при 120—140° в теч. 20 часов	14—18	16—22	24—34	до 5	75—100
После горячей и холодной обработки термически необработанный	15—25	21—31	25—35	3—6	65—80
Обработанный и отожженный при температуре 350—400°	4—8	8—11	15—23	16—23	50—65
Механически обработанный и закаленный с 500—510° в воду	14—17	19—22	30—35	18—25	80—90

Продолжение

Стадия обработки или наименование сплава после соответствующей обработки	Механические свойства				
	предел упругости (при остат. деформ. 0,02%) в кг/мм²	предел текучести (при остат. деформ. 0,2%) в кг/мм²	временное сопротивление разрыву в кг/мм²	относительное удлинение при расчетн. длине $L = 11{,}3\sqrt{\omega}$ (где ω пл. поп. сеч. образца в %)	твердость по Бринеллю в кг/мм²
1	2	3	4	5	6
То же, но подвергнутый искусственному старению при 120—130° в течение не менее 16 час.	21—25	22—28	38—43	16—24	90—110
Обработанный лауталь, но подвергнутый после закалки еще дополнительной холодной деформации	32—34	38—40	42—44	4—6	100—115
То же, но подвергнутый после закалки и искусственного старения дополнительной холодной деформации . . .	40—42	46—48	50—52	3—4	125—140
3. Сплавы типа Д-4 и Д-6					
Отлитые в изложницу: сырой	8—12	12—15	18—22	до 2,0	65—75
Отлитые в изложницу: после 24-час. выдержки при температуре 500°, закалки и естествен. старения	12—20	15—23	24—30	до 3,0	90—110
После горячей и холодной обработки (термически необработанные)	18—25	23—28	35—45	1—5	80—120
Обработанные и отожженные при температуре 350—400° :	7—10	10—13	20—28	12—17	60—70
Механически обработанный и закаленный с 495—505° в воду (сразу после закалки) .	15—20	18—24	30—36	12—18	80—100
То же, но после естественного старения в течение 5 дней	22—26	25—30	40—48	12—20	115—1
То же, но подвергнутый после закалки и старения дополнительной холодной деформации	35—45	40—50	52—62	2—8	140—1
4. Сплав RR-56					
Отлитый в изложницу: сырой	9—14	14—19	18—23	1,4—2,0	60—1
Отлитый в изложницу: после 24-час. выдержки при температуре 520—540°, закалки и старения при 155—175° в теч. 20 час.	16—20	20—22	22—27	1,0—2,0	80—1

Стадия обработки или наименование сплава после соответствующей обработки	Механические свойства				
	предел упругости (при остат. деформ. 0,02%) в *кг/мм²*	предел текучести (при остат. деформ. 0,2%) в *кг/мм²*	временное сопротивление разрыву в *кг/мм²*	относительное удлинение при расчетн. длине $L = 11{,}3\sqrt{\omega}$ (где ω пл. поп. сеч. образца в %)	твердость по Бриннелю в *кг/мм²*
1	2	3	4	5	6
Обработанный давлением и отожженный при температуре 350—400°	8—12	12—16	20—25	14—18	50—70
Механически обработанный, закаленный с 510—535° в воду и искусственно старевший при температуре 155—175° в течение 20 часов . .	26—32	32—40	40—50	10—20	120—160
5. Сплав игрек (у)					
Отлитый в изложницу: сырой	8—13	14—19	17—22	до 1,5	70—90
Отлитый в изложницу: после закалки с температуры 500—520° (и времени 24 час.) в кипящей воде и искусствен. старения в течение 12 час. при 180°	12—20	22—25	25—31	0,8—2,0	90—110
Обработанный давлением и отожженный при температуре 350—400°	8—12	11—14	19—23	12—15	60—70
Механически обработанный, закаленный с 500—515° в кипящую воду и старевший естественно в течение 5 суток при комнатной температуре или искусственно в течение 12 часов при 180°	13—23	22—33	36—43	15—22	90—120
6. Силумин					
Отлитый в изложницу: сырой	5—9	8—12	17—24	0,5—2,5	65—80
Отлитый в изложницу: после закалки с температуры 520—540° (и времени 24 час.) в воду и старения в течение 24 час. при температуре 120—130°	10—17	13—21	20—27	1,0—4,0	80—90
Обработанный давлением и отожженный при температуре 350—400°	4—8	7—12	17—22	15—23	50—60

