

Received: 24.10.2025

Revised: 12.11.2025



Accepted: 10.01.2025

DOI: 10.17804/2410-9908.2025.1.023-035

**ON THE POSSIBILITY OF REDUCING THE DEPTH OF A SHRINKAGE CAVITY
IN SINGLE-CHANNEL PRESSING OF AV (1340) ALUMINUM ALLOY RODS
BY MEANS OF PRESS-WASHERS OF NEW DESIGN**

A. V. Razinkin

*Kamensk-Uralsky Metallurgical Works JSC,
5 Zavodskaya St., Kamensk-Uralsky, Sverdlovsk Region, 623405, Russia*

 <https://orcid.org/0009-0006-2851-227X>  for_mtv01@mail.ru

Email: for_mtv01@mail.ru

Address for correspondence: ul. Zavodskaya, 5, Kamensk-Uralsky, Sverdlovsk Region, 623405, Russia

Phone: +7 (3439) 39-5125

Hot pressing is the most common method of forming aluminum alloys. Although the technological process of pressing aluminum alloys has long been well studied, it is still not possible to obtain a uniform deformation over the entire cross-section of the pressed workpieces. Uneven deformation during pressing is primarily reflected in the micro- and macrostructures of pressed products. Observation of the macrostructure through the cross-section and length in different parts of pressed products allows us to note a number of features that are only characteristic of pressed products. The front end of the pressed product in the middle of the section reveals a coarse-grained structure characteristic of a cast alloy. In all alloys, this cast structure is observed only on a small length of its front part, not exceeding 1.5–2 cross-section diameters. Further, the structure of most metals and alloys is uniform. Products made of aluminum-based alloys are characterized by the formation of a coarse-crystalline rim on the periphery of the cross section. The thickness of the rim increases towards the rear of the pressed product. Some pressed products with a coarse-grained structure are sent for remelting. This inevitably decreases the yield and increases the product cost. In this regard, the issue of reducing the length of cropped process waste is relevant.

The work on the use of process waste from the extrusion department at the Kamensk-Uralsky Metallurgical Works JSC has been underway for several years. The involvement of output ends in production has been successfully implemented. It has not been possible to reduce the shrinkage ends significantly despite the experimental work and theoretical calculations. This paper studies the possibility of reducing the length of cropped process waste from extrusions (shrinkage ends) due to using specially designed press-washers when pressing into a single-channel die by the direct method of metal flow without lubrication. New designs of press-washers are proposed. The efficiency of using the proposed designs of press-washers is substantiated empirically under the production conditions of the KUMW JSC.

Keywords: aluminum alloys, hot pressing, oversized rods, press-washer, process waste, shrinkage depression, resource saving



References

1. Loginov, Yu.N. *Pressovanie kak metod intensivnoi deformatsii metallov i splavov* [Pressing as a Method of Intensive Deformation of Metals and Alloys: Textbook]. Izd-vo Uralskogo Un-ta Publ., Ekaterinburg, 2016, 156 p. (In Russian).

2. Kargin, V.P., Kargin, B.V., Aryshenskiy E.V. *Tekhnologiya pressovaniya profiley iz legkikh splavov* [Technology of Pressing Profiles from Light Alloys: Textbook]. SGAU Publ., Samara, 2012, 54 p. (In Russian).
3. Gun, G.Ya., Yakovlev, V.I., and Prudkovsky, B.A. *Pressovanie alyuminievykh splavov* [Pressing of Aluminum Alloys]. Metallurgiya Publ., Moscow, 1974, 362 p. (In Russian).
4. Kuzmenko, V.A. *Pressovanie alyuminievykh splavov* [Pressing of Aluminum Alloys]. Metallurgiya Publ., Moscow, 1986, 108 p. (In Russian).
5. Berezhnoy, V.L., Shcherba, V.N., and Baturin, A.I. *Pressovanie s aktivnym deystviem sil treniya* [Pressing with Active Action of Friction Forces]. Metallurgiya Publ., Moscow, 1988, 296 p.
6. Loginov Yu.N., Razinkin A.V., Shimov G.V., Maltseva T.V., Bushueva N.I., Dymshakova E.G., and Kalinina N.A. Structure and strain state of aluminum bars at the initial phase of extrusion. *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya*, 2023, 29 (2), 29–37. DOI: 10.17073/0021-3438-2023-2-29-37.
7. Loginov, Yu.E., Razinkin, A.V., Shimov, G.V., and Bushueva, N.I. Aluminum alloy extrusion scheme and model with reduction of basis metal waste. *Tsvetnye Metally*, 2023, 11, 83–88. (In Russian). DOI: 10.17580/tsm.2023.11.11.
8. Zholobov, V.V. and Zverev, G.I. *Pressovanie Metallov* [Extrusion of Metals]. Metallurgiya Publ., Moscow, 1971, 456 p.
9. Типовые дефекты в слитках и полуфабрикатах из алюминиевых деформируемых сплавов : монография / А. В. Разинкин, Т. В. Мальцева, Б. В. Овсянников, А. В. Левина. – Екатеринбург : Издательство Уральский рабочий, 2023. – 144 с.
10. Razinkin, A.V., Maltseva, T.V., Ovsyannikov, B.V., and Levina, A.V. *Tipovye defekty v slitkakh i polufabrikatakh iz alyuminievykh deformiruemyykh splavov* [Typical Defects in Ingots and Semi-Finished Products Made of Deformable Aluminum Alloys]. Uralskiy Rabochiy Publ., Ekaterinburg, 2023, 144 p.
11. GOST 4784–2019.
12. GOST 21488–97.

