

PACS: 81.40.-z

А.И. Шевелев¹, В.Н. Варюхин², С.Г. Сынков², А.В. Решетов²

КОМБИНИРОВАННАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

¹ДП «Техноскрап» ООО «Скрап»
ул. Стадионная, 32а, г. Донецк, 83102, Украина

²Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

Изучено влияние интенсивных пластических деформаций и последующей деформационной обработки методом прямого прессования (ПП) на конечные механические свойства ряда вторичных алюминиевых сплавов. Показано, что интенсивная пластическая деформация значительно улучшает технологическую пластичность таких сплавов, это позволяет проводить их дальнейшее формообразование и получать изделия с высокими механическими свойствами.

Введение

При переработке вторичных алюминиевых сплавов лом и отходы алюминиевого сырья частично смешиваются между собой и в таком виде перерабатываются на заводах вторичных цветных металлов (ВЦМ). В результате эти заводы выпускают всего лишь 5% деформируемых сплавов, в то время как предприятия, работающие на первичном сырье, – 70% таких сплавов. Доля лома и отходов алюминиевых деформируемых сплавов, поступающих на заводы ВЦМ, в 4–6 раз превосходит их выпуск вследствие того, что проблемы сбора и разделки лома [1–3], а также плавки и литья [4] являются основными сдерживающими факторами увеличения процентного содержания алюминиевых сплавов с достаточным уровнем пластичности в общем объеме производства вторичного алюминия.

Повышение пластичности указанных сплавов является одной из важнейших задач в цветной металлургии. Выполнение ее позволило бы гораздо эффективнее использовать вторичное сырье.

Существуют различные направления решения этой задачи:

– модифицирование различных фаз кристаллизационного происхождения (на стадии металлургического передела);

– технологические приемы при производстве отливок (направленная и ускоренная кристаллизация);

– разработка специальных режимов термообработки.

Низкая пластичность вторичных алюминиевых сплавов обусловлена, как правило, высокой долей крупных избыточных фаз, расположенных на границах зерен. Кроме того, к охрупчиванию этих сплавов и возникновению грубокристаллической структуры приводит повышенное содержание в них кремния, который имеет значительное химическое сродство с магнием, железом и марганцем и образует с ними фазы и соединения.

Одним из методов, позволяющих повысить технологическую пластичность алюминиевых сплавов из вторичного сырья, является гомогенизационный отжиг. Его различные режимы рассмотрены в работе [5]. Пластические характеристики литейных алюминиевых сплавов АВ87 и АК5М2 после гомогенизационного отжига по режимам, указанным в [5], улучшились. Это позволило провести их деформацию гидропрессованием с коэффициентом вытяжки $\mu \leq 6$. Вместе с тем следует заметить, что большая длительность (восемь и более часов) операции гомогенизационного отжига может существенно увеличить трудоемкость подготовки этих сплавов к деформированию.

По нашему мнению, значительные перспективы в плане повышения технологической пластичности вторичных алюминиевых сплавов имеют методы обработки металлов давлением (ОМД). Хорошо известно, что большие пластические деформации приводят к диспергированию различных хрупких включений, чем можно воспользоваться для раздробления хрупкого эвтектического каркаса. Главное при этом не допустить разрушения материала до завершения процесса раздробления. Данная задача может быть решена путем увеличения гидростатического давления в очаге деформации.

Целью настоящей работы было создание технологии деформационной обработки вторичных алюминиевых сплавов, позволяющей повысить их технологическую пластичность и раздробить хрупкий эвтектический каркас.

Обработку осуществляли комбинированным методом деформации – винтовой экструзией (ВЭ) с последующим ПП на $\varnothing 12$ mm. Метод ВЭ [6,7] изначально был разработан с целью получения ультрамелкозернистых структур в объемных металлических заготовках. В отличие от такого традиционного использования в данной работе ВЭ служила инструментом для дробления хрупкого межзеренного каркаса в литых заготовках вторичного алюминия. Конечный профиль (пруток) получали путем ПП.

