

УДК 669.174; 669.126

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ АЛЮМИНИЕВЫХ РОНДОЛЕЙ

Немчинова Н.В., Тютрин А.А.

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»,
Иркутск, e-mail: an.tu@inbox.ru

Качество и себестоимость алюминиевой упаковки (например, аэрозольных баллонов и туб) зависит от свойств исходной рондоли и технологии ее получения. В данной работе приведены результаты изучения микроструктуры рондолей разных производителей в двух состояниях: после непрерывной разливки и тепловой деформации и после рекристаллизационного отжига. Выполнен сравнительный анализ микроструктуры алюминиевой заготовки до и после отжига с определением среднего диаметра зерна. Сделаны выводы о влиянии некоторых параметров технологического режима производства алюминиевой рондоли (степень деформации прокатываемой ленты, рекристаллизационный отжиг, введение титана в качестве модифицирующей добавки) на получение мелкозернистой ее структуры, легко поддающейся холодной деформации.

Ключевые слова: алюминиевая рондоль, микроструктура, диаметр зерна, рекристаллизационный отжиг, металлографическое исследование

METALLOGRAPHIC INVESTIGATION OF ALUMINUM RONDOL SAMPLES

Nemchinova N.V., Tyutrin A.A.

FGBOU VPO «Irkutsk State Technical University», Irkutsk, e-mail: an.tu@inbox.ru

The quality and prime cost of aluminum packaging (such as aerosol cans and tubes) depend on the properties of the initial rondol and its production technology. In this paper there are the results of a rondol microstructure study which were obtained by different producers. The rondol microstructure were studied in two states: after continuous casting and heat deformation and after recrystallization annealing. The comparative analysis of the microstructures of aluminum billet obtained before and after annealing, were made with determination of the average grain diameter simultaneously. The conclusions about the effect of technological parameters of aluminum rondol production to obtain a fine-grained its structure are made. These parameters are the deformation degree of the rolled tape, recrystallization annealing, titanium input as modifier. The fine-grained structure is easily exposed by cold deformation.

Keywords: aluminum rondol, microstructure, grain size, recrystallization annealing, metallographic investigation

В настоящее время алюминиевая промышленность является наиболее крупной отраслью цветной металлургии и занимает лидирующее положение в отрасли. Объем производства алюминия намного опережает выпуск всех остальных цветных металлов и уступает лишь производству стали. Высокие темпы прироста производства алюминия обусловлены его уникальными физико-химическими свойствами (легкость, электропроводность, высокая коррозионная стойкость), благодаря которым он нашел широкое применение в электротехнике, авиастроении, транспорте, фармацевтике, производстве тары и бытовой техники, автомобилестроении, строительстве и других отраслях [6].

В России алюминиевая отрасль представлена объединенной компанией «РУСАЛ», в состав которой входит 47 заводов, большинство из которых производят первичный алюминий (15), глинозем (11), фольгу (4) [5]. Основную часть продукции компании составляют первичный алюминий, алюминиевые сплавы, фольга и глинозем.

Первичный алюминий марки А7 (99,7% металла) служит сырьем для изготовления рондолы – заготовки для производства алюминиевых туб, моноблоков и баллонов для различных аэрозолей.

Аэрозольные баллоны получают методом холодного обратного выдавливания; основным требованием для проведения этой операции являются высокие пластические свойства металла, из которого изготавливают баллоны. Пластичностью называют способность металла деформироваться, не нарушая своей сплошности. Высокая степень деформации алюминия, как и многих других металлов, достигается при наличии в структуре металла мелких зерен [3].

Технологическая схема производства рондолы включает в себя несколько операций. В литейный миксер заливается жидкий металл, после заполнения которого с поверхности алюминия необходимо снять шлак и оксидные пленки. После выдержки в течение 40 мин расплавленный металл разливается через пенокерамический фильтр и поступает через разливочный лоток в изложницу кристаллизатора. После

охлаждения металл превращается в литейную заготовку, которая поступает на прокатный стан, нагревается до температуры 360–420°C и прокатывается до определенного размера заданной толщины. Рулон полосы устанавливается в размотчик и через правильно-подкаточную клеть заправляется в вырубной штамп. Рондоль ссыпается в промежуточный кубель, из которого далее поступает на операции мойки, отжига и галтовки. Отжиг образцов осуществляется в шахтной печи, после чего заготовки выдерживаются в режиме состаривания в холодильной камере. Далее в галтовочном барабане при его вращении совершается процесс трения рондолей друг об друга, при этом снимается заусенец и наносится шероховатость на поверхность заготовки.