Подана в журнал: 24.10.2025**УДК** 621.777.07**DOI:** 10.17804/2410-9908.2025.1.023-035**О ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ ГЛУБИНЫ УТЯЖИНЫ
ПРИ ОДНОКАНАЛЬНОМ ПРЕССОВАНИИ ПРУТКОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО
СПЛАВА АВ (1340) С ПОМОЩЬЮ ПРЕСС-ШАЙБ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ**

А. В. Разинкин

*ПАО «Каменск-Уральский металлургический завод», ул. Заводская,
д. 5, г. Каменск-Уральский, Свердловская обл., 623405, Россия* <https://orcid.org/0009-0006-2851-227X>  for_mtv01@mail.ruЭлектронная почта: for_mtv01@mail.ruАдрес для переписки: ул. Заводская, д. 5, г. Каменск-Уральский, Свердловская обл., 623405, Россия
Тел.: +7 (3439) 39-51-25

Наиболее распространенным способом обработки давлением алюминиевых сплавов является горячее прессование. Несмотря на то что технологический процесс прессования алюминиевых сплавов давно и хорошо изучен, до сих пор не удается получать однородную деформацию по всему сечению прессованных заготовок. Неравномерность деформации при прессовании в первую очередь отражается на микро- и макроструктурах прессованных изделий. Наблюдение макроструктуры прессованных изделий в различных частях по сечению и длине позволяет отметить ряд особенностей, свойственных только прессованным изделиям. Передний конец пресс-изделия в середине сечения обнаруживает крупнозернистое строение, свойственное литому сплаву. На всех сплавах такая литая структура наблюдается только на небольшой длине передней его части, не превышающей 1,5–2 диаметра сечения. Далее структура большинства металлов и сплавов однородна. Для изделий из сплавов на алюминиевой основе характерно образование крупнокристаллического ободка на периферии поперечного сечения. Толщина ободка увеличивается к задней части пресс-изделия. Часть пресс-изделий со структурой крупнокристаллического ободка отправляется на переплав. Это неизбежно приводит к уменьшению выхода годного и к повышению себестоимости продукции. В связи с этим актуальным является вопрос уменьшения длины обрезаемых технологических отходов, получаемых в прессовом производстве.

Работа по использованию технологических отходов прессового производства на ПАО «Каменск-Уральский металлургический завод» ведется уже несколько лет. Вопрос вовлечения выходных концов в производство был успешно решен. Значительно сократить утяжинные концы не представлялось возможным, несмотря на проведенные экспериментальные работы и теоретические расчеты. Настоящая работа посвящена изучению возможности уменьшения длины обрезаемых технологических отходов прессового производства (утяжинных концов) за счет применения пресс-шайб специальной конструкции при прессовании в одноканальную матрицу прямым методом истечения металла без применения смазки. Предложены новые конструкции пресс-шайб. Опытным путем в производственных условиях ПАО «КУМЗ» обоснована эффективность применения предложенных конструкций пресс-шайб.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, горячее прессование, крупногабаритные прутки, пресс-шайба, технологические отходы, утяжина, ресурсосбережение

1. Введение

Одним из основных способов получения длинномерных заготовок методом горячей пластической деформации алюминиевых сплавов на ПАО «КУМЗ» является процесс прессования. Оптимальную технологию прессования определяют следующие показатели: метод прессования, размеры слитка, температурный интервал, скорость прессования, форма каналов и их расположение на матрице, вид контактного трения, силовые параметры [1–3]. Чаще всего сплошные профили из алюминиевых сплавов получают горячим прессованием на горизонтальных гидравлических прессах с прямым и обратным истечением металла без технологической смазки в одно- и многоканальные матрицы. Каждая прессовка сопровождается технологическими отходами. При прямом методе истечения металла величина пресс-остатка равна приблизительно $0,3D_k$, при обратном – $0,1D_k$ (D_k – внутренний диаметр контейнера) [2].



