

Влияние способа деформирования листовых алюминиевых сплавов на увеличение пластических деформаций

Косенков В.М.

v.m.kosenkov@gmail.com

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, пр. Октябрьский 43а, 54018, Николаев

Исследовано влияние трёх способов двухосного деформирования листовых алюминиевых сплавов семи марок АМцМ, 5754 Т2, Д16АМ, АМг5М, 6111 Т4, АМг6БМ, 5182 О на их пластические деформации. Определено, что методы деформирования, в которых используется электрический разряд в воде, позволяют увеличить средние деформации материала до 2,5 раза по сравнению с квазистатическим методом деформирования.

Ключевые слова: электрический разряд в воде, листовые алюминиевые сплавы, скорость пластической деформации.

Influence of the method of sheet aluminum alloys deformation on the increase of plastic deformations

V.M. Kosenkov

Institute of Pulse Processes and Technologies NAS of Ukraine, Oktyabr'skiy Ave. 43a, 54018, Nikolayev

Influence of 3 methods of biaxial deformation of sheet aluminum alloys of seven grades АМцМ, 5754 Т2, Д16АМ, АМг5М, 6111 Т4, АМг6БМ, 5182 О on their plastic deformations is considered. It is determined that the deformation methods in which the electrical discharge in water is used allow for increasing the mean deformation of the material to 2.5 times as compared to the quasistatic deformation.

Keywords: electrical discharge in water, sheet aluminum alloys, velocity of plastic deformation.

1. Введение

В последние десятилетия созданы высокопрочные листовые алюминиевые сплавы [1], прочностные характеристики которых существенно выше, а пластические ниже, чем у созданных ранее. Такие изменения материалов привели к проблемам изготовления из них деталей традиционными методами штамповки [2,3]. Появилась необходимость разработки новых методов обработки материалов, исключающих недостатки традиционных методов. Решение проблем повышения пластичности и прочности современных конструкционных материалов, способности их к формообразованию в разных условиях деформирования определяет актуальность, а также научную и практическую значимость выполнения подобных исследований.

Значительные перспективы в этом направлении имеет развитие технологий обработки материалов концентрированными потоками энергии, в том числе с применением электрического разряда в воде [2-4]. Предварительные исследования показали, что использование электрического разряда в воде позволяет в 1,5 раза увеличить пластические деформации материалов в процессе их двухосного деформирования [4,5]. Было обосновано, что применение импульсных процессов в комбинации со статическим деформированием сопро-

вождается релаксацией касательных напряжений в материале и приводит к достижению больших пластических деформаций [5-7].

Однако различные сплавы по-разному реагируют на применение этих методов. Поэтому цель данного исследования заключалась в определении влияния способов деформирования на величину пластических деформаций листовых алюминиевых сплавов, физико-механические характеристики которых существенно отличаются друг от друга. Для достижения этой цели применяли экспериментальные методы исследования.

2. Методика исследований

Исследования проводили на примере семи марок листовых алюминиевых сплавов (АМцМ, 5754 Т2, Д16АМ, АМг5М, 6111 Т4, АМг6БМ, 5182 О), существенно отличающихся химическим составом, способом термической обработки и физико-механическими свойствами. Листы имели толщину от 0,6 до 1,4 мм. Для определения деформаций образцов на их поверхность наносили контрольную сетку методом шелкографии. Сетка состояла из матрицы окружностей диаметром 2,5 мм, расположенных по строкам и столбцам с шагом 3 мм. Средняя толщина линий окружностей составляла 0,15 мм ($\pm 0,05$ мм). Образцы пластин имели прямоугольную

форму с размерами сторон 185×190 мм. Их длинная сторона была ориентирована в направлении прокатки.

Образцы алюминиевых сплавов деформировали тремя способами:

- квазистатическим;
- импульсным электрогидравлическим;
- комбинированным импульсно-статическим.

Квазистатическое деформирование образцов выполняли полусферическим пуансоном (радиус кривизны поверхности - 50 мм) с помощью винтового и гидравлического прессов. При этом скорость деформации не превышала $0,01 \text{ с}^{-1}$.