Стадия обработки или наименование сплава после соответствующей обработки	Механические свойства				
	предел упругости (при остат. деформ. 0,02%) в кг/мм²	предел текучести (при остат. деформ. 0,2%) в кг/мм²	временное сопротивление разрыву в кг/мм²	относительное удлинение при расчетн. длине $L = 11{,}3\sqrt{\omega}$ (где ω пл. поп сеч. образца в %)	твердость по Бринеллю в кг/мм²
1	2	3	4	5	6
Механически обработанный и закаленный с 520—540° в воду	14—17	18—22	30—34	16—21	80—9
То же, но подвергнутый искусственному старению при 120—130° в течение 24 часов	18—23	20—28	33—40	15—22	90—11
7. Магналий					
Отлитый в изложницу: сырой	7—10	10—13	14—18	1—2,5	60—75
Отлитый в изложницу: после термообработки	8—11	11—14	16—20	1,5—3,0	70—85
Кованый	20—30	26—36	36—50	4—10	100—13
Механически и термически обработанный (отожженный и закаленный на воздухе)	14—18	16—22	31—41	15—25	80—16
То же, но дополнительно нагартованный	30—38	35—45	40—52	6—12	100—12
8. Электраль (антикородаль)					
Отлитый в изложницу: сырой	8—11	12—16	15—20	1,0—3,0	60—8
Отлитый в изложницу: после закалки с температуры 530—540° (и времени выдержки 24 час.) в воду и старения в течение 18 часов при температуре 150—160°	13—19	16—23	20—29	1,5—5,0	90—1
Обработанный давлением и отожженный при температуре 350—400°	4—6	6—8	11—15	20—30	30—4
Механически обработанный и закаленный с 530—540° в воду	13—18	17—22	22—28	16—22	60—8
То же, но подвергнутый искусственному старению при температуре 150—160° в течение 18 часов	27—30	30—33	32—37	8,0—14,0	90—1

Так как закаленные сплавы в большинстве случаев более пластичны до искусственного старения, чем после него, то все процессы выпрямления и подгонки по размерам предпочтительнее производить после закалки, но перед искусственным старением.

Заготовки для горячей поковки приготовляются различными способами. При производстве кованых или штампованных изделий из алюминиевых сплавов предпочитают пользоваться прокатанным или прессованным материалом (допускаются также предварительные осадки литой заготовки на больших молотах). Литой алюминиевый сплав куется хуже, чем прокатанный или прессованный. В последних двух случаях деформирование горячей прокаткой или прессовкой сообщает сплаву еще большую пластичность, и материал прекрасно обрабатывается ковкой или штамповкой без образования трещин, которые имеют больше шансов появляться при ковке литого материала.

При ковке литого материала крупнозернистая первичная структура должна быть в первый же момент ковки осторожно разрушена. Отсюда следует, что первые удары молота при ковке литого материала должны быть легкими, и не вредно, если подобная первоначальная обработка материала ведется при одном-двух нагревах.

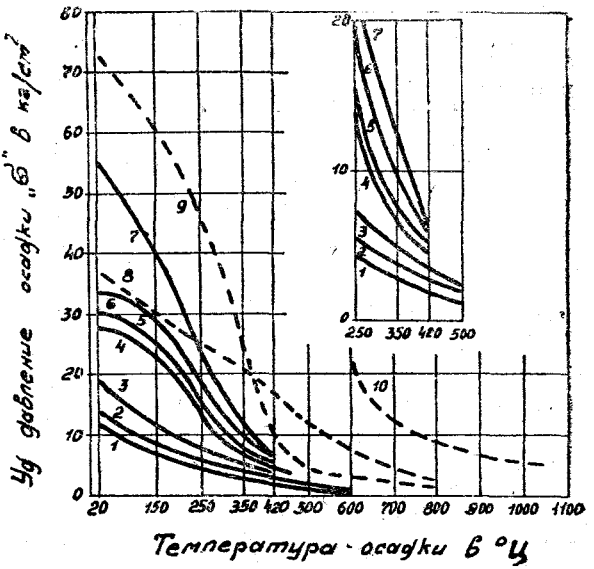


Рис. 9. Удельное давление при осадке различных алюминиевых сплавов в зависимости от температуры по сравнению с удельным давлением для латуни, меди и железа (19).

Обозначения: 1. Рафинированный алюминий наивысшей чистоты (99,99% Al); 2. Алюминий 1 сорта (99,5% Al); 3. Электраль (антикоррродаль); 4. Авианаль Д (близкий к дуралюмину); 5. Авианаль S_1 (близкий к сплавам Д-4 и Д-6); 6. Пералюман 2 (с содержанием 2,25% Mg и 1,25% Mn); 7. Пералюман 7 (с содержанием 7,2% Mg, 0,4% Mn) 8. Электролитическая медь (99,99% Cu); 9. Латунь состава: 57,7% Cu; 39,1% Zn; 2,1% Pb; 0,5% Ni и 0,035% Fe; 10. Железо (с содержанием 0,025% C; 0,008 Si и 0,46 Mn).

