

УДК 53.084.823

К вопросу оптимизации химического состава алюминиевых заготовок (ронделей) для производства жесткой упаковки

Румянцева И.А.

*Студентка, 2 курс,
кафедра «Технологии и оборудование обработки металлов давлением»
факультет «Машиностроительные технологии»*

*Научные руководители: Румянцев А.Н.,
к.т.н., доцент кафедры «Химические технологии, машины и аппараты химических производств», НТИ (филиал Сев Кав ГТУ), директор ООО «Алюмар»*

*Погромская Н.Н.,
к.т.н., доцент кафедры «Химия» МГТУ им. Н. Э. Баумана*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
ООО «Алюмар»
Irakaktys@inbox.ru

В настоящее время промышленность выпускает различные виды алюминиевой упаковки - гибкой, полужесткой и жесткой. К жесткой алюминиевой упаковке относят банки, аэрозольные баллоны, тубы, пробки, колпачки, крышки. По данным Европейской ассоциации производителей аэрозольных баллонов в 1999г. в Европе было произведено 1733 млн. алюминиевых баллонов, на производство которых было израсходовано более 50 тыс. т. алюминия. В частности в Англии за 2002-2005г. объем производства баллонов английского производства вырос на 35%. Стабильный рост объемов производства аэрозольных баллонов приводит к росту рынка круглой алюминиевой заготовки (рондели), вырубаемой из алюминиевой ленты марки А7 [1, 2], из которой впоследствии производится аэрозольный баллон. По оценкам специалистов рынок ронделей для производства аэрозольных баллонов и туб в России оценивается в 10 тысяч тонн ежегодно. Однако, несмотря на то, что Россия производит более 3 млн. тонн алюминия в год, производство алюминиевых заготовок в нашей стране практически отсутствует [3]. За последние десять лет были предприняты попытки наладить производство качественных заготовок на Самарском металлургическом заводе и Петербургском фольгопрокатном заводе. В 2005г. при содействии ОАО «Арнест» было запущено производство алюминиевых заготовок на ОАО «Ирказ-Суал», г. Шелехов, с более современной и экономически выгодной технологией производства алюминиевых заготовок.

В связи с разработкой технологий, перед ОАО «Арнест» встала задача оценить механические свойства и пластичность алюминиевых заготовок в зависимости от состава и структуры материала. Цель настоящей работы – оценка составов и структуры отдельных алюминиевых образцов, изготовленных из алюминия марки А7 с использованием диаграмм многокомпонентных систем и металлографического анализа [3, 4].

На рис. 1, 2, 3 представлены диаграммы плавкости систем, содержащих Al, Fe, Si.

Согласно диаграмме состояния, в системе Al - Fe (рис. 1) железо малорастворимо в алюминии, и уже при 0,001% при низких температурах появляется новая фаза FeAl₃. Эта фаза, как считают в последнее время, является одной из причин высокой устойчивости литой структуры алюминия и его сплавов, когда дендритное строение можно наблюдать даже после очень больших степеней пластической деформации (50-90%) и последующего рекристаллизационного отжига, железо уменьшает электропроводность и химическую стойкость чистого алюминия.

Кремний в алюминии вместе с примесями железа образует эвтектику из твердого раствора на основе алюминия и кристаллов FeSiAl₅ (рис. 2, 3, 4). На рис. 4 представлена тройная диаграмма алюминий-железо-кремний, на которую нанесена политерма 575-655⁰C (линия e₁P₁P₂E_γe₂), определяющая фазовый состав технически чистого алюминия (марки А7) как Al + Si + β; Al + α + Al₃Fe. Принципиальное отличие этих двух составов заключается в том, что в первый из них входит свободный кремний, который существенно влияет на литейные свойства сплавов. Так как при реальной кристаллизации наблюдается внутريدендритная ликвация, то любые малые количества кремния вызывают появление эвтектики Al-Si, т. е температура начала кристаллизации близка к 660⁰C, а конца кристаллизации к 577⁰C. Из-за такого широкого интервала кристаллизации (83⁰C) алюминий становится горячеломким. Горячеломкость – это склонность к образованию трещин при температурах твердо - жидкого состояния под воздействием внутренних напряжений, возникающих как следствие неравномерной усадки кристаллизующего металла.

Кремний является менее вредной примесью, чем железо, хотя, как и железо, уменьшает пластичность. Свободный кремний является причиной горячих трещин на поверхности металла и его содержание необходимо ограничивать. Для того чтобы весь кремний находился в металле в связанном состоянии с железом, необходимо, чтобы содержание железа превышало содержание кремния (рис. 4). Опытным путем и с помощью анализа диаграммы состояния Si-Fe было установлено, что отношение железа к кремнию не должно быть меньше 1.5. На рис. 6 изображена фотография алюминиевой заготовки (рондели) с поверхностными трещинами, полученными вследствие низкого содержания железа.

Однако, при значительном превышении содержания железа над содержанием кремния, появляется эвтектическая смесь из Al₃Fe, Al₅Fe, FeSiAl₅, согласно диаграммы трехкомпонентной системы (точка P₁, рис. 4).

Для определения оптимального содержания железа и кремния было изготовлено 10 экспериментальных партий заготовок с соотношением железа к кремнию от 1,5 до 3, причем остальные химические элементы и условия производства заготовок не изменялись. Путем эксперимента было установлено, что соотношение железа к кремнию должно находиться в диапазоне от 1,5 до 2,2, так как в этом случае брак по горячим трещинам и сквозным отверстиям в образце не превышает 0,0001%.

С другой стороны, кремний является основным легирующим элементом, придает высокую пластичность. При небольшом содержании кремния (до 0,4%) он находится в твердом растворе. Растворимость кремния в алюминиевом твердом растворе сильно зависит от температуры.

T, ⁰ C	577	552	527	477	427	377	327	277	227
%,									
(масс.)	1,65	1,30	1,1	0,07	0,45	0,25	0,1	0,04	0,01

Но быстрое охлаждение из жидкого состояния повышает растворимость кремния до 10 - 16 % (рис. 2), на котором пунктирной линией ограничены области существования метастабильных фаз.

Силумины, вследствие малого различия по растворимости кремния при высокой и низкой температуре практически не упрочняются термической обработкой, поэтому важнейшим методом улучшения их механических свойств является модифицирование.

Для нейтрализации вредного влияния железа сплавы легируют марганцем [2], за счет чего формируются соединения, которые первично кристаллизуются из расплава в виде компактных огранных кристаллов, что способствует повышению пластичности, если добиться, чтобы эти кристаллы были достаточно мелкие.

При модифицировании происходит значительное измельчение частиц эвтектической смеси, что можно связать с торможением роста зародышей или с обволакиванием сформировавшихся зародышей.

В качестве модифицирования можно использовать влияние электрического тока. Доказано влияние электрического тока, пропускаемого в процессе фазового перехода на свойства материала [5]: кристаллизация расплава под действием тока позволила увеличить прочность материала (АК7ч) на 42%; пластичность на 2,1% при плотности тока $j=0,4 \cdot 10^5$ А/м²[5].

В результате проведенного структурного сравнительного анализа алюминиевых образцов, установлено: электрический ток влияет на ориентацию зерен, растворимость и распределение кремния в алюминии, изменяются границы зерен, происходит перераспределение эвтектики в твердом растворе, увеличивается дисперсность эвтектического состава, что оказывает влияние на пластичность материала.

Пластичностью называют способность металла деформироваться, не нарушая своей сплошности. [1, 2], чему способствует мелкозернистая структура металла.

