

УДК 539.38

А.В.Маткова, Ю.П.Фещук, С.М.Матвійчук, А.В.Щерба

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБІВ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Розглянутий вплив різних способів пластичної деформації (осаджування, кручення) на властивості алюмінієвих сплавів марок АД1, АК8. Проведено аналіз зміни твердості і тимчасового електроопору від ступеня деформації.

Ключові слова: *пластична деформація, механізм руйнування, дислокації, рентгеноструктурний аналіз.*

Останнім часом великий інтерес дослідників-матеріалознавців викликає алюміній та його сплави. За допомогою алюмінієвих сплавів створюють ефективні та економічні конструкції з невеликою масою з високою міцністю та технологічністю. В процесі виготовлення, різного роду деталі та конструкції піддаються механічній дії. Тому дуже важливим є не лише вміти прогнозувати зміну властивостей алюмінієвих сплавів внаслідок пластичної деформації, а покращувати ті властивості, які необхідні в конкретному випадку, залежно від умов експлуатації виробів [1].

Для проведення холодного пластичного деформування (крученням і осаджуванням) були виготовлені зразки із алюмінієвих сплавів марок: АД1 – технічний алюміній (надалі сплав), АК8 – ковкий алюмінієвий сплав.

Дані сплави мають наступний хімічний склад (ГОСТ 4784-97):

АД1: Fe до 0,3 %; Si до 0,3 %; Mn до 0,025 %; Ti до 0,15 %; Al мін. 99,3 %; Cu до 0,05 %; Mg до 0,05 %; Zn до 0,1 %.

АК8: Fe до 0,7 %; Si до 1,2 %; Mn до 1 %; Ni до 0,1 %; Ti до 0,1 %; Al від 90,9 до 94,7 %; Cu до 4,8 %; Mg до 0,8 %; Zn до 0,3 %.

Було зроблено по 4-ри зразки за державним стандартом із кожного сплаву, для двох видів деформування – кручення і осаджування. Для порівняння властивості металу до і після деформування було виготовлялося ще по 1-му зразку для кожного сплаву, які не деформувалися, але піддавалися тій самій обробці при виготовленні. Це дозволило у випадку незначної зміни властивостей при обробці уникнути похибки при подальшому порівнянні властивостей недеформованого зразка із деформованими.

Для уникнення поздовжнього згину в процесі осадки необхідно, щоб відношення висоти до діаметра заготовки не перевищувало 2,5. Тому зразки для деформування осаджуванням були виготовлені циліндричної форми діаметром та висотою відповідно 32 та 23 мм.

Зразки для деформування крученням були виготовлені циліндричної форми діаметром та висотою відповідно 20 та 41 мм і мали спеціальні вушка для встановлення в захвати універсальної машини МІ-40КУ для здійснення кручення.

Об'єм зразка при пластичній деформації змінюється незначно, тобто:

$$V = \pi r^2 h = \pi r_0^2 h_0, \quad (1)$$

де r_0 – радіус зразка до деформації;

h_0 – висота зразка до деформації;

r – радіус зразка після деформації;

h – висота зразка після деформації.

Елементарна робота деформації в цьому випадку записується у вигляді:

$$dA = -2\sigma_T \cdot r \cdot h \cdot dh, \quad (2)$$

а з врахуванням (1)

$$A_0 = \sigma_T \ln(h_0/h) \quad (3)$$

Вважаючи, що однакові затрати питомої енергії на деформацію утворюють деформації однакових ступеней ϵ ; звідси:

$$\sigma_T \cdot \ln(1/(1-\varepsilon)) = \sigma_T \ln(h_0/h), \quad (4)$$

звідки одержується вираз для оцінки ступеня деформації при осаджуванні зразків круглого перерізу у вигляді:

$$\varepsilon = 1 - h/h_0 \quad (5)$$

В результаті холодного пластичного деформування метал зміцнювався і змінювалися його фізичні властивості.

За одержаними значеннями визначення твердості деформованих зразків побудовані графіки залежності твердості від ступеня пластичної деформації алюмінієвих сплавів марок АД1 та АК8, при різних способах деформування (рисунки 1 – 4).

