

$$\dot{\varepsilon}_n = \begin{cases} 1.59, 0 \leq t \leq 0.821; \\ 0.048, 0.821 < t \leq 9.713; \\ 0.01, 9.713 < t \leq 30. \end{cases} \quad (23)$$

Накопичена деформація, яку отримує матеріал при застосуванні схеми (23), $\varepsilon_n = 1.939$. При деформуванні зі сталюю швидкістю $\varepsilon_n = 1.8$, при застосуванні двохступеневої схеми максимальна деформація $\varepsilon_n = 1.914$ [9]. Тобто при застосуванні схеми (23) отримали збільшення максимальної деформації як у порівнянні із деформуванням зі сталюю швидкістю, так і у порівнянні із оптимальною двохступеневою схемою. Слід зауважити, що ефект від оптимізації зростатиме для матеріалів з яскраво вираженою залежністю граничних деформацій від швидкості деформації.

Висновки

Основний результат – розрахункові значення граничної деформації мало чутливі до розкиду експериментальних даних по визначенню деформацій. Вибір виду апроксимацій залежностей між компонентами деформацій процесу осадження суттєво впливає на побудову шляхів деформування та має невеликий вплив на визначення граничних деформацій. При застосуванні трьохступеневої схеми деформування прослідковується збільшення максимальної деформації як у порівнянні із деформуванням зі сталюю швидкістю, так і у порівнянні із оптимальною двохступеневою схемою.

Список літератури: 1. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Инженерные методы расчета операций пластической обработки материалов./ Смирнов-Аляев Г. А. –М.–Л.: Машгиз, 1961. – 463 с. 2. Пластичность и разрушение / Под ред. В.Л.Колмогорова. М.: Металлургия. 1977. - 336с. 3. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / Огородников В. А. – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с. 4. Матвийчук В.А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: монография / В.А. Матвийчук, И.С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. - 268 с. ISBN 978-966-379-317-7. 5. Михалевич В. М. Накопичена деформація та інтенсивність логарифмічних деформацій при осадці циліндричних зразків з бочкоутворенням / Михалевич В. М., Добранюк Ю. В.// Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА – 2009 – №1(20) – С.129-134. 6. Михалевич В. М. Побудова ефективних обчислювальних схем у Maple під час розв’язання задачі визначення граничних деформацій за умов складного деформування [Електронний ресурс]/ Михалевич В. М., Добранюк Ю. В., Михалевич О. В. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету.– №2. – Київ: Національна бібліотека ім. В. І. Вернадського. – 2009. – 7 с. – Режим доступу до журн.: http://www.nbuuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2009_2/2009-2.htm. 7. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / Михалевич В. М. –Вінниця: "УНІВЕРСУМ–Вінниця", 1998 – 195 с. ISBN 966-7199-20-7. 8. Михалевич В. М., Краєвський В. О. Формулювання варіаційної задачі для моделі накопичення пошкоджень при гарячому деформуванні // В зб.: «Обработка материалов тиском». Збірник наукових праць. – Краматорськ, 2009. – №2(21). – С. 12-16. – ISBN 978-966-379-339-9. 9. Михалевич В. М., Краєвський В. О., Добранюк Ю. В. Вісесиметрична осадка циліндричних заготовок // В зб.: «Наукові нотатки». Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – Луцьк, 2009. – Випуск 25, частина 1. – С. 241-249. – ISBN 5-7763-8653-5.

УДК 669.017

ВОРОБЬЁВ К.Г., инж., Институт концепций транспортного машиностроения, Немецкий аэрокосмический центр (DLR-FK), Штутгарт, Германия
БЕЕ Э., инж., Институт концепций транспортного машиностроения, Немецкий аэрокосмический центр (DLR-FK), Штутгарт, Германия
ГРИНКЕВИЧ В.А., докт. техн. наук, проф., НМетАУ, Днепропетровск
КУЗЬМИНА О.М., канд. техн. наук, НМетАУ, Днепропетровск
ДАНЧЕНКО В.Н., докт. техн. наук, проф., НМетАУ, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ И МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Экспериментально исследовано отдельное и совместное влияние температуры и скорости деформирования на показатели прочности и пластичности алюминиевых сплавов 5754, 5083 и магниевого сплава AZ31. Получены уравнения регрессии. Определены условия, при которых показатели предельной деформации до разрушения приближаются к значениям, соответствующим эффекту сверхпластичности.

