

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 620.173, 620.175

Песин А.М., Разинкин А.В., Замаараев В.А., Дымшакова Е.Г., Замаараева Ю.В., Пустовойтов Д.О.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА 1441 ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА СЖАТИЕ И КРУЧЕНИЕ

Аннотация. С использованием симулятора термомеханических процессов Gleeble 3800 выполнено экспериментальное исследование и сравнительный анализ сопротивления деформации алюминий-литиевого сплава 1441 системы Al-Cu-Mg-Li при испытаниях на одноосное сжатие и кручение в зависимости от деформационных и температурно-скоростных параметров (450-25°C, 1-50 с⁻¹), соответствующих процессам горячей и холодной прокатки листов и полос в условиях ПАО «КУМЗ». Показано, что испытание на кручение является наиболее подходящим методом получения экспериментальных данных о сопротивлении деформации алюминий-литиевого сплава 1441 в высокотемпературной области 450-300 °С при больших эквивалентных (истинных) деформациях (> 1,0), соответствующих условиям горячей прокатки. В свою очередь, испытание на одноосное сжатие является наиболее подходящим методом получения экспериментальных данных о сопротивлении деформации в области, соответствующей условиям холодной прокатки. Представленные в работе экспериментальные кривые сопротивления деформации могут быть использованы в специализированных инженерных программах компьютерного моделирования для совершенствования и оптимизации технологических режимов горячей и холодной прокатки листов и полос из алюминий-литиевого сплава 1441.

Ключевые слова: алюминий-литиевый сплав 1441, Gleeble 3800, одноосное сжатие, кручение, сопротивление деформации, сравнительный анализ

Введение

Алюминий-литиевый сплав 1441 системы Al-Cu-Mg-Li создан для аэрокосмических и авиационных применений и относится к сплавам второго поколения. Сплав 1441 обладает пониженной плотностью (2,59 г/см³) и повышенным модулем упругости (78,5 ГПа) по сравнению с традиционными алюминиевыми сплавами [1-6].

Единственным производителем и поставщиком алюминий-литиевых сплавов в России является Каменск-Уральский металлургический завод (ПАО «КУМЗ»), где освоен полный технологический цикл изготовления горячекатаных и холоднокатаных листов и полос. Согласно работе [7] рекомендованный температурный интервал горячей прокатки алюминий-литиевого сплава 1441 составляет 460-390°C. Однако в условиях действующего производства фактические температурные интервалы горячей прокатки составляют: 460-340°C – при черновой прокатке, 340-300°C и даже ниже – при чистовой прокатке. Холодная прокатка алюминий-литиевого сплава 1441 должна осуществляться при температурах не выше 60°C. Промышленная прокатка осуществляется со скоростями 1-5 м/с. Несоответствие рекомендованных и фактических температурно-скоростных условий горячей и холодной прокатки может приводить к увеличению доли несоответствующей продукции и/или брака. Для совершенствования и оптимизации существующих технологических режимов горячей и холодной листовой прокатки сплава 1441 в условиях ПАО «КУМЗ» требуется применение специализированных инженерных программ компьютерного моделирова-

ния, основанных на методе конечных элементов (МКЭ). Однако при постановке и решении таких задач возникает проблема описания реологических свойств (сопротивления деформации) сплава 1441 в широком диапазоне деформационных и температурно-скоростных параметров, соответствующих процессам горячей и холодной прокатки листов и полос в условиях ПАО «КУМЗ». В известной справочной литературе информация о сопротивлении деформации алюминий-литиевого сплава 1441 системы Al-Cu-Mg-Li полностью отсутствует.

Гипотеза единой кривой постулирует независимость кривых сопротивления деформации от схемы напряженного состояния. Поэтому информацию о сопротивлении деформации материала можно получить из экспериментов с простыми схемами: одноосное растяжение, одноосное сжатие, чистый сдвиг при кручении [8-15]. При этом в ходе проведения экспериментов необходимо выдерживать постоянными температуру и скорость деформации. Каждый метод испытания имеет свои достоинства и недостатки. При растяжении для большинства материалов истинная деформация в момент образования шейки не превышает 0,2-0,5. Это существенно ограничивает возможности применения метода одноосного растяжения. Метод сжатия, как правило, применяется в области истинных (логарифмических, эквивалентных) деформаций до 0,7 (относительное обжатие 50%). Недостатком этого метода является наличие контактного трения. Кроме того, в испытаниях на сжатие для обеспечения постоянной скорости деформации $\left(\frac{\dot{\varepsilon}_0}{\varepsilon_0} = v_0 / h_0 \right)$ скорость деформирования v (скорость движения захватов испытательной машины) должна