Импульсным электрогидравлическим методом деформацию заготовок выполняли с помощью ударных волн, генерируемых высоковольтным электрическим разрядом в воде. Скорость пластической деформации заготовок находилась в пределах от 300 до 3000 с^{-1} [8].

Комбинированным импульсно-статическим методом заготовки деформировали в два этапа [5-7]. Вначале заготовку деформировали квазистатическим способом с помощью полусферического пуансона (радиус кривизны поверхности - 50 мм) до прогиба, при котором не появлялись остаточные деформации (остаточный прогиб равен нулю), но максимальные напряжения были близки к пределу текучести материала и фиксировали её в этом состоянии. На втором этапе действовали на заготовку ударными волнами, создаваемыми электрическим разрядом в воде. Под действием волн давления происходила релаксация касательных напряжений в той части заготовки, которая контактирует с поверхностью пуансона, а остальная часть заготовки деформировалась пластически со скоростью деформации от 300 до 3000 с^{-1} . При этом параметры разряда выбирали таким образом, чтобы максимальные пластические деформации заготовки были сравнимы с упругими деформациями вблизи предела текучести материала. Затем эти этапы циклически

повторяли до получения необходимых деформаций заготовки или до её разрушения.

Деформирование заготовок выполняли с помощью экспериментальной установки, схема которой показана на рис.1. Для импульсно-статического деформирования образец 1 зажимали между корпусами разрядной камеры 2 и оснастки 3 таким образом, чтобы он не перемещался внутрь камеры. Перемещая пуансон 4 с помощью винтов 5, создавали упругие деформации в образце 1. Полость разрядной камеры 6 заполняли водой из накопительной ёмкости 7 с помощью насоса 8. Заряжали конденсаторную батарею разрядного контура 9, в состав которой входит электродная система 10. Между электродами 10 происходил электрический разряд, генерирующий ударные волны, достигающие поверхности образца и деформирующие его.

Квазистатическое деформирование образцов выполняли без заполнения разрядной камеры 2 водой, перемещая пуансон 4 с помощью винтов 5, а также перемещая пуансон с помощью гидравлического пресса.

Импульсное электрогидравлическое деформирование образцов выполняли по схеме, представленной на рис. 1, но без использования пуансона 4. В этом случае образец, деформируясь, прогибался вниз.

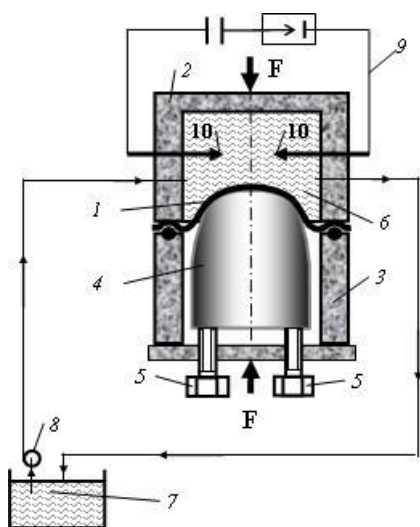
В процессе выполнения электрических разрядов в заполненной водой разрядной камере измеряли изменение силы тока и напряжения на канале разряда с помощью цифрового осциллографа Tektronix TDS-2024B для определения количества энергии, выделившейся в канале разряда.

После деформирования образцов определяли распределение деформаций по контрольной сетке и вычисляли статистические характеристики этого распределения (средние деформации и среднее квадратическое отклонение деформаций от средних).

3. Результаты исследования

Чтобы определить предельные возможности каждого метода деформирования, образцы доводили до разрушения. Трещины, образовавшиеся при этом, имеют характерное расположение для каждого метода. При квазистатическом деформировании трещины образуются приблизительно на половине длины дуги от полюса до контура закрепления образца (рис.2). Импульсное деформирование вызывает появление трещин вблизи полюса (рис.3). Комбинированное деформирование завершается образованием трещины вблизи контура закрепления образца (рис.4).