Нормальной температурой ковки и других видов горячей обработки давлением алюминиевых сплавов считается температура 350—450°. Однако нагревать полагается на несколько десятков градусов выше указанной температуры, дабы учитывать некоторое остывание при выгрузке из печи и теплоотдачу инструменту при самом процессе обработки. Переходить за верхние пределы температур: для магналия и алюмага — 440° и для остальных сплавов — 480° при нагреве не рекомендуется.

На рис. 9 сопоставлены удельное давление при статической деформации под ковочным прессом для алюминия и различных алюминиевых сплавов по сравнению с удельным давлением для латуни, меди и железа (19).

Из диаграммы видно, что при обычной температуре ковки алюминия и его сплавов в 350 — 450°, затрата энергии самая значительная для сплавов типа магналий (пералюман). За ними следуют сплавы типа Al — Mg — Mn, Al — Cu — Mg (дуралюмин), Al — Mg_2Si — Mn (электраль) и чистый алюминий,

требующий наименьшей затраты энергии. В то время как сплав, наибол трудно поддающийся обработке, требует удельного давления в ≈ 8 кг/см удельное давление для рафинированного алюминия наивысшей чисто едва составляет 1 кг/см².

При сравнении этих удельных давлений с соответствующими д латуни и ковкого железа, видно, что латунь, требующая удельного да ления 2—3 кг/см², подобна алюминиевым сплавам, легко поддающим ковке, тогда как ковкое железо, требующее 6 — 8 кг/см², соответству алюминиевым сплавам, трудно поддающимся обработке.

При переключении рабочего персонала с горячей обработки тяжел сплавов на обработку легких особенное затруднение вызывает определ ние температуры при нагреве заготовок, так как при применяемых низки

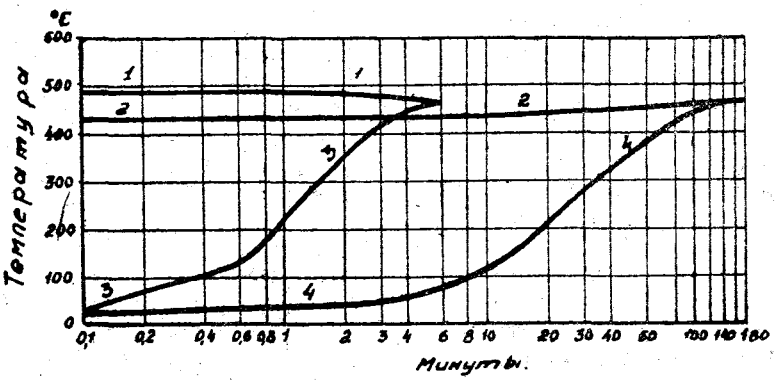


Рис. 10. Нагревание заготовки алюминиевого сплава диаметром 100 мм в соляной ванне и муфельной печи.

Обозначение кривых: 1. Температура соляной ванны. 2. Температура муфельной печи. 3. Нагрев заготовки в соляной ванне. 4. Нагрев заготовки в воздушной ванне (муфельной печи).

температурах еще не появляется цвета нагрева. В связи с этим особен необходимо рекомендовать пользоваться термо-электрическими регулят рами и точными пирометрами при нагреве в соляных селитровых ванна а также и в муфельных печах.

Для нагревания, как уже указывалось выше, можно пользовать муфельными печами или соляными селитровыми ваннами,[1] причем, к правило, необходимо точно регулировать и измерять температуру. Сол ные ванны по сравнению с муфельными печами обладают большей прои водительностью. По кривым, представленным на рис. 10, видно, что заг товка диаметром 100 мм нагревалась в соляной ванне до требуемой те пературы в 475° через 6 минут, тогда как та же заготовка в муфельно печи достигала той же температуры только через 170 минут. Следует по торить, что при работе с селитровой ванной заготовки до начала ков должны быть обязательно хорошо очищены от пристающей к ним сол

Обработка давлением алюминиевых сплавов в холодном состоянии вызывает также особенных затруднений. Тем не менее этот процесс в сл

[1] Лучший наиболее легкоплавкий состав селитровой ванны: ~ 50% KNO_3 + 50 $NaNO_3$ (молекулярных). Однако этот состав отнюдь не обязателен и допускает любые в рианты, вплоть до применения не смеси, а одной только соли либо калиевой, либо на ровой.

