

УДК 669.71

СКВОЗНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОДУКТА И ПРЕССОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ТИПОВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ООО «АЛТЕК»

© **Смирнов Евгений Николаевич**¹, д-р техн. наук (en_smirnov@i.ua);
Скляр Виталий Александрович¹, канд. техн. наук (konfor1@yandex.ru);
Митрофанов Максим Владимирович² (mehanik@altek.su);
Смирнов Олег Евгеньевич¹ (olegsmir1@gmail.com);
Белевитин Владимир Анатольевич³, д-р техн. наук (belewitinva@cspu.ru);
Смирнов Алексей Николаевич⁴, д-р техн. наук (stalevoz@i.ua)

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»). Россия, г. Старый Оскол

² ООО «АЛТЕК». Россия, г. Старый Оскол

³ ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет» (ЮУрГГПУ). Россия, г. Челябинск

⁴ Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины. Киев

Статья поступила 18.10.2016 г.

Показано, что одним из направлений развития внутреннего рынка алюминия является формирование разветвленной (географически) структуры его переработки, в том числе и с использованием рециклинга накапливаемого в регионе скрапа, на базе вновь создаваемых производств с широкой номенклатурой выпуска товарной продукции. В условиях типичного регионального производителя ООО «АЛТЕК» выполнено исследование динамики формирования уровня механических свойств в рамках системы технологий «производство литых заготовок круглого поперечного сечения – прессование – термическая обработка». Показано, что достигнутые показатели являются достаточными для выполнения требований большинства потребителей. В то же время, дальнейшее развитие реализованного технологического цикла возможно путем создания сквозной системы оперативного управления качеством как полупродукта, так и готовой продукции.

Ключевые слова: региональный производитель; алюминиевый профиль; прессование; механические свойства; старение; «градиентный» нагрев.

Основные мировые тенденции развития алюминиевой индустрии в глобальном аспекте могут быть сведены к двум тезисам:

– во-первых, расширение из года в год объемов производства рециклированного алюминия, который все более активно заменяет в изделиях (профилях) первичный алюминий; в развитых странах доля его в общем потреблении алюминия уже достигает 30%;

– во-вторых, возрастанием потребления прессованных алюминиевых профилей (в передовых странах достигает 5–10 кг в год на душу населения) [1].

На сегодня в России работает более 400 производителей алюминия (в том числе и на основе рециклинга амортизационного лома), а также занимающихся его последующей переработкой в профили различного сечения. Вместе с тем, в целом по стране в структуре товарной продукции алюминиевых компаний существует диспропор-

ция – около 80% составляет алюминий, не прошедший стадии глубокой переработки методами обработки металлов давлением. В то же время, основываясь на уровне потребления алюминиевых профильных систем на европейском рынке, специалисты оценивают годовой потенциал российского рынка в вышеназванной продукции примерно в 500 тыс. т [2]. Во многом проблемы наполнения российского рынка алюминиевыми профильными системами могут быть решены путем создания сети мелких и средних региональных производителей, ориентированных на рециклинг алюминиевых отходов.

Анализ системы технологий мелких и средних региональных производителей прессованных алюминиевых профилей, начавших свою деятельность в 2000-х годах (совокупный выпуск товарной продукции этими организациями превышает 50% общего производства вторичного алюминия в России [3]), показывает, что в большинстве

