

УДК 621.762.

А.Т. Цыркин, канд. техн. наук, **А.Н. Михайлов**, д-р техн. наук, проф.,
Д.В. Белошапка, **В.В. Головятинская**, **М.Г. Петров**
Донецкий национальный технический университет, Украина
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua
Луганский филиал кафедры технологии машиностроения Донецкого
национального технического университета, Украина
Тел./Факс: +38 (0642) 491344; E-mail: depla@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ СТРУЖКИ СПЛАВА Д-16

Показана возможность получения из стружки алюминиевого сплава Д-16 образцов высокой плотности горячей штамповкой посредством осадки пористых заготовок с поперечным течением металла. Установлено, что после обработки в шаровой мельнице в течение 2 ч фрезерной стружки сплава Д-16 образуются гранулы, имеющие высокие характеристики уплотняемости и формруемости.

Ключевые слова: стружка, алюминиевый сплав, плотность, прессование, горячая штамповка, поперечная деформация.

1. Введение

Порошковая металлургия алюминия и его сплавов открывает широкие перспективы для получения легких материалов с высокими эксплуатационными свойствами. Известно ряд технологических процессов получения полуфабрикатов в виде профилей и изделий из распыленных алюминиевых порошков [1, 2].

Учитывая большие объемы стружки алюминиевых сплавов и сложности ее переработки переплавом, представляет интерес получить полуфабрикаты из стружки методами порошковой металлургии, исключив тем самым энергоемкую и длительную операцию плавления.

Механическое измельчение стружки в порошок трудоемкий процесс. Поэтому наиболее целесообразным представляется получение полуфабрикатов из стружки без ее измельчения.

Известна [3] технология получения полуфабрикатов из стружки алюминиевых сплавов Д-16, АЛ-4, АЛ-30 без измельчения. Стружку дробят, обезжиривают, сушат, классифицируют и сепарируют. Так как стружка имеет низкую насыпную плотность (0,3 - 0,35 г/см³), то ее брикетируют в специальном штампе – сначала в осевом направлении, а затем в поперечном. Брикет нагревают до температуры 480°С и выдавливают прутки прямым прессованием через коническую матрицу с углом конуса 120° или по схеме прямого сдвига с противодавлением, создаваемой фильерой с формой поперечного сечения, соответствующей получаемому профилю. Штамп перед прессованием нагревают. Штамповку ведут на гидравлическом прессе. При вытяжке $\lambda = F_3/F_n$, где F_3 , F_n - площади поперечного сечения заготовок и прутка, не менее 30, получены полуфабрикаты высокой плотности.

Возможности уплотнения образцов из алюминиевой стружки методом винтовой экструзии показаны в работе [4].

Целью данной работы является исследование возможности получения из стружки алюминиевого сплава Д-16 образцов высокой плотности посредством горячей штамповки пористых заготовок, а именно осадкой в закрытом штампе.

© Цыркин А.Т., Михайлов А.Н., Белошапка Д.В., Головятинская В.В., Петров М.Г., 2014

2. Материалы и методика проведения исследований

Для исследований использовали фрезерную стружку алюминиевого сплава Д-16 не содержащую СОЖ. Согласно справочных данных плотность сплава составляет $2,77 \text{ г/см}^3$, температура плавления 650°C , твердость в отожженном состоянии 45 НВ, а после закалки и старения 105 НВ [5].

Так как стружка имеет низкую насыпную плотность, то для ее повышения стружку дробили в шаровой мельнице в течение 2 ч и просеивали через сито с размерами ячеек 2,5 мм. Насыпную плотность полученных гранул определяли в соответствии с ГОСТ 19440. Из гранул прессовали заготовки массой 6,0 г в пресс-форме с размерами 30x20, при давлении - 250, 400, 550, 700 МПа. Заготовки нагревали до температуры 180 - 200°C и окунали в коллоидно-графитовый препарат ВКГС-0 (ГОСТ 5.138 5 - 72). На поверхности заготовок образуется тонкий слой, исполняющий роль смазки при штамповке и обеспечивающий защиту заготовки от окисления. Затем заготовки нагревали в камерной лабораторной печи до температуры штамповки, выдерживали и штамповали на гидравлическом прессе в штампе нагретом до 400°C с силой 700 МПа.