чае больших осадок и глубоких вытяжек и сверток требует применения промежуточных отжигов. Лучшая температура отжига лежит в пределах 350—400°.

Сплавы типа магналий и в данном случае несколько выделяются из остальных алюминиевых сплавов. Для них температура отжига установлена в 430° и, кроме того, следует отметить, что механические свойства их при этом получаются такие же, какие имеют место у других алюминиевых сплавов после закалки при более высокой температуре. Отсюда холодная обработка давлением сплавов типа магналий, по сравнению с другими алюминиевыми сплавами, особенно затруднительна, но тем не менее не непреодолима.

Следует отметить, что в настоящее время широко пользуются методом предохранения катанных полуфабрикатов из легких сплавов от коррозии помощью плакировки (покрытия) их слоем чистого алюминия или некорродирующего алюминиевого сплава, например тиаля или сплава № 5.[1]

Получающийся в результате материал комбинирует свойства прочности внутреннего металла или сердцевины из высокопрочного легкого сплава с сопротивлением коррозии поверхностного слоя.

Принцип защитного действия плакировки основан на том, что покров из чистого алюминия (или некорродирующего алюминиевого сплава) обладает более высоким потенциалом растворения по сравнению с внутренним алюминиевым сплавом или сердцевиной.

С целью увеличения коррозионной стойкости алюминиевых сплавов в последнее время все чаще и чаще применяется новый вид электрохимической защиты сплавов способами оксидирования поверхности вполне готовых изделий. Имеющаяся литература (96—99)[2] и практика в этой области позволяют считать эти методы окончательной отделки изделий наилучшими для целей защиты от коррозии.

Имея в виду (96), что не все алюминиевые сплавы с одинаковым успехом подвергаются этому процессу, отмечу наилучшие из них, а именно, чистый алюминий, тиаль, сплавы типа магналий (алюмаг), электраль (антикородаль) и сплав № 5.

Сплавы типа дуралюмин, Д-4, Д-6 и лауталь образуют вторую группу по качеству оксидирования, тогда как сплавы: игрек (у), RR-56 и силумин дают только мягкие пленки.

Таким образом наилучшими современными сплавами для производства высококачественных изделий, с точки зрения коррозионной устойчивости, следует считать сплавы типа электраль (антикородаль) и магналий (алюмаг). На втором месте — сплавы типа дуралюмин, лауталь, Д-4 и Д-6 и на третьем месте — RR-56, игрек (у) и силумин. Однако в случае защиты последних сплавов плакировочным слоем алюминия, тиаля или сплава № 5, при надлежащем сохранении такого слоя во время технологического процесса производства изделий, эти изделия из указанных сплавов также

---

[1] Тиаль отличается от чистого алюминия присутствием 0,2% титана, тогда как сплав № 5 — присутствием 1,25 % марганца. Оба сплава обладают, наравне с чистым алюминием, наивысшей коррозионной стойкостью. Несмотря на весьма близкие к чистому алюминию механические свойства, они обладают повышенной жесткостью. Поэтому в случае применения высокопрочных алюминиевых сплавов для штамповки и последующей нарезки рекомендуется плакировка их сплавом № 5, который будет воспринимать нарезку значительно лучше, чем чистый алюминий.

Тиаль по свойствам занимает промежуточную позицию между сплавом № 5 и алюминием.

[2] Значительное количество литературы, кроме отмеченной, приводится в сборниках аннотаций ОБТИ ВАМИ (99).

будут близко подходить по своим коррозионным свойствам к изделиям из сплавов первой из упомянутых групп.

Склепывать части из алюминиевых сплавов следует только в холодном состоянии. Заклепки могут быть изготовлены из тех же алюминиевых сплавов. Заклепки чаще всего употребляются в закаленном состоянии (причем в случае сплавов, стареющих при комнатной температуре, после закалки до склепки их держать в условиях мороза). Отверстия для заклепок должны быть хорошо отделаны, а головки заклепок — хорошо центрированы. Заклепки диаметром до 20 мм можно клепать пневматическими молотками. Детали перед клепкой должны быть правильно собраны и скреплены. При образовании головок заклепки должны быть приняты соответствующие допуски.

Последние достижения в области сварки алюминиевых сплавов и имеющаяся обширная литература (99) по этому вопросу показали, что алюминиевые сплавы свариваются хорошо. Однако, термически обработанный материал сваривать не всегда рекомендуется, так как в результате сварки прочность материала около шва (влияние высокого нагрева) составит около 60—70% прочности основного сплава.

Таким образом, следует проявлять осторожность при применении сварочных соединений в ответственных конструкциях из легких алюминиевых сплавов, подвергающихся сильным напряжениям.