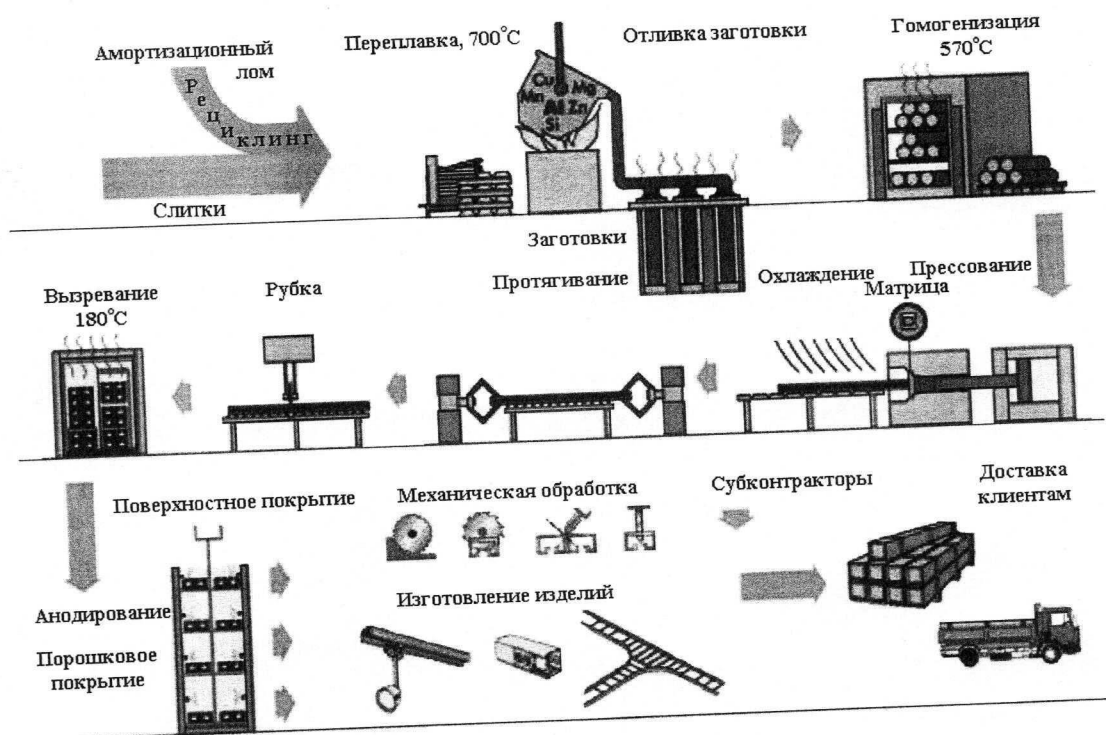


Рис. 1. Технологическая схема изготовления профилей из алюминиевых сплавов

случаев она является типовой (рис. 1). Однако с позиции обеспечения необходимого металлургического качества как исходного сырья для линии прессования (литых заготовок круглого сечения – так называемых «столбов»), так и готовых алюминиевых профилей, анализ фактически действующих на ряде региональных предприятий технологических схем позволил выявить присущий им недостаток: количество структурных составляющих, обеспечивающих эффективное управление и контроль качества сырья, полупродукта и готовой продукции по всем переделам не соответствует современным представлениям. При этом в свете наметившейся тенденции уменьшения толщины элементов готовых профилей (до 0,6 мм и менее) при сохранении общей конструкционной прочности вопросы повышения уровня механических свойств готовой продукции весьма актуальны.

С учетом вышеизложенных тенденций был выполнен комплекс исследований на заводе по производству алюминиевого профиля ООО «АЛТЕК» [4] (региональный производитель, Белгородская обл.), целью которого была разработка методологических подходов к созданию системы сквозного оперативного управления качеством как полупродукта, так и готовой продукции в системе технологий «производство литых заготовок круглого поперечного сечения – прессование – термическая обработка» на основе достигаемых показателей механических свойств.

Сортамент выпускаемых алюминиевых профилей в ООО «АЛТЕК» представлен 21 группой (профили общестроительного назначения, для натяжных потолков, для систем кондиционирования и вентиляции, для монтажа гипсовиниловых панелей, для производства шкафов-купе и т.д.) – более 3000 профилеразмеров. Для производства этого сортамента используют шесть алюминиевых сплавов: АД0, АД1, АД31, АД33, 6060 и 6063.

На первом этапе исследований выполнили комплексную оценку качества отливаемых на предприятии слитков диаметром 145 мм с целью более полного учета влияния формирующейся в процессе полунепрерывной разливки макроструктуры слитка на уровень служебных свойств прессованных профилей. Для этого от полученных слитков коррозионностойкого сплава системы Al–Mg–Si – АД31, 1310 (ГОСТ 4784–97) или AlMg_{0,7}Si, 6063 (ИСО 209-1) отбирали по два образца – один для контроля распределения по сечению химических элементов, второй – для определения твердости. При этом пробы от цилиндрических слитков отбирали как в литом, так и в гомогенизированном состоянии (рис. 2).