Плотность заготовок и штампованных образцов определяли по массе и объему. Их массу находили взвешиванием на электронных лабораторных весах Radwag PS 1200/C/1, а объем рассчитывали по геометрическим размерам заготовок и образцов, которые измеряли штангенциркулем ШЦ-I-150-0,1-1. Твердость по Бринеллю измеряли шариком 2,5 мм при нагрузке 613 Н и выдержке $K = 10 \text{ с}$.

3. Основное содержание и результаты работы

После обработки в шаровой мельнице стружка приобретает форму гранул с насыпной плотностью $0,5 - 0,7 \text{ г/см}^3$. Гранулы имеют высокую уплотняемость и при прессовании давление - 550 МПа, пористость образцов составляет 12%, а при 700 МПа - 8%. Изменение плотности прессовок в зависимости от давления прессования показаны на рис. 1, кривая 2. Гранулы, полученные при давлении 200 МПа, обладают хорошей формуемостью прессовки, а также не имеют видимых нарушений формы. С повышением давления растет степень структурной деформации (рис. 1, кривая 1) и упругое последствие (рис. 1, кривая 3).

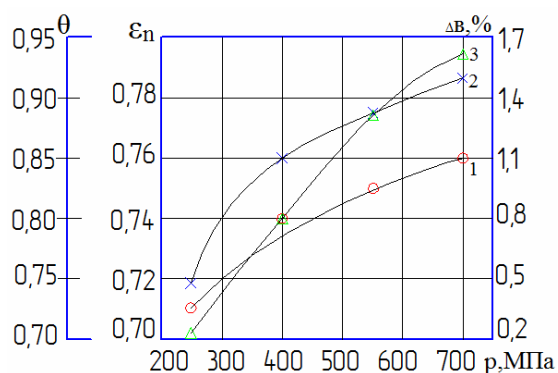


Рис. 1. Влияние давления прессования на степень деформации (1), относительную плотность (2) и упругое последствие (3) заготовок

Уплотнение заготовок из порошков, волокон, стружки при горячей штамповке в значительной степени определяется температурным режимом. Имеющаяся информация о температуре нагрева и времени выдержки заготовок перед штамповкой алюминиевых

образцов из порошка и стружки противоречива. Заготовки, спрессованные из механоактивируемого порошка измельченной стружки сплава Д-16, перед горячей штамповкой нагревают до 700°C и выдерживают 2 мин. [6]; брикеты из стружки сплавов алюминия нагревают до температуры 480°C и выдавливают прутки [3]; порошок алюминия и его сплавов засыпают в нагретую пресс-форму и прессуют при температуре на $15 - 20^{\circ}\text{C}$ ниже линии солидуса в два этапа: сначала до относительной плотности 85%, а затем до 99% [7]; распыленные порошки прессуют в брикеты, а затем при температуре 420°C под давлением 500 МПа получают полосы [8].

Известно [9], что с повышением температуры штамповки пористых заготовок инициируется процесс уплотнения и схватывания. Поэтому спрессованные заготовки пористостью 8% (плотность $2,55 \text{ г/см}^3$) нагревали до температуры $630 \pm 10^{\circ}\text{C}$, что несколько ниже температуры плавления сплава Д-16, которая составляет 650°C [5]. Повышение температуры до 700°C при выдержке 2 мин., как это рекомендовано в работе [6], приводило к оплавлению кромок, в результате чего штампованные образцы имели дефекты по торцам, а плотность не превышала 2,68 - (пористость $\sim 3,2\%$). Очевидно, что за такое время сердцевина заготовки не прогрелась. Для определения времени полного прогрева образцов заготовки с нанесенным защитным слоем из графитовой суспензии плотностью $2,55 \text{ г/см}^3$ помещали в печь нагретую до 630°C и выдерживали 2, 4, 6, 8, 10 и 12 мин., загружали в нагретый штамп и уплотняли. На штампованных образцах определяли плотность и твердость (рис. 2).

