



Музичук В. І.

Нахайчук О. В.

Сивак Р. І.

**Вінницький  
національний  
аграрний  
університет**

УДК 621.7.016.2

## ПЛАСТИЧНІСТЬ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПРИ ІЗОТЕРМІЧНОМУ ВАЛЬЦЮВАННІ ЗАГОТОВОК

*Показані переваги ізотермічного деформування, порівняно з деформуванням металу в звичайних умовах, проведені дослідження технологічних параметрів (розширення, тиск на валки) процесу ізотермічного вальцювання заготовок із алюмінієвих сплавів.*

*Shown advantages of isothermal deformation, comparatively with deformation of metal in ordinary terms, conducted researches of technological parameters (expansion, pressure on rollers) of process of the isothermal rolling of purveyances from aluminium alloys.*

### Вступ.

Впровадження маловідхідних технологічних процесів штампування поковок із алюмінієвих сплавів на підприємствах авіаційної промисловості обумовлена значним застосуванням у виробі галузі цих сплавів, підвищеною витратою металу, високою трудомісткістю, тривалим циклом виготовлення якісних штампованих поковок і завданнями по вдосконаленню металозберігаючих технологій [1-4]. Широке використання алюмінієвих сплавів визначається їх технічними, фізичними і механічними властивостями. Застосування процесу ізотермічного вальцювання заготовок, дає можливість максимально використувати ефект надпластичності, оскільки деформування нагрітих заготовок буде проводитися інструментом нагрітим до температур деформування (або близько до них). Така схема дозволить понизити зусилля деформування за рахунок підвищення пластичності оброблюваного металу, яке відбувається із-за повного протікання процесів, які зменшують його зміцнення. Рівномірна деформація заготовки, за відсутності зон утрудненої деформації і локального перегріву, забезпечує хороше і усестороннє опрацювання структури, і як наслідок, зменшує розкид властивостей в об'ємі заготовки.

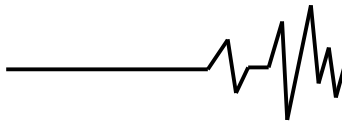
### Основна частина.

В роботі проведені експериментальні дослідження щодо впливу ступеня деформації, температур нагріву заготовок і вальцювальних штампів, дослідження макроструктури вальцюваних заготовок, а також використання для проведення експериментів, окрім сплавів АК6, АК4, АК4-1, АК8, АМг1, АМг2, АМг6, АМЦ.

У даній роботі описані експериментальні дослідження технологічних параметрів вальцювання (розширення,  $\Delta b$  - переміщення металу в поперечному напрямку, які викликає в бічних кромках вальцюваної заготовки значні розтягуючі напруження щ знижують загальну витяжку, опір деформації) заготовок із вище названих алюмінієвих сплавів в гладких валках і в ізотермічних умовах по методиці описаній в роботах [4, 2].

Для визначення впливу ступені деформації, температури нагріву вальцювальних штампів на розширення і опір деформації, заготовки із вище названих сплавів з розмірами  $\varnothing 14 \times 150$  мм нагріті до температури  $450^\circ \text{C}$  вальцювали в гладких валках із ступенями деформації 30, 40 і 50 %. Вальцювальні штампи нагрівалися послідовно до температури 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400,  $450^\circ \text{C}$ . Температуру заміряли хромель-алюмелевою термопарою і регулювали за допомогою самописного приладу КСП. Частота обертання валів складала  $0,2^{-1}$ . У експериментальних дослідженнях використані методи тензометрування, оптичної і електронної мікроскопії, рентгенівського мікроаналізу, математичної статистики.