© Песин А.М., Разинкин А.В., Замаараев В.А., Дымшакова Е.Г., Замаараева Ю.В., Пустовойтов Д.О., 2024

уменьшаться по экспоненциальному закону: $v = v_0 \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon_0} t\right)$, где h_0 – начальная высота образца;

t – время [8]. Испытания на кручение позволяют получать данные о сопротивлении деформации материала в области больших истинных (логарифмических, эквивалентных) деформаций ($\geq 1,0$).

Целью работы является экспериментальное исследование и сравнительный анализ сопротивления деформации алюминий-литиевого сплава 1441 при испытаниях на сжатие и кручение в зависимости от деформационных и температурно-скоростных параметров, соответствующих процессам горячей и холодной прокатки листов и полос в условиях ПАО «КУМЗ».

Материалы и методы исследования*

Химический состав сплава 1441 системы Al-Cu-Mg-Li представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав алюминий-литиевого сплава 1441

Содержание элементов*, мас. %										
Al	Cu	Mn	Mg	Ti	Ni	Zr	Be	Li	Na	Ga
Основа	1,7	0,05	0,8	0,05	0,06	0,11	0,04	1,8	0,001	0,001

*Примеси – менее 0,05 мас. % каждого элемента, сумма примесей – менее 0,15 мас. %.

Испытания цилиндрических образцов (рис. 1) на сжатие выполнялись на симуляторе термомеханических процессов Gleeble 3800 с использованием модуля HydraWedge до 0,7 единиц логарифмической (истинной) деформации при температурах 450, 400, 350, 300, 250 и 25 °C со скоростями деформации 1, 10, 50 с⁻¹. Все испытания выполнялись однократно (без повторов). Для уменьшения контактного трения между образцом и рабочим инструментом (твердосплавные бойки из карбида вольфрама типа ВК8) использовалась графитовая фольга толщиной 0,13 мм. Нагрев образца, помещенного в рабочую камеру с вакуумом, осуществлялся прямым пропусканием электрического тока. Для фиксации температуры образца к центральной части рабочей зоны приваривалась хромель-алюмелевая термопара. Образцы нагревались до температуры деформации со скоростью 5 °C/с, затем следовала изотермическая выдержка в течение 3 минут для выравнивания температуры по объему образца. В процессе эксперимента фиксировалась температура образца T , усилие деформации F и текущее изменение высоты образца $\Delta h = h - h_0$. Автоматически с помощью встроенной программы рассчитывались истинная (логарифмическая) деформация $\varepsilon_{сж}$ и истинные напряжения (сопротивление деформации) $\sigma_{сж}$ в

предположении о неизменности объема образца и сохранения им цилиндрической формы в процессе испытания:

$$\varepsilon_{сж} = \ln\left(\frac{h_0}{h}\right); \quad (1)$$

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{F}{\left(\frac{\pi d_0^2}{4} \frac{h_0}{h}\right)}, \quad (2)$$

где h_0 и h – начальная и текущая высота образца; S – текущая площадь сечения образца; d_0 и d – начальный и текущий диаметр образца.

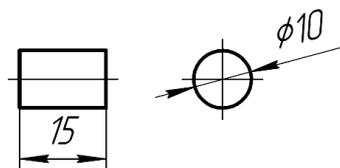


Рис. 1. Размеры образца для испытаний на сжатие

Испытания на кручение выполнялись на симуляторе термомеханических процессов Gleeble 3800 с применением модуля Torsion. Использовались цилиндрические образцы общей длиной 165 мм и диаметром 14 мм (рис. 2). Длина рабочей зоны $L = 20$ мм, ее радиус $R = 5$ мм. Испытания образцов проводились при температурах 450, 400, 350, 300, 250 и 25 °C со скоростями деформации 1, 10, 50 с⁻¹. Все испытания выполнялись однократно (без повторов). Один конец образца неподвижно фиксировался в захватах, ко второму (подвижному) концу прикладывался скручивающий момент. Для фиксации температуры образца к центральной части рабочей зоны приваривалась хромель-алюмелевая термопара. Образцы нагревались до температуры деформации со скоростью 5 °C/с. После достижения заданной температуры следовала изотермическая выдержка в течение 3 минут для выравнивания температуры по объему образца. В процессе эксперимента фиксировался угол скручивания θ и скручивающий момент M . Эквивалентная (истинная) деформация $\varepsilon_{кр}$ и эквивалентные напряжения (сопротивление деформации) $\sigma_{кр}$ рассчитывались по формулам

