

Влияние режимов формования на структуру и свойства полужапанов из водораспыленных порошков сплава АМг5

К. А. Гогаев, В. С. Воропаев, Д. Г. Вербило, Н. И. Даниленко,
А. Ю. Коваль

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН
Украины, Киев, e-mail: voropaev@ipms.kiev.ua

Проведены исследования по формованию материала из порошков сплавов АМг5, полученных диспергированием расплава водой высокого давления. Для изготовления лент из водораспыленных порошков сплавов АМг5 применяли асимметричную прокатку порошков и экструзию предварительно сформованных порошковых заготовок. Изучено влияние режимов формования на структуру и механические свойства порошковых материалов из сплавов АМг5 без и с добавками циркония.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, порошок, асимметричная прокатка, экструзия, структура, механические свойства.

В ИПМ разработана взрывобезопасная технология быстрого твердения алюминиевых порошков, в основе которого лежит модифицированное диспергирование расплава водой высокого давления [1]. Благодаря охлаждению расплава с большой скоростью ($\geq 10^6$ К·с⁻¹) эта технология позволяет создавать высоколегированные порошки алюминиевых сплавов с уникальной структурой и свойствами. В результате быстрого твердения образуются наноразмерные фазы, размер зерна находится на уровне 500 нм. В таких порошках частицы имеют разветвленную форму, однако образование на поверхности порошинок устойчивых оксидов усложняет процессы консолидации и структурообразования.

Для формования водораспыленных порошков использованы прокатка порошков (симметричная и асимметричная) и экструзия. Отличительной особенностью формования прокаткой алюминиевых порошков является то, что пористую ленту получить невозможно, поскольку при этом не происходит разрушения оксидных пленок и образования металлического контакта между частицами. Для получения ленты необходима значительная деформация частиц, при которой оксидная пленка разрушается и частицы на ювенильной поверхности свариваются. Деформация частиц для их схватывания должна быть не менее 50%.

Имеющиеся литературные данные [2, 3] свидетельствуют о том, что совместное действие нескольких схем деформации позволяет получить оптимальную структуру в ходе одной технологической операции и более высокие свойства деформированного материала.

Исследованием процесса прокатки металлических порошков ранее показано [4, 5], что плотность проката однозначно определяется максимальным контактным нормальным напряжением при прокатке. Однозначная

Т а б л и ц а 1. Плотность проката в зависимости от максимального контактного нормального напряжения при симметричной прокатке лент различной толщины из алюминиевого порошка

Толщина проката, мм	Относительная плотность проката τ	Максимальное контактное нормальное напряжение σ_{\max} , МПа
2,20	0,80	65
1,25	0,80	70
2,28	0,83	95
1,07	0,83	88
2,37	0,88	120
1,25	0,87	115
2,32	0,91	170
0,93	0,91	165

зависимость этих двух величин подтверждена при проведении экспериментов по прокатке алюминиевого порошка [6], в результате которого установлено, что независимо от толщины проката его плотность четко определяется максимальным напряжением (табл. 1).

При проведении исследований для получения компактных материалов использовали водораспыленные порошковые сплавы АМг5 (5Mg—0,5Mn—0,5Si) (% (мас.)), порошки АМг5 с добавками 0,3; 0,6 и 1% Zr.

Исследования по асимметричной прокатке осуществля-

ли на стане ДУО 170, оси валков в котором располагались в горизонтальной плоскости. Угловая скорость валков составляла 17,1 об/мин, ширина ленты — 16 мм. Для каждой пары валков изготавливали свой питательный бункер в зависимости от диаметров валков. Для проведения экспериментов использованы валки диаметрами 198 и 150 мм, что составляет отношение диаметров большего валка к меньшему, равное 1,32. Каждый из валков оснащен специально изготовленной точечной месдозой, которая позволяет измерять контактные напряжения и угловые параметры в очаге деформации. Порошковые брикеты экструдировали на гидравлическом прессе П-125 с нагреваемой пресс-формой.

Механические свойства полуфабрикатов исследовали при проведении испытаний на растяжение при комнатной температуре на разрывной машине типа Instron 1246. Скорость перемещения захватов — 1 мм/мин, что соответствует скорости деформации $\dot{\epsilon} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ с записью кривой деформации. Определяли предел текучести YS , предел прочности UTS и относительное удлинение EI .