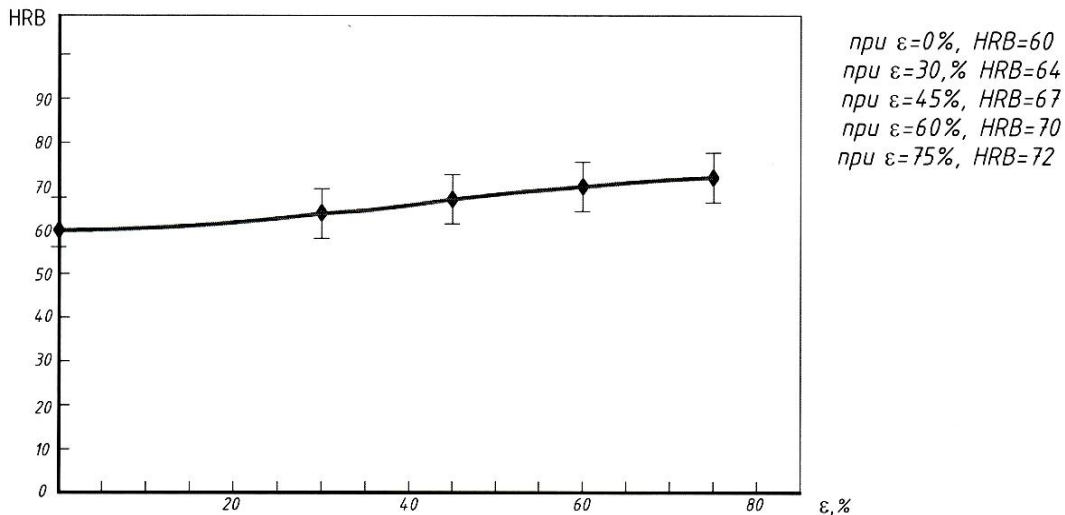


Рис. 1 Залежність твердості сплаву АД1 від ступеня пластичної деформації ε , після осаджування