Рассмотренные методы приводят к существенно разному распределению деформаций в образцах. В качестве примера на рис.5 показано распределение деформаций по меридиану образцов сплава АМг5М в направлении прокатки деформированных до разрушения. Наиболее неравномерное распределение деформаций образца вызывает импульсный метод. По сравнению с остальными методами он обеспечивает наибольшие деформации вблизи полюса образца и наименьшие - вблизи контура его закрепления. Наиболее равномерное распределение деформаций и относительно большую их величину



1 – образец; 2 – корпус разрядной камеры; 3 – корпус оснастки; 4 – пуансон; 5 – винты; 6 – полость разрядной камеры, заполненная водой; 7 – накопительная ёмкость для воды; 8 – насос; 9 – разрядный контур; 10 – электроды.

Рис. 1. Схема комбинированного импульсно-статического деформирования листовых сплавов.

вызывает комбинированное деформирование образца. Квазистатическое деформирование приводит к промежуточному виду распределения деформаций в образце между импульсным способом и комбинированным.

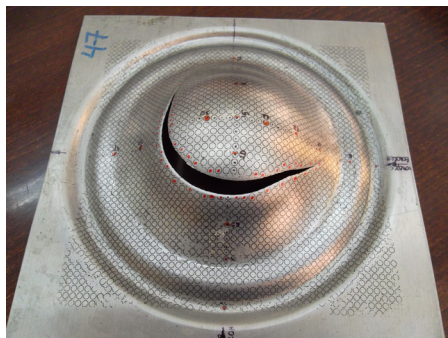


Рис. 2. Разрушение образца в результате квазистатического деформирования.

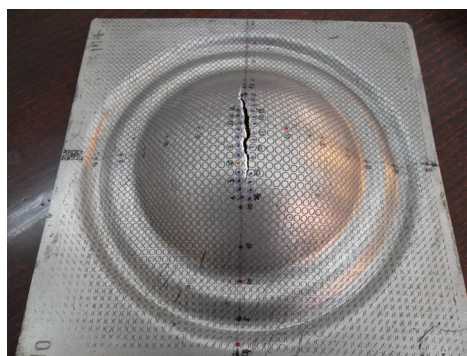


Рис. 3. Разрушение образца в результате импульсного деформирования.



Рис. 4. Разрушение образца в результате комбинированного деформирования.

Статистическая обработка распределения деформаций в образцах сплавов семи марок позволила выявить характерные особенности трёх способов воздействия на материалы. Импульсное и комбинированное деформирование образцов всех семи марок сплавов обеспечивает большую среднюю деформацию вдоль линии меридиана, чем квазистатический метод (рис.6). По сравнению с ним импульсный метод позволил увеличить среднюю деформацию до 2,2 раза, а комбинированный – до 2,5 раза. За исключением сплава АМг6 БМ, комбинированный метод позволяет получить существенно большие пластические деформации, чем импульсный.

Комбинированный метод деформирования образцов отличается от остальных рассмотренных методов обеспечением большей равномерности распределения пластических деформаций, о чём свидетельствует су-

щественно меньшее среднее квадратическое отклонение деформаций от их среднего уровня (рис.7, обозначения, как на рис.6).

Общие затраты энергии комбинированного и импульсного методов деформирования образцов до их разрушения существенно больше, чем у квазистатического (рис.8). Это объясняется малой долей энергии, расходуемой на деформирование материала по сравнению с общей энергией, необходимой для реализации методов (малый механический КПД) [8,9]. Кроме этого, импульсный и комбинированный методы характеризуются высокоскоростным деформированием материалов, требующим больших затрат энергии по сравнению с квазистатическим методом [10-12]. Особенно большие затраты энергии у комбинированного метода деформирования, т.к. для его осуществления необходимо выполнить на порядок больше разрядов, чем для импульсного метода.