Установлено, что распределение двух образующих элементов системы (Mg и Si) неравномерно (рис. 3). В слитках (см. рис. 3, а) содержание кремния колеблется от среднего значения 0,451% в интервале (–3,32...+8,4%, ширина интервала 11,72%),

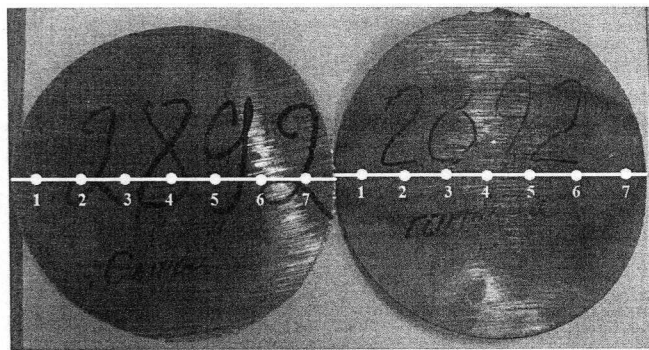


Рис. 2. Внешний вид темплетов с указанием точек контроля

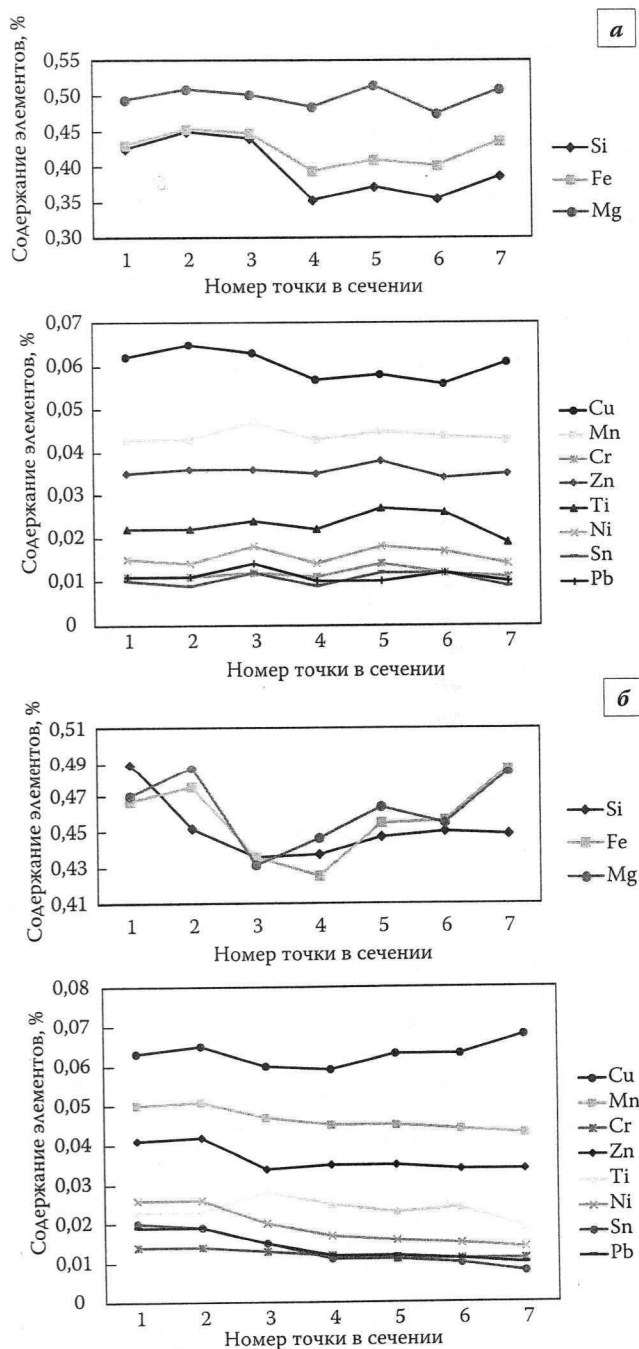


Рис. 3. Распределение химических элементов в сечении цилиндрического слитка из сплава 6063: а – после разливки; б – после гомогенизации (температура нагрева 585 °С, длительность выдержки – 6 ч, охлаждение – 2 ч)

Mg – от среднего значения 0,462% (–6,71...+5,4%, ширина интервала 12,1%). Ширина интервала колебаний одинакова, несмотря на четко прослеживаемую асимметрию в распределении элементов по диаметру. Аналогичный характер носит распределение Fe. Распределение остальных контролируемых химических элементов достаточно равномерное (ширина интервала колебаний от среднего значения не превышает –0,005 и +0,01%).

Гомогенизация по реализуемому на предприятии (рис. 4) температурно-временному режиму, включая нагрев, выдержку и последующее охлаждение (см. рис. 3, б), не обеспечила необходимого уровня диффузии элементов Fe, Mg и Si. Все вышеизложенное потребовало корректировки режима гомогенизации цилиндрических слитков (см. рис. 4).