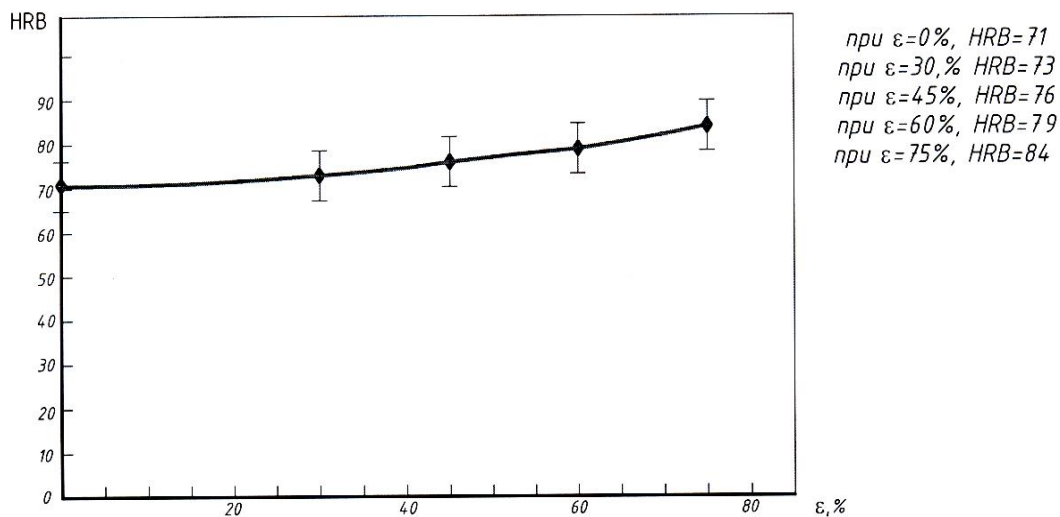
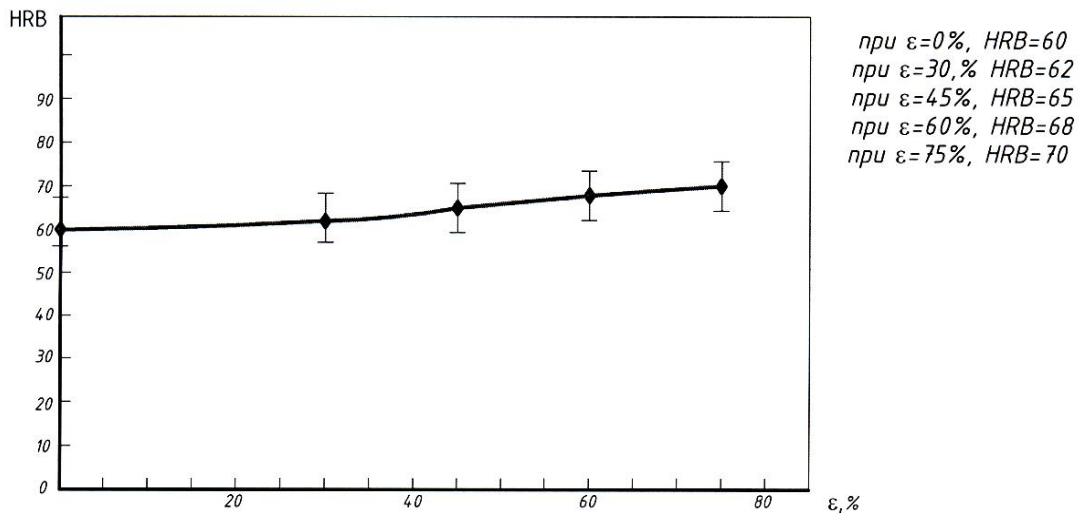
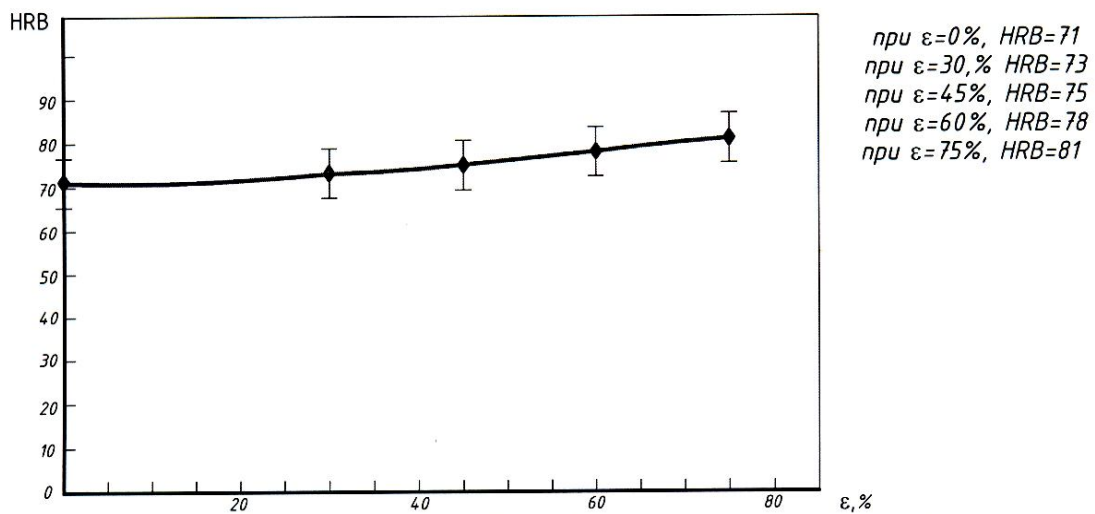


Рис. 2 Залежність твердості сплаву АК8 від ступеня пластичної деформації ε , після осаджування

Рис. 3 Залежність твердості сплаву АД1 від ступеня пластичної деформації ϵ , після крученняРис. 4 Залежність твердості сплаву АК8 від ступеня пластичної деформації ϵ , після кручення

Із отриманих результатів видно, що збільшення ступеня пластичної деформації призводить до зростання твердості. Це пояснюється наступним чином. При деформуванні збільшується густина дислокацій, також зростає і число перешкод ковзання дислокацій. Рухові дислокацій перешкоджають переважно інші дислокації, а також границі зерен і домішкові атоми. Зі зростанням густини дислокацій більшає кількість перетинів дислокацій, які належать різним площинам ковзання. Перетинання дислокацій, сплутування в клубки значно зменшує їхню рухливість. Утворення нових дислокацій, проштовхування їх крізь клубки утруднюється. Внаслідок утруднення руху і розмноження дислокацій, підвищується опір матеріалів пластичному деформуванню, тобто виникає деформаційне зміцнення – наклеп.

