

Удербаетва А.Е.

**ЭВОЛЮЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АД31  
В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ПРОФИЛЕЙ**

*A.E. Uderbaeva*

**EVOLUTION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOY AD31 IN  
THE COURSE OF MANUFACTURE OF PROFILES**

УДК: 621.771.237.02

*Работа посвящена экспериментальному исследованию влияния процесса старения и пластической деформации на структуру деформируемого алюминиевого сплава АД31. По результатам исследований установлена зависимость среднего размера зерна образцов из сплава АД31 от величины пластической деформации сжатия при температуре испытания 490°С. Показано, что при горячей пластической деформации сформировать структуру с особо мелким зерном (значительно меньше 10 мкм) не представляется возможным.*

*Work is devoted an experimental research of influence of process of aging and plastic deformation on structure of deformable aluminum alloy AD31. By results of researches dependence of the average size of grain of samples from alloy AD31 from size of plastic deformation of compression is established at temperature of test 490 OC. It is shown that at hot plastic deformation to generate structure with especially fine grain (much less than 10 microns) it is not obviously possible.*

Алюминий и алюминиевые сплавы по своей значимости занимают второе место, после сталей и сплавов, по использованию в различных отраслях машиностроения. Важное значение алюминий имеет в авиации, электротехнике, в криогенной технике, используемой в космосе. Они выступают в качестве конструкционного материала в атомных реакторах водно-водяного типа. Из них изготавливают чехлы тепловыделяющих сборок и ряд других деталей и узлов активной зоны атомного реактора.

В настоящее время в Казахстане созрели условия, диктующие острую необходимость совершенствования технологий литья алюминиевых сплавов. Основной причиной этого является развитие ряда промышленных отраслей.

Из них изготавливают конструкции перекрытий, которые немногим уступают по прочностным характеристикам сталям и сплавам, но значительно легче. К примеру, алюминиевый сплав Д16 имеет предел текучести и предел

прочности 330 МПа и 440 МПа соответственно, а сплав В96 - 720 МПа и 750 МПа, что сравнимо с некоторыми марками качественных углеродистых сталей, (например, широко используемая сталь марки 45 имеет предел текучести 355 МПа и предел прочности 600 Мпа). Из алюминиевых сплавов изготавливают большой объем профилей, различного назначения со сложной конфигурацией.

Предметом изучения в данной работе был деформируемый алюминиевый сплав АД31, который служит в качестве конструкционного материала для производства профилей методом экструзии на ТОО «АЛПРОФ» города Алматы.

При этом материал подвергается пластической деформации сжатия. Известно, что алюминиевые деформируемые сплавы относятся к категории стареющих. После отливки, в процессе вылежки в них протекают структурные изменения, приводящие к увеличению прочностных характеристик и снижению запаса пластичности. Кинетика старения прослеживалась через изменение предела текучести  $\sigma_{02}$  - Для этого через определенные промежутки времени после кристаллизации снимались диаграммы растяжения для трех образцов. Результаты испытаний представлены на рисунках 1-3.

Видно, что разброс полученных значений предела текучести, временного сопротивления и запаса пластичности невелик. Данные были получены через 3, 5, 10, 15, 25, 40, 80 и 144 часа. В результате проведенных исследований удалось установить, что вместе с ростом  $\sigma_{02}$  от 61,5 МПа, после трех часов старения, до 83 МПа после 144 часов старения. Временное сопротивление также возрастает от 119,5 МПа до 138,5 МПа. По мере роста прочностных характеристик пластичность падает от 15,6% до 9,1%. Прямолинейные графики наиболее просты в обработке.

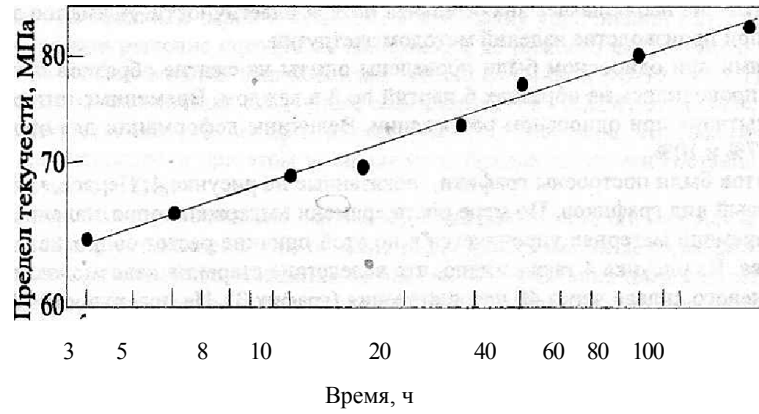


Рис. 1. Зависимость предела текучести от времени старения в двойных логарифмических координатах.