Рис. 1. Схема расположения частей прессованной заготовки [2]: передний конец изделия – выходной конец; задний конец изделия – утяжинная часть

Пресс-остаток отделяют от отпрессованного изделия на прессе после окончания процесса прессования. Выходной конец и утяжинная часть изделия отличаются по свойствам и дефектам от основной части изделия, поэтому их также удаляют. Основную часть изделия разрезают на необходимые сдаточные длины [2].

Выход годного металла в процессе прессования меньше, чем в других основных процессах получения длинномерных изделий методами пластической деформации. В этом заключается основной недостаток прессования [1, 2].

В серийном производстве на ПАО «КУМЗ» используется плоская пресс-шайба, имеющая простую конструкцию (рис. 2). Размеры серийной пресс-шайбы – $\varnothing 369,5 \times 120$ мм.

Плоская пресс-шайба с цилиндрическими канавками проста в изготовлении и в использовании. Пресс-остаток имеет классическую форму, описанную в литературе [1, 2]. Под такую форму пресс-остатка разработана технология его отделения от прессованного изделия (ножом специальной конструкции непосредственно на прессе), которая применяется на производстве несколько десятилетий.

Вопрос вовлечения выходных концов в производство на заводе был успешно реализован (рис. 3). Работа в этом направлении ведется уже несколько лет [6, 7].

С утяжинными концами вопрос сложнее [1]. Известным и практически используемым способом распространения длины утяжины на меньшую длину в прессованном изделии является уменьшение скорости прессования на последней трети слитка [1, 7, 9].

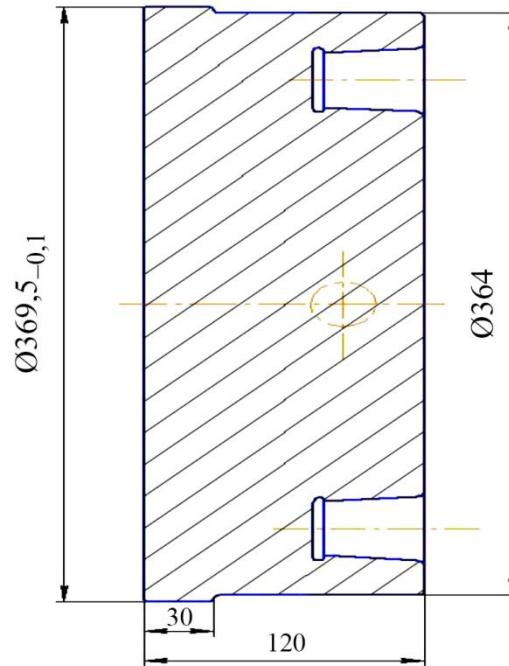


Рис. 2. Конструкция серийной плоской пресс-шайбы

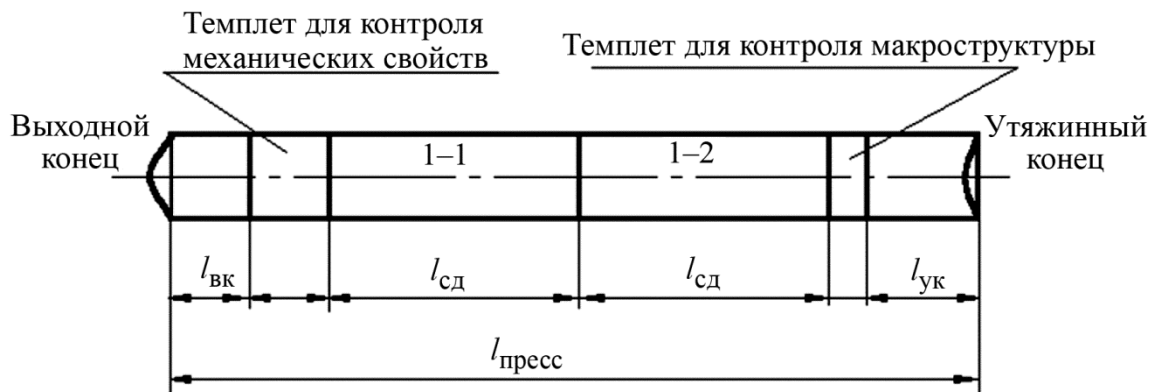


Рис. 3. Схема удаления переднего конца прутка после прессования: $L_{\text{ПРЕСС}}$ – прессуемая длина изделия; $L_{\text{СД}}$ – сдаточная длина изделия; $L_{\text{ВК}}$ – длина выходного конца, отрезаемого в отходы; $L_{\text{УК}}$ – длина утяжинного конца, отрезаемого в отходы; 1-1, 1-2 – номера заготовок в прутке

Несмотря на экспериментальные работы и теоретические расчеты [8], значительно сократить утяжинные концы не представлялось возможным. Все используемые методы сводились или к увеличению трения на контактной поверхности пресс-шайбы (канавки на поверхности, смазка солью), или к увеличению объема металла в центральной части слитка-заготовки, где образуется утяжина первого рода [7, 9].

