

УДК 669.01:621.78:669.721

Т. А. Богданова, Г. А. Меркулова, Ю. В. Горохов, Н. Ю. Скороходова, С. В. Чернов

ВЫБОР СПЛАВА СИСТЕМЫ Mg-Zn-Zr и ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ШТАМПОВКИ

Изучены структура и механические свойства сплавов ZK60A и MA14 системы Mg-Zn-Zr после литья, гомогенизации и деформации. Предложено заменить сплав MA14 на ZK60A для изготовления крупногабаритных штамповок. Показана возможность исключения операции редуцирования.

Ключевые слова: магниевый сплав, структура, механические свойства, литье, гомогенизационный отжиг, деформация.

Деформируемые магниевые сплавы применяют в различных отраслях промышленности, в частности в самолетостроении, а также в конструкции автомобилей. Это связано с постоянными требованиями снижения веса, которые ведут к снижению расхода топлива и загрязнения окружающей среды. Однако магниевые сплавы обладают пониженными пластичностью и деформируемостью, и получение деформируемых изделий из них является проблемой. Данная работа является продолжением исследования литой структуры сплава системы Mg-Zn-Zr, в которой оптимизирована литая структура сплава ZK60A перед горячей деформацией [1].

Цель данной работы – обоснование возможности замены отечественного сплава MA14 на зарубежный ZK60A (система Mg-Zn-Zr) и поиск оптимальной технологии получения заготовок (галет) для изготовления крупногабаритных штамповок.

В связи с этим перед настоящей работой были поставлены следующие задачи:

- получить заготовки (галеты) из двух сплавов по различным технологиям, учитывающим исходное состояние и степени деформации;
- выполнить искусственное старение в одной садке;
- изучить механические свойства;
- исследовать микроструктуру.

Работа выполнена на образцах магниевых сплавов MA14 и ZK60A в лабораториях кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов» Института цветных металлов и материаловедения СФУ. Испыта-

ние механических свойств и опробование режимов деформации проведено в производственных условиях.

Деформируемые сплавы MA14 (отечественный) и ZK60A (зарубежный) относятся к системе Mg-Zn-Zr. Сплав MA14 в Российской Федерации начали применять в середине XX в. Его изготавливают по ГОСТ 14957–76.

Первая публикация по сплаву ZK60A (Mg – 6 % Zn – 0,7 % Zr) появилась в 1946 г. [2]. В работах S. Bhan, Г. И. Морозовой, Е. Ф. Волковой и других приведены некоторые результаты исследований сплавов системы Mg-Zn-Zr [3–5].

В данной работе изучены полуфабрикаты сплава MA14 (табл. 1) и круглые слитки сплава ZK60A (табл. 2).

Слитки режут на заготовки и после гомогенизации подвергают горячей объемной штамповке и искусственному старению. После определения механических свойств и структуры штамповки отправляют заказчику.

Технология изготовления штамповки в открытом штампе предусматривает операцию изготовления заготовок (галет). В данной работе исследованы 15 осажённых в «торец» заготовок с разной степенью деформации. Исходные заготовки были разбиты на 5 групп (табл. 3).

Редуцирование – процесс вытяжки круглой заготовки, заключающийся в уменьшении поперечного сечения путем всестороннего бокового обжатия.

Давление в рабочем цилиндре пресса составляет 200, 100, 50 атмосфер соответственно, или 20, 10, 5 МПа.

Таблица 1

Химический состав сплава MA14, % (масс.) по ГОСТ 14957–76

Основные компоненты			Примеси, не более							
Mg	Zn	Zr	Al	Cu	Ni	Si	Be	Fe	Mn	Прочие примеси
Основа	5,0–6,0	0,3–0,9	0,05	0,05	0,005	0,05	0,002	0,03	0,1	0,3

Таблица 2

Химический состав сплава ZK60A, % (масс.) по ASTM B296

Основные компоненты			Примеси, не более						
Mg	Zn	Zr	Al	Cu	Ni	Si	Fe	Mn	Прочие примеси
Основа	5,18	0,58	–	0,0019	0,000 56	0,001 1	0,002 1	0,013	–

В каждой группе взяли по 3 заготовки, отличающиеся степенью деформации (табл. 4):

- 1) $\varnothing$ 290–310 мм;
- 2) $\varnothing$ 360–400 мм;
- 3) $\varnothing$ 505–590 мм.