Как уже было указано выше, при производстве рондолей одной из важных характеристик, определяющих качество изделия, является наличие мелкозернистой структуры для различных последующих операций (деформация, отжиг). В связи с этим целью наших исследований явилось изучение микроструктуры различных образцов данных изделий с определением среднего размера зерна.

изготовлены из алюминиевой ленты производства ОАО «СУАЛ филиал «Иркутский алюминиевый завод СУАЛ» ОК РУСАЛ (г. Шелехов Иркутской обл.; с января 2015 г. – филиал ОАО «РУСАЛ Братск» в г. Шелехов), а образцы 24,7×3,9 мм – из ленты производства ООО «Красноярский металлургический завод (КраМЗ)» (г. Красноярск). Все образцы изучались в двух разрезах: продольном (собственно поверхность рондоли) и поперечном (рис. 1).

Металлографический анализ – это система комплексных испытаний над макро- и микроструктурой металлических материалов; классический способ исследования металлов на предмет посторонних включений и влияния структуры на механические, электрические, магнитные и др. свойства. Исследование начинается с подготовки образцов и заканчивается выводом аналитических данных о структуре материала. Состав сплава, условия выплавки и кристаллизации, процессы обработки давлением и термообработки, а также рабочая нагрузка изменяют свойства материала. Эти изменения отражаются прежде всего на структуре и, следовательно, могут наблюдаться с помощью микроскопа и быть оценены количественно [1]. Макроструктура сплавов зависит во многом от скорости охлаждения при литье: высокая скорость дает мелкозернистую структуру, низкая – наоборот – крупные зерна, вырастающие в направлении охлаждения [4].

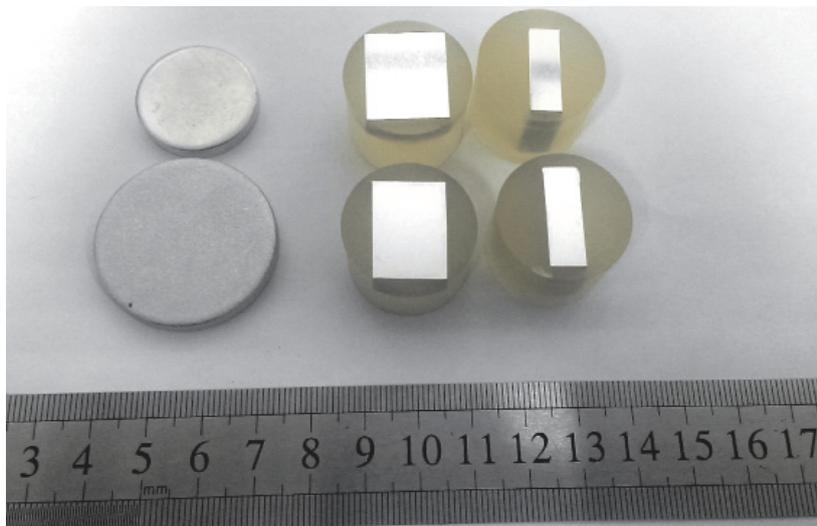


Рис. 1. Общий вид алюминиевых рондолей и изучаемых образцов после среза, полировки и травления (заливка – акриловая смола)

Материалы и методы исследований

Первоначальные исследования проводились на образцах алюминиевых рондолей 2-х видов: после непрерывной разливки, тепловой деформации и не подвергшихся рекристаллизационному отжигу и после рекристаллизационного отжига (с диаметром образцов 45,0×6,0 и 24,7×3,9 мм соответственно). Образцы рондолей 45,0×6,0 мм были

Для изучения микроструктуры образцов пробоподготовка к металлографическим исследованиям проводилась с помощью отрезного станка «Labotom-15» фирмы «Struers» (Дания). Шлифование и полировка образцов осуществлялась на шлифовально-полировальном станке «Tegramin-25» фирмы «Struers» (Дания). В качестве реактива для химического травления поверхности срезов образцов для выявления границ зерен использовался раствор соляной, азотной и плавиковой кислот марок ХЧ.