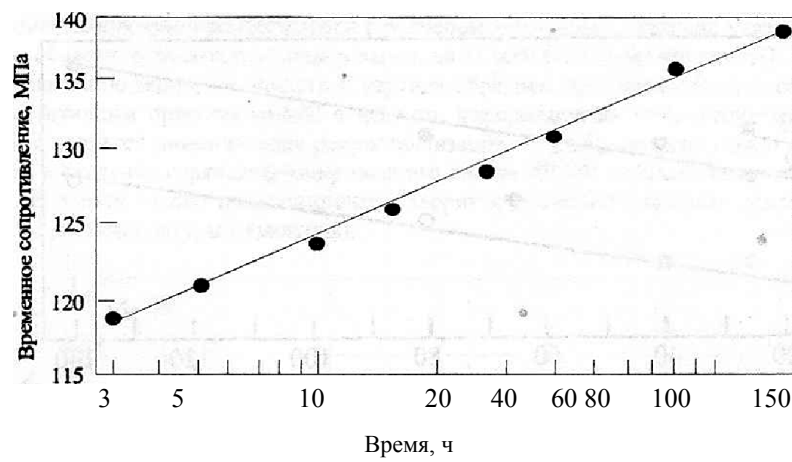


Рис. 2. Зависимость временного сопротивления от времени старения сплава АД31 в двойных логарифмических координатах

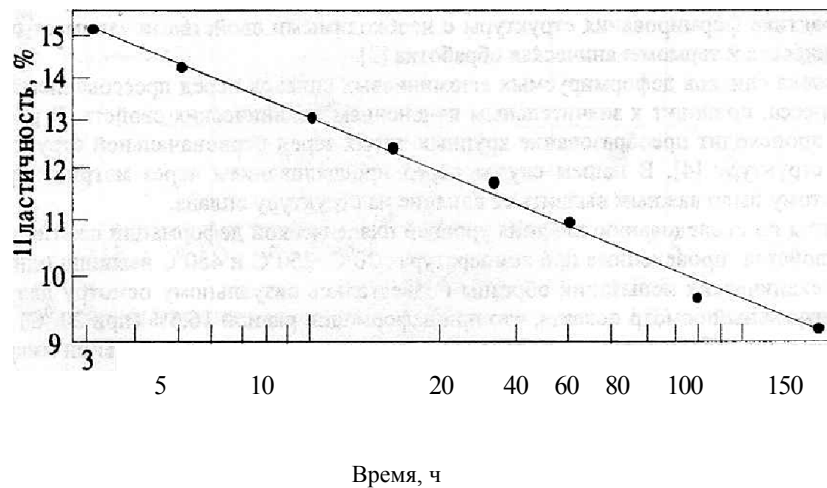


Рис. 3. Зависимость пластичности алюминиевого сплава АД31 от времени старения в двойных логарифмических координатах.

Из рисунков 1-3 следует, что зависимости могут быть описаны уравнениями степенного вида

$$\Sigma_{02} = \alpha \tau^m \quad (1)$$

$$\sigma_{\beta} = \beta \tau^m \quad (2)$$

$$\delta = \gamma \tau^q \quad (3)$$

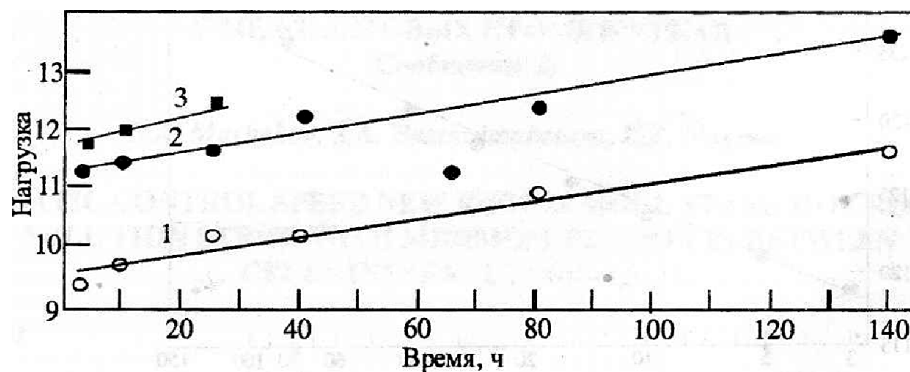
где  $\alpha, \beta, \gamma$  - коэффициенты,  $m, q$  - показатели степени.

Увеличение предела текучести и временного сопротивления можно было бы отнести к положительным эффектам, если бы при этом не наблюдалась значительная потеря пластичности. А именно эта величина относится к числу основных при производстве изделий методом экструзии.