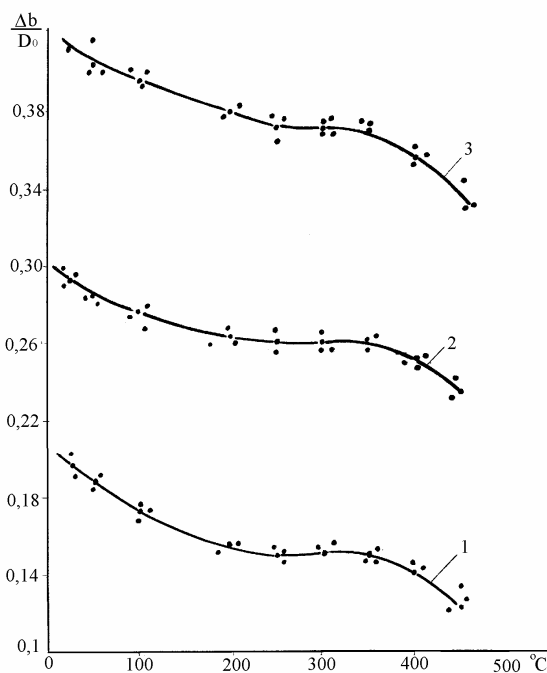
Аналіз експериментальних даних, представлений в табл. 1 і на рис. 1, показує, що розширення щодо початкового поперечного перерізу заготовки при вальцюванні у вальцювальних штампах, які мають температуру  $20^\circ \text{C}$  і ступінь деформації 30, 40 і 50% збільшується відповідно на 20, 30 і 42 %. Пояснюється це тим, що із збільшенням ступені деформації об'єм металу по ширині, і розширення за інших рівних умов зростають.



Таблиця 1

**Значення розширення  $\Delta b$  щодо початкового поперечного перерізу заготовки залежно від ступені деформації  $\epsilon$  і температури нагріву вальцювальних штампів  $t_b$**

Розширення	Температура, $t_b$		
	20 <sup>0</sup> С	250 <sup>0</sup> С	450 <sup>0</sup> С
	$\epsilon = 30\%$		
	2,856	2,086	1,708
$\epsilon = 40\%$			
4,2	3,64	3,3	
$\epsilon = 50\%$			
5,88	5,2	4,65	



**Рис. 1. Залежність розширення від ступені деформації і температури нагріву вальцювальних штампів (ступінь деформації: 1 – 30%; 2 – 40%; 3 – 50%)**

Характер поведінки залежностей розширення від температури нагріву вальцювальних штампів в інтервалі 20 – 250<sup>0</sup> С (рис. 1) можна пояснити наступним. При температурі штампів 20<sup>0</sup> С і ступенях деформації 30, 40, 50 %, контактна площа зіткнення металу із вальцювальними штампами невелика, враховуючи плющення круглої заготовки  $\varnothing 14$  мм. При цьому осьові стискуючі напруження направлені уздовж центру деформації незначні в порівнянні із стискуючими напруженнями що діють в поперечному напрямку, тому спостерігається зростання розширення. Зниження розширення із збільшенням температури нагріву вальцювальних штампів відбувається за

рахунок підвищення пластичності оброблюваного металу і протікання процесів, які зменшують його зміцнення.

У інтервалі температур нагріву вальцювальних штампів 250 – 350<sup>0</sup> С при постійному ступені деформації, розширення практично не змінюється, а зміну ступені деформації збільшують абсолютні значення розширення на 15, 26, 37 % щодо початкового поперечного перерізу заготовок що деформуються, відповідно, із ступенями деформації 30, 40 і 50%. Це відбувається в наслідок досягнення рівності осьового стискуючого напруження направлено уздовж і поперек центру деформації, а також рівності зміцнених об'ємів в цих напрямках.

З підвищенням температури нагріву вальцювальних штампів до 450<sup>0</sup> С і вальцювання заготовок із ступенями деформації 30, 40 і 50 %, значення розширення щодо початкового поперечного перерізу заготовки зменшуються і складають 12,2, 23,6, 33 % відповідно. Зниження розширення відбувається за рахунок збільшення осьового стискуючого напруження направлено уздовж центра деформації, повнішого протікання процесів, які зменшують зміцнення металів, відсутності зон утрудненої деформації.