$$\varepsilon_{кр} = \frac{R\theta}{\sqrt{3}L}; \quad (3)$$

$$\sigma_{кр} = \frac{\sqrt{3}M}{2\pi R^3} (3 + n + m), \quad (4)$$

где n – показатель деформационного упрочнения; m – показатель скоростной зависимости напряжений. Принято, что $(3 + n + m) \approx 3,3$.

* Исследования выполнены в лаборатории физического моделирования термомеханических процессов ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» под руководством А.М. Ахмедьянова и С.П. Самойлова.

Результаты и их обсуждение

В высокотемпературной области (450–300°C) достигаемые деформации в испытаниях на кручение существенно больше, чем при одноосном сжатии (рис. 3). Однако в низкотемпературной области (250°C), наоборот, достигаемые деформации при кручении становятся ниже, чем при одноосном сжатии. Во всех испытаниях на кручение при 25°C происходило разрушение образцов в момент начала деформации. Таким образом, из сравнительного анализа следует, что кручение явля-

ется наиболее подходящим методом получения данных о сопротивлении деформации сплава 1441 в высокотемпературной области 450-300°C при больших эквивалентных (истинных) деформациях ($\geq 1,0$), соответствующих условиям горячей прокатки. А испытание на одноосное сжатие – наиболее подходящий метод получения данных о сопротивлении деформации в низкотемпературной области (250°C), а также в области, соответствующей условиям холодной прокатки (25°C) с деформациями $\leq 0,7$.