Съемка микроструктуры изучаемых образцов осуществлялась на инвертированном металлографическом микроскопе «Olympus GX-51» (Япония). Это современный микроскоп, позволяющий работать в черном и белом полях, поляризованном свете, вести наблюдение при увеличении до 1000 раз с последующим выводом необходимого участка на экран персонального компьютера и сохранением рисунка для дальнейшего изучения. Данный микроскоп оснащен цифровой камерой Altra20 и предназначен для получения в отраженном свете: светлополюсных и темнопольных изображений; изображений дифференциального интерференционного контраста (DIC); изображений в поляризованном свете. Предельное увеличение микроскопа: $\times 1000$ (сменные объективы $\times 5$, $\times 10$, $\times 20$, $\times 50$, $\times 100$). Микроскоп имеет сопутствующую программу «SIAMSPhotolab», предназначенную для обработки поступающих с камеры снимков, поскольку современный уровень развития науки и промышленности обуславливает необходимость применения нестандартных подходов к разработке новых технологий анализа состава, структуры и свойств новых и традиционных материалов, а одним из основных источников получения такой информации являются изображения исследуемых материалов.

В данной работе представлены результаты исследований микроструктуры поверхности и поперечных срезов рондолей, а также расчет среднего значения размера зерна методом подсчета пересечений зерен в соответствии с ГОСТ 21073.3–75.

Для определения величины зерна поверхность шлифа просматривалась и выбирались три типичных места. Для измерений применялись секущие линии длиной по 400 мкм в виде двух непараллельных прямых, при условии что прямая должна пересекать не менее 10 зерен. Далее определение величины зерна L производилось подсчетом границ зерен N , пересеченных секущими.

Подсчет среднеквадратичного отклонения производился по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{(L_1 - \bar{L})^2 + \dots + (L_n - \bar{L})^2}{n}},$$

где L_1, L_n – диаметр зерна на измеряемом участке; \bar{L} – среднее значение диаметра зерна; n – количество измерений.

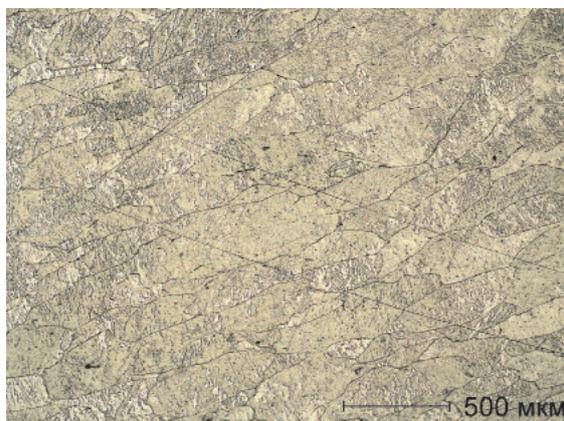
Результаты исследования и их обсуждение

Первая группа исследуемой алюминиевой рондоли представлена образцами после непрерывной разливки до рекристаллизационного отжига двух поставщиков (см. выше) прокатной ленты.

Микроструктура образцов (рис. 2), полученных из ленты производства Иркутского алюминиевого завода, имеет четкие границы зерен, сформировавшиеся ранее – в литом металле (рис. 2, а), которые заметно вытянуты в направлении деформации: их длина составляет 100–600 мкм, ширина – 50–300 мкм.

В поперечном сечении рондоли первичные кристаллы сильно вытянуты параллельно поверхности диска и не имеют четких границ. Их длина составляет 100–400 мкм; поперечный размер – 20–50 мкм.

Рондоли, полученные из алюминиевой ленты КраМЗа, значительно отличаются характером микроструктуры поверхности. Так, микроструктура данных образцов имеет четкие границы зерен (рис. 2, б), которые лишь незначительно вытянуты в направлении деформации: их длина составляет 10–25 мкм при ширине 5–15 мкм, а средний размер зерна – 9,42 мкм. В поперечном сечении деформация не заметна, форма зерен исследуемых образцов близкая к равноосной и средний диаметр составляет 9,98 мкм.