Так как при деформации происходило увеличение диаметра, то рассчитывали коэффициент осадки λ по формуле

$$\lambda = F_2/F_1, \quad (1)$$

где F_1 – площадь образца до деформации; F_2 – площадь образца после деформации.

Механические свойства галет приведены на рис. 1–4.

Испытания проводили на трех образцах в радиальном (долевом) и хордовом (поперечном по ширине) направлениях. Сравнительный анализ механических

свойств образцов, отобранных в долевом (из центральной зоны заготовки) и широтном (из периферийных зон) направлениях показал, что наиболее стабильные свойства имеют образцы в широтном направлении. Это предполагает наследственную структуру исходной заготовки и значительную анизотропию свойств в центральной зоне заготовок с различной степенью деформации. Поэтому показателями качества заготовок являлись характеристики временного сопротивления (σ_b), условного предела текучести ($\sigma_{0,2}$) и относительного удлинения (δ), полученные для образцов в хордовом направлении, что можно объяснить более высокой степенью проработки периферийных зон галет и подтвердить сравнительным анализом микроструктуры центра и периферии.

Таблица 3

Технология получения галет

Группа	Марка сплава	Получение галет	Усилие пресса, атмосфер (МПа)	Маркировка на галетах
1	МА14	прессованный пруток $\varnothing$ 240 мм	100 (10)	7, 8, 9
2	ZK60A	литая заготовка $\varnothing$ 260 мм без дополнительной гомогенизации перед деформацией	200 (20)	1–2, 2–2, 3–2
3		литая заготовка $\varnothing$ 260 мм после дополнительной гомогенизации перед деформацией	100 (10)	4, 5, 6
4		литая заготовка после редуцирования $\varnothing$ 220 мм с температурой деформации 330 °С (маркировка на галетах P1, P2, P3)	50 (5)	P1, P2, P3
5		литая заготовка после редуцирования $\varnothing$ 220 мм с температурой деформации 270 °С	50 (5)	P4, P5, P6

Таблица 4

Значение коэффициента осадки

Маркировка на галетах	4	5	6	7	8	9	1-1	1-2	3-2	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Конечный диаметр, мм	310	370	590	290	360	520	310	400	560	290	350	505	310	350	505
Начальный диаметр, мм	260			240			260			220					
Коэффициент осадки, λ (при увеличении диаметра)	1,42	2,03	5,15	1,5	2,25	4,69	1,42	2,37	4,64	1,2	1,8	3,77	1,42	1,8	3,77

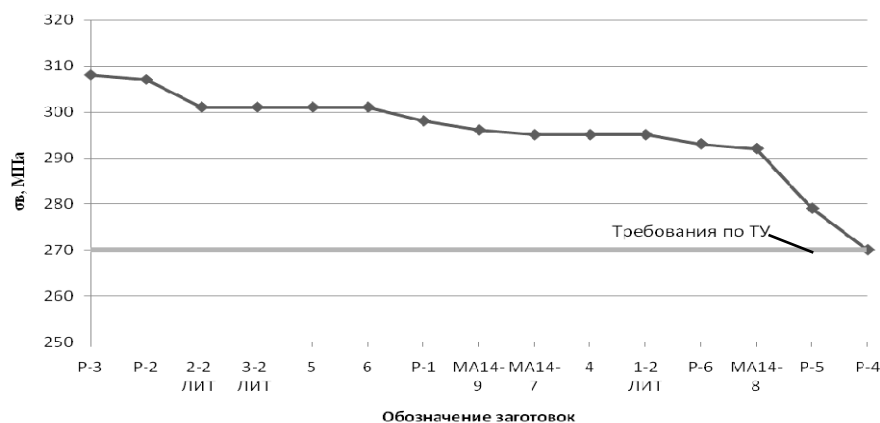


Рис. 1. Изменение временного сопротивления разрыву «долевых образцов» в зависимости от технологии изготовления заготовки