Легкие алюминиевые сплавы очень легко обрабатываются на станках режущими инструментами и при их обработке можно сильно повышать скорость резания.

Поверхности обтачиваются и фрезеруются чисто. Резьба получается гладкая.

Для окончательной отделки обработанные изделия часто подвергаются травке. Травление преследует разные цели: улучшение внешнего вида выявление скрытых до этого пороков и, наконец, подготовка поверхности для дальнейшего оксидирования и покрытия лаками или красками.

Травление можно производить в подогретом до 60—70° 10—12% растворе едкого натра (каустической соды) с последующей нейтрализацией и снятием черной пленки окислов в 50% растворе серной кислоты (с добавкой 2% двухромово-кислого калия). Время травления в горячем растворе от 30 секунд до 1 минуты. Перед погружением в бак с кислотой изделие быстро ополаскивается в воде. Растворение пленки окислов (примесей) в кислоте происходит быстро. Далее изделие тщательно промывается в теплой или лучше в проточной воде и тщательно высушивается в сушильных шкафах при температуре, ни в коем случае не превышающей температуру искусственного старения сплавов. Рекомендуют (4) и другие рецепты и схемы травления алюминиевых сплавов, так, например погружение на 3 минуты в горячий 15% раствор каустической соды, промывание водой и погружение на 3 минуты в 15% раствор азотной кислоты с последующей окончательной промывкой водой. При этом отмечаются также наиболее удобные способы комбинаций термической обработки с декапировкой посредством быстрого охлаждения (закалка после выдержки при необходимых температурах) в растворе каустической соды. Перед оксидированием практикуют, как правило, обезжиривание в растворе едкого натра и травление в азотной кислоте.

Оксидирование алюминиевых сплавов развилось сравнительно недавно и быстро завоевало себе одно из первых мест среди других способов противокоррозионной защиты. Лучшие оксидные пленки на алюми-

евых сплавах получаются при помощи электролитического оксидирования сплавов в электролите, содержащем кислородные анионы.

Для выполнения процесса электролитического оксидирования обрабатываемые изделия из алюминиевых сплавов подвешиваются в ванне, состоящей из растворов щавелевой или серной кислот, и приключаются к цепи переменного или постоянного тока.

При прохождении тока на материале изделия образуется тонкая окисная пленка, которая, благодаря своей твердости и стойкости, отлично защищает основной сплав от механических повреждений и коррозии. Процесс ведут обычно при плотности тока от 1 до А/дцм², при напряжении от 12 до 60 *в* и в течение времени от 30 до 60 минут.

Ванна для электролитического оксидирования обычно состоит либо из 8—10% раствора щавелевой кислоты с добавлением 0,1% хромового ангидрида, либо из 15%-ной серной кислоты.

Кроме этих, наиболее распространенных составов, имеется также целый ряд других рецептов по электролитическому оксидированию, которые несколько отличаются от приведенных (98).

Перед погружением в ванну обрабатываемые изделия тщательно обезжириваются погружением на короткое время в горячий раствор 10%-ного едкого натра, после чего травятся в азотной кислоте и тщательно приключаются к полюсам, изготовленным из чистого алюминия.

При оксидировании в растворе щавелевой кислоты необходимо производить интенсивное охлаждение раствора. После обработки током изделия промываются в холодной воде, затем в горячей и тщательно высушиваются. Рекомендуется после окончания всех операций для защиты пленки от влажности покрыть изделие парафином, ланолином или каким-либо другим свободным от кислоты жиром.

Если требуется оксидировать изделие частично, оставляя некоторые его участки свободными от слоя окисла, то в этом случае необходимо перед оксидированием покрыть эти участки резиной или же после оксидирования удалить окисную пленку травлением.

Защищенные против коррозии электролитическим оксидированием изделия из алюминиевых сплавов устойчивы против механических воздействий, так как получающаяся пленка окислов имеет высокую твердость, приближающуюся при некоторых, особо благоприятных, условиях к твердости — равной 9 (по шкале Мооса). Твердость и прочность пленки вообще в значительной степени зависят от условий обработки и от состава обрабатываемого материала.

Как уже упомянуто было выше, наиболее подходящими для получения особо твердых пленок, кроме чистого алюминия, являются сплавы магналий и электраль (антикорродаль).

Высокое содержание меди и кремния в сплавах понижает твердость пленки и вместе с тем требует большего расхода тока; добавки же магния придают пленке большую твердость.

Что касается влияния условий электролитического оксидирования, то лучшие результаты в смысле получения более твердой пленки дает постоянный ток и холодный раствор серной кислоты.