Поэтому, цель следующего этапа исследования – оценка качества макро- и микроструктуры алюминиевых дисков – ронделей из алюминия технической чистоты производства трех фирм-производителей в двух состояниях: после непрерывной разливки и тепловой деформации и после рекристаллизационного отжига.

Объектами исследования служили диски из алюминия марки А7, имеющие размеры $\varnothing 44,8 \times 6$ мм, трех фирм-поставщиков: ОАО «Ирказ-Суал» (Россия, Иркутск), «Ньюман-Алюминум» (Австрия), «Алюман» (Греция). Заготовки указанных фирм представлены в разных состояниях: после литья и тепловой деформации и после рекристаллизационного отжига.

Анализ макро- и микроструктуры выполнен на пяти дисках каждого состояния фирм-поставщиков. Каждый диск был протравлен в водном растворе смеси соляной, азотной и плавиковой кислот (плавиковая кислота 1,0 мл, соляная кислота 1, 5 мл (плотность 1,19), азотная кислота 2, 5 мл (плотность 1,4) и вода 95 мл) для выявления макроструктуры. Три других диска были разрезаны по диаметру на 4 равные части для приготовления микрошлифов и анализа микроструктуры: на поверхности диска, а также в поперечном сечении вдоль и поперек прокатки. На каждом шлифе анализировали форму и размер зерен. Микроструктуру исследовали на микроскопе «Неофот-21». Состояние поверхности шлифов оценивали после полирования и после травления. На каждом шлифе анализировали форму и размер зерен.

Количественный анализ зеренной структуры проводили в соответствии с ГОСТ 5639-82. Для равноосной структуры определяли размер зерна. Для структуры с геометрической текстуры оценивали длину и ширину зерна. В образцах, структура которых имела внутреннее строение, определяли среднестатистический размер субзерна. В соответствии с ГОСТ 5639-82 определяли номер зерна.

По результатам исследования делали выводы по каждому из образцов о форме и размерах зерен. Установлено, значительное укрупнение зеренной структуры алюминия в заготовках, поставляемых ОАО «Ирказ-Суал», вследствие собирательной рекристаллизации происходящей в алюминиевых заготовках на этапе их производства и отжига. Впоследствии, крупнозернистая структура приводит к пониженной способности металла к холодному обратному выдавливанию и, как следствие, к повышенному расходу алюминия.

Проведенные экспериментальные исследования, позволили дать рекомендации для определения химического состава алюминиевых заготовок для повышения качественных свойств: соотношение содержания железа и кремния должно быть в пределах от 1,5 до 2,2; содержание марганца не должно превышать 0,01%, как модифицирующей добавки; содержание алюминия не менее – 99,7%. Экспериментально показано, в качестве модифицирования можно использовать влияние электрического тока.

Полученные результаты исследований могут применяться на ОАО «ИрказСуал» и ООО «Алюмар» при изготовлении алюминиевых заготовок.

Список литературы

1. Лахтин Ю.М. Основы материаловедения. – М.: Металлургия, 1988.
2. Материаловедение./ Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др. Под ред. Арзамасова Б.Н. – М.: Машиностроение, 2005.
3. Румянцева И.А., Румянцев А.Н. Сравнительный металлографический анализ ронделей – 4-я всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна 2011: Машиностроительные технологии» <http://www.studvesna.qform3d.ru/>
4. Погромская Н.Н., Анискин Е.Е., Новгородцев А. А. Исследование взаимодействия на границе фаз с помощью диаграмм равновесия в четырехкомпонентной системе. – М.: Минск, 2003.
5. Тимченко С.Л. Кристаллизация отливок из алюминиевых сплавов под действием электрического тока. – тезисы доклада II Всероссийской конференции «Необратимые процессы в природе и технике» МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003, - С. 220-222.

Приложения

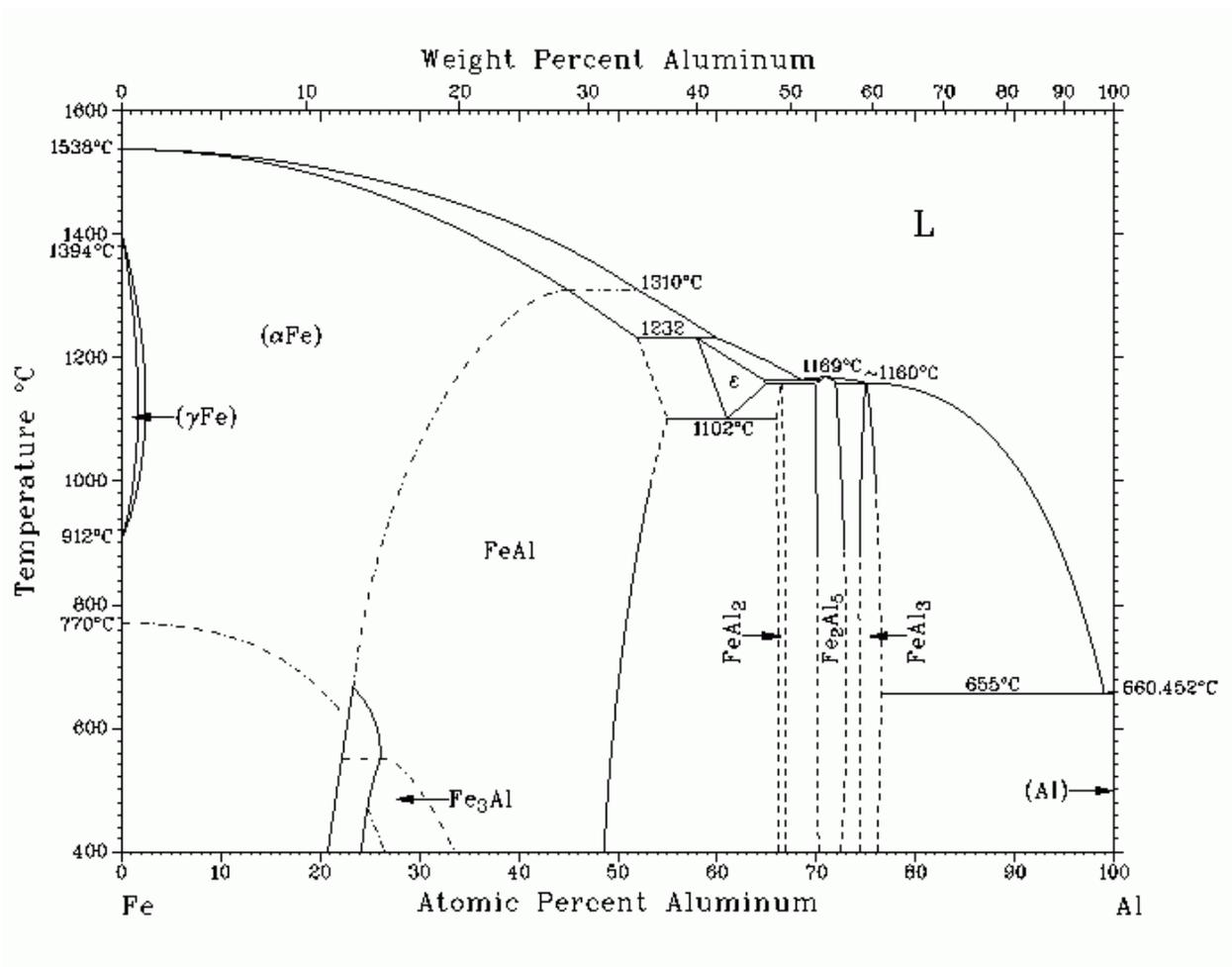


Рис. 1. Диаграмма состояния Al-Fe.