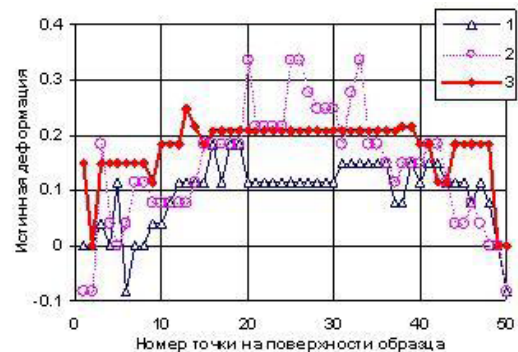


Рис. 5. Распределение истинных деформаций вдоль меридиана образца из сплава АМг5М по направлению его прокатки (1 – квазистатическое деформирование; 2 – импульсное; 3 – комбинированное).

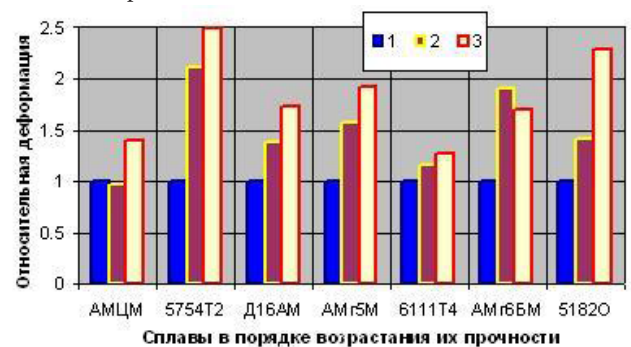


Рис. 6. Средняя деформация листовых алюминиевых сплавов по отношению к квазистатической деформации (1 – квазистатическое деформирование; 2 – импульсное; 3 – комбинированное).

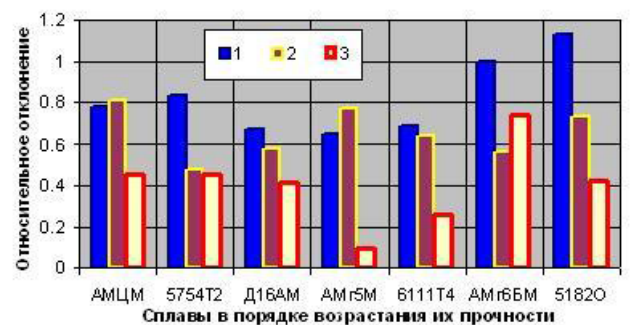


Рис. 7. Относительное среднее квадратическое отклонение деформации от средней деформации по меридиану образца.

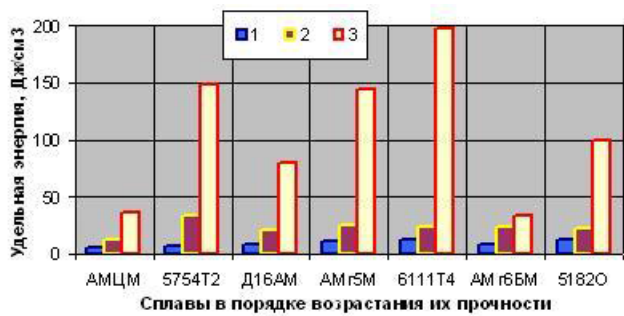


Рис. 8. Удельные затраты энергии на деформирование образцов до их разрушения (обозначения, как на рис.6).

Полученные величины средних деформаций рассмотренных сплавов нельзя считать максимальными, т.к. в рамках данной работы такую цель не преследовали. По-видимому, полученные результаты можно считать нижней оценкой увеличения средних деформаций для каждого из сплавов. Индивидуальный выбор параметров метода деформирования конкретного сплава может обеспечить ещё большее увеличение средних деформаций.

4. Заключение

В результате проведенного исследования определено влияние трёх способов двухосного деформирования листовых алюминиевых сплавов семи марок (АМЦМ, 5754 Т2, Д16АМ, АМг5М, 6111 Т4, АМг6БМ, 5182 О) на их пластические деформации. Полученные данные позволяют сделать следующие выводы.