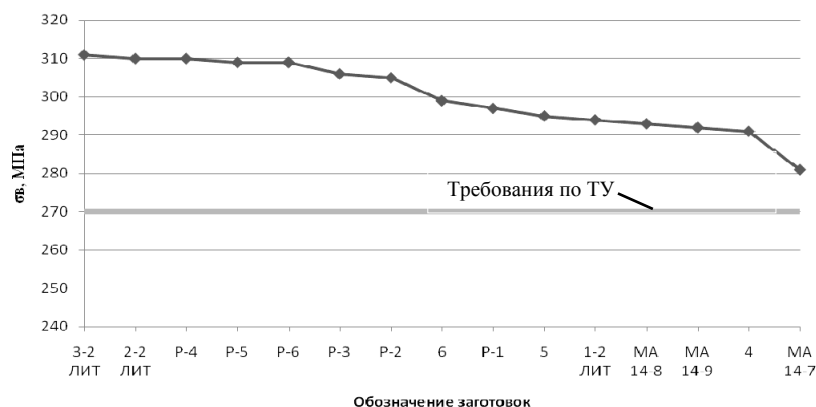


Рис. 2. Изменение временного сопротивления разрыву «широтных образцов» в зависимости от технологии изготовления заготовки

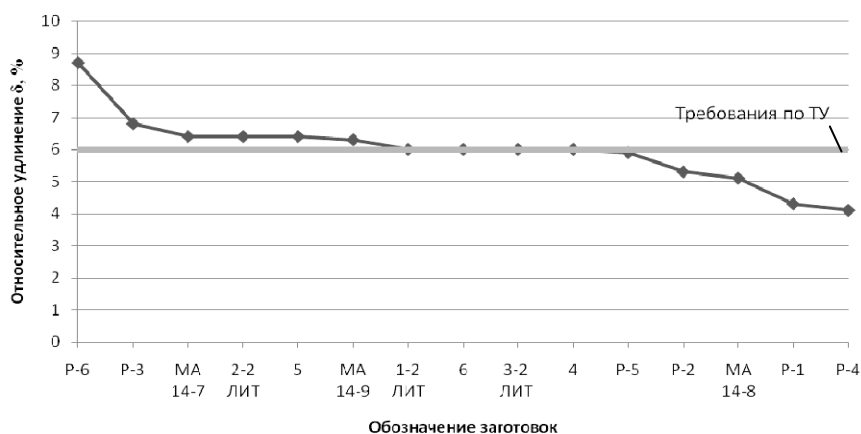


Рис. 3. Изменение относительного удлинения «долевых образцов» в зависимости от технологии изготовления заготовки

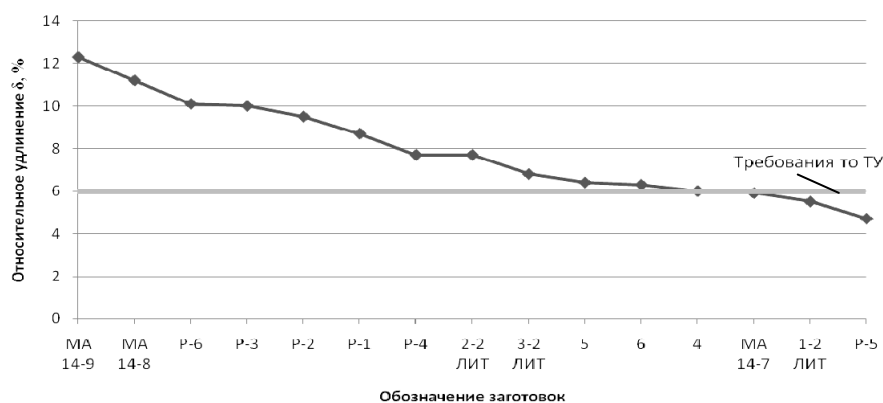


Рис. 4. Изменение относительного удлинения «широтных образцов» в зависимости от технологии изготовления заготовки

Анализ результатов испытаний механических свойств позволил выявить наиболее низкие значения прочностных свойств и высокий уровень относительного удлинения у галет из сплава МА14 с высокой и средней степенью деформации.