Методика проведения экспериментальных исследований

В процессе экспериментальных исследований были использованы четыре образца сплавов вторичного алюминия следующего химического состава, %:

№ 1: Al – 99.3, Si – 0.15, Fe – 0.32, ...;

№ 2: Al – 98, Mg – 0.59, Si – 0.16, Cu – 0.75, Fe – 0.49, ...;

№ 3: Al – 88, Mg – 0.19, Si – 9.5, Mn – 0.36, Cu – 0.15, Fe – 0.84, ...;

№ 4: Al – 93, Mg – 2.28, Si – 0.3, Mn – 0.6, Cu – 0.2, Zn – 2.9, Fe – 0.4, Cr – 0.09,

Литье заготовок проводили в цилиндрические формы в виде трубы диаметром 35 mm, изготовленной из аустенитной коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т, установленной в резервуаре с водой для ускоренного охлаждения. Металлические формы из этой стали имеют малый коэффициент линейного расширения, хорошо сопротивляются действию расплавленного металла, долговечны. Кроме того, достаточная теплопроводность формы значительно ускоряет охлаждение залитого в нее сплава. Ускоренная кристаллизация сплава позволяет получить большую плотность, чем при медленном охлаждении, когда металл имеет максимальную предрасположенность к возникновению пустот и межкристаллических рыхлот. Мелкодисперсные выделения фаз и значительно большая однородность структуры, наблюдаемые при быстрой кристаллизации, способствуют более высокой пластичности сплава.

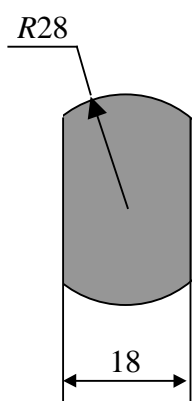


Рис. 1. Поперечное сечение образца для ВЭ

Из литых заготовок изготавливали образцы длиной 100 mm для ВЭ (рис. 1). Их деформацию осуществляли на установке для теплой ВЭ, смонтированной на прессе усилием 2500 kN и имеющей следующие характеристики: температура нагрева контейнера и матрицы до 400°C, скорость деформирования 3 mm/s, максимальное усилие противодействия 500 kN.

В исследованиях использовали два варианта установки (рис. 2). Первый, предназначенный для прессования заготовок с винтовой матрицей и устройством для противодействия (рис. 2,а), применяли с целью многократной обработки исследуемого материала. Второй вариант установки, содержащей винтовую матрицу, под которой размещена коническая деформирующая матрица (рис. 2,б), использовали для изучения ПП сплава.

Образцы из вторичных алюминиевых сплавов подвергали следующим видам деформационной обработки:

Образец № 1:

- 1 проход (пр.) ВЭ + ПП, $t = 135^\circ\text{C}$, общая накопленная деформация $e = 2.5$;
- 7 пр. ВЭ, $t = 20^\circ\text{C}$ + ПП, $t = 135^\circ\text{C}$, $e = 9.4$ (первые 6 проходов ВЭ проводили на установке, показанной на рис. 2,а, при $t = 18^\circ\text{C}$; 7-й проход ВЭ + ПП – на установке, показанной на рис. 2,б, при $t = 135^\circ\text{C}$).

Образец № 2:

- 1 пр. ВЭ + ПП, $t = 130^\circ\text{C}$, $e = 2.5$;
- 5 пр. ВЭ, $t = 18^\circ\text{C}$ + ПП, $t = 125^\circ\text{C}$, $e = 7.1$.

Образец № 3:

- 1 пр. ВЭ + ПП, $t = 250^\circ\text{C}$, $e = 2.5$;
- 5 пр. ВЭ, $t = 250^\circ\text{C}$ + ПП, $t = 250^\circ\text{C}$, $e = 7.1$.

Образец № 4:

- 1 пр. ВЭ + ПП, $t = 150^\circ\text{C}$, $e = 2.5$;
- 5 пр. ВЭ, $t = 150^\circ\text{C}$ + ПП, $t = 150^\circ\text{C}$, $e = 7.1$.