Импульсный и комбинированный методы деформирования исследованных сплавов позволяют получить существенно большие деформации материала, чем квазистатический метод, соответственно в 2,2 и 2,5 раза.

Комбинированный способ деформирования листовых материалов обеспечивает большую равномерность распределения деформаций в них (в 2 и более раза), чем квазистатический и импульсный.

Удельные затраты энергии импульсного и комбинированного методов деформирования алюминиевых сплавов существенно больше, чем у квазистатического, - соответственно от 2 до 5 раз и от 4 до 20 раз.

Литература

1. International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys. The Aluminum Association, Inc. Wilson Boulevard. Arlington. (2009) 37 p.
2. S.F. Golovashchenko, N.M. Bessonov, A.M. Ilinich. Journal of Materials Processing Technology. **211**, 875 (2011).

3. A. Rohatgi, E.V. Stephens, R.W. Davies, M.T. Smith, A. Soulam, S. Ahzi. Journal of Materials Processing Technology. **212**, 1070 (2012).
4. N.V. Starkov, V.M. Kosenkov, D.R. Avramets. Kuznechno-shtampovochnoye proizvodstvo. **5**, (2008). (in Russian)
5. O.I. Vovchenko, V.M. Kosenkov, M.V. Starkov, I.S. Shvets. Patent No. 75989 of Ukraine, MPK (2006) B21 D26/12, B21 j5/00. Method of increase of plasticity of the parts from high-strength aluminum alloys; published on 15.06.06. Bulletin No. 6. 3 p. (in Ukrainian)
6. V.M. Kosenkov, N.V. Starkov, D.R. Avramets. Similarity of stress relief processes in constructional materials during pulse-static stressing. Materials of the IX International Conference "Kharitonovskiye topical scientific lectures". Sarov. (2007) p. 409. (in Russian) [В.М. Косенков, Н.В. Старков, Д.Р. Аврамец. Подобие процессов релаксации напряжений в конструкционных материалах при импульсно-статическом нагружении. Тр. IX Междунар. конф. «Харитоновские тематические научные чтения». Саров. 2007. с. 409.]
7. I.N. Pozdov, K.I. Pozdov. Patent No. 2242318, Russian Federation, MPK (2001) B21D26/12, B21D22/20. Method of the deep pulse drawing of parts. published on 20.12.2004. (in Russian)
8. V.M. Kosenkov. Journal of Technical Physics. **81**(10), 133 (2011). (in Russian) [В.М. Косенков. ЖТФ. **81**(10), 133 (2011).]
9. V.M. Kosenkov, V.M. Bychkov, V.G. Zhekul, S.G. Poklonov. Letters to the Journal of Technical Physics. **38**(9), 103 (2012). (in Russian) [В.М. Косенков, В.М. Бычков, В.Г. Жекул, С.Г. Поклонов. Письма в ЖТФ. **38**(9), 103 (2012).]
10. Yu.V. Bat'kov, B.L. Glushak, S.A. Novikov. Plastic resistance of the materials during the high-speed deformation in shockwaves. M.:Central R&D Institute Atominform. (1990) 97 p. (in Russian) [Ю.В. Батьков, Б.Л. Глушак, С.А. Новиков. Сопrotивление материалов пластической деформации при высокоскоростном деформировании в ударных волнах. М.: ЦНИИАтоминформ. 1990. 97 с.]
11. B.L. Glushak, V.F. Kuropatenko, S.A. Novikov. Research of material strength during dynamic stresses. Novosibirsk: Nauka. (1992) 295 p. (in Russian) [Б.Л. Глушак, В.Ф. Куропатенко, С.А. Новиков. Исследование прочности материалов при динамических нагрузках. Новосибирск: Наука. 1992. 295 с.]
12. V.M. Kosenkov, V.M. Bychkov. Applied Mechanics and Technical Physics. **53**(6), 134 (2012). (in Russian) [В.М. Косенков, В.М. Бычков. ПМТФ. **53**(6), 134 (2012).]