Дальнейшие исследования характера распределения твердости *НВ* (имеет линейную связь с условным пределом текучести $\sigma_{0,2}$ в алюминиевых сплавах [5]) по сечению цилиндрических слитков (рис. 5) показали, что внесенные коррективы позволили получать одинаковую твердость цилиндрических слитков по сечению, за исключением точки, находящейся на оси слитка. Кроме того,



Рис. 4. Действовавший и скорректированный режимы гомогенизации цилиндрических слитков



Рис. 5. Распределение твердости (*НВ*) в сечении цилиндрического слитка из сплава 6063 в исходном состоянии и после гомогенизации по скорректированному режиму

характер распределения значений твердости стал носить симметричный характер. Полученный результат косвенно подтверждает равномерность микроструктуры металла по сечению.

Термическая обработка слитков и профилей из алюминиевых сплавов позволяет получить пресс-изделия в широком диапазоне механических свойств. Хотя на свойства профилей из деформируемых алюминиевых сплавов значительное влияние оказывает весь цикл термической обработки, однако наибольшее значение имеют нагрев заготовки перед горячей деформацией и окончательная термообработка.

При определении температурного режима необходимо соблюдать следующие условия [6, 7]:

- наибольшее снижение сопротивления деформации с целью уменьшения требуемых усилий и нагрузок на деформирующий инструмент;
- обеспечение наибольших скоростей истечения деформируемого металла;
- поддержание температуры не выше критической для данного сплава, превышение которой вызывает резкое снижение вязкости и нарушение целостности профиля;
- соблюдение оптимальных температурных условий работы прессового инструмента;
- получение профилей с заданными свойствами.

На втором этапе исследований дополнительный выборочный контроль качества нагрева заготовки перед горячей деформацией с использованием переносной аппаратуры (тепловизора и пирометра) показал, что реализуемый на печи технологический регламент обеспечивает равномерный и стабильный нагрев заготовок. Расхождения с показаниями стационарного пирометра не превысили 5–10 °С.

Вместе с тем контроль микроструктуры профилей с толщиной стенки отдельных элементов 0,55–0,6 мм (на момент пуска предприятия в 2013 г. минимальная толщина элементов была не менее 1,0 мм), отобранных непосредственно после выхода из матрицы, показал, что имеются различия в величине зерна в различных точках по сечению и длине профиля. Этот факт обусловлен, по-видимому, различными степенями деформации и неравномерностью температуры отдельных фрагментов поперечного сечения профиля. Это косвенно подтверждает нарушения режима изотермического прессования.

С целью достижения стабильности при изотермическом прессовании предприятию было рекомендовано выполнить комплексное исследова-

ние влияния изменения следующих параметров:

- формы, толщины отдельных элементов и параметров прессования на качество получаемых изделий;
- уменьшения скорости в процессе прессования в соответствии с измеренной на выходе из матрицы температурой профиля;
- уменьшения скорости прессования в соответствии с программой ее предварительного выбора;
- неравномерного нагрева заготовки (более низкой температуры хвостовой части заготовки – так называемый «градиентный» нагрев) [8].

В ходе третьего этапа исследований, с целью дополнительного повышения уровня служебных свойств прессованных профилей (для случаев, когда прочностные свойства являются определяющими) в качестве завершающей операции цикла термической обработки наиболее часто используется операция искусственного старения при повышенной температуре. Характерной особенностью этой операции является более резкое повышение предела текучести по сравнению с повышением предела прочности, а пластичность (относительное удлинение) уменьшается. При выборе промышленных режимов предпочтение отдают температурам, обеспечивающим «растянутый» максимум на кривой старения, так как возможное перестаривание приведет к уменьшению как предела прочности, так и предела текучести.

Представленные в таблице итоговые результаты исследования показывают, что применительно к условиям имеющегося оборудования достаточный (для большинства заказов) результат по оптимизации температурно-временных режимов искусственного старения профилей достигается при температуре в печи 210 °С и времени выдержки 3 ч: условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ при этом повышается в два раза, а относительное удлинение δ_5 , уменьшается тоже в два раза. Возрастание твердости и предела прочности σ_b составило 1,32 и 1,22 раза соответственно. С позиции гарантированного обеспечения «растянутого» максимума на кривой старения может быть рекомендован режим и с более длительной выдержкой при пониженной температуре: температура в печи 185 °С, время выдержки 6 ч. Однако в этом случае несколько большее возрастание характеристик σ_b , $\sigma_{0,2}$ и твердости (в 1,33; 2,18 и 1,44 раза соответственно) сопровождается более резким уменьшением показателей пластичности δ_5 и ψ в 3,0 и 1,35 раза соответственно. Кроме того, реализация такого технологического режима требует