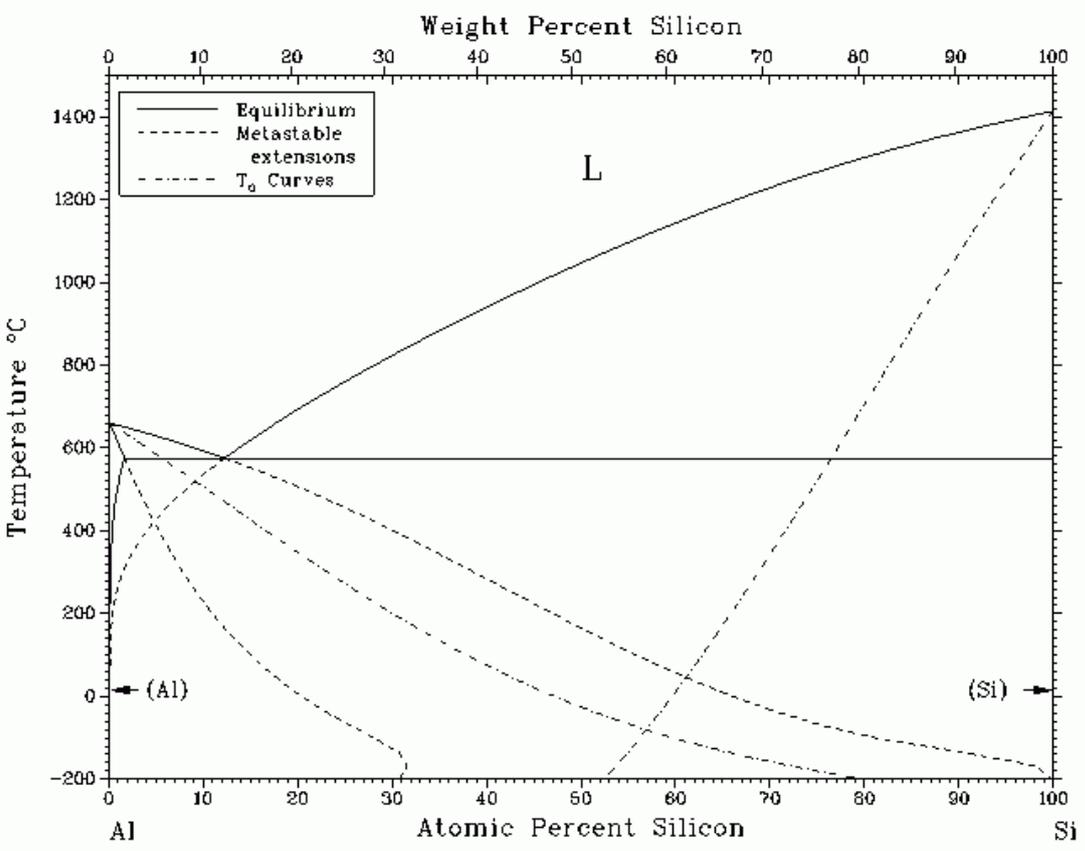
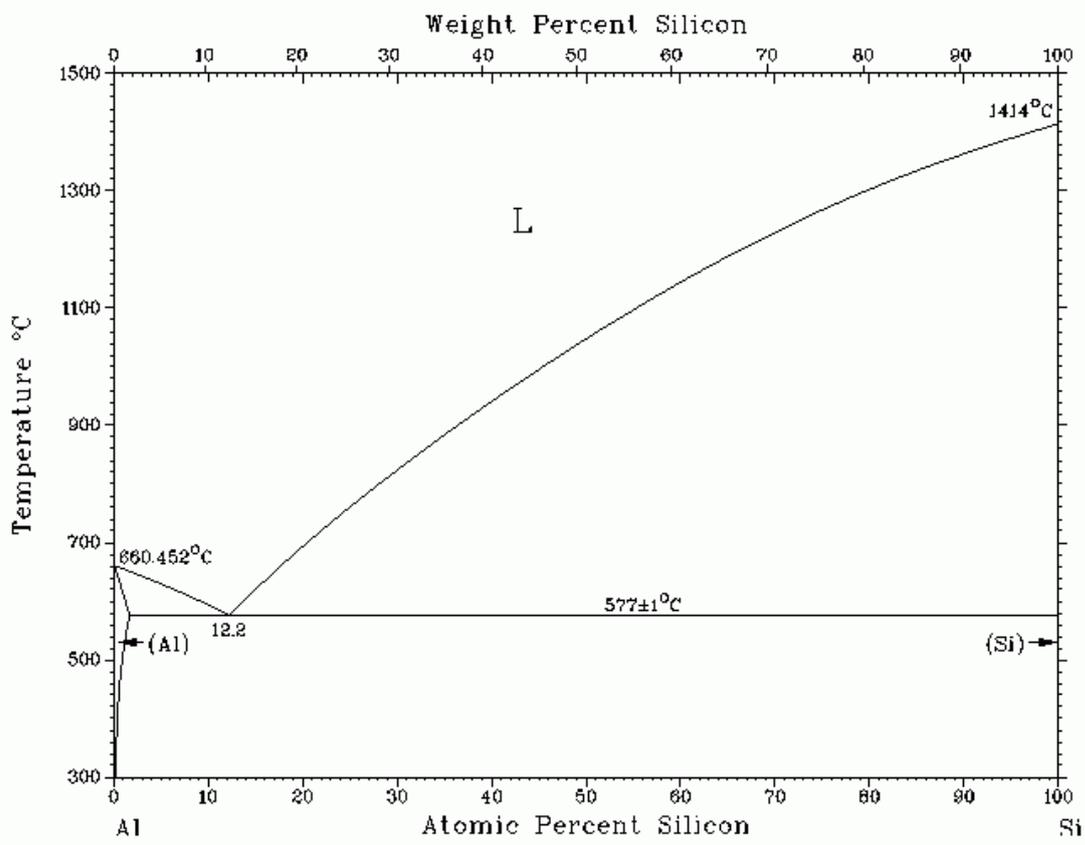


Рис. 2. Диаграмма состояния Al-Si.