Проведений аналіз зміни розширення показав, що із збільшенням температури нагріву вальцювальних штампів, значення розширення зменшуються. Так, значення розширення набуті при температурі нагріву вальцювальних штампів до  $t_b = 250$  і  $450^{\circ}$  С при деформації  $\epsilon = 30\%$  зменшуються по відношенню до розширення отриманому при вальцюванні заготовок у вальцювальних штампах, що мають температуру 20<sup>0</sup> С відповідно на 37 і 67, 2%. Зменшення розширення при  $t_b = 450^{\circ}$  С відносно  $t_b = 250^{\circ}$  С складає 22%.

Аналогічно проведений аналіз зміни значень розширення при вальцюванні заготовок при ступені деформації 40, 50 % і

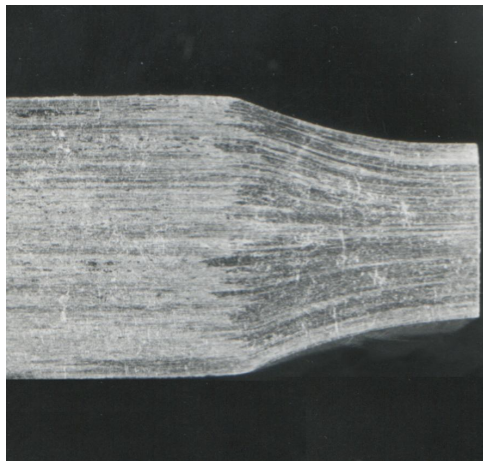


інших рівних умовах показав, що розширення зменшується на 15, 4 і 27, 3 % ( $\epsilon = 40\%$ ), 13 і 26, 45, 50 %. Зменшення розширення при  $t_b = 450^\circ\text{C}$  відносно  $t_b = 250^\circ\text{C}$  складає 10,3 % ( $\epsilon = 40\%$ ), 11,8 % ( $\epsilon = 50\%$ ).

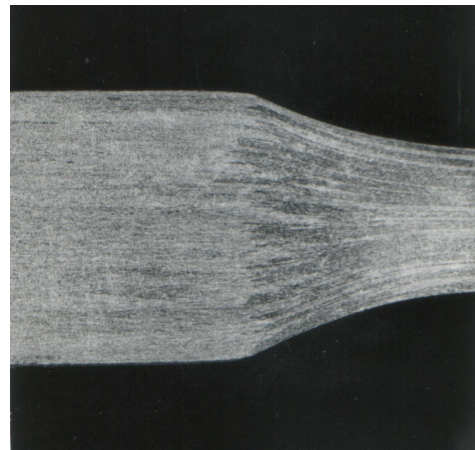
З аналізу рис. 1 видно, що зміна ступені деформації від 30 до 50 % збільшує значення розширення, не змінюючи характеру залежностей їх від температури нагріву вальцювальних штамтів. Вище було відмічено, що із збільшенням ступені деформації об'єм

металу по ширині і розширення, за інших рівних умов, зростають.

На рис. 2 представлена макроструктура подовжного перерізу вальцюваних заготовок із сплаву АК6 в гладких вальцювальних штамтах за один прохід при температурі заготовок і вальцювальних штамтів  $470^\circ\text{C}$ , ступенях деформації 40 і 50 %. Проведені всесторонні дослідження ( - макро, - мікро, механічні властивості) якості вальцюваних заготовок, в ізотермічних умовах, відповідали технічним вимогам.