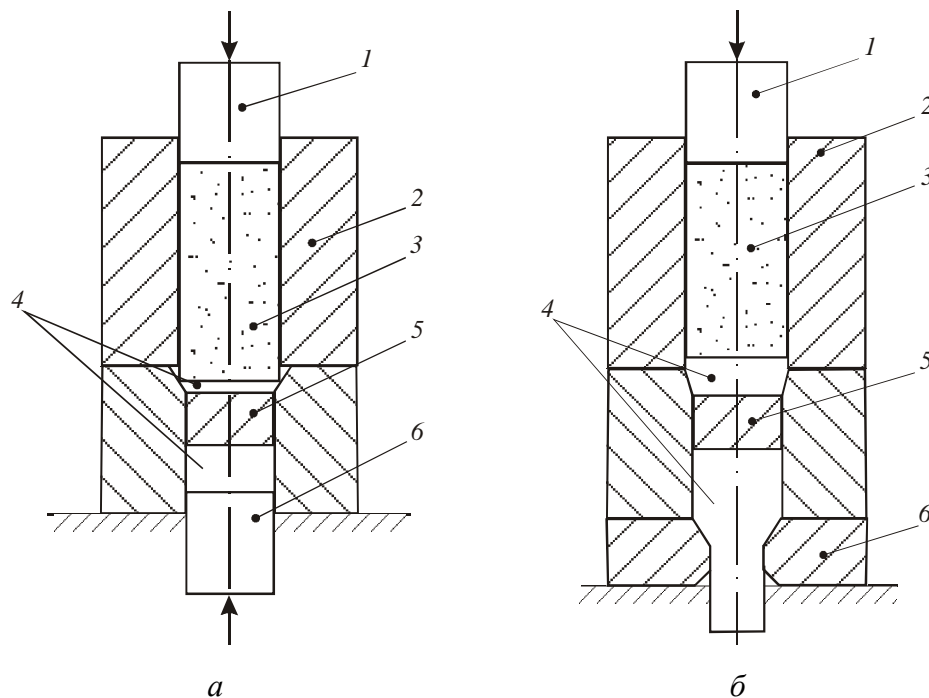


Рис. 2. Схемы установок для многократной ВЭ (а) и комбинированной деформационной (б) обработок: 1 – пуансон, 2 – контейнер, 3 – заготовка, 4 – фальшзаготовка, 5 – винтовая матрица, 6 – плунжер противодействия (а) и коническая деформирующая матрица (б)

Деформирование по схеме 5(7) пр. ВЭ + ПП проводили в две стадии:

1) 4(б) пр. ВЭ осуществляли на установке для многократной ВЭ (рис. 2,а). Для повышения уровня гидростатического давления в очаге деформации при выдавливании заготовок создавали противодействие порядка 200 МПа;

2) последний проход ВЭ + ПП выполняли на установке для комбинированной деформационной обработки (рис. 2,б).

Полученные прутки подвергали испытаниям на разрывной машине. Для исследований на растяжение использовали образцы диаметром 12 × 70 mm, скорость растяжения составляла 3 mm/min, скорость деформации – $7 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$.

Анализ структур проводили на металлографических шлифах в поперечном сечении заготовок на оптическом микроскопе Neophot 32 (в светлом поле на отражение при увеличении 500). Образцы шлифовали и полировали алмазными пастами, травили в реактиве 10% HF, 20% HCl, 30% HNO₃, 40% H₂O при комнатной температуре.

Результаты исследований и их обсуждение

Механические свойства исходных литых заготовок и подвергнутых деформационной обработке приведены соответственно в табл. 1 и 2.

Как видно из сравнения табл. 1 и 2, после деформационной обработки вторичных сплавов произошел значительный рост как прочностных, так и пластических характеристик. Повышение последних наблюдается у всех исследованных сплавов, даже у содержащего 9.5% Si. Так, в исходном состоянии

Таблица 1

Механические свойства исходных литых заготовок

№ образца	Химический состав, %	P_{\max} , kN	σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ	ψ	F_0	F_k
			N/mm ²		%		mm ²	
1	Al 99.3	10.9	96.5	84	11	17	113	93.3
	Al 99.3 (плавка № 2)	5.6	50	35	4.3	8	113	–
2	Al 98	8.65	76.5	–	–	–	113	–
		11.2	99	81	–	–	113	–
3	Al 88, Si 9.5	5	44.2	–	0	–	113	–
		8.5	75.2	60	1.5	–	113	–
4	Al 93, Mg 2.28	5.25	46.5	44	1.5	0	113	–
		6.7	62	–	1.5	12	107.5	95