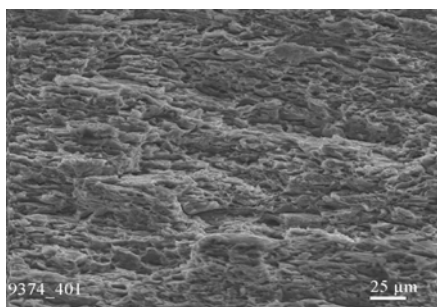
Для активации процессов схватывания порошков алюминиевых сплавов применяли горячую прокатку порошков сплавов АМг5. При получении проката в виде полос непосредственно из порошка осуществляли предварительную дегазацию порошка в вакууме при температуре 350—380 °С в состоянии свободной засыпки в герметичном контейнере. Дегазированный и нагретый до необходимой температуры порошок из капсулы подавали в загрузочное устройство прокатного стана. Вначале устанавливали зазор между валками, при котором сыпучее тело при прокатке начинало формироваться в ленту. Затем, постепенно уменьшая зазор и прокатывая порошки, получали ленту и определяли нормальное контактное напряжение. Таким образом, давление на валки всецело зависело от толщины получаемой ленты. Установлено, что максимальное уменьшение нормального контактного напряжения на обоих валках

Т а б л и ц а 2. Свойства лент из порошка АМг5, полученных асимметричной прокаткой

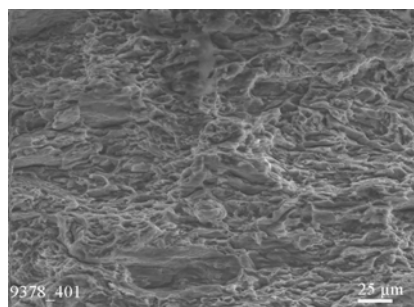
Температура прокатки, °С	Относительная плотность	$\sigma_{0,01}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{общ}$, %	$S_{разр}$, МПа	Ψ , %
400	0,98	145	164,3	288,2	9,66	314	9,1
450	0,99	158,5	171,1	244,1	5,27	256,2	5
470	0,99	153,1	170,6	269	7,39	287,8	6,81

происходит при отношении диаметров $D_6/D_m = 1,32$. Кроме того, при этом отношении фиксируется значительное уменьшение максимального нормального напряжения на валке большего диаметра.

Для определения влияния температуры на формование и свойства материалов асимметричную прокатку проводили при температурах нагрева 400, 450 и 470 °С. Дегазированный порошок нагревали в электропечи и прокатывали при одинаковых условиях деформирования. Сформованные материалы для снятия наклепа подвергали отжигу при 400 °С в течение часа. Свойства полученных порошковых лент представлены в табл. 2. Из табл. 2 следует, что ленты после асимметричной прокатки практически беспористые по сравнению с лентами, сформованными симметричной прокаткой. Однако пластичные свойства после проката в два раза ниже таковых литого материала АМг5. Повышение температуры формования до 470 °С также не дало положительных результатов.

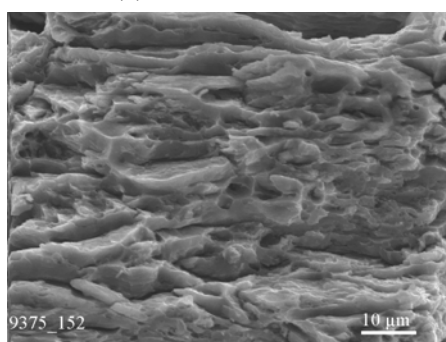


a

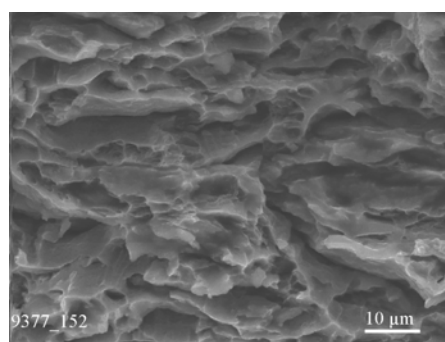


б

Рис. 1. Поверхность разрушения материала, полученного прокаткой при 400 (а) и 470 °С (б).



a



б

Рис. 2. Поверхность разрушения в пределах деформированной частицы после прокатки при 400 (а) и 450 °С (б).

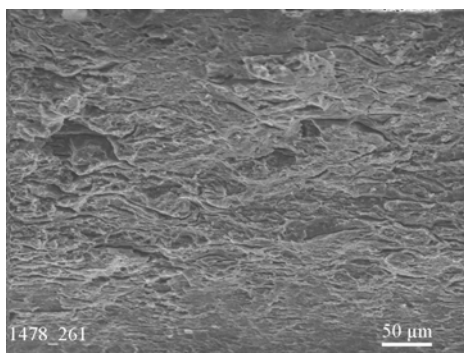


Рис. 3. Структура порошковой полосы, сформированной асимметричной прокаткой.