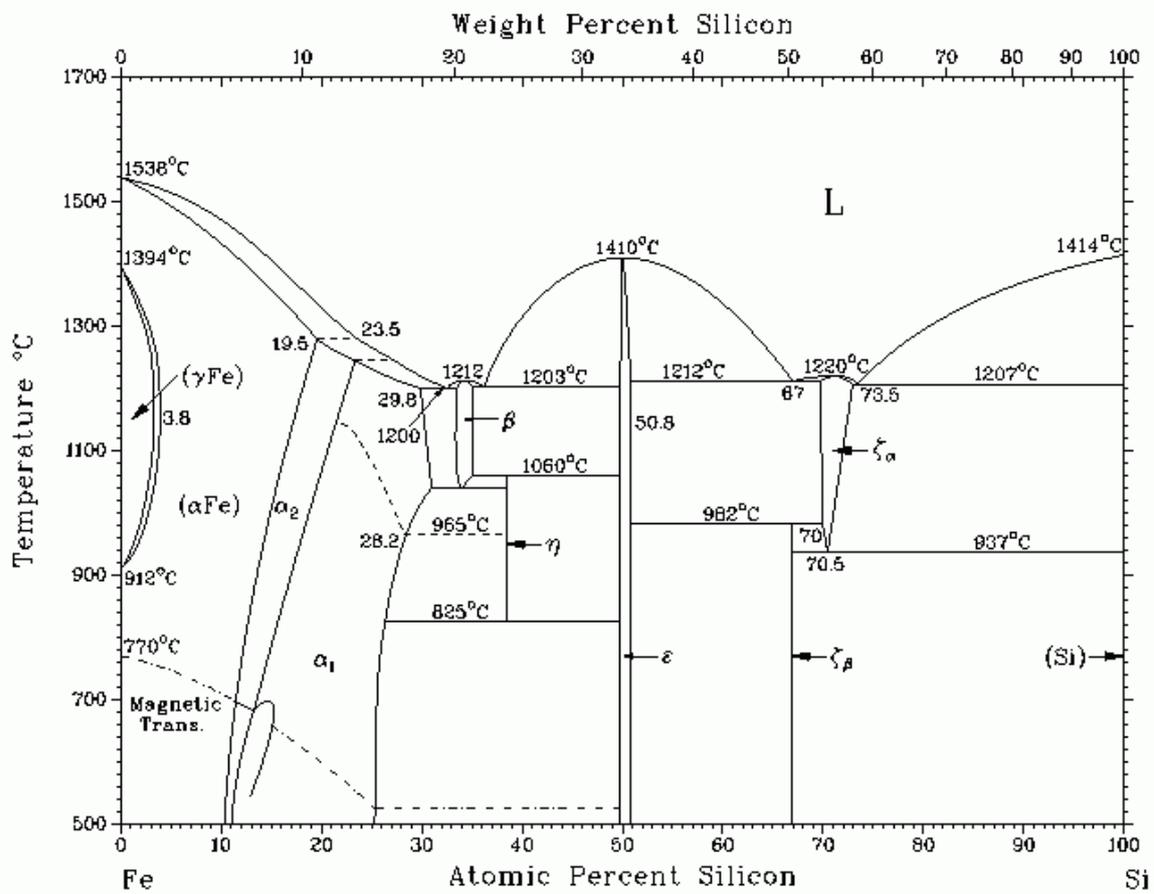


Рис. 3. Диаграмма состояния Fe-Si.

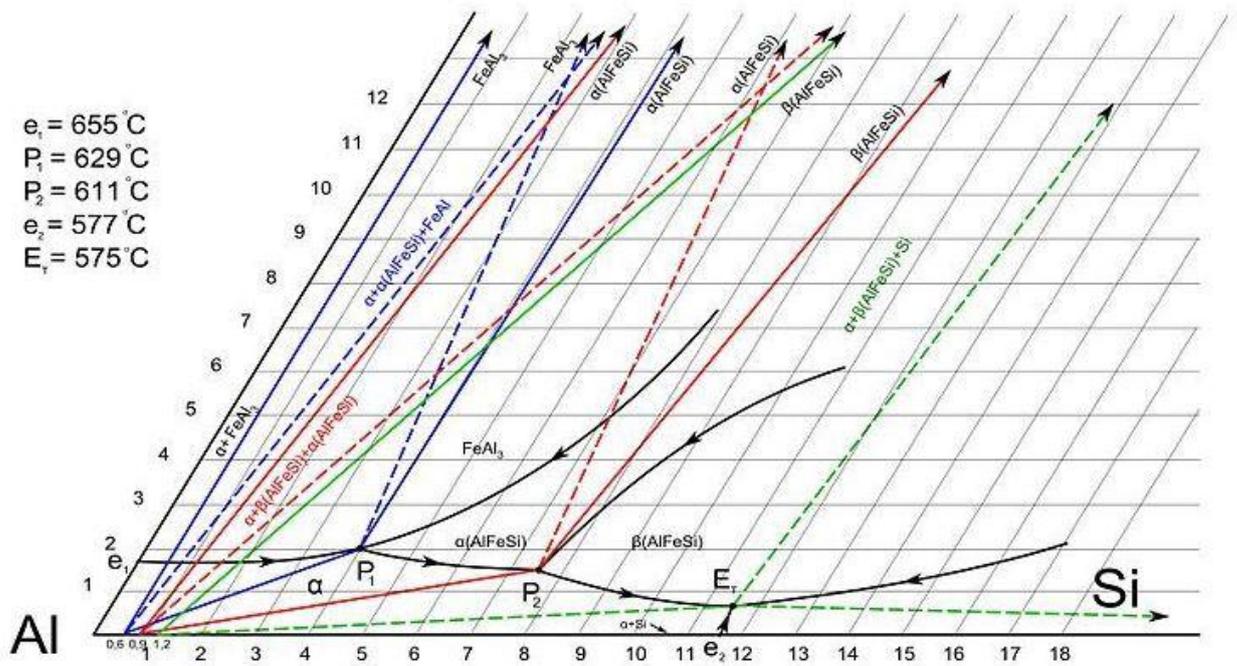


Рис. 4. Диаграмма состояния Al-Fe-Si.



Рис.5.Общий вид образцов для исследований.



Рис. 6. Фотография заготовки с поверхностными трещинами

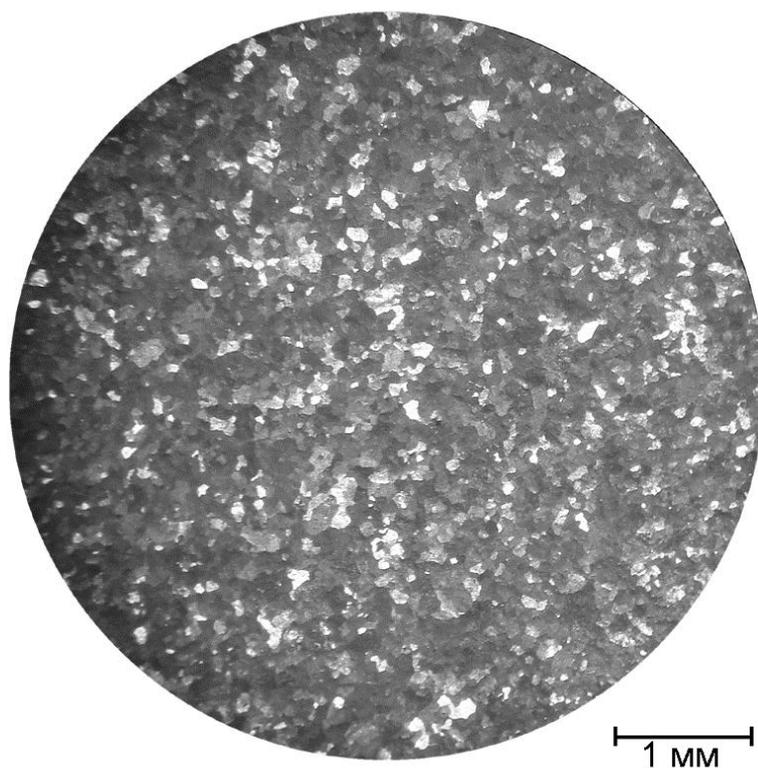


Рис. 7 Макроструктура ронделей производства фирмы «Алюман», Греция после отжига.