Таблица 2

Механические свойства заготовок, деформированных методом ВЭ + ПП

№ образца	Количество проходов ВЭ	Температура, °С	P_{\max} , kN	σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ	ψ	F_0	F_k
				N/mm ²		%		mm ²	
1	7	135	186	165	135	12	28	113	81.7
	1	135	17.4	159	137	21	70	109.3	33.2
		135	16.3	149	119	22	67	109.3	35.8
		135	16.1	147	114	22	72	109.3	30.2
2	1	130	32.7	299	263	14	30	109.3	77
	5*	125	28.4	251	197	1.5	13	113	98.5
3	1	250	22.2	203	180	12	13	109.3	95
		250	22.8	209	164	7	10	109.3	98.4
	5	250	23.4	207	160	17	20	113	90.7
4	1	150	36.6	324	269	3.8	11	113	100.2
	5*	150	33.4	296	259	5	13	113	98.5

Примечания: 1. * – образец с трещиной.

2. Максимальное давление 130 atm.

3. ВЭ образцов № 1 и 2 выполнена при комнатной температуре, а последний проход ВЭ + ПП – при 130°С.

сплав имел чрезвычайно низкую (порядка 1.5%) пластичность. После обработки по схеме 1 пр. ВЭ + ПП его пластичность выросла до 7–12%, а деформирование по схеме 5 пр. ВЭ + ПП позволило увеличить пластичность до 17%. Повышение пластичности, по-видимому, можно объяснить дроблением грубокристаллической литой структуры и решетки, образованной неметаллическими включениями, под действием интенсивных пластических деформаций.

На рис. 3 показаны структуры, полученные со шлифов из сплава № 3. Так, в исходном состоянии сплав имеет характерную литую структуру с крупными дендритными образованиями (рис. 3,а). После 4 проходов ВЭ наблюдается дробление дендритов, формируется их преимущественная направленность, структура однородна по объему (рис. 3,в,г). Обработка по

схеме 1 пр. ВЭ + ПП приводит к сильному измельчению дендритов, перераспределению их по объему образца. Дендриты находятся в колониях, что способствует повышению пластичности сплава.