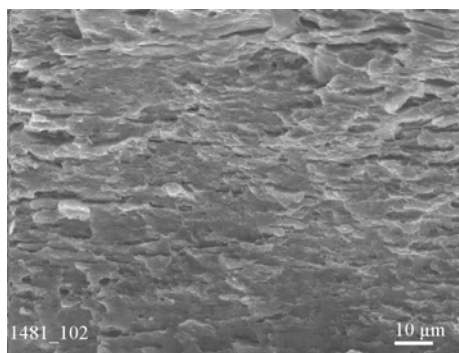


Рис. 4. Поверхность разрушения материала в зоне воздействия сдвиговых деформаций.

При исследовании поверхностей разрушения образцов проката в материале наблюдается раскрытие границ между деформированными частицами порошка при температурах прокатки 400 и 470 °С (рис. 1, а, б). Это свидетельствует о неполном схватывании между порошинками при деформации, что и приводит к ухудшению механических свойств материала. В то же время разрушение материала по деформированным частицам имеет ямочный характер (рис. 2), что указывает на пластичность материала основы.

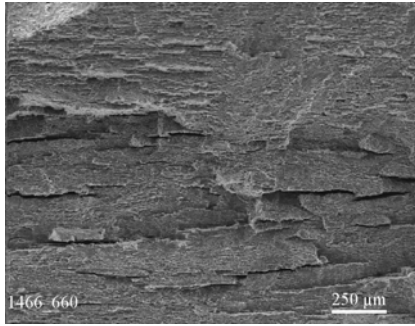
Исследование поверхности разрушения порошковых лент, сформированных асимметричной прокаткой, показало различие в структуре по сечению полосы. В средней зоне проката видны разрушения по межчастичным границам (рис. 3).

На участках материала, который прилегал к прокатным валкам, не наблюдаются разрушения материала с раскрытием границ между частицами (рис. 4). Это можно объяснить воздействием сдвиговых напряжений, возникающих на контакте валок—материал при асимметричной прокатке, что и улучшает схватывание порошинок при формовании.

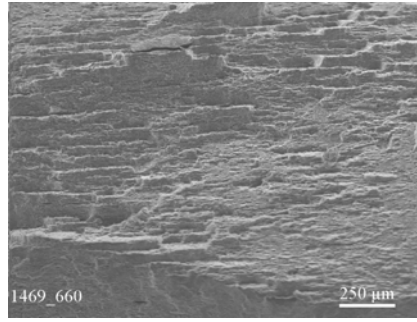
Также проведены эксперименты по формованию ленты асимметричной прокаткой из порошка АМг5, дополнительно легированного цирконием. Были прокатаны порошки с содержанием 0,3; 0,6 и 1% (мас.) циркония. Исследование механических свойств полученных материалов показало, что увеличение содержания циркония с 0,3 до 0,6% привело к росту прочностных свойств проката. Однако резко ухудшились пластичные свойства материала (табл. 3). Материал, сформованный из порошка с 1% (мас.) циркония, имеет низкую прочность по сравнению с материалом

Т а б л и ц а 3. Механические свойства проката из порошков сплава АМг5 с добавкой циркония

Содержание циркония, % (мас.)	$\sigma_{0,01}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{общ}$, %	Ψ , %
0,3	159,2	167,3	212	2,45	2,38
0,6	287	303,35	286,1	0,34	0,35
1	112,5	125,7	147,6	1,802	1,77

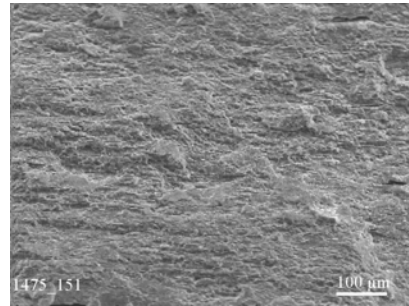


a



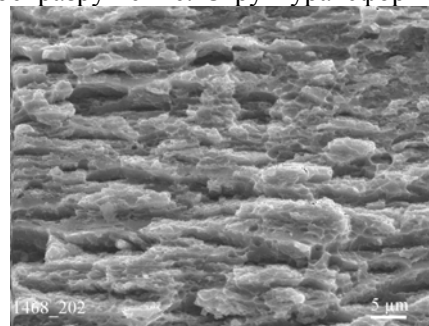
б

Рис. 5. Поверхность разрушения материала АМг5 с добавкой 0,3 (*a*), 0,6 (*б*) и 1% (мас.) (*в*) Zr.