Близкие по значениям свойства получены у заготовок после редуцирования, но только с высокой степенью проработки. Самую низкую пластичность имеют галеты всех групп с малой степенью проработки.

Сопоставив механические свойства двух сплавов, можно сделать вывод о целесообразности применения сплава ZK60A.

Для оценки стабильности свойств относительно выбора исходной заготовки показательным является анализ образцов в радиальном направлении. У образцов, отобранных из центральной зоны галет и прошедших операцию редуцирования, получены самые нестабильные результаты механических свойств относительно периферии.

Для уточнения режимов изготовления штамповок из литых заготовок сплава ZK60A с применением операции редуцирования было дополнительно проведено пробное изготовление 3 штамповок.

Результаты испытания механических свойств опытных штамповок приведены в табл. 5. Всего для испытания было отобрано 48 образцов: 12 – в долевом направлении, 24 – по ширине и 12 – по толщине.

На основании полученных положительных результатов пробного изготовления штамповок было проведено редуцирование ряда заготовок различных плавок. Результат редуцирования оказался отрицательным – все заготовки не выдержали деформации и разрушились (рис. 5).



Рис. 5. Разрушение заготовок после редуцирования

Температуру в печи с находящимися на нагреве заготовками снизили на 20 °С, через 4 часа после выравнивания температуры воздуха в печи провели редуцирование. Результат получен положительный, разрушения не произошло.

Очередную партию заготовок различных плавок редуцировали при установленной температуре, вновь получен отрицательный результат, заготовки разрушились.

Проанализировав ранее полученные результаты и сопоставив полноту гомогенизации заготовок, очередную партию заготовок подвергли циклическому нагреву, после чего проведено редуцирование. Результат получен положительный. Необходимо отметить, что использование операции редуцирования приводит к снижению выхода годного материала и повышению общезаводских затрат. Поэтому предложено исключить операцию редуцирования из технологии получения штамповок.

Вид осажженных заготовок № 4, 5, 6 представлен на рис. 6.



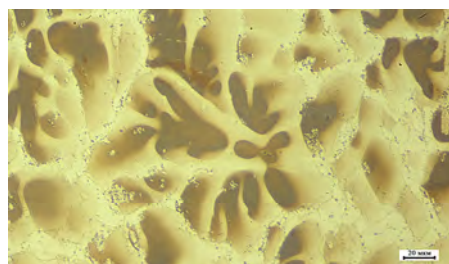
Рис. 6. Вид осажженных заготовок из сплава ZK60A на Ø 310 мм (№ 4), Ø 370 мм (№ 5), Ø 590 мм (№ 6)

Исследование микроструктуры выполнено на образцах, отобранных из центральной и периферийной зон галет (рис. 7).

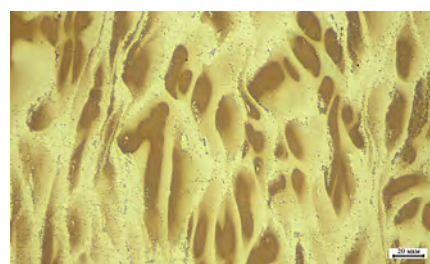
Таблица 5

Уровень механических свойств пробных штамповок

Направления вырезки образцов	Статическая функция	Характеристика		
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Долевое	Среднее значение	314	254	12,1
	Интервал (min–max)	306–324	237–270	7,2–20
По ширине	Среднее значение	304	230	13,3
	Интервал (min–max)	293–311	192–257	8,8–20,8
По толщине	Среднее значение	293	153	15,7
	Интервал (min–max)	288–301	138–185	8–21,2



а



б

Рис. 7. Микроструктура образцов сплава ZK60A, вырезанных из центра (а) и периферии (б) заготовки № 4 Ø 310 мм (без редуцирования)

В магниевых сплавах низкие скорости диффузионных процессов приводят в условиях неравновесной кристаллизации к сильному развитию дендритной ликвации (даже при малых скоростях охлаждения при затвердевании).