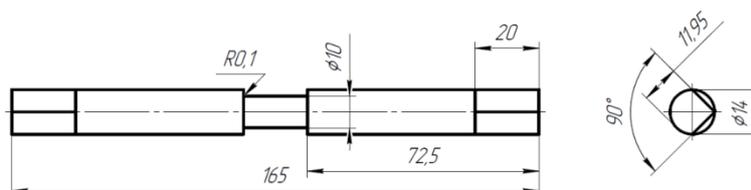


Рис. 2. Размеры образца для испытаний на кручение

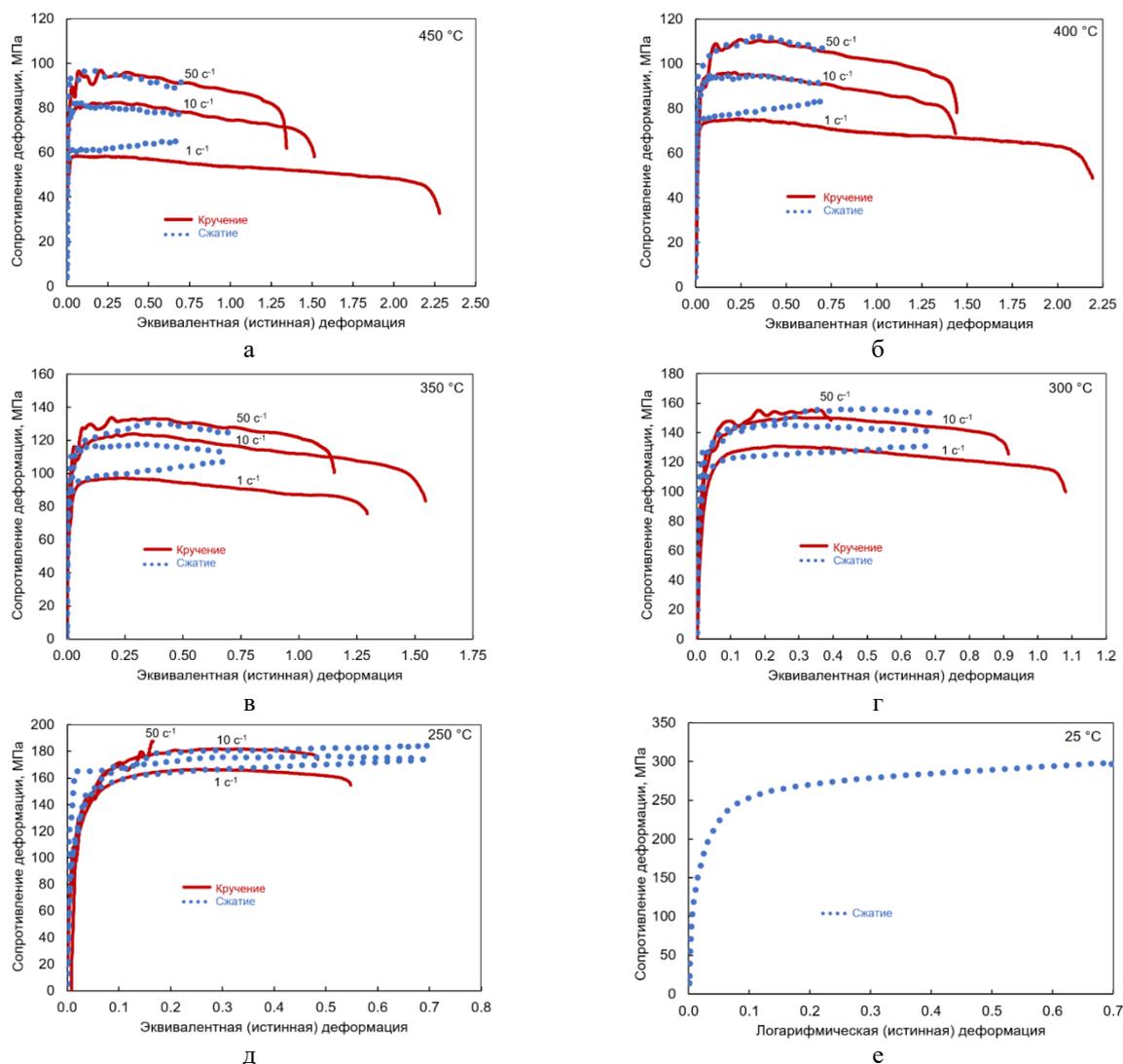


Рис. 3. Экспериментальные кривые сопротивления деформации алюминий-литиевого сплава 1441 при различных видах испытания, скоростях деформации и температурах: а – 450°C; б – 400°C; в – 350°C; г – 300°C; д – 250°C; е – 25°C

Анализ результатов испытаний на одноосное сжатие показал, что изменение скорости деформаций не оказывает существенного влияния на сопротивление деформации алюминий-литиевого сплава 1441 при температуре 25°C. Поэтому кривая сопротивления деформации, изображенная на рис. 3, е, может быть использована в специализированных инженерных программах компьютерного моделирования для совершенствования и оптимизации технологических режимов холодной прокатки листов и полос из алюминий-литиевого сплава 1441 во всем интервале скоростей деформаций 1–50 с⁻¹.

При скорости деформации 50 с⁻¹ кривые сопротивления деформации, изображенные на рис. 3, сглаживались по методам «Adjacent averaging» («По смежным значениям») и «Percentile filter» («Процентильный фильтр») в связи с влиянием вибрации, характерной для высокоскоростных тестов со скоростями деформации ≥ 30 с⁻¹. На рис. 4 в качестве примера показаны экспериментальные кривые сопротивления деформации сплава 1441, полученные в испытании на одноосное сжатие при 450 °C и 50 с⁻¹ без сглаживания (из-за влияния вибрации) и после сглаживания методом «Percentile filter». Аналогичная обработка требовалась и для высокоскоростных испытаний на кручение. Для испытаний при 1 и 10 с⁻¹ сглаживания не требовалось.