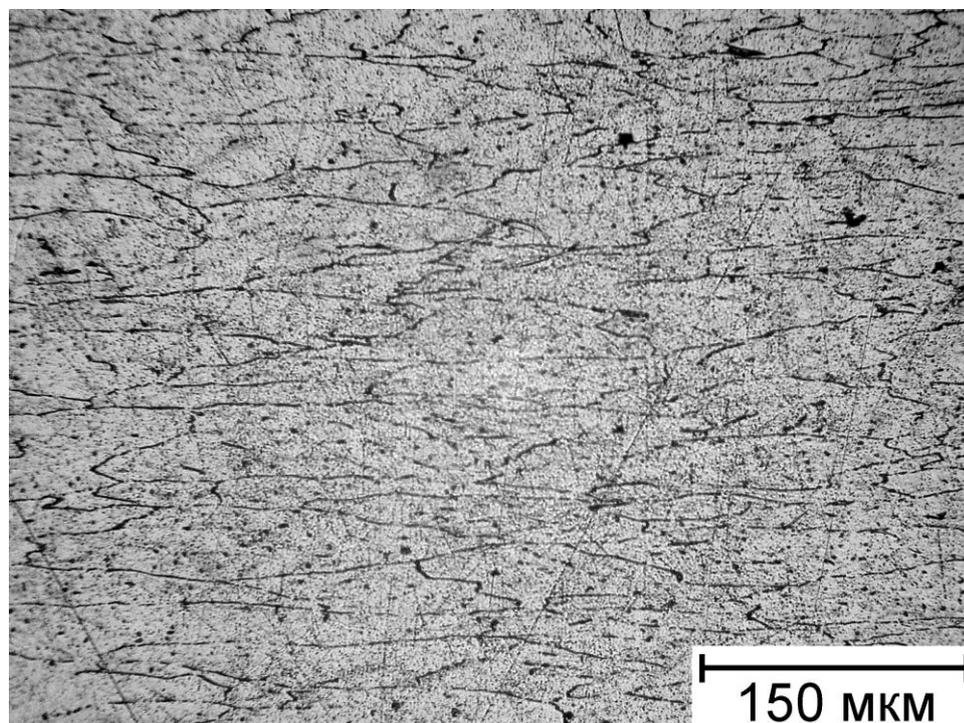


Рис. 8. Микроструктура поверхности ронделей фирмы «Алюман», Греция, после отжига.

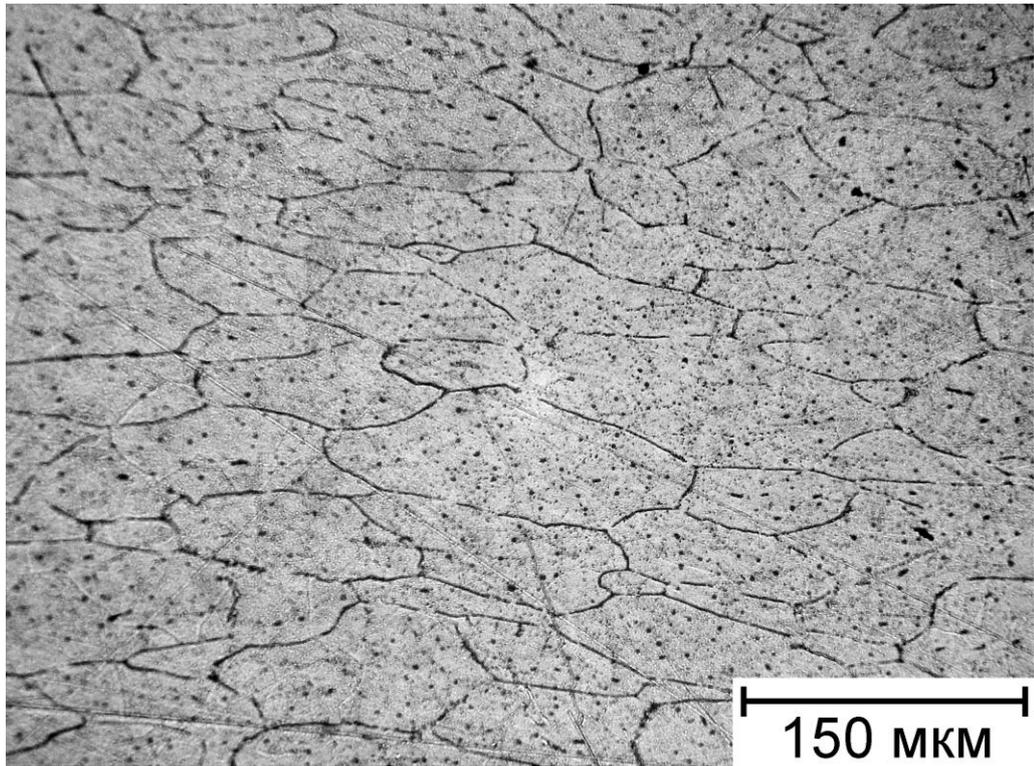


Рис. 9. Микроструктура поперечного сечения ронделей фирмы «Алюман», Греция, после отжига.

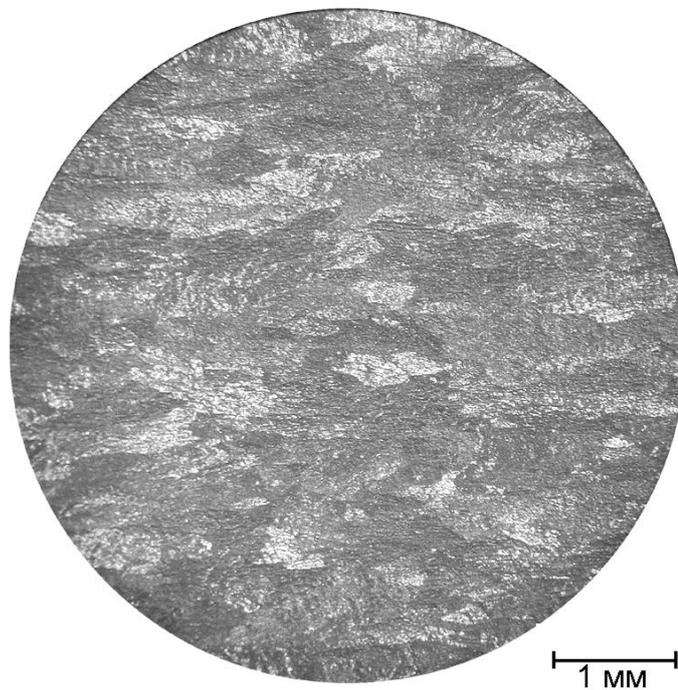


Рис. 10. Макроструктура ронделей производства «Ньюман Аллюминиум», Австрия до отжига

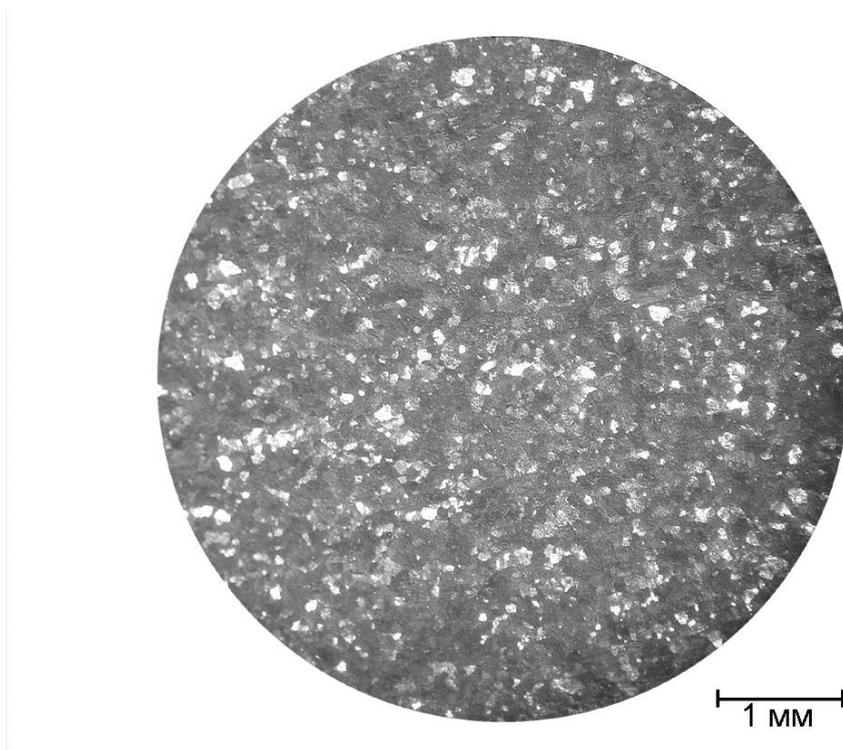


Рис. 11. Макроструктура ронделей производства «Ньюман Аллюминум», Австрия после отжига