Дендритная ликвация способствует снижению механических свойств и технологической пластичности слитков. Поэтому перед деформацией слитки необходимо подвергать гомогенизирующему отжигу [2], после которого все еще видны дендриты (рис. 7).

Таким образом, проведенное опытно-промышленное изготовление штамповок из сплава ZK60A с применением редуцирования показало невозможность получения стабильных качественных штамповок из-за сложности оптимизации технологии гомогенизации исходного металла.

Анализируя приведенные результаты, можно сделать вывод о возможности использования сплава ZK60A для изготовления крупногабаритных штамповок вместо MA14, так как галеты из сплава ZK60A имеют более высокие значения прочностных свойств,

и целесообразности исключения операции редуцирования.

Библиографические ссылки

1. Оптимизация литой структуры сплава системы Mg-Zn-Zr перед горячей деформацией / Т. А. Богданова, Г. А. Меркулова, А. А. Перебоева и др. // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 2 (35). С. 148–153.
2. Doan J. P., Ansel G. Metals Technology. 1946. Vol. 13. Dec.
3. Bhan S., Lal A. The Mg-Zn-Zr System // Journal of Phase Equilibria. 1993. Vol. 14. № 5. P. 634.
4. Морозова Г. И., Мухина И. Ю. Наноструктурное упрочнение литейных магниевых сплавов системы Mg-Zn-Zr // Металловедение и термическая обработка металлов. 2011. № 1. С. 3–7.
5. Волкова Е. Ф., Исходжанова И. В., Тарасенко Л. В. Структурные изменения в магниевом сплаве MA14 под воздействием технологических факторов // Металловедение и термическая обработка металлов. 2010. № 12. С. 19–23.

T. A. Bogdanova, G. A. Merkulova, Yu. V. Gorokhov, N. Yu. Skorokhodova, S. V. Chernov

SELECTING AN ALLOY OF SYSTEM MG-ZN-ZR AND OPTIMIZING BLANK FABRICATION FOR FORGING

The structure and mechanical properties of alloys ZK60A and MA14 of the system Mg-Zn-Zr after casting, homogenization and deformation were studied. It was suggested to change alloy MA14 to ZK60A for large-sized stampings. The possibility to exclude the operation of reduction was shown.

Keywords: magnesium alloy, structure, mechanical properties, casting, homogenizing annealing, deformation.

© Богданова Т. А., Меркулова Г. А., Горохов Ю. В., Скороходова Н. Ю., Чернов С. В., 2012

УДК 621.791.72

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, Т. Г. Вейсвер

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ*

Рассмотрена возможность повышения точности контроля проплавления путем выбора оптимальной амплитуды поискового сигнала при электронно-лучевой сварке.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, рентгеновское излучение, глубина проплавления, спектр излучения.

В настоящее время вопросы стабилизации заданной глубины проплавления при электронно-лучевой сварке (ЭЛС) остаются актуальными, особенно на заключительных этапах сборки ответственных узлов. Мы уже рассматривали способ контроля и стабилизации глубины проплавления по рентгеновскому излучению, регистрируемому со стороны ввода электронного луча [1]. Способ основан на определении положения максимума интенсивности рентгеновского излучения, соответствующего текущей глубине проплавления при заданных режимах ЭЛС (рис. 1). Определение максимума интенсивности осуществляется коллимированным рентгеновским датчиком на основе кристалла NaI(Tl).

На датчик попадает часть рентгеновского излучения $J_d(z)$ в пределах, ограниченных шириной коллиматора Δ , величина которой по оси z составляет $\Delta/\sin\varphi$ и определяется выражением

$$J_d(\varepsilon_z) = J_{\max} \int_{-\frac{\Delta}{2\sin\varphi}}^{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}} e^{-0,4(z-\varepsilon_z)^2} dz, \quad (1)$$

где $e^{-0,4(z-\varepsilon_z)^2}$ – плотность распределения рентгеновского излучения по оси z ; ε_z – смещение пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления.

*Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2.1.2/9274).