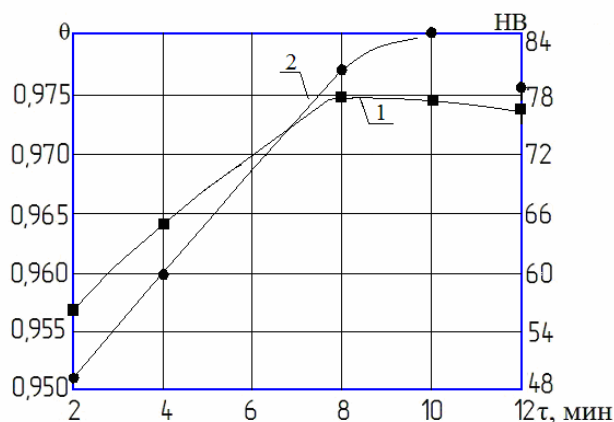


Рис. 2. Влияние времени нагрева прессовок плотностью $2,55 \text{ г/см}^3$ на плотность (1) и твердость (2) штампованных образцов

Максимальная плотность - $2,70 \text{ г/см}^3$ (относительная плотность 0,975; пористость $\sim 2,5\%$) получена на образцах нагреваемых 8 мин. (рис. 2, зависимость 1). Дальнейшее увеличение времени не оказывает заметного влияния. Твердость с увеличением времени нагрева до 10 мин. растет, а затем даже несколько снижается (рис. 2, зависимость 2).

Таким образом, из стружки осадкой в закрытом штампе получен материал с остаточной пористостью 2,5%. Дальнейшее повышение плотности можно достичь штамповкой с поперечным течением металла, когда возникают активные сдвигающие напряжения [10]. Поэтому был проведен следующий эксперимент. Заготовки с относительной плотностью 0,92 зажимали в тиски и стачивали напильником, так что были получены заготовки шириной 19,9; 16,7; 15,5 и 14,4 мм, что обеспечило штамповку со степенями поперечной деформации 0; 0,198; 0,290; 0,389. Заготовки

покрывали графитом, загружали в печь нагретую до 630°C, выдерживали 8 мин., переносили в штамп нагретый до 400°C и штамповали при том же давлении.

Результаты эксперимента приведены на рис. 3. С повышением степени деформации плотность растет, а затем снижается (рис. 3, зависимость 1). Аналогично изменяется твердость (рис. 3, зависимость 2). Максимальную плотность (пористость около 1%) и твердость при штамповке заготовок с относительной плотностью 0,92 имеют штампованные образцы со степенью деформации 30%.

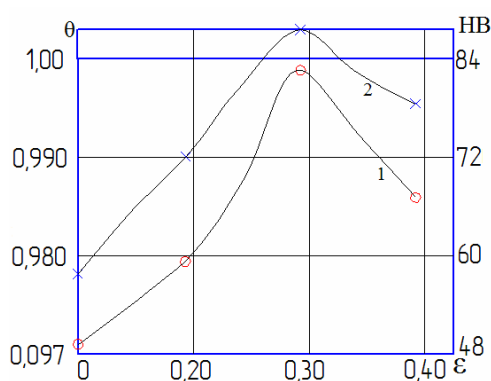


Рис. 3. Влияние степени поперечной деформации относительной на относительную плотность (1) и твердость (2) штампованных образцов

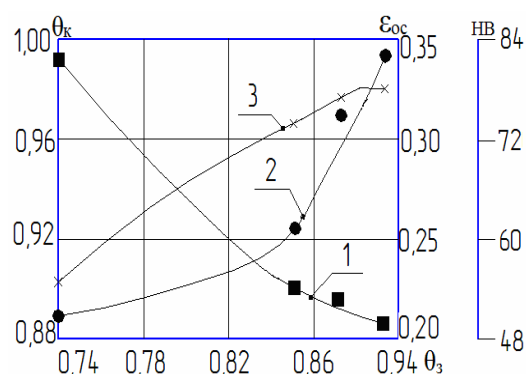


Рис. 4. Влияние пористости заготовок на степень осевой деформации (1), плотность (2) и твердость (3) штампованных образцов

Исследовали влияние пористости заготовок на плотность и твердость штампованных образцов. Штамповку осуществляли в том же режиме при степени поперечной деформации 30%. С увеличением плотности заготовок уменьшается их высота, соответственно снижается степень осевой деформации (рис. 4, зависимость 1) и растет плотность (рис. 4, зависимость 2). При относительной плотности заготовок 0,88 - 0,92 пористость штампованных образцов не превышала 1 - 2%. Твердость с увеличением плотности заготовок возрастает, а затем несколько снижается (рис. 4, зависимость 3). Такое изменение твердости можно объяснить тем, что в образцах, полученных из пористых заготовок, твердость является функцией двух характеристик: пористость снижает твердость, а степень деформации металла частиц, которая увеличивается с ростом пористости заготовок, ее повышает.