Самое же главное это то, что, помимо высокой твердости, оксидированный слой обладает и значительной коррозионной стойкостью, которая (97) не только равноценна никелевому покрову (одному из лучших в коррозионном отношении), но в некоторых случаях даже превосходит его.

Оксидированные изделия из легких алюминиевых сплавов прекрасно держат любой лак и краску.

Покрытие лаками и красками является, вообще говоря, самым распространенным видом защиты металлов от коррозии.

Правда, эти покрытия непосредственно по травленой поверхности изделия не могут сравниваться с металлическими и окисными, так как имеют очень малую механическую прочность и не выдерживают нагревания выше 200—300°, но зато они обладают большим преимуществом — дешевизной. Сочетание же оксидирования с последующим лакированием или покрытием краской — наиболее современный, наилучший метод защиты изделий от коррозии.

Оксидированные изделия перед покрытием лаком или краской должны быть обезжирены.

Окраску производят в несколько приемов: сначала покрывают грунтом, т. е. краской, особенно хорошо защищающей металл от коррозии, на грунт наносят второй слой и если надо, третий. Верхний слой краски должен хорошо противостоять действию внешней среды.

Нанесение красок производится либо простым погружением в краску окрашиваемого, слегка подогретого изделия, либо вручную при помощи кисти. Однако эти способы малопроизводительны. Большей производительностью обладает применяемый в настоящее время способ пульверизации при посредстве специальных приборов, действующих сжатым воздухом.

Лучшим вариантом защиты изделия из легких алюминиевых сплавов от коррозии следует считать комбинированную защиту поверхности изделий при помощи электролитического оксидирования и последующего нанесения бакелитового лака или масляной краски.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новая формулировка норм. Aluminium, 10, 682—86, 1937.
2. Душман. Классификация основных промышленных алюминиевых сплавов. Rev. d Metallurgie, 9, 520—524, 1937.
3. Центер. Алюминиевые сплавы для фасонного литья, Труды ВАМИ 19, 149—7 1939.
4. Эдвардс, Фрэр'и и Джеффрис. Алюминиевая промышленность. Т. II. Алюмини и его производство, т. III. Изделия из алюминия и их производство, 1934 г.
5. Пентон, Берхен и Лыкошин. Обработка алюминия и его сплавов, 1933 г.
6. Миллер. Технология легких сплавов, 1933 г.
7. Цеерледер. Технология алюминия и его легких сплавов, 1935 г.
8. Беджен. Термическая обработка алюминия и его сплавов, 1935 г.
9. Иванов-Скобликов. Сплавы типа лауталь. Труды ВАМИ, 16, 52—77, 1937
10. Рено. Никель в сплавах алюминия, 1932.
11. Коварский. Кольчугалюмин (дуралюмин), 1932.
12. Строев, Коварский и Варгунин. Высокопрочные алюминиевые сплавы ВВ, 1935.
13. Важнейшие группы легких сплавов, обрабатываемые давлением сплавы. Metallwaren — In 17, 383—84, 1939.
14. Штендерен. Дуралюмин. Polytechn. Weckbl., 32, 381—83, 412—13, 1938 г.
15. Диккин и Андерсон. Обработка алюминия и его сплавов, J. Inst-Metals (Advan copy, paper 846), 65, 1939.
16. Лахтин. Авиационные материалы и их горячая обработка, 1936.
17. Кюнер. Производство цилиндрических алюминиевых изделий выдавливанием. En progress, 16, 285, 1935
18. Прейс. Штамповка легких металлов в державке. Metallwirtschaft, 45, 1162—1 1937.
19. Цеерледер. Свободная ковка легких металлов. Werkstatt u. Betrieb, 19/20, 270—1 1937.
20. Гаген-Торн и Марков. Исследование прокатки и механических качеств алюминиево-кремниевых сплавов. Рефераты работ „Ниисалюминия", 194, 1935.
21. Бобров. Влияние содержания железа на обрабатываемость алюминиево-кремниевых сплавов методом прессования и штамповки, 19, 229—33, 1939.