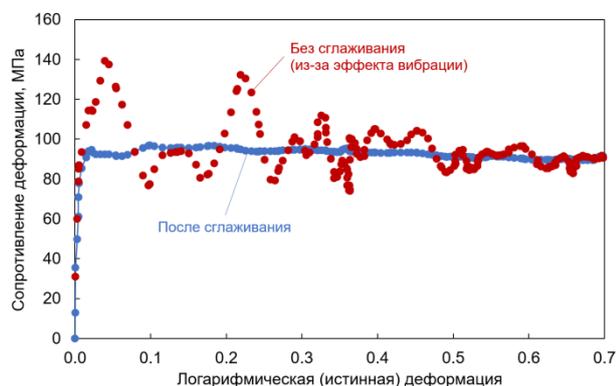


Рис. 4. Сопротивление деформации алюминий-литиевого сплава 1441 (450°C, 50 с⁻¹)

Основным недостатком испытания на одноосное сжатие в горячем состоянии является влияние контактного трения. Это объясняет возможное расхождение кривых сопротивления деформации при испытаниях на одноосное сжатие и кручение (см. рис. 3).

Контактное трение приводит к неоднородности деформации и скорости деформации в объеме образца, дополнительному тепловыделению при пластической деформации. Это, соответственно, приводит к отклонению контролируемых параметров эксперимента (текущий диаметр образца, скорость деформации, температура, деформация) от характеристик, соответствующих условиям одноосного сжатия. Таким образом, контактное трение при одноосном сжатии увеличивает ошибку определения реологических

свойств сплава 1441. Поэтому для уменьшения такой ошибки требуется применение инверсного метода моделирования МКЭ. На рис. 5, 6 для одноосного сжатия в качестве примера показано сравнение значений усилия деформирования P в зависимости от хода инструмента при температуре 450°C и скорости деформации 1 с⁻¹ по результатам эксперимента и расчета МКЭ в программе QForm с учетом и без учета влияния контактного трения. Из рис. 6 следует, что учет контактного трения (увеличение показателя трения m от 0 до 0,5 по модели Леванова) в испытаниях на одноосное сжатие позволяет снизить относительную ошибку.

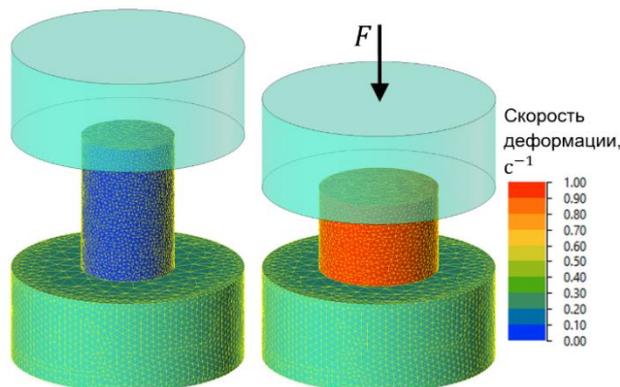


Рис. 5. Пример моделирования процесса одноосного сжатия в программе QForm (450°C без учета влияния контактного трения)

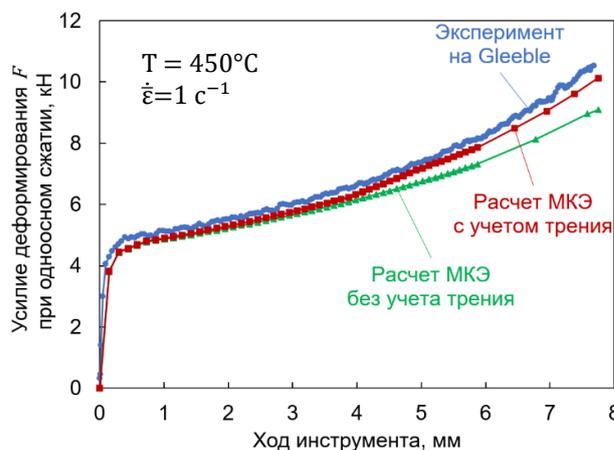


Рис. 6. Усилие деформирования при одноосном сжатии по результатам эксперимента и расчета МКЭ с учетом и без учета влияния контактного трения

В испытаниях на кручение отсутствует влияние контактного трения, поэтому точность определения реологических свойств алюминий-литиевого сплава 1441 выше. На рис. 7, 8 в качестве примера показано сравнение расчетных и экспериментальных значений скручивающего момента M в зависимости от угла скручивания θ при температуре 450°C и скорости деформации 1 с⁻¹ по результатам эксперимента и расчета МКЭ в программе QForm. Относительная ошибка

аппроксимации экспериментальных кривых сопротивления деформации в испытаниях на кручение не превышала $\pm 5\%$.