а



б

Рис. 2. Микроструктура поверхности образцов рондолей, не подвергнутых рекристаллизационному отжигу, двух поставщиков прокатной ленты: а – ИркАЗ; б – КраМЗ

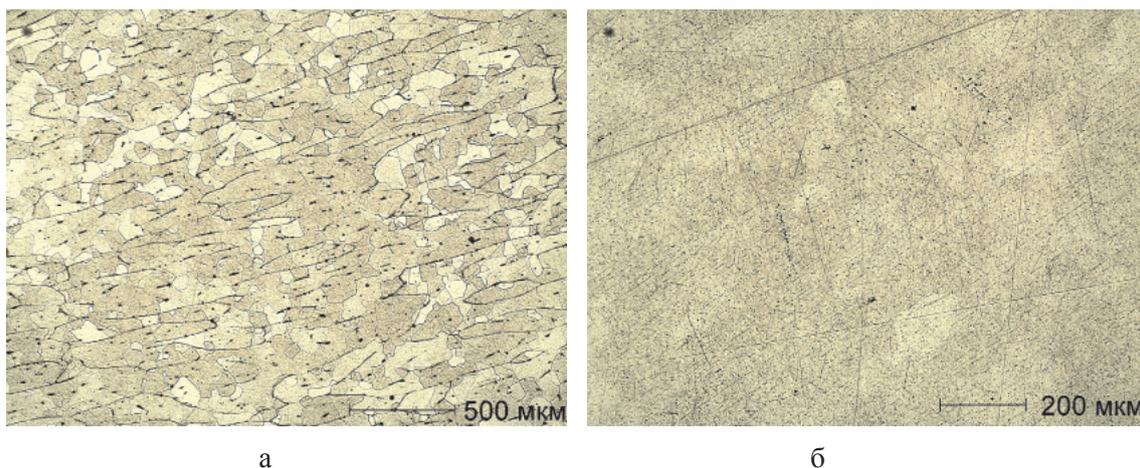


Рис. 3. Микроструктура поверхности образцов рондолей после рекристаллизационного отжига двух поставщиков прокатной ленты: а – ИркАЗ; б – КраМЗ

Как видно из полученных данных размера диаметра зерна, более мелкозернистую структуру имеют рондоли, полученные из алюминиевой ленты производства ООО КраМЗ. Это обусловлено в значительной мере двумя факторами. Во-первых, на качество микроструктуры влияет степень деформации прокатной ленты: ИркАЗ производит ленту толщиной 18 мм, которая далее прокатывается до 6 мм (степень деформации – 67%); тогда как лента производства КраМЗ прокатывается с 6 до 3,9 мм (степень деформации составляет лишь 35%). Поэтому зерна поверхности исследуемых изделий, полученных из ленты «ИркАЗ», значительно более вытянуты в направлении деформации. Вторым фактором, влияющим на качество структуры рондоли (а именно на размер зерна), является форма модифицирующей добавки титана: на «ИркАЗ» используют лигатуру AlTiV в виде прутков, тогда как ООО «КраМЗ» использует собственно титан в форме таблеток.

Для получения более мелкозернистой структуры алюминия проводят рекристаллизационный отжиг. Как известно, данная операция заключается в нагреве деформируемого сплава до температур выше температуры окончания первичной рекристаллизации; применяется для снятия наклепа и получения мелкого зерна. Нагрев деформируемого металла ведет к повышению подвижности атомов, и среди вытянутых зерен идет интенсивное зарождение и рост новых равновесных, свободных от напряжений зерен. Данные новые зерна растут за счет старых, вытянутых, до их столкновения друг с другом и до полного исчезновения вытянутых зерен. При нагреве

по достижении температуры начала рекристаллизации предел прочности и особенно текучести резко снижается, а пластичность металла увеличивается [2]. Данная операция необходима в основном для придания алюминию большей пластичности. При недостаточной пластичности металлической рондоли может возникнуть ряд трудностей при производстве баллонов и туб: наличие сквозных отверстий в корпусе аэрозольного баллона, трудности с нанесением офсетной печати (вследствие повышенной шероховатости боковой поверхности алюминиевого стакана), повышенный износ инструмента.