22. Сергеев. Электротермический силумин, Труды ВАМИ, 19, 62—81, 1939.
23. Гаген-Торн и Гохштейн. Повышение механических качеств силуминов, обрабатываемых давлением, путем введения добавочных компонентов. Рефераты работ „Ниисалюминия", 195, 1935.
24. Кренинг и Бобовников. Коррозия прокатанных алюминиевых сплавов. Труды ВАМИ, 16, 1934.
25. Ваше. Алюминиево-магниевые сплавы. Rev. de Metallurgie, 32, 614—26, 1935; Rev. de l'Aluminium, 76,3087, 1935.
26. Сергеев и Риммер. Влияние некоторых элементов на свойства сплавов типа „Магналий". Труды ВАМИ, 19, 1939.
27. Алюминиево-магниевые сплавы алюмаг. La Technique Moderne, 4, 24, 1936.
28. Стандартизация алюминиевых сплавов. Met. Ind. a. Metals, 46, 649, 1935,
29. Эдвардс. Алюминий и магний. Новые сплавы. Metals and Alloys, 10, 1939.
30. Гийе. Сплавы из легких металлов и их классификация. Genie Civil, 113 (58), 537—42, 1938.
31. Фосскюлер. Сплавы типа гидроналиум. Ib. dtsch Luftfahrtforsch., 1, 524—26, 1937.
32. Фусс. Металлография алюминия и его сплавов, 1937.
33. Ачисон. Современные прочные легкие сплавы. Metallurgia, 15—17, 1937.
34. Переслегин. Электропроводность алюминия и некоторых его сплавов. Сборник работ по металлообработке и сплавам. Труды Цгинцветмета, 103—114, 1937.
35. Брунклаус. Газовые баллоны из легких металлов. Das Gas u. Wasserfach, 28, 546—48, 1935.
36. Бахметев. Холодно-катанный дуралюмин, 1932.
37. Робинзон. Производство и свойства сплавов типа RR (гидуминов). Metallurgia, 94 и 96, 131—34, 291—04, 1937.
38. Цейглер. Алюминиевый сплав R-303. Iron Age, 156 (14), 74—78, 1945.
39. Цеерледер. Легкие сплавы на алюминиевой основе. Metallurgia, 122, 21, 47—53, 1939.
40. Броневский и Ковальский. Механические свойства алюминиево-цинковых сплавов. Met. a. Alloys, 10, 7, 1939.
41. *Обрабатываемый давлением сплав на алюминиевой основе* без меди 3,5—8% Zn, 1—2,5% Mg и 0,1—0,5 Zr. Cen. pat. off. Rec., 73 (44), 2908, 1945.
42. Болобан. Исследование дуралюминиевых профилей, 1936.
43. Белов. Изучение некоторых свойств легких прокатываемых сплавов, 1933.
44. Бунгардт и Оствальд. Температура рекристаллизации алюминиево-медных сплавов. Zeitschr. f. Metallkunde., 31, 45—55, 1939.
45. Бреннер и Кострон. Влияние числа операций закалки и продолжительности отжига на упрочнение при искусственном старении Al — Cu — Mg сплавов. Luftfahrt forschung, 16, 362—69, 1939; облагораживание Al — Mg — Si сплавов (пантал). Zeitschr. f Metallkunde, 4, 89—97, 1939.
46. Робинзон. Кованые и штампованные изделия из алюминиевых сплавов. Rev. de l'Aluminium, 112, 1764, 1939.
47. Воронов и Саморуков. Исследование сплавов типа силумин, 1933.
48. Раппопорт. О некоторых реакциях при выплавке алюминиево-кремниевых сплавов. Журн. „Цветные металлы" № 2, 1946 г.
49. Лунев. Силумин, 1937.
50. Писаренко. Определение механических характеристик силуминов. Сборник материалов по обмену опытом ВНИТОМАШ, 1946.
51. Иванов-Скобликов, Розов и Сергеев. Сравнительное исследование легких алюминиевых сплавов типа ВВ, дуралюмина и алькледа. Легкие металлы, 7—8, 33—38, 1937.
52. Гюртлер, Кёниг и Шмидт. Длительное испытание легких сплавов при различных температурах. Aluminium, 21, 202—08, 1939.
53. Коварский и Скондаков. Производство профилей из легких сплавов, 1936.
54. Цеерледер и Ирман. Механические свойства алюминия и его сплавов после длительного нагревания, J. Inst. Metals, 59, 111—27, 1936; Met. Ind. 48, 269, 1936.
55. Блейфусс и Флетхер. Алюминиевые сплавы как конструкционный материал, 9, 481—82, 1939.
56. Иствуд, Джемс и Белл. Алюминиевые сплавы, обрабатываемые в холодном состоянии. Met. Ind. (L), 54, 411—14, 1939.
57. Филлипс. Штампуемость алюминиевого сплава 75-S. West. Machinery a. Steel World, 36 (4), 146—49, 1945.
58. Раскин. Свойства и обрабатываемость алюминиевых сплавов 75-S. Porduct Eng., 16 (7), 461—63, 1945.
59. Готье. Сплавы алюминий — кремний, обрабатываемые термически. Fonderia, 14, 94—96, 1939. (Ср. Chem. Ztbl.—1, 521, 1939).