В последние годы все более актуальной становится проблема ресурсосбережения за счет сокращения производственных отходов, получаемых на всех стадиях металлургического передела. Исключение из технологического процесса переплава является одной из важнейших задач экологизации технологических процессов.

В связи с этим настоящая работа посвящена изучению возможности уменьшения длины обрезаемых технологических отходов прессового производства (утяжинных концов) за счет

уменьшения глубины залегания утяжины на прутках, отпрессованных в одноканальную матрицу с применением пресс-шайб специальной конструкции.

2. Условия промышленного эксперимента

Сложившийся тренд на ресурсосбережение особенно актуален для сложнолегированных дорогих сплавов. На ПАО «КУМЗ» были проведены опытные работы по исследованию технологических возможностей прессового производства по увеличению выхода годной продукции за счет уменьшения количества обрезаемых технологических отходов прессового производства – утяжинных концов.

Анализ литературных источников [1, 5, 8] показал, что в прессовом производстве существуют две основные тенденции:

– необходимо сформировать поверхность пресс-шайбы по такому радиусу, который максимально соответствует очагу деформации и линиям истечения металла, чтобы исключить отрыв металла от поверхности пресс-шайбы [2], а оставить только контролируемое истечение металла;

– в центральной части должен быть такой объем металла (плоская площадка, рис. 3), чтобы его хватало для выравнивания истечения металла между центром слитка и периферией.

С учетом неравномерного характера истечения металла при прессовании, когда центральные слои металла опережают периферию, чтобы притормозить вытекание центральных слоев металла, на рабочей поверхности пресс-шайбы, соприкасающейся с нагретой заготовкой, выполнено конусообразное углубление с выпуклой образующей и основанием на рабочем торце пресс-шайбы.

При выборе объема внутренней полости учитывали размер исходной заготовки и размер пресс-изделия. Был выбран средний размер прутка $\varnothing 75$ мм при прессовании в одноканальную матрицу. На основании проведенных расчетов, согласно имеющимся данным [4, 5, 7, 8], спроектированы две пресс-шайбы специальной конструкции:

– пресс-шайба № 1, в отличие от серийной, имеет на рабочем торце внутреннюю конусообразную полость с основанием 90 мм; полость соединяется с телом пресс-шайбы с помощью выпуклой образующей, радиус сопряжения которой составляет R325; глубина полости составляет 30 мм; габариты – $\varnothing 369,5 \times 150$ мм (рис. 4 а).

– пресс-шайба № 2 имеет на рабочем торце внутреннюю конусообразную полость с основанием 150 мм; полость соединяется с телом пресс-шайбы с помощью выпуклой образующей, радиус сопряжения которой составляет R130; глубина полости составляет 30 мм; габариты – $\varnothing 369,5 \times 140$ мм (рис. 4 б).

Внешний вид пресс-шайб новой конструкции представлен на рис. 5.