Експериментально досліджено окремих та спільний вплив температури і швидкості деформування на показники міцності та пластичності алюмінієвих сплавів 5754, 5083 і магнієвого сплава AZ31. Отримані рівняння регресії. Визначені умови, за яких показники максимальної деформації до руйнування наближаються до значень, що відповідають ефекту надпластичності.

Experimental investigation of the separate and combined influence of the temperature and strain rate on the strength and plasticity properties of the aluminium alloys 5754 and 5083 and magnesium alloy AZ31 is carried out. The regression equations were calculated. It is defined the process conditions for the deformation value approximated to the superplasticity effect.

1. Введение

Одним из приоритетных направлений развития автомобилестроения в Европе является снижение выброса в атмосферу углекислого газа. Достижение этой цели возможно как за счет применения в транспортном машиностроении альтернативных видов энергии, так и за счет снижения потребления традиционного топлива. Поэтому усилия разработчиков и производителей транспортных средств направлены в первую очередь на уменьшение массы автомобиля.

Сочетание в конструкции автомобиля элементов из сталей и легких сплавов и уменьшение толщины используемых деталей позволяет добиться снижения веса автомобиля. С этой точки зрения перспективным представляется производство цельных металлических тонкостенных деталей сложной формы методами обработки давлением.

Настоящее исследование проводилось в рамках совместного украино-немецкого проекта UKR 005/08 «Получение деталей со специальными свойствами». Авторы статьи благодарят за содействие Интернациональное бюро Федерального министерства образования и науки Германии.

2. Постановка проблемы

Кузов современного автомобиля состоит примерно из 200 деталей. Такое значительное количество деталей обусловлено ограниченной способностью металлического листа к формоизменению и сложной геометрией частей кузова.

Наилучшим решением было бы применение процесса горячей пластической деформации легких сплавов в условиях, близких к сверхпластичности, для

получения деталей сложной формы за одну операцию. Штамповка деталей в этих условиях предполагает достижение высоких (с вытяжкой выше 100 %) степеней деформации.

Исследованию процесса горячей деформации легких сплавов посвящены, в частности, такие работы как [1-5]. Однако при проведении исследований авторы этих работ не ставили задачу достижения максимально возможных степеней деформации и анализа условий достижения сверхпластичности. Таким образом, по мнению авторов данной статьи, вопрос количественной оценки отдельного и совместного влияния основных факторов процесса горячей деформации - температуры и скорости деформирования (скорости деформации) - в условиях, близких к условиям сверхпластичности, изучен недостаточно.

Целью данной работы было получение данных об условиях достижения эффекта сверхпластичности при листовой штамповке легких сплавов.

3. Методика исследования

Эксперименты проводились на разрывной машине Zwick/Roell, модель Z250 (рис. 1), для двух видов алюминиевых сплавов (5754 и 5083) и магниевых сплавов AZ31, химический состав и основные механические свойства которых представлены соответственно в табл. 1, 2.

Таблица 1

Химический состав сплавов на основе алюминия и магния, %

Сплав	Mg	Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Be	Cr	Zn
5754	3,2-3,8	<0,5	0,5-0,8	0,3-0,6	<0,1	93,8-96,0	<0,1	-	-	<0,2
5083	4,0-4,9	<0,4	0,4-1,0	0,4-1,0	0,15	94,75-95,55	0,1	0,0002-0,005	0,05-0,25	0,25
AZ31	95,47	0,025	0,002	0,975	-	3,42	0,002	0,00014	-	0,969

Таблица 2

Механические свойства сплавов на основе алюминия и магния

Сплав	σ_r , МПа	σ_b , МПа	δ , %
5754 (отожженное состояние)	120-145	230	25
5083 (отожженное состояние)	145	290	22
AZ31	130	240	22

Для проведения исследования использовалась методика полного факторного эксперимента, позволяющая получать уравнения регрессии при минимальном количестве опытов [6-8]. Основными факторами, влияющими на пластичность металлов при горячей деформации, являются химический состав сплава, а также температура, степень и скорость деформации. В случае деформации на разрывной машине можно рассматривать в качестве скоростного фактора скорость деформирования (растяжения до разрыва).

На рис. 2 представлены исходные и продеформированные при различных условиях образцы из сплава AZ31. Исходные размеры образцов были выбраны по DIN EN 10002. Ширина пробы 12,5 мм, толщина листа 2 мм и расчетная длина 50 мм.