Механические свойства прессованных профилей до и после старения

Предел прочности, σ , Н/мм ²	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	Относительное удлинение после разрыва, δ_5 , %	Относительное сужение после разрыва, ψ , %	Твердость, <i>НВ</i>
<i>Состояние образца: без старения</i>				
164–172 168	60–72 65	14–24 18	71–76 74	39–44 41
<i>Состояние образца: после старения (выдержка 3 ч, t = 210 °С)</i>				
201–209 205	124–133 130	7–13 9	62–68 63	52–62 54
<i>Состояние образца: после старения (выдержка 6 ч, t = 185 °С)</i>				
220–229 224	136–152 142	4–8 6	50–58 55	56–63 59

Примечание. Над чертой – минимальное и максимальное значения в выборке из 100 испытаний; под чертой – значение, наиболее часто повторяющееся в выборке.

дополнительной его экспертизы по энергетической составляющей.

Закключение. Одним из направлений развития внутреннего рынка алюминиевых профилей является формирование разветвленной (географически) структуры переработки алюминия для региональных нужд, в том числе мелкого и среднего бизнеса, на базе вновь создаваемых производств с широкой номенклатурой продукции. Выполненное в условиях типичного регионального производителя ООО «АЛТЕК» комплексное исследование качества готовой продукции в технологическом цикле «производство литейных форм круглого поперечного сечения – прессование – термическая обработка» заготовки показало, что достигнутые показатели свойств достаточны для выполнения требований большинства потребителей. Показана возможность дальнейшего развития реализованного технологического цикла путем создания сквозной системы оперативного управления качеством как полупродукта, так и готовой продукции на базе одного из критериев – уровня механических свойств.

Библиографический список

1. Шмитц К., Домогала Й., Хааг П. Рециклинг алюминия. Основы технологий. Механическая подготовка / Ред. пер. Г.С.Макаров. М. : Алусил МВиТ, 2008. 528 с.
2. Обзор рынка профилей из алюминиевых сплавов и экструзионного оборудования в России: 3-е издание. М. : Исследовательская группа «ИНФОМАЙН», сентябрь 2014 г. 215 с.
3. Хазанов А. Перспективы развития алюминиевого рынка России. Алюминиевый форум в Сибири // Металлург. 2012. № 7. С. 86–90.
4. Завод по производству алюминиевого профиля ООО «АЛТЕК» [Электронный ресурс], URL: <http://www.altek.su/index.php/ru/> (дата обращения: 11.10.2016).
5. Дрозд М.С. Определение механических свойств металлов без разрушения. М. : Металлургия, 1965. 171 с.
6. Перлин И.Л., Райтбарт А.Х. Теория прессования металлов. М. : Металлургия, 1975. 447 с.
7. Грабарник А.М., Нагайцев А.А. Прессование цветных металлов и сплавов. М. : Металлургия, 1991. 342 с.
8. Данченко В.Н., Миленин А.А., Головкин А.Н. Производство профилей из алюминиевых сплавов. Теория и технология. Днепропетровск : ДНВП «Системные технологии», 2001. 448 с.

END-TO-END EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF SEMI-PRODUCT AND EXTRUDED ALUMINUM PROFILES IN CONDITIONS OF TYPICAL REGIONAL MANUFACTURER ALTEK, Ltd

© Smyrnov Y.N., Skliar V.A., Mitrofanov M.V., Smyrnov O.Y., Belevitin V.A., Smirnov A.N.

It is shown that one of the directions of development of the domestic market of aluminum is the formation of branched (geographically) the structure of its processing, including using the recycling accumulated in the region the scrap on the basis of newly created productions with a wide range of commodity output. In terms of typical regional manufacturer, ALTEK, Ltd the research aimed at studying the dynamics of formation of the level of mechanical properties in the framework of the technology "Production of cast billets of circular cross-section – Pressing – Heat treatment". It is shown that the performance is sufficient to meet the requirements of most consumers. At the same time, further development of the implemented system technology it is possible to create end-to-end operational management system of quality of intermediate and finished products.

Keywords: regional manufacturer; aluminum profile; extrusion; mechanical properties; aging; "gradient" heating.