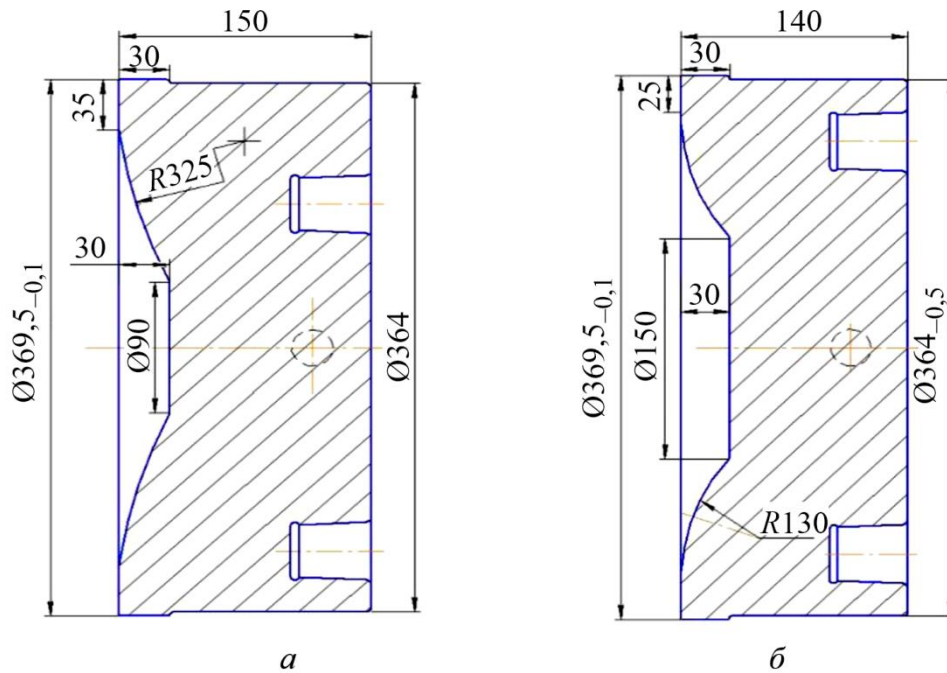


Рис. 4. Конструкция пресс-шайб: пресс-шайба № 1 (а); пресс-шайба № 2 (б)



Рис. 5. Пресс-шайбы № 1 и № 2 перед загрузкой в печь нагрева инструмента

3. Материал и методика исследования

Опытные работы проводились на прутках сплава АВ. Химический состав сплава приведен в табл. 1.

Номенклатура прутков подобрана с учетом одинаковых условий прессования. Прутки поставляются по ГОСТ 21488-97 [11].

Прутки были распределены на три равные партии с учетом прессования с применением трех разных пресс-шайб: две новые специальной конструкции и одна серийная рабочая, плоская (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав сплава АВ

Плавка	Массовая доля, %									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Прочие примеси	
									каждый	сумма
Опытная	0,9	0,3	0,3	0,29	0,74	0,13	0,08	0,11	0,05	0,1
СТО 804.005	0,7–1,1	0,3–0,45	0,1–0,5	0,25–0,35	0,6–0,9	0,14–0,17	0,2	0,08–0,15	0,05	0,1
ГОСТ 4784-2019 [10]	0,5–1,2	0,5	0,1–0,5	0,15–0,35	0,45–0,90	0,25	0,2	0,15	0,05	0,1

Таблица 2

Данные для проведения работ по прессованию с использованием пресс-шайб разной конструкции

Типоразмер, мм	Количество заготовок, шт	Вес на годное, кг	Пресс-шайба	Габаритные размеры, мм	Чертеж
Ø75	5	500	Плоская (прямая)	369,5 × 120	Рис. 2
	5	500	Тарельчатая № 1	369,5 × 150	Рис. 4 а
	5	500	Тарельчатая № 2	369,5 × 140	Рис. 4 б

Прессование прутков Ø75 мм произведено в корпусе 85 на прессе усилием 50 МН. Прессование производилось с контейнера Ø370 мм в одноканальную матрицу прямым методом прессования с коэффициентом вытяжки 24,33 единиц.

Установка пресс-шайб на прессе представлена на рис. 6, 7.



Рис. 6. Пресс-шайба № 1



Рис. 7. Пресс-шайба № 2

Температура слитка при прессовании – 450 °С, температура контейнера – 420 °С, скорость прессования – 1 м/мин. При прессовании на последней 1/3 части прутка снижали скорость до минимальной (0,3–0,4 м/мин). Фактическая высота пресс-остатка – 60 мм. Внешний вид пресс-остатков представлен на рис. 8.



Рис. 8. Пресс-остатки с плоской пресс-шайбы и пресс-шайбы № 2, высота 60 мм

Величина обрезки утяжинного конца на опытных прутках составила 800, 530 и 270 мм при серийной длине обрезки 800 мм и одинаковой высоте удаляемого пресс-остатка.

После прессования проводили термическую обработку – закалку, правку и старение. Все режимы стандартные для продукции, производимой на заводе.

Дальнейшее исследование включало изучение макроструктуры и испытания механических свойств при комнатной температуре. Схема отбора образцов по длине утяжинного конца представлена на рис. 9.