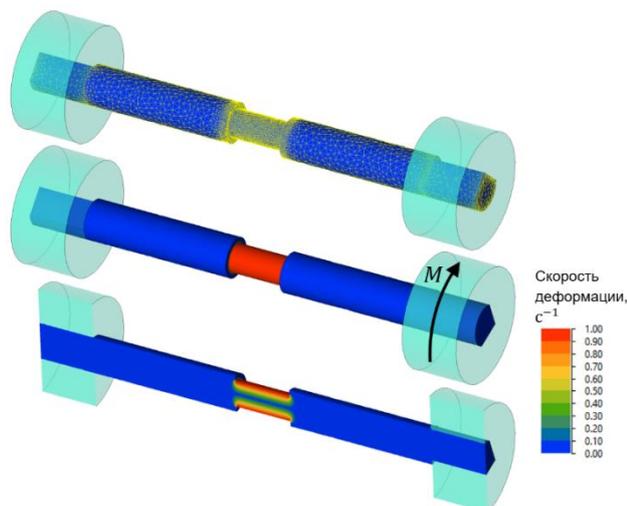


Рис. 7. Пример моделирования процесса кручения в программе QForm при 450°C

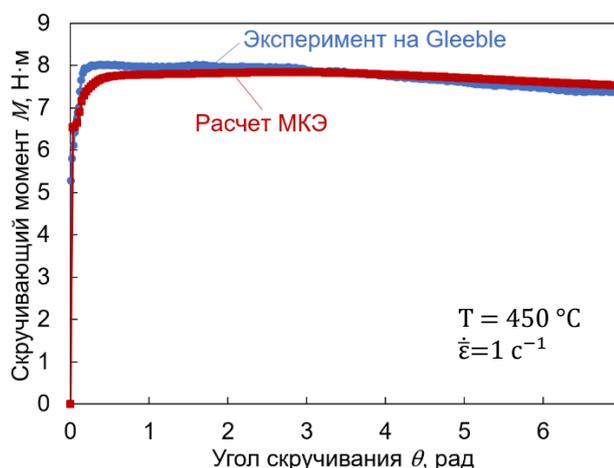


Рис. 8. Скручивающий момент по результатам эксперимента и расчета

Заключение

С использованием симулятора термомеханических процессов Gleeble 3800 выполнено экспериментальное исследование и сравнительный анализ сопротивления деформации алюминий-литиевого сплава 1441 системы Al-Cu-Mg-Li при испытаниях на одноосное сжатие и кручение в зависимости от деформационных и температурно-скоростных параметров ($450\text{-}25^\circ\text{C}$, $1\text{-}50\text{ с}^{-1}$), соответствующих процессам горячей и холодной прокатки листов и полос в условиях ПАО «КУМЗ».

Ключевым недостатком испытания на кручение является отсутствие возможности получения экспериментальных данных о сопротивлении деформации сплава 1441 в области, соответствующей условиям холодной прокатки из-за разрушения образцов в мо-

мент начала деформации. Основным недостатком испытания на одноосное сжатие является влияние контактного трения, увеличивающего ошибку определения реологических свойств сплава 1441. Для уменьшения такой ошибки требуется применение инверсного метода моделирования МКЭ. В обоих испытаниях (на сжатие и на кручение) при высокой скорости деформации (50 с^{-1}) требовалось сглаживание кривых сопротивления деформации по методам «Adjacent averaging» и «Percentile filter» в связи с влиянием вибрации, что также увеличивало ошибку определения реологических свойств сплава 1441.

Испытание на кручение является наиболее подходящим методом получения экспериментальных данных о сопротивлении деформации алюминий-литиевого сплава 1441 в высокотемпературной области $450\text{-}300^\circ\text{C}$ при больших эквивалентных (истинных) деформациях ($\geq 1,0$), соответствующих условиям горячей прокатки. В свою очередь, испытание на одноосное сжатие является наиболее подходящим методом получения экспериментальных данных о сопротивлении деформации в области, соответствующей условиям холодной прокатки. Представленные в работе экспериментальные кривые сопротивления деформации могут быть использованы в специализированных инженерных программах компьютерного моделирования для совершенствования и оптимизации технологических режимов горячей и холодной прокатки листов и полос из алюминий-литиевого сплава 1441.

Благодарность

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (соглашение № 23-79-30015) и договора о софинансировании №КК0987F-2023, а также в рамках государственного задания по теме «Давление» №122021000032-5.