На рис. 3 представлены результаты металлографического исследования образцов рондолей после рекристаллизационного отжига.

Микроструктура образцов, полученных из ленты производства ИркАЗ, имеет четкие равноосные зерна, образовавшиеся после рекристаллизации (рис. 3, а), диаметры которых колеблются от 10–20 до 100–120 мкм (среднее значение – 60 мкм). В поперечном сечении рондоли также наблюдается равноосное строение зерен со средним диаметром 63 мкм.

Рондоли, полученные из алюминиевой ленты ООО «КраМЗ», также имеют равноосную зерновую структуру, на поверхности средний диаметр зерен составляет 8,36 мкм, в поперечном сечении – 9,09 мкм.

После проведения рекристаллизационного отжига рондоли из алюминиевой ленты компании ООО «КраМЗ» имеют более мелкозернистую структуру, так же, как и до отжига.

Заклучение

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Качество рондолей в большей степени зависит от пластичности материала (алюминия), из которого они изготовлены. Данное свойство в свою очередь зависит от размера зерна алюминиевой заготовки: чем мельче зерно, тем выше пластичность и тем лучше рондоль подвергается холодной деформации.

2. Равноосность зерен рондолей зависит от степени деформации прокатной ленты: чем выше степень деформации, тем более вытянутая геометрическая направленность зерновой структуры.

3. Получение более мелкозернистой структуры алюминиевой заготовки достигается при введении титановой лигатуры в виде таблеток.

4. Рекристаллизационный отжиг позволяет уменьшить размер зерна; особенно это заметно на образцах, полученных из прокатной ленты ИркАЗа (с 100–300 до 60 мкм). Для рондолей, полученных на ООО КраМЗ, данное снижение размера не столь значительно (с 9,42 до 8,36 мкм). Поэтому необходимо добиваться мелкозернистой структуры еще на стадии разлива и тепловой деформации алюминиевых заготовок.

Список литературы

1. Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов. – М.: Металлургия, 1988. – 320 с.
2. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС, 1999. – 416 с.
3. Лактин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Издательский дом «Альянс», 2009. – 528 с.

4. Немчинова Н.В., Гусева Е.А., Константинова М.В. Металлографическое исследование рафинированного технического кремния // Вестник ИрГТУ. – Иркутск, 2010. – № 5 (45). – С. 207–211.

5. Немчинова Н.В., Пятков Р.В. Объединенная компания «РУСАЛ» // Перспективы развития технологии переработки углеводородных, растительных и минеральных ресурсов: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (23–24 апреля 2014 г., г. Иркутск). – Иркутск, 2014. – С. 72–74.

6. Электрометаллургия алюминия / И.С. Гринберг, В.Г. Терентьев, В.И. Чалых и др. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 350 с.

References

1. Vashul Kh. Prakticheskaja metallografija. Metody izgotovlenija obrazcov. M.: Metallurgija, 1988. 320 p.
2. Kolachev B.A., Elagin V.I., Livanov V.A. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnykh metallov i splavov. 3-e izd., pererab. i dop. M.: MISIS, 1999. 416 p.
3. Lakhtin Ju.M., Leont'eva V.P. Materialovedenie. M.: Izdatel'skij dom «Al'jans», 2009. 528 p.
4. Nemchinova N.V., Guseva E.A., Konstantinova M.V. Metallograficheskoe issledovanie rafinirovannogo tekhnicheskogo kremnija // Vestnik IrGTU. Irkutsk, 2010. no. 5 (45). pp. 207–211.
5. Nemchinova N.V., Pjatov R.V. Oedinennaja kompanija «RUSAL» // Perspektivy razvitija tekhnologii pererabotki uglevodorodnykh, rastitel'nykh i mineralnykh resursov: materialy IV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem (23–24 aprelja 2014 g., g. Irkutsk). Irkutsk, 2014. pp. 72–74.
6. Ehlektrometallurgija aljuminija / I.S. Grinberg, V.G. Terent'ev, V.I. Chalykh i dr. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2009. 350 p.

Рецензенты:

Черных В.Е., д.т.н., генеральный директор ООО «ИТЭМ-инжиниринг», г. Иркутск;
Белоусова Н.В., д.х.н., заведующая кафедрой металлургии цветных металлов, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 03.02.2015.