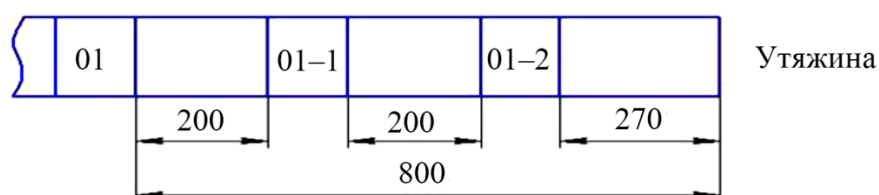
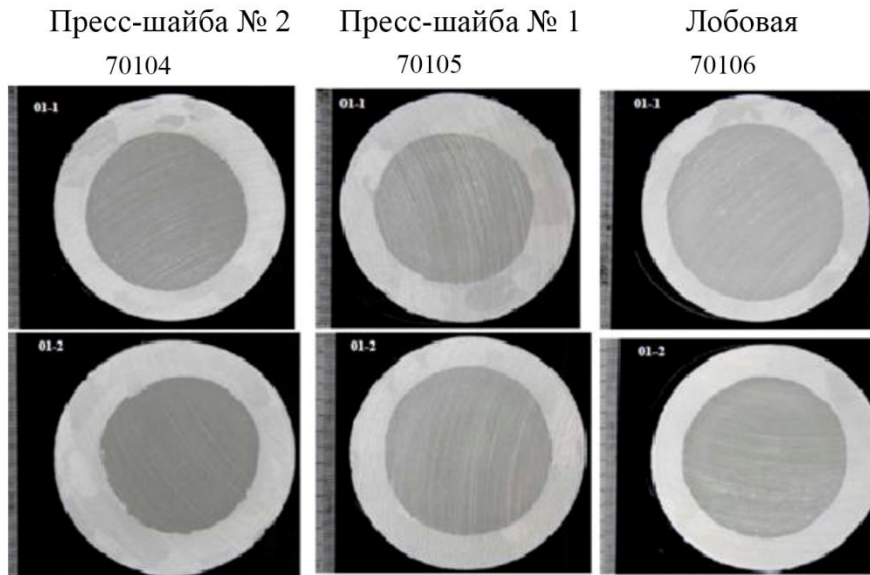
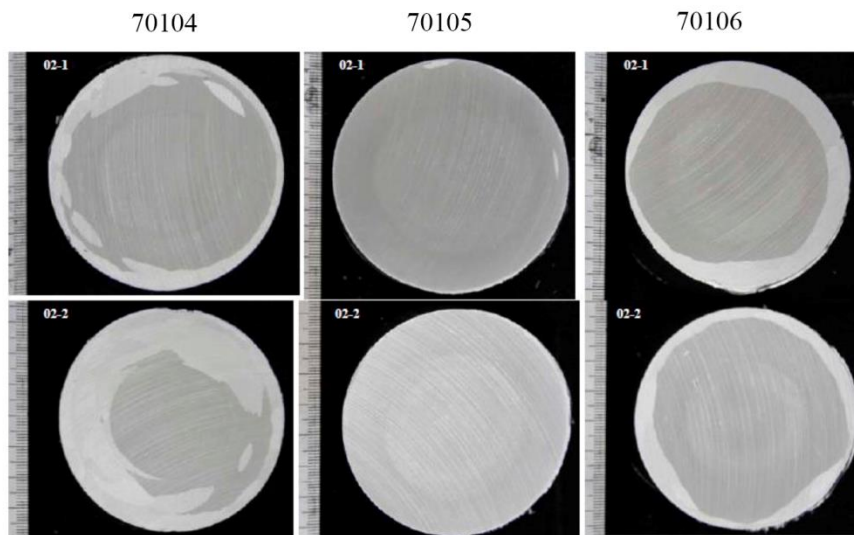


Рис. 9. Схема отбора образцов для исследования макроструктуры по определению глубины залегания утяжины

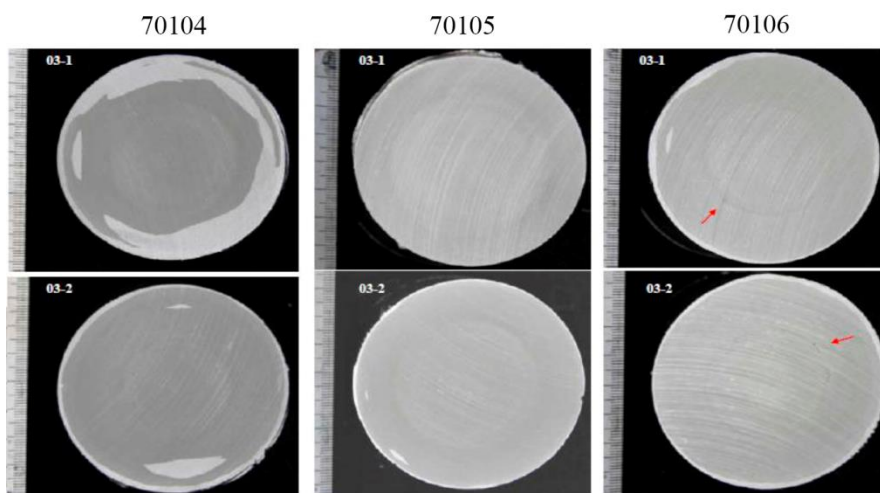
Результаты металлографического анализа макроструктуры исследуемых прутков приведены на рис. 10.