Список источников

1. Qin S., Lee S., Tsuchiya T., Matsuda K., Horita Z., Kocisko R., Kvackaj T. Aging behavior of Al-Li-(Cu, Mg) alloys processed by different deformation methods // Materials and Design. 2020. Vol. 196. 109139.
2. Влияние технологических параметров автоклавного метода формования деталей из гибридного материала СИАЛ на структуру и свойства листов алюминий-литиевого сплава 1441 / Серебренникова Н.Ю., Коновалов А.Н., Сударчикова М.А., Карпухин С.Д., Колмаков А.Г. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2020. №3. С. 70-84.
3. Dursun T., Soutis C. Recent developments in advanced aircraft Aluminium Alloys // Materials and Design. 2014. 56. P. 862-871.
4. Prasad N. Eswara, Gokhale A.A., Wanhill R.J.H. Aluminum-Lithium alloys: processing, properties and applications. Elsevier Inc., Oxford, UK. 2014. 596 p.

5. Xu X., Hao M., Chen J., He W., Li G., Jiao C., Burnett T.L., Zhou X. Influence of microstructural and crystallographic inhomogeneity on tensile anisotropy in thick-section Al-Li-Cu-Mg plates // *Materials Science and Engineering A*. 2022. 829: 142135.
6. Xu X., Hao M., Chen J., He W., Li G., Jiao C., Burnett T.L., Zhou X. Influence of microstructural and crystallographic inhomogeneity on tensile anisotropy in thick-section Al-Li-Cu-Mg plates // *Materials Science and Engineering A*. 2022. 829: 142135.
7. Влияние режимов гомогенизационного отжига на структурно-фазовое состояние и механические свойства сплитков из алюминий-литиевого сплава 1441 / Антипов В.В., Ткаченко Е.А., Зайцев Д.В., Селиванов А.А., Овсянников Б.В. // *Труды ВИАМ*. 2019. № 3 (75). С. 44-52.
8. Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объемной штамповки: учебное пособие / Власов А.В., Стебунов С.А., Евсюков С.А., Биба Н.В., Шитиков А.А. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 383 с.
9. Петров И.Н., Батурин А.П., Удовенко Ю.П. Деформационное поведение алюминий-литиевого сплава В-1461 в условиях горячей осадки // *Вестник молодых учёных и специалистов Самарского университета*. 2018. №1. С. 57-62.
10. Повышение надежности и эффективности измерений параметров деформации алюминиевых сплавов на универсальной испытательной машине / Петров П.А., Фам В.Н., Бурлаков И.А., Матвеев А.Г., Сапрыкин Б.Ю., Петров М.А., Диксит У.Ш. // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2022. № 3. С. 102-112.
11. Построение кривых текучести алюминиевого сплава АМг5 на основе натурного и вычислительного экспериментов / Петров П.А., Фам В.Н., Бурлаков И.А., Матвеев А.Г., Сапрыкин Б.Ю., Петров М.А. // *Технология легких сплавов*. 2022. №2. С. 6-74.
12. Peterson L.A., Horstemeyer M.F., Lacy T.E., Moser R.D. Experimental characterization and constitutive modeling of an aluminum 7085-T711 alloy under large deformations at varying strain rates, stress states, and temperatures // *Mechanics of Materials*. 2020. 151. 103602.
13. Erpalov M.V., Kungurov E.A. Examination of hardening curves definition methods in torsion test // *Solid State Phenomena*. 2018. 284. P. 598-604.
14. Сравнительный анализ результатов физического моделирования процесса прокатки прутков из стали 30MnB4 при испытании на кручение и сжатие / Лабер К.Б., Савицкий С.З., Дья Х., Кавалек А.М. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2016. Т.14. №2. С. 32-37.
15. Zhuchkova T., Aksenov S., Shkatov V., Mazur I. Comparison of results of dynamic recrystallization research of HC4201A steel by two types of tests on Gleeble 3800 // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2018. Vol. 53. No 2. P. 354-359.