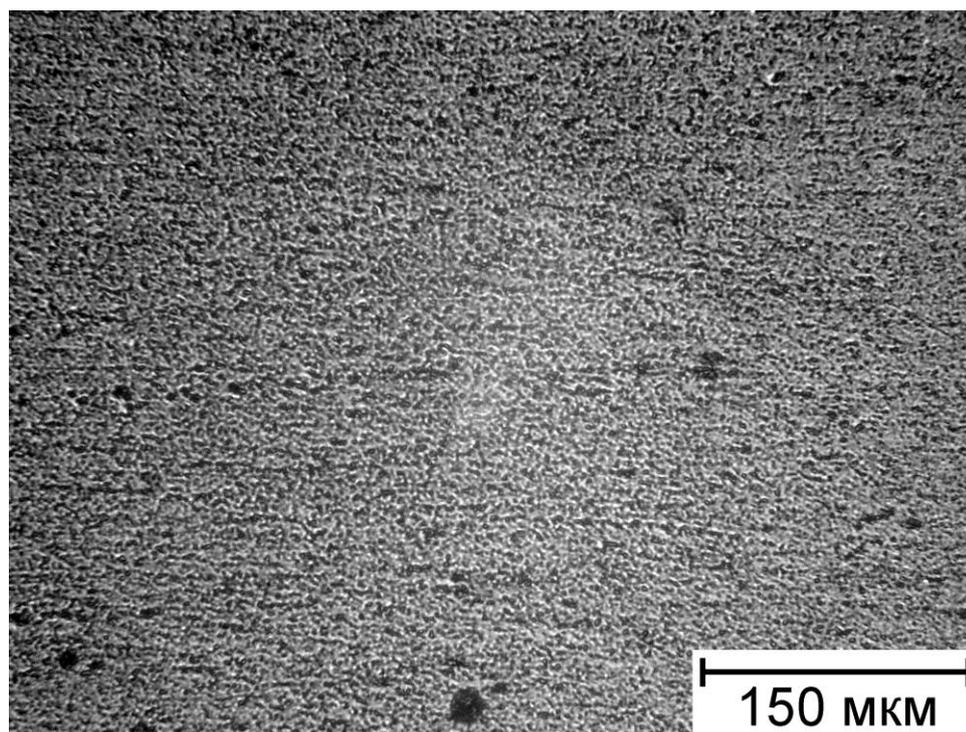


Рис. 12. Микроструктура поверхности ронделей производства «Ньюман Аллюминум», Австрия, до отжига

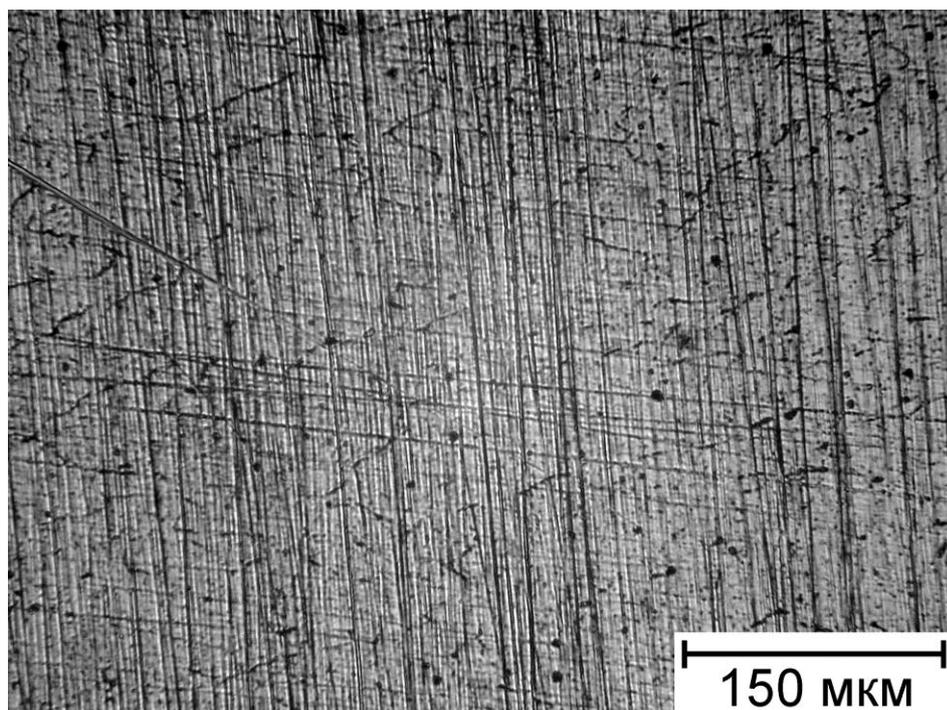


Рис. 13. Микроструктура поперечного сечения перпендикулярно направлению прокатки ронделей производства «Ньюман Аллюминум», Австрия, до отжига

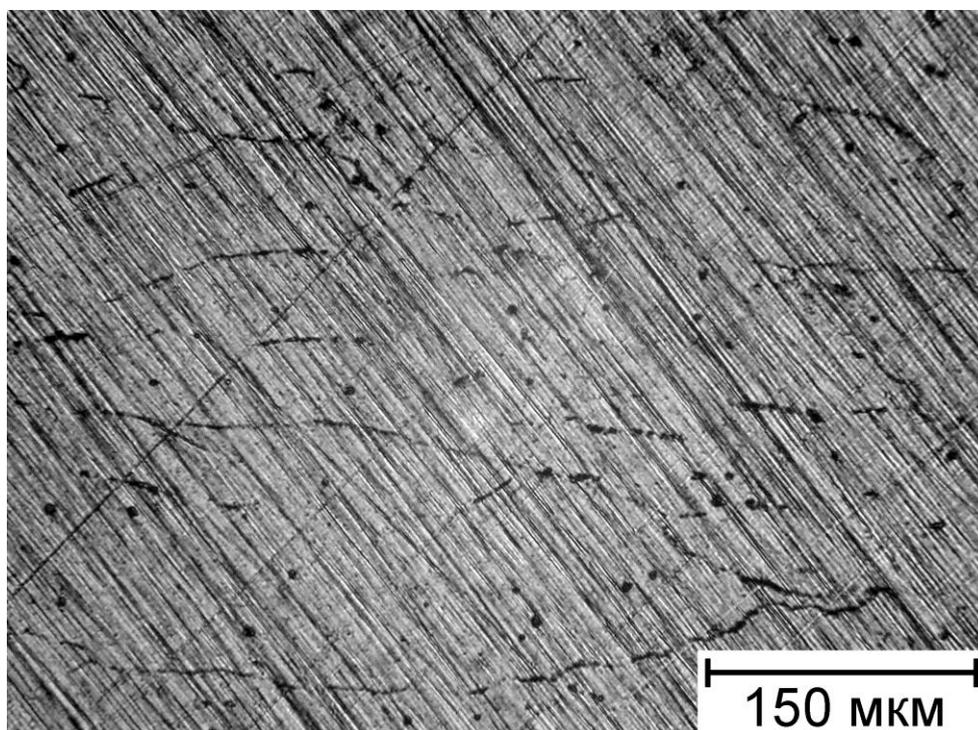


Рис. 14. Микроструктура поверхности ронделей производства «Ньюман Аллюминум», Австрия, после отжига