a



б



в

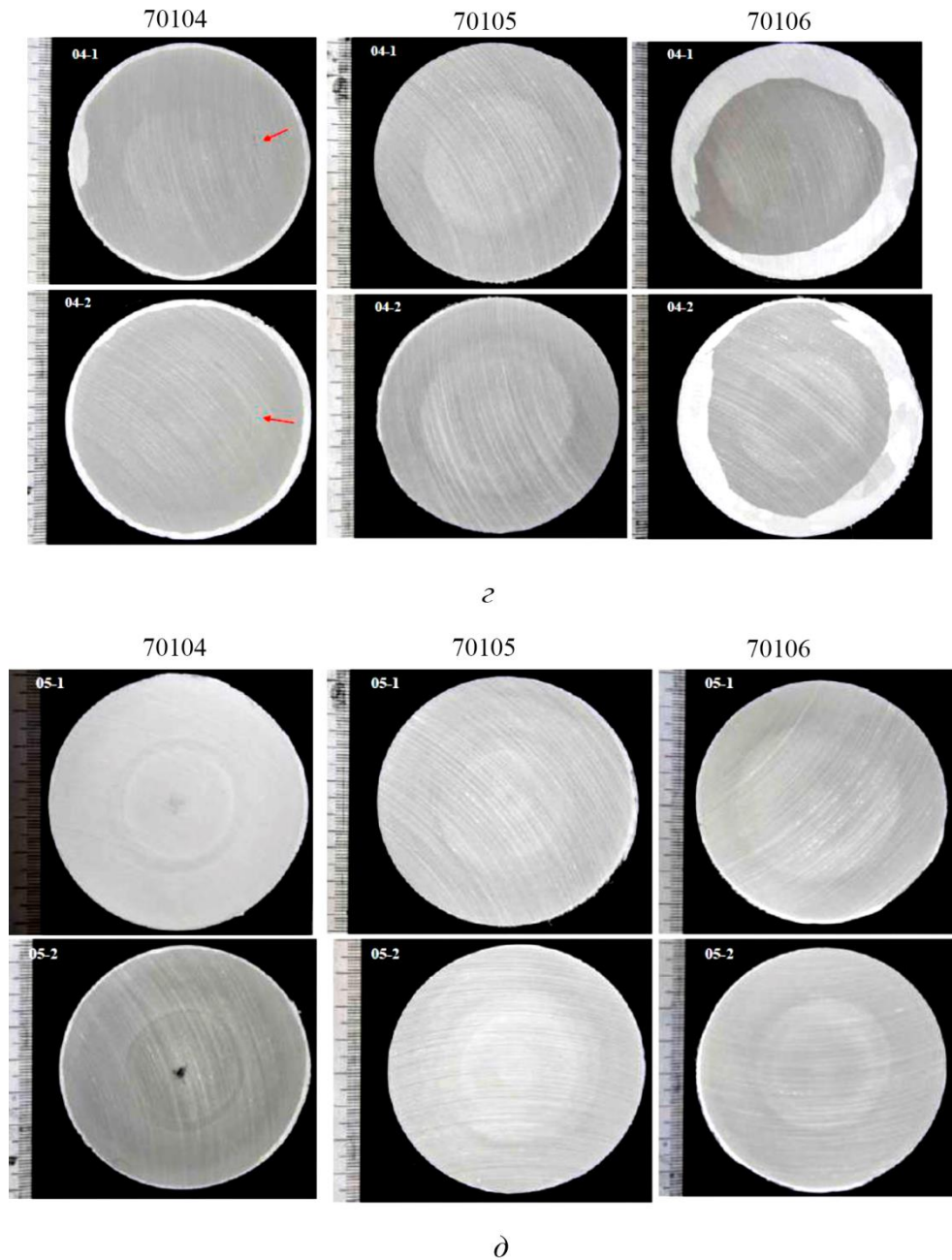


Рис. 10. Макроструктура поперечного сечения прутков $\varnothing 75$ мм сплава АВ, образцы отобраны от: *a* – первых (01), *б* – вторых (02), *в* – третьих (03), *г* – четвертых (04), *д* – пятых (05) прессовок

Регламентированная величина обрезки утяжинного конца, равная 800 мм, позволяет обеспечивать получение удовлетворительной макроструктуры прутков на всех трех видах пресс-шайб. Дефектов в макроструктуре образцов не обнаружено.

Отсутствие утяжины и следов утяжины на образцах, обозначенных 01-1 и 01-2, объясняется тем, что в прессовом отделе от первых прессовок с утяжинного конца взяты образцы для контроля размеров прутка на прессовании. Длина образцов для контроля размеров прутка – примерно 200–300 мм, соответственно, на данных образцах общая величина обрезаемых отходов составила 800 мм и 500 мм.

При величине обрезаемых отходов 530 мм присутствует утяжина при использовании серийной пресс-шайбы на одном образце из пяти, пресс-шайбы № 2 – на двух образцах из пяти. То есть процесс нельзя считать стабильным.