Сведения об авторах

Песин Александр Моисеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий обработки материалов, заместитель заведующего лабораторией «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: pesin@bk.ru

Разинкин Александр Викторович – кандидат технических наук, директор по производству, ПАО «Каменск-Уральский металлургический завод» (ПАО «КУМЗ»), Каменск-Уральский, Россия. E-mail: RazinkinAV@kumz.ru

Замараев Владимир Андреевич – инженер-технолог, ПАО «Каменск-Уральский металлургический завод» (ПАО «КУМЗ»), Каменск-Уральский, Россия. E-mail: zamaraevva@kumw.ru

Дымшакова Елена Геннадьевна – начальник центральной заводской лаборатории, ПАО «Каменск-Уральский металлургический завод» (ПАО «КУМЗ»), Каменск-Уральский, Россия.

Замараева Юлия Валентиновна – кандидат технических наук, научный сотрудник, УрО РАН «Институт физики металлов им. М.Н. Михеева», Екатеринбург, Россия; ПАО «Каменск-Уральский металлургический завод» (ПАО «КУМЗ»), Каменск-Уральский, Россия. E-mail: zamaraevajulia@yandex.ru

Пустовойтов Денис Олегович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий обработки материалов, старший научный сотрудник лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: pustovoytov_den@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF FLOW STRESS OF ALUMINUM-LITHIUM ALLOY 1441 IN COMPRESSION AND TORSION TESTS

Pesin Alexander M. – Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Materials Processing Technologies, Deputy Head of the Zhilyaev laboratory “Mechanics of Gradient Nanomaterials”, Nosov Magnitogorsk State Technical University Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: pesin@bk.ru

Razinkin Alexander V. – Candidate of Technical Sciences, director of Production, PJSC "Kamensk-Uralsky Metallurgical Plant", Kamensk-Uralsky, Russia. E-mail: RazinkinAV@kumz.ru

Zamaraev Vladimir A. – Engineer, PJSC "Kamensk-Uralsky Metallurgical Plant", Kamensk-Uralsky, Russia. E-mail: zamaraevva@kumw.ru

Dymshakova Elena G. – Head of the central plant laboratory, PJSC "Kamensk-Uralsky Metallurgical Plant", Kamensk-Uralsky, Russia.

Zamaraeva Yulia V. – Candidate of Technical Sciences, Research Fellow, M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia; PJSC "Kamensk-Uralsky Metallurgical Plant", Kamensk-Uralsky, Russia. E-mail: zamaraevajulia@yandex.ru

Pustovoitov Denis O. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Materials Processing Technologies, Senior Research Fellow of the Zhilyaev laboratory “Mechanics of Gradient Nanomaterials”, Nosov Magnitogorsk State Technical University Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: pustovoitov_den@mail.ru

Abstract. An experimental study and comparative analysis of the flow stress of aluminum-lithium alloy 1441 of the Al-Cu-Mg-Li system was performed by uniaxial compression and torsion tests using the Gleeble 3800 thermomechanical process simulator. The studies were carried out depending on strain, temperature and strain rate parameters (450-25 °C, 1...50 s⁻¹), corresponding to the processes of hot and cold rolling of sheets and strips under the conditions of PJSC KUMZ. It is shown that torsion testing is the most suitable method for obtaining experimental data on the flow stress of aluminum-lithium alloy 1441 in the high-temperature region of 450-300 °C at large equivalent (true) strains (> 1.0), corresponding to hot rolling conditions. In turn, the uniaxial compression test is the most suitable method for obtaining experimental data on the flow stress in the region corresponding to cold rolling conditions. The experimental curves of flow stress presented in the work can be used in specialized engineering programs of computer modeling for improving and optimizing technological schedules of hot and cold rolling of sheets and strips from aluminum-lithium alloy 1441.

Keywords: aluminum-lithium alloy 1441, Gleeble 3800, uniaxial compression, torsion, flow stress, comparative analysis

Ссылка на статью:

Сравнительный анализ сопротивления деформации алюминий-литиевого сплава 1441 при испытаниях на сжатие и кручение / Песин А.М., Разинкин А.В., Замараев В.А., Дымшакова Е.Г., Замараева Ю.В., Пустовойтов Д.О.// Теория и технология металлургического производства. 2024. №3(50). С. 14-20.

Pesin A.M., Razinkin A.V., Zamaraev V.A., Dymshakova E.G., Zamaraeva Yu.V., Pustovoitov D.O. Comparative analysis of flow stress of aluminum-lithium alloy 1441 in compression and torsion tests. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2024, vol. 50, no. 3, pp. 14-20.