а



б

**Рис. 2. Макроструктура подовжніх перерізів вальцюваних заготовок в гладких валках. Сплав АК6,  $\varnothing 14 \times 150$  мм., температура заготовок і вальцювальних штамтів  $470^\circ\text{C}$ : а – ступінь деформації 40 %; б – ступінь деформації 50 %**

З аналізу табл. 2 і рис. 3 видно, що відносний тиск металу на валках зменшується з підвищенням

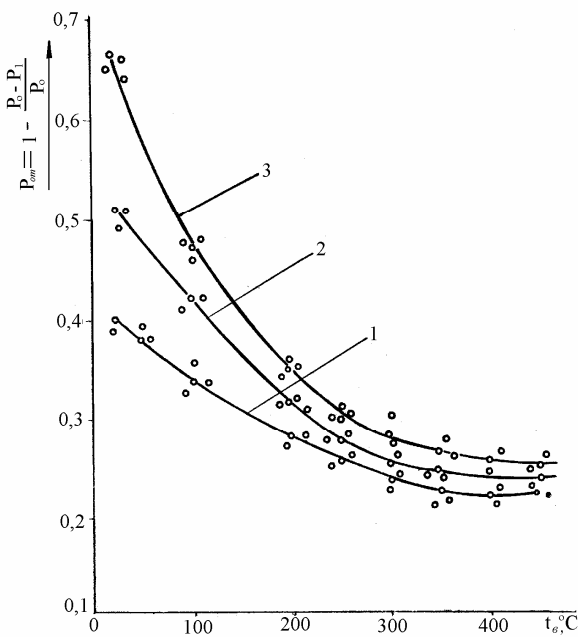
$$P_{om} = 1 - \frac{P_0 - P_1}{P_0}$$

температури нагріву вальцювальних штамтів і найінтенсивніше із збільшенням ступені деформації.

**Таблиця 2**

**Значення відносного тиску  $P_{om}$  залежно від температури нагріву вальцювальних штамтів  $t_b$  і ступені деформації  $\epsilon$**

№ п/п	$\epsilon = 30\%$		$\epsilon = 40\%$		$\epsilon = 50\%$	
	$t_b, ^\circ\text{C}$	$P_{om}$	$t_b, ^\circ\text{C}$	$P_{om}$	$t_b, ^\circ\text{C}$	$P_{om}$
1	20	0,4	20	0,5083	20	0,6664
2	250	0,2498	250	0,2747	250	0,3
3	300	0,2365	300	0,2498	300	0,2664
4	350	0,2232	350	0,2415	350	0,2581
5	400	0,2166	400	0,2365	400	0,2548
6	450	0,2133	450	0,2365	450	0,2548



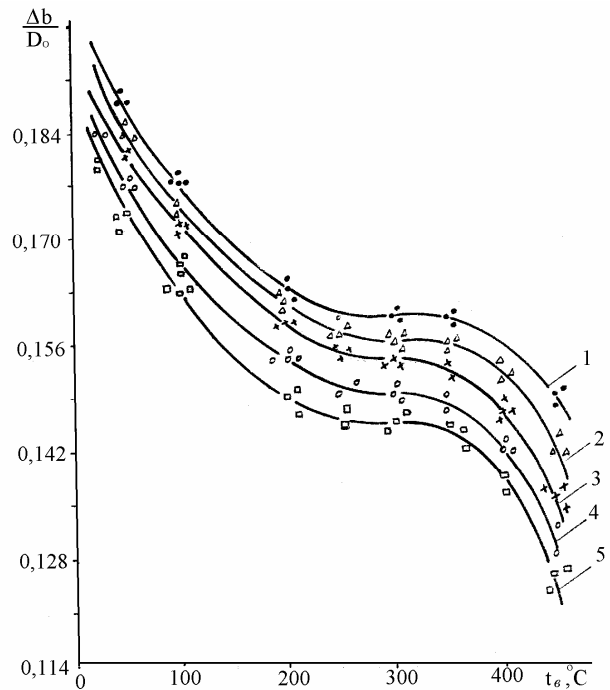
**Рис. 3. Залежність відносного тиску металу на валках від температури нагріву вальцювальних штампів і ступені деформації: 1 – 30%; 2 – 40%; 3 – 50%**

Так, з підвищенням температури нагріву вальцювальних штампів до 250, 350 і 450° С, тиск на валках зменшується в порівнянні із значеннями тиску при деформації заготовок у вальцювальних штампях, що мають температуру 20° С і ступені деформації 30, 40, 50 % відповідно на : 250° С – 62,45 %, 54 %, 45 %; 350° С – 55,8 %, 47,5 %, 38,73 %; 450° С – 53,3%, 46,5 %, 38,2 %.