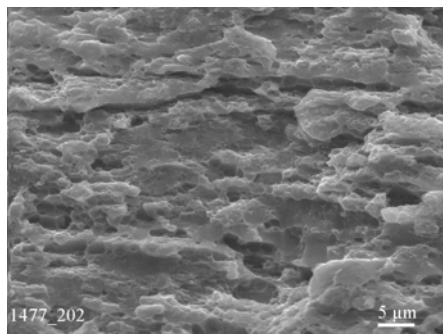
в

с 0,6% циркония, однако обладает более высокой пластичностью. Исследование структуры поверхностей разрушения прокатанного материала показало наличие четких границ между деформированными частицами порошка (рис. 5). Это указывает на недостаточную проработку структуры и отсутствие полного схватывания между металлическими частицами, что отрицательно влияет на механические свойства сформованного проката. В структуре поверхности разрушения в пределах деформированной частицы размеры ямок уменьшаются с увеличением степени легирования материала цирконием (рис. 6) и преобладает хрупкое разрушение. Структура сформованных полуфабрикатов существенно изменяется при получении их из дегазированных прессовок порошков горячим экструдированием. При таком процессе сырая прессовка

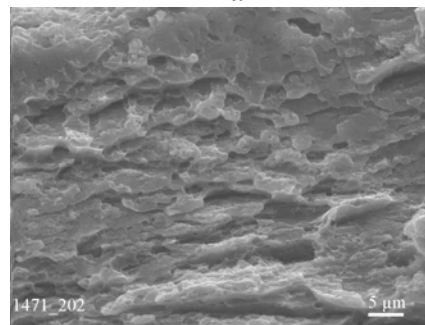


a

Рис. 6. Поверхность разрушения в пределах деформированной частицы материала АМг5 с добавкой 0,3 (*a*), 0,6 (*б*) и 1% (мас.) (*в*) Zr.



б



в

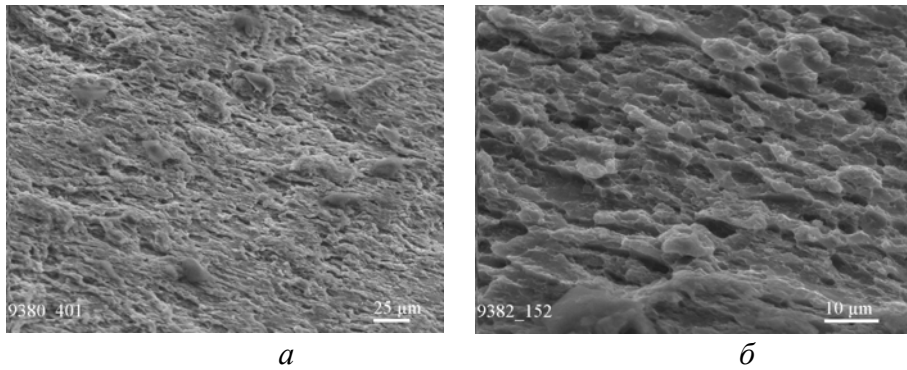
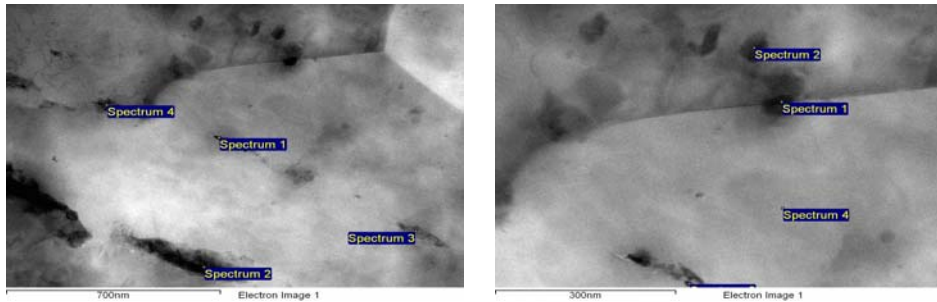


Рис. 7. Поверхность разрушения экструдата порошкового материала АМг5.



Spectrum	Mg	Al	Zr
Spectrum 1	11,45	88,55	
Spectrum 2	20,33	79,67	
Spectrum 4	9,31	90,40	0,29

Spectrum	Mg	Al	Zr
Spectrum 1	4,72	94,21	1,07
Spectrum 2	3,68	94,14	2,18
Spectrum 4	4,19	95,81	

Рис. 8. Тонкая структура материала АМг5 с содержанием 0,3% Zr. Содержание элементов в % (ат.).