4. Заключение

Проведенные исследования показали возможность получения из стружки алюминиевого сплава Д-16 полуфабрикатов высокой плотности горячей штамповкой пористых заготовок осадкой с поперечным течением металла. Установлено, что после обработки в шаровой мельнице в течение 2 ч фрезерной стружки сплава Д-16 образуются гранулы, имеющие высокие характеристики уплотняемости и формуемости. Горячая штамповка осадкой позволяет получить образцы с остаточной пористостью 2,5%. Дальнейшее повышение плотности достигается при штамповке с поперечным течением металла. Максимальную плотность имеют образцы, полученные из заготовок, пористость которых не превышает 10%.

Список литературы:

1. Методы получения и свойства порошковых алюминиевых материалов (обзор) / И.Д. Радомысельский, В.А. Довыденков, А.В. Довыденкова, А.И. Клименко // Порошковая металлургия. - 1984. - № 6. - С. 82 – 88.
2. Гопиенко В.Г. Методы получения алюминиевых порошков и области их применения / В.Г. Гопиенко // Порошковая металлургия. – 1984. - № 12. - С. 32 –37.
3. Прессование профилей из стружки цветных металлов / [Н.А. Шестаков, Ю.Н. Сергеев, В.Н. Тимофеев и др.] // Кузнечно–штамповочное производство. - 1986. - № 10. - С. 36–37.
4. Бейгельзимер Я.Е. Возможности уплотнения образцов из алюминиевой стружки методом винтовой экструзии / Я.Е. Бейгельзимер, А.И. Шевелев, С.Г. Сынков // Порошковая металлургия. - 2004. - № 11/12. - С. 1-5.
5. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы: справочник / [А.Ф. Белов, В.И. Добаткин, Ф.И. Квасов и др.]. - М.:Металлургия, 1972. - С. 552.
6. Дорофеев Ю.Г. Горячедеформированные порошковые материалы на основе механохимическиактивированной стружки сплава Д-16 / Ю.Г. Дорофеев, Е.Н. Безбородов, С.Н. Сергеев // Цветные металлы. - 2003. - № 1. - С. 81-85.
7. Sintered aluminium parts for automotive applications / W. J. Huppman, H. Kirschsieper. W. Hade, G. Schlieper. – In: Int. Leichtmetalltagung. Leoben: Wien, 1981, S. 236-237.
8. Гопиенко В.Г. Порошковые алюминиевые сплавы для получения спеченных материалов / В.Г. Гопиенко, Вал. Г. Гопиенко, Ю.Г. Олесов // Порошковая металлургия. – 1985. - № 4. - С. 24 – 28.
9. Дорофеев Ю.Г. Динамическое горячее прессование порошковых заготовок / Ю.Г. Дорофеев. – М.: Металлургия, 1977. – 216 с.
10. Рябичева Л.А. Технология изготовления порошковых деталей методами пластического деформирования / Л.А. Рябичева, А.Т. Цыркин. - Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2011. - 180 с.

Надійшла до редакції 21.02.2014

А. Циркін, О. Михайлов, Д. Білошапка, В. Голов'ятинська, М. Петров

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УЩІЛЬНЕННЯ СТРУЖКИ СПЛАВУ Д-16

Показана можливість отримання з стружки алюмінієвого сплаву Д-16 зразків високої щільності гарячим штампунням пористих заготовок з поперечним плином металу. Встановлено, що після обробки в кульовому млині протягом 2 год. фрезерної стружки сплаву Д-16 утворюються гранули, що мають високі характеристики ущільнення та формованості.

***Ключеві слова:** стружка, алюмінієвий сплав, щільність, пресування, гаряча штамповка, поперечна деформація.*

A. Tsirkin, A. Mikhaylov, D. Beloshapka, V. Holovyatinskaya, M. Petrov

INVESTIGATION OF DENSIFICATION PROCESSES OF D-16 ALUMINIUM ALLOY CUTTINGS

We show a possibility of getting high-solid samples of aluminum alloy D16 from swarf by hot forming of porous billets with cross current of metal. The pellets are formed after machining of the milling alloy D16 swarf in a ball mill during 2 hours. These pellets have high capabilities of compressibility and formability.

***Key words:** swarf, aluminum alloy, solidity, pressing, heating, hot forming, cross deformation.*