Рис. 1. Разрывная машина Zwick/Roell модель Z250



Рис. 2. Исходный и продеформированные образцы AZ31

Был составлен план полного факторного эксперимента 2^2 (табл. 3).

Таблица 3

План полного факторного эксперимента 2^2

N	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
5754								
1	+1	+1	+1	+1	116,6	136,2	70,1	64,4
2	+1	-1	+1	-1	249,0	288,3	8,5	29,2
3	+1	+1	-1	-1	118,4	129,8	76,0	70,4
4	+1	-1	-1	+1	248,3	285,8	14,5	16,1
5083								
1	+1	+1	+1	+1	114,4	132,2	98,4	73,8
2	+1	-1	+1	-1	145,0	274,0	32,0	16,6
3	+1	+1	-1	-1	96,5	97,7	114,4	60,4
4	+1	-1	-1	+1	131,7	285,8	63,3	43,0
AZ31								
1	+1	+1	+1	+1	64,4	77,3	78	85,6
2	+1	-1	+1	-1	138,2	210,2	36	41,2
3	+1	+1	-1	-1	55,5	62,1	96,6	86
4	+1	-1	-1	+1	124,8	170,8	59,42	67,5

В качестве рассматриваемых факторов X_1 и X_2 были выбраны температура в интервале 120 - 250 °С и скорость деформирования в интервале 0,3 - 5 мм/мин. Температура образцов и инструмента при проведении испытания была постоянна, в соответствии с заданным значением. Конструкция разрывной машины включает нагревательную печь и позволяет проводить нагрев образцов и испытание на разрыв в пространстве разрывной машины при различных температурах. Выходные данные о параметрах процесса фиксируются автоматически и записываются специальной программой в протокол испытания. Эти данные используются в дальнейших расчетах.

Для приведенного случая зависимыми параметрами (функциями отклика) являются:

Y_1 - предел текучести σ_T , МПа; Y_2 - предел прочности σ_B , МПа; Y_3 - относительное удлинение δ , %; Y_4 - относительное сужение ψ , %.

Воспроизводимость результатов эксперимента оценивали по дисперсии троекратного дублирования одного из опытов плана. Статистическая значимость коэф-

коэффициентов регрессии оценивалась по критерию Стьюдента, адекватность модели - по критерию Фишера при уровне доверительной вероятности 0,95 [6].

После стандартной обработки результатов были получены следующие уравнения регрессии:

а) для алюминиевого сплава 5754 -

$$Y_1 = 182,7 - 65,1X_1 - 0,75X_2 - 0,25X_1X_2;$$

$$Y_2 = 206 - 73,4X_1 - 1,4X_2 + 5X_1X_2;$$

$$Y_3 = 43,825 + 29,23X_1 - 1,425X_2 - 1,525X_1X_2;$$

$$Y_4 = 45,025 + 22,375X_1 + 1,775X_2 - 4,775X_1X_2;$$

б) для алюминиевого сплава 5083 -

$$Y_1 = 121,9 - 16,45X_1 + 7,8X_2 + 1,15X_1X_2;$$

$$Y_2 = 197,425 - 82,475X_1 + 5,675X_2 + 11,58X_1X_2;$$

$$Y_3 = 77,03 + 29,38X_1 - 11,83X_2 + 3,83X_1X_2;$$

$$Y_4 = 48,45 + 18,65X_1 - 3,25X_2 + 9,95X_1X_2;$$

в) для магниевое сплава AZ31 -

$$Y_1 = 95,725 - 35,775X_1 + 5,575X_2 - 1,125X_1X_2;$$

$$Y_2 = 130,1 - 60,4X_1 + 13,65X_2 - 6,05X_1X_2;$$

$$Y_3 = 67,505 + 19,795X_1 - 10,505X_2 + 1,205X_1X_2;$$

$$Y_4 = 70,075 + 15,725X_1 - 6,675X_2 + 6,475X_1X_2.$$

Необходимо учитывать, что в этих уравнениях значения факторов X_1 , X_2 задается в кодированном виде (т.е. в интервале от -1 до +1).

На рис. 3-5 представлены зависимости напряжения текучести, временного сопротивления деформации и относительного удлинения для всех трех исследуемых видов сплавов.

Анализ полученных уравнений позволяет сделать вывод, что наиболее сильный фактор для испытываемых сплавов – это температура деформации, что подтверждается соответствующими коэффициентами в уравнениях регрессии. Для сплава 5754 в проведенных опытах скорость деформирования оказалась статистически незначимым фактором. Для алюминиевого сплава 5083 и магниевое сплава AZ31 влияние скорости примерно одинаково и менее выражено, чем воздействие температурного фактора, однако в несколько раз выше, чем для сплава 5754. Качественное влияние температурно-скоростных параметров деформации на указанные механические свойства в целом соответствует общепринятым представлениям [2].