При использовании пресс-шайбы № 1 утяжина отсутствует на всех образцах при величине обрезаемых отходов как 530 мм, так и 270 мм. Процесс можно считать стабильным.

Наименьшие значения размера крупнокристаллического ободка получены при прессовании с пресс-шайбы № 1. Таким образом, пресс-шайба № 1 по глубине залегания утяжины показала лучший результат в сравнении с пресс-шайбой № 2 и серийной плоской пресс-шайбой.

После получения удовлетворительных результатов контроля макроструктуры на регламентированной обрезке 800 мм отбраковки нет, партии сданы в серийные заказы в полном объеме.

Полученные результаты испытаний на растяжение при комнатной температуре приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний механических свойств прутков Ø75мм сплава АВ

Партия	№ прутка	Временное сопротивление, МПа	Условный предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
		$L \geq 295$	$L \geq 225$	$L \geq 12,0$
Плоская пресс-шайба	1	380	365	14,0
	2-1	395	365	13,5
	2-2	395	370	13,5
	3-1	390	360	13,5
	3-2	390	355	13,5
	4	385	355	12,5
	5	390	360	13,5
Пресс-шайба № 1	1	390	355	13,0
	2	385	355	12,5
	3	385	360	12,5
Пресс-шайба № 2	2	390	350	14,0
	3	390	350	14,0
	4	385	360	12,5

Результаты контроля механических свойств прутков сплава АВ удовлетворительные, соответствуют требованиям ГОСТ 214888-97 [11].

4. Заключение

В работе изучена возможность уменьшения длины обрезаемых технологических отходов (утяжинных концов) за счет уменьшения глубины залегания утяжины на прутках Ø75, отпрессованных в одноканальную матрицу с применением двух пресс-шайб специальной конструкции. Регламентированная величина обрезки утяжинного конца 800 мм позволяет обеспечивать получение удовлетворительной макроструктуры прутков на всех трех видах пресс-шайб. После проведения сравнительного анализа результатов изучения макроструктуры прутков можно сделать вывод, что при использовании пресс-шайбы № 1 величина распространения утяжины меньше, чем при использовании пресс-шайбы № 2 и

плоской, серийной пресс-шайбы. Минимальная величина отрезаемых отходов (утяжинного конца) может составлять 270 мм.

По результатам проведенных исследований предложено продолжить работы по использованию пресс-шайб различной конструкции при многоканальном прессовании круглых прутков разных сплавов, а для более полного набора статистических данных – также продолжить работу при прессовании прутков в одноочковую матрицу с применением новой пресс-шайбы № 1 и с увеличенным отбором образцов для контроля макроструктуры.

Литература

1. Логинов Ю. Н. Прессование как метод интенсивной деформации металлов и сплавов : учеб. пособие. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2016. – 156 с.
2. Каргин В. Р., Каргин Б. В., Арышенский Е. В. Технология прессования профилей из легких сплавов : метод. указания. – Самара : Изд-во СГАУ, 2012. – 54 с.
3. Гун Г. Я., Яковлев В. Н., Прудковский Б. А. Прессование алюминиевых сплавов – М. : Metallurgia, 1974. – 362 с.
4. Кузьменко В. А. Прессование алюминиевых сплавов. – М. : Metallurgia, 1986. – 108 с.
5. Бережной В. Л., Щерба В. Н., Батулин А. И. Прессование с активным действием сил трения. – М. : Metallurgia, 1988. – 296 с.
6. Структурное состояние и деформация заготовки из алюминиевого сплава в начальной стадии прессования / Ю. Н. Логинов, А. В. Разинкин, Г. В. Шимов, Т. В. Мальцева, Н. И. Бушуева, Е. Г. Дымшакова, Н. А. Калинина // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2023. – Т.29 (2). – С. 29–37. – DOI:10.17703/0021-3438-2023-2-29-37
7. Схема и модель прессования алюминиевого сплава с уменьшением потерь основного металла / Ю. Н. Логинов, А. В. Разинкин, Г. В. Шимов, Н. И. Бушуева // Цветные металлы. – 2023. – № 11. – С. 83–88. – DOI:10.17580/tsm.2023.11.11.
8. Жолобов В. В., Зверев Г. И. Прессование металлов. – М. : Metallurgia, 1971. – 456 с.
9. Типовые дефекты в слитках и полуфабрикатах из алюминиевых деформируемых сплавов : монография / А. В. Разинкин, Т. В. Мальцева, Б. В. Овсянников, А. В. Левина. – Екатеринбург : Издательство Уральский рабочий, 2023. – 144 с.
10. ГОСТ 4784–2019.
11. ГОСТ 21488–97.