60. Кёниг. Конструкции из легких сплавов. Techn. Rundschau, 48 и 49, 2—3, 1939.
61. Справочник для конструктора по алюминию и его сплавам. (Амер. Алюм. Ком в Питтсбурге), 1938.
62. Девре и Телфер. Легкие сплавы в судостроении. Met. a. Alloys, 10, 7, 1939.
63. Эрангель. Ковкие коррозионно-устойчивые алюминиево-магниевые сплавы. Metaux Corrosion, 13, 177—80, 1938.
64. Некоторые коррозионные проблемы ковких алюминиевых сплавов. Metallurgia, 19, 1 146, 1939.
65. Бреннер и Фельдман. Влияние термообработки Al — Mg — Si сплавов (панта на их коррозионную устойчивость. Zeitschr. f. Metallkunde, 4, 97—101, 1939.
66. Бастьен. Легкие сплавы, содержащие никель. Rev. de Nickel, 10, 1, 3—14, 1939.
67. Бреннер. Последние достижения в области прокатки алюминиевых сплавов. Al minium, 6, 606—620, 1938.
68. Гроган и Плезанс. Влияние статического напряжения и термообработки на и теркристаллитную коррозию некоторых алюминиевых сплавов, обрабатываемых давл нием, J. Inst. Met, 64, 822, 16, 1938.
69. Мишо и Сеголь. К вопросу о рекристаллизации сплавов Al—Mg. Compt Rendus, 12, 980—83, 1937.
70. Друйи. Алюминиевые сплавы, обладающие свойством самозащиты, — алюма Aciers speciaux, metaux et alliages, IX, 110, 404—07, 1934.
71. Андерсон. Стандартные алюминиевые сплавы в США. Metallurgia, 110, 140—4 1939; 117, 93—94, 1939 и 119, 189—91, 1939.
72. Хорнауер. Влияние обработки давлением и термообработки на свойства легки сплавов. Werkstatt u. Betrieb, № 7- 8, 89—92, 1939.
73. А. В. — Штамповка алюминия и его сплавов. Rev. de l'Aluminium, 112, 1756—61, 193
74. Розов. Коррозионные испытания специальных силуминов, обрабатываемых давл нием. Труды ВАМИ, 16, 46—49, 1937.
75. Применение легких сплавов в судостроении. Shipbuilder a. Marine Eng. Builder, 4 № 353, 127—31, 1939; Shipping World, 101, № 2403, 897—99, 1939; Light Metals, 2, № 1 284—88, 1939.
76. Иванов-Скобликов и Шаповалов. Малолитражные баллоны из легки сплавов для сжатых газов. Труды ВАМИ, 19, 1939.
77. Петров и Берг. Исследование областей распространения твердых растворов ма ния и меди в алюминии. Журнал физической химии Академии Наук СССР, 20(12 1475, 1946.
78. Тамплин. Усталость легких сплавов. Met. Ind. (L), 55, № 14, 315—18, 1939.
79. Применение легких сплавов в авиастроении. J. Royal Aeron. Soc. 43, № 340, 289—309, 193
80. Бобров. Зависимость удельного давления при прессовании дуралюминия от темпе ратуры. Труды Ниисалюминия, 1—2, 63—73, 1932; процесс последовательного прессо вания легких металлов и сплавов. Труды ВАМИ, 16, 5—16, 1937.
81. Пулен. Механическая обработка легких сплавов. Rev. de l'Aluminium, 112, 1745 55, 1939.
82. Меньье и Мишель. Коррозионная устойчивость алюминиево-магниевых сплаво сваренных вольтовой дугой. Chim. c. Ind., 41, № 4 bis 209—21, 1938.
83. Уорсдейль. Изготовление высокопрочных прессованных легких сплавов и приме нение их в самолетостроении. Metallurgia, 100, 134—36, 1938.
84. Хью. Алюминий и его сплавы в применении на военных кораблях. Trans. Inst. Nava arch, 80, 220—29, 1938.
85. Гриблинг. Расширение области применения алюминия в судостроении. Nautic Gaz, 129, № 20, 11—13, 1939.
86. Элоксирование (элоксаль-процесс), Feugsport, 9, 189—91, 1936.
87. Бауман. К вопросу об исследовании элоксированных слоев, Metallwirtschaft, XVI 9, 236—38, 1938.
88. Гуревич. Защита металлов от коррозии, сборник аннотаций советских и иностра ных патентов, 1938.
89. Технико-информационный библиографический бюллетень и аннотация советской и ин странной литературы (производство легких металлов) ОБТИ ВАМИ, 1938, 193 и 1940 гг.