Загалом характер підвищення твердості для обох сплавів при осаджуванні та крученні подібний. Різке зростання твердості спостерігається при $\epsilon = 75\%$. Але слід відмітити, що при однакових значеннях ступеня деформування ϵ , як в сплаві АД1 так і в АК8, після осаджування спостерігається інтенсивніше підвищення твердості, ніж після кручення, що пояснюється більшою густиною дислокацій після осаджування і відповідно більшим опором при подальшому деформуванні.

Такі результати свідчать, що для зміцнення алюмінієвих сплавів пластичним деформуванням ефективніше буде використати спосіб осаджування, так як він дає більший ефект.

В роботі досліджувався питомий електроопір досліджуваних зразків. Результати дослідження електричного опору після пластичної деформації наведені в таблицях.

Таблиця 1

Результати зміни питомого електричного опору, після осаджування сплаву АД1

Зразок	ε , %	ρ , Ом \times м	Примітка
1	0	$0,0287 \times 10^{-6}$	відпалений
2	30	$0,0291 \times 10^{-6}$	деформований
3	45	$0,0295 \times 10^{-6}$	деформований
4	60	$0,0304 \times 10^{-6}$	деформований
5	75	$0,0317 \times 10^{-6}$	деформований

Таблиця 2

Результати зміни питомого електричного опору, після осаджування сплаву АК8

Зразок	ε , %	ρ , Ом \times м	Примітка
1	0	$0,0352 \times 10^{-6}$	відпалений
2	30	$0,0356 \times 10^{-6}$	деформований
3	45	$0,0359 \times 10^{-6}$	деформований
4	60	$0,0362 \times 10^{-6}$	деформований
5	75	$0,0367 \times 10^{-6}$	деформований

Таблиця 3

Результати зміни питомого електричного опору, після кручення сплаву АД1

Зразок	ε , %	ρ , Ом \times м	Примітка
1	0	$0,0287 \times 10^{-6}$	відпалений
2	30	$0,0289 \times 10^{-6}$	деформований
3	45	$0,0292 \times 10^{-6}$	деформований
4	60	$0,0297 \times 10^{-6}$	деформований
5	75	$0,0307 \times 10^{-6}$	деформований

Таблиця 4

Результати зміни питомого електричного опору, після кручення сплаву АК8

Зразок	ε , %	ρ , Ом \times м	Примітка
1	0	$0,0352 \times 10^{-6}$	відпалений
2	30	$0,0355 \times 10^{-6}$	деформований
3	45	$0,0357 \times 10^{-6}$	деформований
4	60	$0,0360 \times 10^{-6}$	деформований
5	75	$0,0363 \times 10^{-6}$	деформований

Спостерігалось інтенсивне наклепування в початковій стадії деформування, потім зі збільшенням ступеня деформації є механічні властивості змінювалися незначно. Із збільшенням ступеня деформації межа текучості росла швидше тимчасового опору.

Шляхом деформування твердість і тимчасовий опір вдалось підвищити в 1,5...3 рази, а межу текучості в 3...6 разів. Рентгеноструктурний аналіз проведений за допомогою дифрактометра ДРОН-4-13 показав, що внаслідок пластичної деформації значно подрібнюється структура металу, утворюються дефекти ґратки (густина дислокацій зростає до $10^9 - 10^{12} \text{ см}^{-2}$) і спотворення ґратки.

Із ростом ступеня деформації збільшився питомий електричний опір ($\rho=0,0317 \text{ мкОм м}$), коерцитивна сила, зменшилась магнітна проникність, залишкова індукція і щільність металу.

Структурно нечутливими властивостями металу, які не змінюються внаслідок пластичної деформації є валентність, періоди ґратки, температура плавлення, модуль пружності, інтенсивність намагнічування, теплоємність [2].

1. Конструкційне матеріалознавство: Підручник Гарнець В. М., Коваленко В.М. -К.:Либідь, 2007. -384с.
2. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. - Київ: Кондор, 2006. - 528с.
3. Божидарнік В. В., Сулим Г.Т. Елементи теорії пластичності та міцності. – Львів: Світ, 1999. – 945 с.
4. Дяченко С.С. Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч. посібник. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.
5. Конструкційне матеріалознавство: Підручник Гарнець В. М., Коваленко В. М. – К.: Либідь, 2007. – 384с.
6. Розенберг. Физическое металловедение. – М.: Мир, 1968. – 485 с.
7. Металознавство: Підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2008– 384с.