Наряду с испытаниями при одноосном были проведены опыты на сжатие образцов при разных временах старения. Исследования проводились на образцах 6 партий по 3 в каждом. Временные интервалы были выбраны, ориентируясь на испытания при одноосном растяжении. Величины деформации для образцов всех партий были одинаковыми: 3%, 7% и 10%.

По результатам опытов были построены графики, показанные на рисунке 4. Первое, что следует отметить это качественно одинаковый вид

графиков. По мере роста времени выдержки сопротивления деформированию возрастает. С течением времени материал упрочняется и по этой причине растет сопротивление деформированию алюминиевого сплава. Из рисунка 4 также видно, что вследствие старения невозможно продеформировать на 10% образец алюминиевого сплава через 40 часов старения (график 3). На поверхности образца, при достижении пластической деформации более 8%, появляются трещины, а затем происходит его разрушение. Сравнение графиков 1, 2 и 3 на рисунке 4 показывает, что по мере роста величины требуемой деформации, растет нагрузка. Другими словами, большая деформация требует приложения большей нагрузки. Возможной причиной этого является деформационное упрочнение свойственное практически всем конструкционным материалам.



1 - деформация 3%, 2 - деформация 7%, 3 - деформация 10%.  
Рис. 4. Сопротивление деформации сжатия алюминиевого сплава АД31 в процессе старения

Деформационное упрочнение ряда металлических материалов было подробно изучено в работах [1,2].

Важное место в практике формирования структуры с необходимыми свойствами занимает предварительная механическая, термическая и термомеханическая обработка [3].

Предварительная ковка слитков деформируемых алюминиевых сплавов перед прессованием или подсадка слитков в контейнере прессы, приводит к значительным изменениям механических свойств. В результате проведения этих операций происходит преобразование крупных литых зерен первоначальной структуры слитка в более мелкозернистую структуру [4]. В нашем случае перед продавливанием через матрицу

производилась подсадка заготовки. Поэтому было важным выявить ее влияние на структуру сплава.

Первые эксперименты по исследованию влияния уровней пластической деформации сжатия на кратковременные механические свойства проведенные при температурах 20°C, 250°C и 480°C выявили одну существенную проблему. После механических испытаний образцы подвергались визуальному осмотру для определения состояния материала. Визуальный осмотр показал, что при деформации равной 16,5% (при 20 °C) на поверхности контакта образца с прессом наблюдается сетка, вероятно, свидетельствующая о появлении микротрещин.

При больших деформациях целостность образцов нарушалась. Они достаточно легко распадались на фрагменты. При температуре

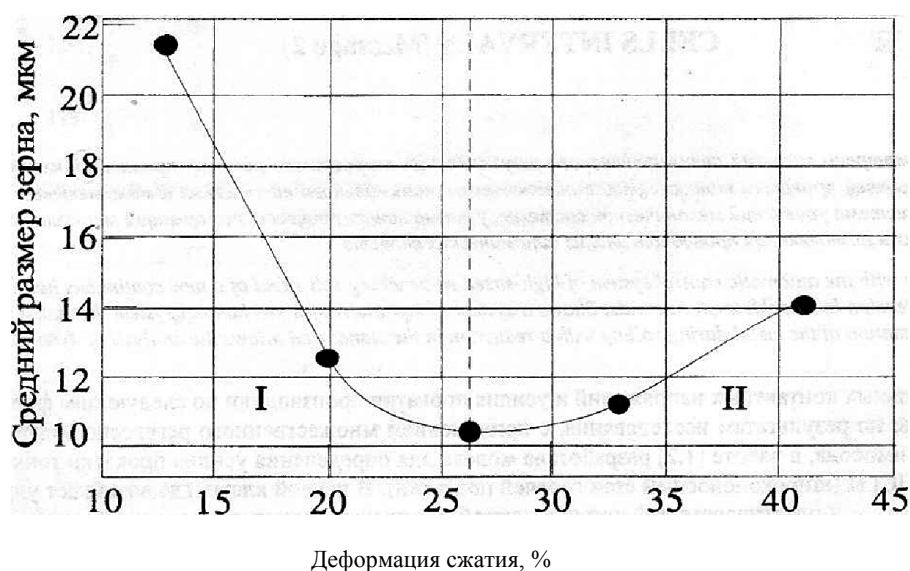
250°C после деформации в 16,5% сетка микротрещин не наблюдалась, но после деформации равной 19,2% образец распадался на фрагменты. Несколько иная картина наблюдалась при 480°C. Сетка микротрещин появилась при деформации 19,2%, но образцы не распадались на фрагменты даже после 22,5%. Зеренная структура, как показали металлографические исследования при таких уровнях пластической деформации изменяется не столь значительно, чтобы можно было говорить о заметном влиянии на механические свойства. Поэтому встал вопрос о возможности повышения пластических свойств исследуемого сплава АД31. В первую очередь была сделана попытка изменить с помощью переплава химический состав. Результаты химического анализа, сделанные на фрагменте прутка промышленного производства показали следующее содержание основных элементов: Fe - 0,42... 0,43% (0,5%), Si - 0,58... 0,67% (0,3-0,7%), Mg - 0,44... 0,54% (0,4-0,9%). В скобках показано допустимое их содержание. Обращает на себя внимание тот факт, что содержание трех основных элементов находится на грани допустимого. Известно, что наличие в алюминиевых сплавах железа и кремния ведет к образованию фазы, представляющей собой тройное химическое соединение Al - Fe - Si. Данная фаза выпадает по границам зерен и приводит к заметному упрочнению материала и потере пластичности. Поэтому было принято решение снизить их содержание до нижнего допустимого значения. Этой целью в расплав промышленного производства был добавлен чистый алюминий (Al 99,99%). Проведенный после кристаллизации повторный анализ показал следующее содержание:

Fe - 0,32%, Si - 0,34%, Mg - 0,4%. Полученная для такого сплава диаграмма растяжения при температуре 490°C показала, что пластичность составляет более 50%. Прочностные характерис-

тики при этом уменьшились. Предел текучести составил 50,3 МПа, а временное сопротивление упало до 106 МПа.

Из этого материала была приготовлена партия образцов для испытаний на сжатие с последующим анализом микроструктуры. Было установлено, что по мере роста пластической деформации сжатия средний размер зерен меняется. Результаты испытаний показаны на рисунке 5. Испытания пяти партий образцов показали, что структура сплава АД31 чувствительна к пластической деформации. Средний размер зерна в исходном (недеформированном) состоянии был равен 23 мкм. После деформации до 26,2% величина зерна уменьшилась до 10,6 мкм, т.е. в 4 раза. Но дальнейшее увеличение пластической деформации привело к росту среднего размера зерна. Это наглядно демонстрирует график рисунка 5. Он построен в простых координатах.

Из рисунка 5 видно, что график зависимости размера зерна от величины пластической деформации сжатия немонотонен, имеет минимум в области зерен с размером -10-11 мкм. Наличие указанного минимума позволяет выделить две области: относительно малых зерен, до 11 мкм (I) и более крупных (II). В области I деформация приводит к измельчению зерна, а в области II картина обратная. Ход зависимости в области малых зерен соответствует существующим представлениям о влиянии деформации на микроструктуру. Возможной причиной такого поведения является динамическая рекристаллизация. Подтверждением может служить работа [5], в которой, на примере изучения горячедеформированного сплава АК4-1, показана возможность протекания указанного процесса. В пользу такого предположения говорит и достаточно высокая температура деформирования (490+5 °C, юга 0,8 от температуры плавления).



**Рис. 5.** Зависимость среднего размера зерна образцов из сплава АД31 от величины пластической деформации сжатия. Температура испытания 490 °С

Полученный результат говорит об одной важной для практических целей особенности. При горячей пластической деформации сформировать структуру с особо мелким зерном (значительно меньше 10 мкм) не представляется возможным. Следовательно необходимо искать возможность снижения температуры осадки и режимов деформирования для получения мелкозернистой структуры с малыми значениями предела текучести и большими величинами пластической деформации.

**Литература:**

1. Чумаков Е.В., Жансеркеева З.А. «Деформационное упрочнение алюминия и титана». - Алматы, «Вестник КазАТК», №3, 2008, С.97-100.
2. Чумаков Е.В., Жансеркеева З.А. «Деформационное упрочнение и ползучесть ГЦК-металлов». - Алматы, «Вестник КазАТК», №4, 2008, С.28-32.
3. Фридляндер И.Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. М.: Металлургия, 1979, 208 с.
4. Боргоянов М.П., Ерманок М.З., Кадышева Г.И., Кокоулин В.Г. Влияние предварительной деформации слитков сплава АМгб на скорость прессования//Техн. Легких сплавов. 1983.№4
5. Ю.М, Вайнблат, С.Ю. Клепачевская, ТТ.Ш. Ланцман. Диаграммы структурных состояний и рекристаллизации горячедеформированного сплава АК4-1// Физика металлов и металловедение. 1977, т.44. выпуск 4.
6. Есырев П.Г., Чумаков Е.В., Сыздыкбеков Н.Т., Удербаета А., Репасси Д., Гусейнов С.А., Ким С.М., Пономарев В.Г., Шитов В.В., Сидорова Р.М. Алюминий и его сплавы, Исследования деформируемого алюминиевого сплава АД31 на базе производства консорциума «АЛПРОФ»//Алматы, 2010.-110 с.

**Рецензент: д.т.н., профессор Поветкин В.В.**