дегазированного порошка остается в герметичной капсуле до завершения ее деформирования.

Как показали исследования поверхностей разрушения материалов, полученных экструзией порошкового материала АМг5, в структуре отсутствуют границы раздела между деформированными частицами (рис. 7, а). Это свидетельствует о хорошем схватывании частиц порошка в процессе экструзии. Изменения в структуре поверхности разрушения в пределах порошковой частицы указывают на вязкое разрушение материала (рис. 7, б).

Исследование тонкой структуры порошкового материала с добавкой циркония в трансмиссионном микроскопе JEM-2100F показало, что упрочняющие частицы, содержащие цирконий, располагаются как по границам зерен, так и внутри матрицы (рис. 8). Размер упрочняющих частиц находится в пределах 30—50 нм. По данным рентгеновского микроанализа, структурные составляющие имеют неравномерный химический состав.

Выводы

Применение асимметричной прокатки позволяет сформировать материал в виде полос из водораспыленных порошков сплава АМг5 практически беспористый. В структуре лент, сформованных асимметричной прокаткой,

наблюдается наличие границ раздела между деформированными частицами, что указывает на недостаточную деформацию порошинок в процессе формования. Отсутствие металлических связей по границам раздела, в свою очередь, приводит к падению уровня механических свойств материалов, сформованных прокаткой. Процесс горячей экструзии позволяет сформовать материал из порошков сплава АМг5 без границ раздела в структуре. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости использования комплексного метода при формовании, включающего горячую экструзию порошковых сплавов и прокатку сформованных лент для достижения оптимальной структуры и комплекса механических свойств.

1. Пат. 06588 України. Спосіб виготовлення напівфабрикатів з алюмінієвих сплавів / [О. Д. Нейков, В. Г. Калінін, Г. І. Васильєва та ін.]. — Оpubл. 2005. — Бюл. № 15.
2. Пашинская Е. Г. Физико-механические основы измельчения структуры при комбинированной пластической деформации. — Донецк : Вебер, 2009. — 352 с.
3. Подрезов Ю. Н. Твердость деформированного титана, полученного разными схемами деформации / [Ю. Н. Подрезов, Н. Д. Рудик, В. И. Даниленко и др.] // Физика и техника высоких давлений. — 2009. — 20, № 4. — С. 101—110.
4. Каташинский В. П. Исследование уплотняемости металлических порошков при прокатке / В. П. Каташинский, Г. А. Виноградов // Порошковая металлургия. — 1965. — № 5. — С. 9—16.
5. Виноградов Г. А. Исследование удельного давления при прокатке металлических порошков / Г. А. Виноградов, В. П. Каташинский // Там же. — 1963. — № 3. — С. 30—36.
6. Гогаев К. А. Асимметричная прокатка металлических порошков. I. Уплотняемость порошков при асимметричной прокатке / К. А. Гогаев, Г. Я. Калущкий, В. С. Воропаев // Там же. — 2009. — № 3/4. — С. 36—42.

Вплив режимів формування на структуру та властивості напівфабрикатів з водорозпилених порошків сплаву АМг5

К. О. Гогаєв, В. С. Воропаєв, Д. Г. Вербило, М. І. Даниленко, О. Ю. Коваль

Проведено дослідження по формуванню матеріалу з порошків сплавів АМг5, отриманих диспергуванням розплаву водою високого тиску. Для одержання стрічок з водорозпилених порошків сплавів АМг5 застосовували асиметричну прокатку порошків і екструзію попередньо сформованих порошкових заготовок. Вивчено вплив режимів формування на структуру і механічні властивості порошкових матеріалів зі сплавів АМг5 без та з добавками цирконію.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, порошок, асиметрична прокатка, екструзія, структура, механічні властивості.

Influence of mode molding on the structure and properties of semi-finished from the water spraying powders alloy AMg5

K. A. Gogaev, V. S. Voropaiev, D. G. Verbylo, N. I. Danilenko, A. Yu. Koval

Researches on forming material from the alloy powders AlMg5 obtained by melt-dispersion water of high pressure was doing. For forming strips from water spraying alloy powders AMg5 the methods of asymmetric rolling and extrusion powders preformed powder blanks was applied. The influence of the modes of formation on the structure and mechanical properties of the materials from the powder materials AMg5 and AMg5 with additions of zirconium was studied.

Keywords: aluminum alloy, powder, asymmetric rolling, extrusion, structure, mechanical properties.