4. Выводы

Исследовано отдельное и совместное влияние температуры и скорости деформирования на показатели прочности и пластичности алюминиевых сплавов 5754, 5083 и магниевое сплава AZ31.

Определены интервалы варьирования температуры и скорости деформирования для достижения эффекта сверхпластичности при низкотемпературной деформации.

Показано, что в исследованном интервале варьирования скоростных и деформационных параметров фактор скорости деформирования практически не влияет на механические свойства алюминиевого сплава 5754, что дает возможность варьировать скорость деформации в технологических процессах и достигать высоких значений вытяжки без ущерба для механических свойств деталей сложной формы для транспортного машиностроения.

Механические свойства алюминиевого сплава 5083 и магниевое сплава AZ31 проявляют большую зависимость от скорости деформации, что свидетельствует о

необходимости учета этого фактора при расчете технологических параметров процесса. Так, при изменении скорости деформации в 10 раз относительное удлинение образцов увеличивается в 1,3 раза.

Полученные данные позволяют проектировать процессы пластической деформации (в частности, листовой штамповки) с учетом скорости и степени деформации, а также для оценки энергосиловых параметров. Следует отметить, что для адекватного переноса приведенных результатов на другие процессы обработки давлением лучше использовать инвариантные величины (например, интенсивности напряжений и деформаций). Эти величины рассчитываются, исходя из результатов данных лабораторных исследований с применением расчетных формул (например, [8]).

Проведенные исследования и полученные данные являются основой для дальнейшей работы по разработке технологии глубокой вытяжки цилиндрических изделий из алюминиевых и магниевых сплавов в условиях, близких к условиям сверхпластичности.

Список литературы: 1. Kawalla R. Magnesium ein wichtiger Werkstoff der Zukunft/ R.Kawalla, K.Vorobyov, A.Stolnikov, H.Pircher, B.Engl, M.Weber//Tagungsbank (MEFORM2003). – Freiberg, Deutschland. - 2003. 2. Данченко В.Н. Производство профилей из алюминиевых сплавов. Теория и технология [Текст]/В.Н.Данченко, А.А.Миленин, А.Н.Головко. – Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 448с. 3. Бобух К.А. Комплексное влияние режимов прессования и последующей термообработки на механические свойства профилей из сплава Al-Mg-Si [Текст] / К.А.Бобух, А.Н.Головко. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2001. - №4. – С.48-50. 4. Хассель Т. Пластометрические испытания магниевых сплавов MgCa_{0,8} и MgCa_{4,0} [Текст] / Т.Хассель, О.Кузьмина, А.Головко. // *Сб.научн.тр. ДГМА. ОМД. –Краматорск*. - №1 (19). – 2008 – С.151-154. 5. Ступка А.Г. Математическая модель прогнозирования микроструктуры и механических свойств изделий, получаемых ковкой и штамповкой [Текст]/А.Г.Ступка, В.А.Гринкевич, О.М.Кузьмина. // *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Темат. Зб. Наук. Пр.* – Краматорськ. – 2001. - С.358-360. 6. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования эксперимента [Текст]/Ф.С.Новик, Я.Б.Арсов. - М.: Машиностроение, 1980.- 304 с. 7. Кузьмина О.М. Исследование влияния параметров горячей осадки на неравномерность структуры заготовок с помощью численного моделирования [Текст]/О.М.Кузьмина, В.А.Гринкевич//*Наукові вісті*. - Дніпропетровськ: «Системні технології». - 2005. – Т.8. – С.484-487. 8. Данченко В.Н. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. [Текст]/В.Н.Данченко, А.А.Миленин, В.И.Кузьменко, В.А.Гринкевич. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2005.- 448 с.

УДК 621.777.01: 53.072.22

ПЕРИГ А. В., асс. ДГМА, г. Краматорск

ЛАПТЕВ А. М., докт. техн. наук, проф., ДГМА, г. Краматорск

ГОЛОДЕНКО Н. Н., канд. физ.-мат. наук, доц., ДонНАСА, г. Макеевка

ЕРФОРТ Ю. А., доц., ДГМА, г. Краматорск

БОЙКО И. И., студ. ДГМА, г. Краматорск