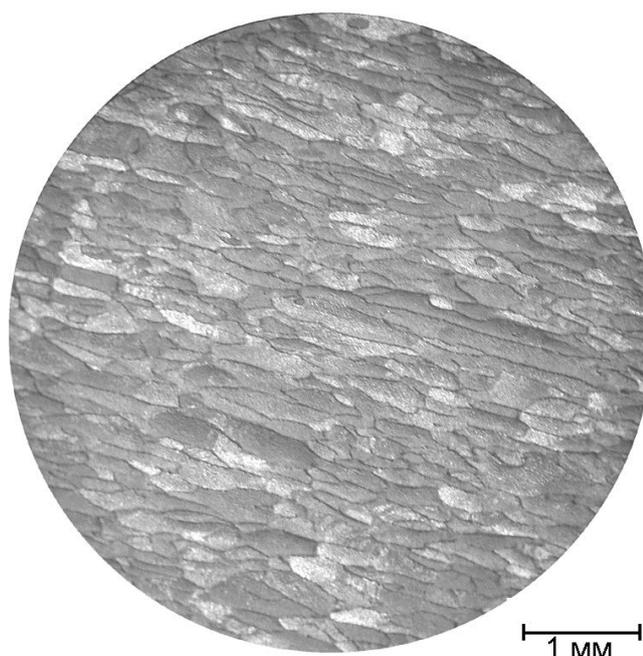


Рис. 15. Макроструктура рондолой производства ОАО «Ирказ – Суал», Россия до отжига

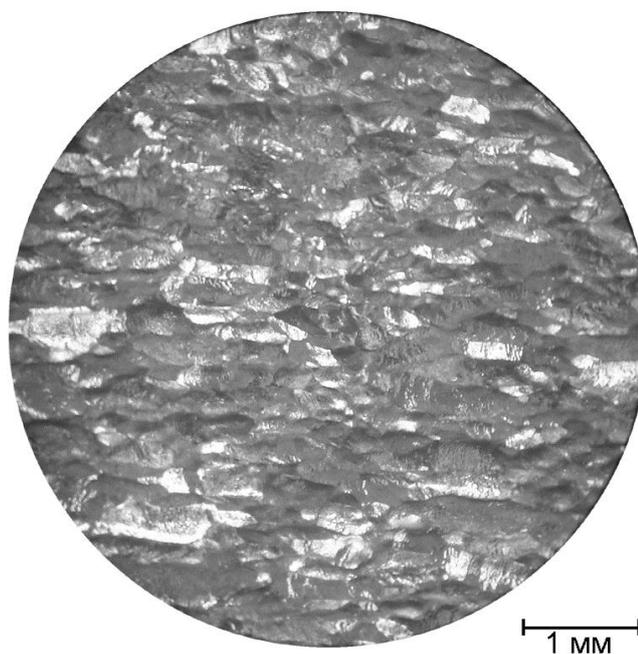


Рис. 16. Макроструктура рондолой производства ОАО «Ирказ – Суал», Россия, после отжига

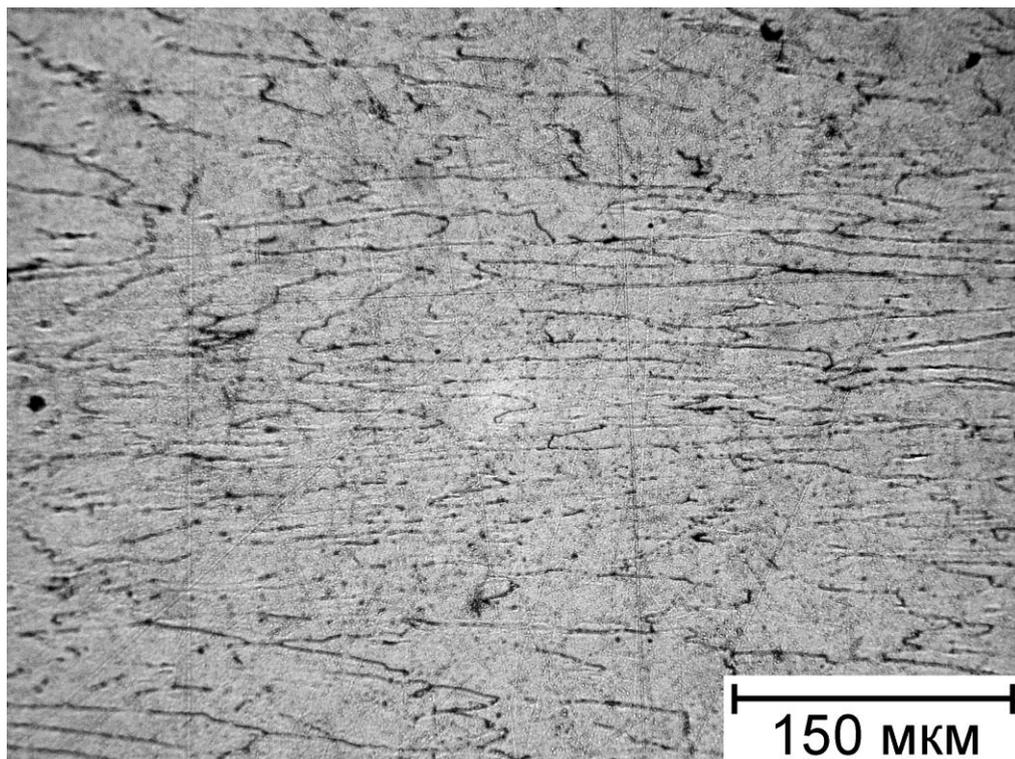


Рис. 17. Микроструктура поверхности ронделей фирмы ОАО «Ирказ - Суал», Россия, до отжига