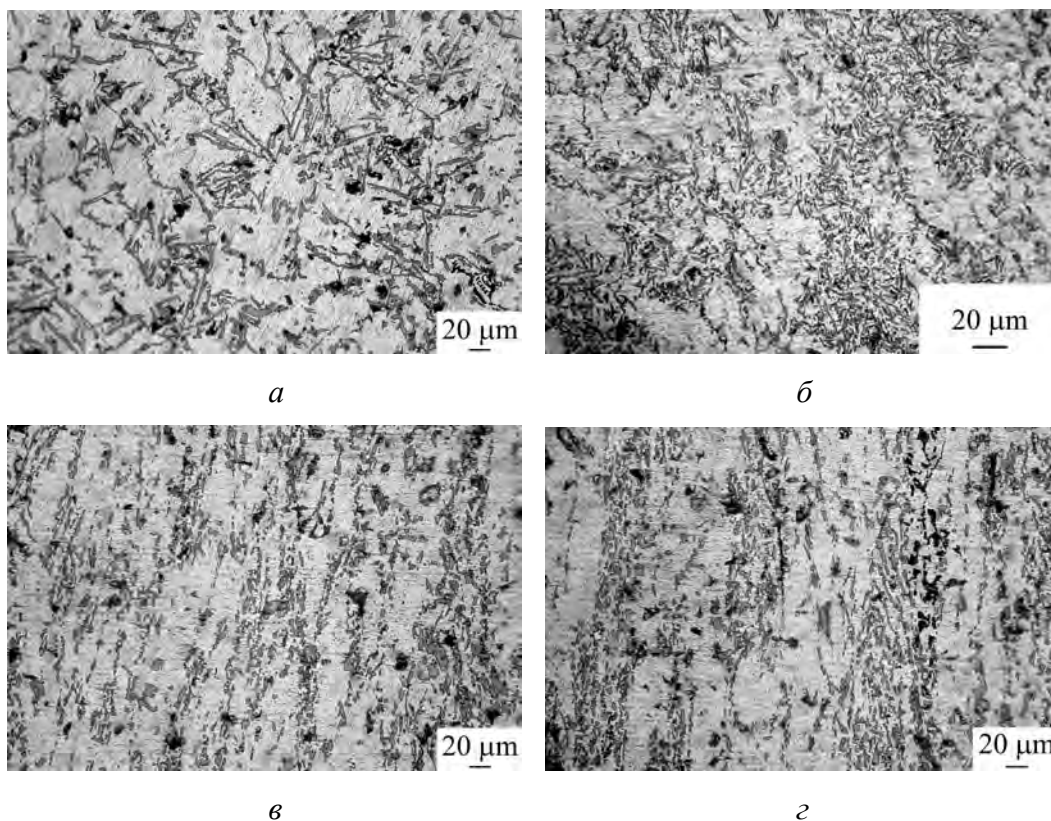


Рис. 3. Структуры образца № 3: *a* – исходная литая; *б* – после 1 пр. ВЭ + ПП; *в, г* – после 4 пр. ВЭ соответственно центральной и периферийной частей образца

Образцы № 1 и 2 имеют более высокие пластические характеристики после обработки по схеме 1 пр. ВЭ + ПП, чем после многократной ВЭ с последующим ПП. По мнению авторов, это связано с тем, что серию проходов ВЭ осуществляли при комнатной температуре, следствием чего стало накопление повреждений структуры и снижение пластичности образцов. Обработку данных сплавов, по-видимому, необходимо вести с подогревом или же при более высоком уровне противодействия.

Выводы

На основе выполненных экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что теплая ВЭ с противодействием приводит к хорошей проработке литой структуры и раздроблению хрупкого межзеренного каркаса в литых заготовках вторичного алюминия. В результате повышается пластичность сплава и появляется возможность его последующей деформации традиционными методами ОМД с целью придания необходимой формы.

Комбинированная деформационная обработка вторичных алюминиевых сплавов по схеме ВЭ + ПП позволяет получать профильные изделия с высоким уровнем механических характеристик.

1. Д.Г. Карпачев, Цветные металлы № 6, 59 (1986).
2. В.А. Попов, Цветные металлы № 6, 64 (1986).
3. В.С. Лобанов, Цветные металлы № 9, 96 (1986).
4. М.М. Рутнам, Г.Г. Шадрин, Г.Е. Гольдбухт, Цветные металлы № 5, 87 (1985).
5. А.И. Шевелев, С.Г. Сынков, В.Н. Крымов, Металлы и литье Украины № 7–8, 61 (2002).
6. Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков, Винтовая экструзия – процесс накопления деформации, ТЕАН, Донецк (2003).
7. Я.Е. Бейгельзимер, С.Г. Сынков, Д.В. Орлов, А.В. Решетов, КШП № 6, 15 (2004).
8. А.И. Шевелев, Я.Е. Бейгельзимер, С.Г. Сынков, Изв. вузов. Цветная металлургия № 4, 54 (2004).
9. Я.Е. Бейгельзимер, А.В. Решетов, С.Г. Сынков, Д.В. Орлов, А.И. Шевелев, А.С. Сынков, Т.П. Заика, в сб.: Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении, Краматорск (2004), с. 358–363.

A.I. Shevelev, V.N. Varyukhin, S.G. Synkov, A.V. Reshetov

COMBINED DEFORMATION WORKING OF SECONDARY ALUMINIUM ALLOYS

The influence of severe plastic deformation followed by deformation working by direct-pressing method on final mechanical properties of a number of secondary aluminium alloys has been studied. It is shown that severe plastic deformation much improves technological plasticity of the alloys, thus favoring shape forming and making products of better mechanical properties.

Fig. 1. Cross-section of sample for screw extrusion

Fig. 2. Schematic showing of plants for repeated screw extrusion (*a*) and combined deformation (*b*) working: 1 – punch, 2 – container, 3 – billet, 4 – false-billet, 5 – screw die, 6 – backpressure plunger (*a*) and conical deforming die (*b*)

Fig. 3. Structure of sample № 3: *a* – initial, as cast one; *b* – past 1 pass of screw extrusion + direct pressing; *в*, *г* – past 4 passes of screw extrusion of central and peripheral portions of the sample, respectively