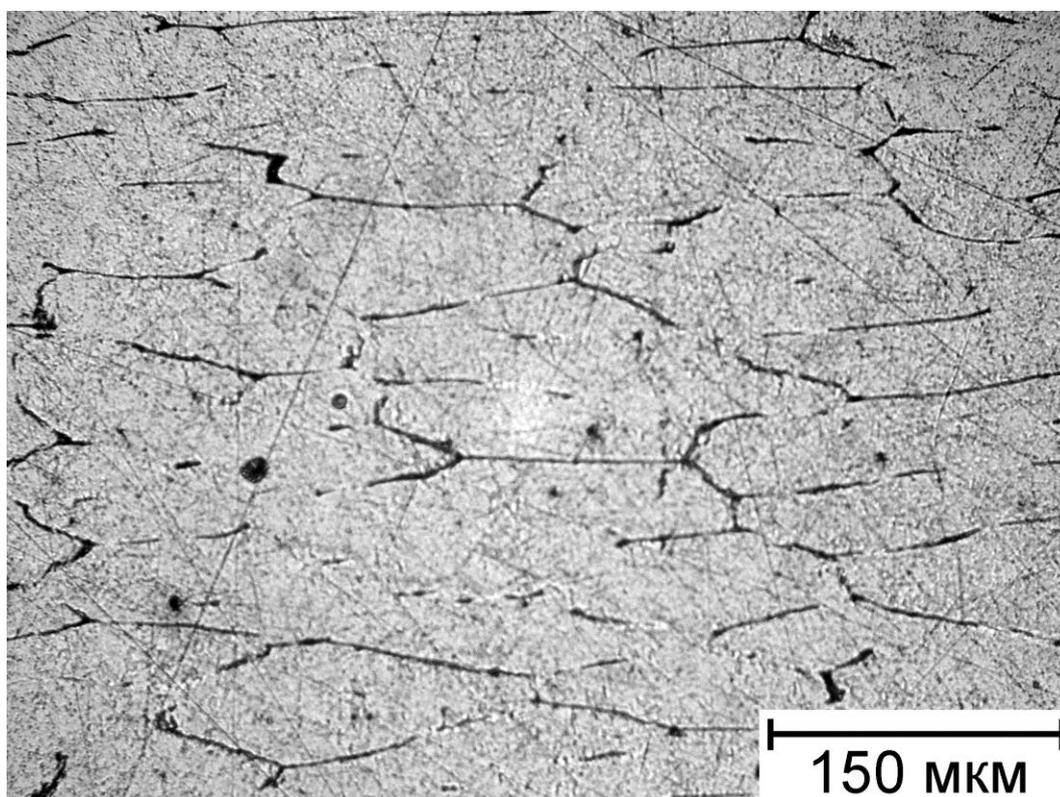


Рис. 18. Микроструктура поперечного сечения ронделей фирмы ОАО «Ирказ - Суал», Россия, до отжига.

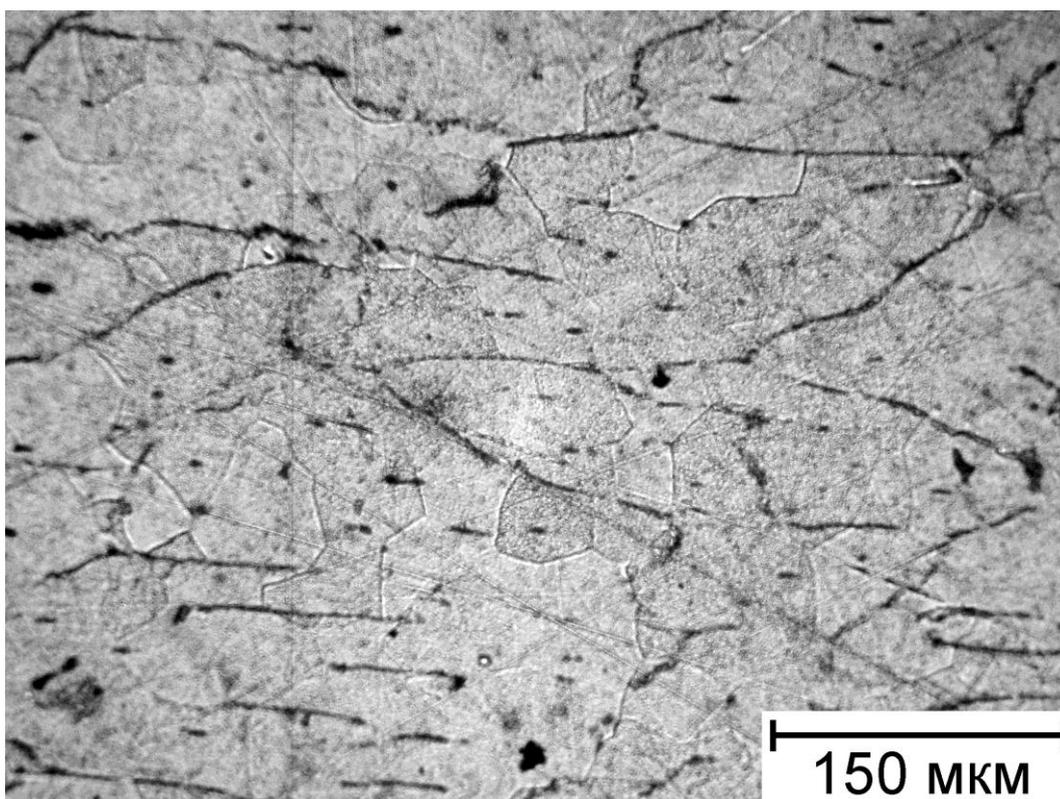


Рис. 19. Микроструктура поверхности ронделей фирмы ОАО «Ирказ - Суал», Россия, после отжига

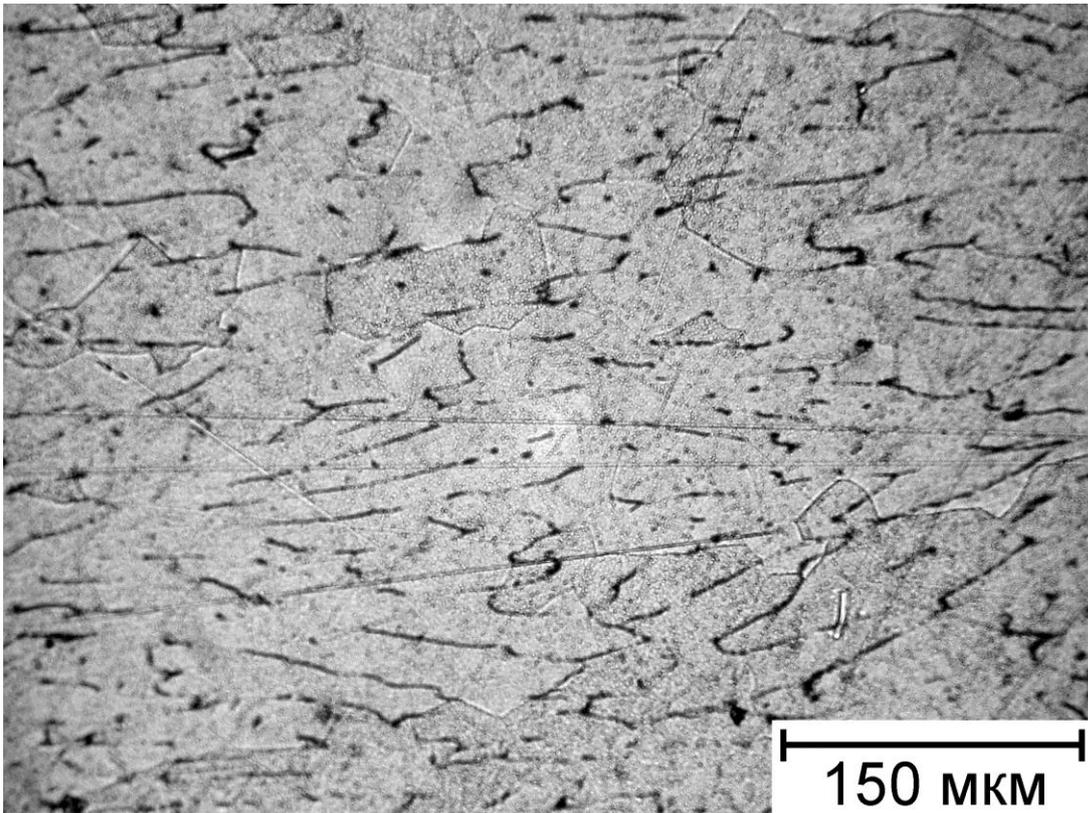


Рис. 20. Микроструктура поперечного сечения ронделей фирмы ОАО «Ирказ - Суал», Россия, после отжига