У інтервалі температур нагріву вальцювальних штампів 300 – 450° С тиск металу на валки при різній ступені деформації змінюється трохи, а при досягненні вальцювальними штампями температури заготовки 450° С і збільшенні ступені деформації майже стабілізується (рис. 3).

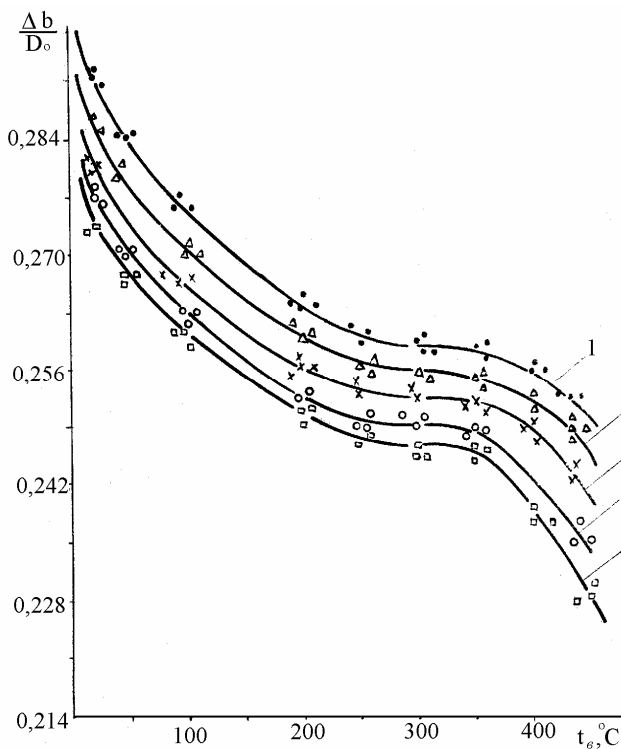
Аналіз експериментальних даних представлених на рис. 3 показує, що при вальцюванні заготовок на кувальних вальцях, в ізотермічних умовах, тиск металу на валки зменшується із зростанням температури нагріву вальцювальних штампів найінтенсивніше в інтервалі температур 20 – 350° С. Подальший нагрів вальцювальних штампів не призводить до істотного зниження тиску і є недоцільним, оскільки веде до додаткової витрати енергії. Окрім цього спостерігається поява окалини на поверхні вальцювальних штампів.

В іншій серії експериментів, заготовки з вище названих сплавів що мають розмір  $\varnothing 14 \times 150$  мм., нагріті в камерній печі електроопору до температур 300, 350, 400, 450, 470  $^{+10}$  °С вальцювали в гладких вальцювальних штампях, які нагрівали послідовно до температур 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 470 °С. Вальцювання проводилося із ступенями деформації 30 і 40 %. Результати експериментальних даних представлені на рис. 4, 5.



**Рис. 4. Залежність розширення від температури нагріву заготовок і вальцювальних штампів при ступені деформації 30% (температура нагріву заготовок: 1 – 300°С; 2 – 350°С; 3 – 400°С; 4 – 450°С; 5 – 470°С;)**

Аналіз експериментальних даних представлених на рис. 4, 5 показує, що із збільшенням температури нагріву заготовок і вальцювальних штампів розширення зменшується у зв'язку з протіканням процесів, які зменшують міцність металів. Окрім цього, необхідно відзначити, що в інтервалі температур нагріву вальцюваних штампів 250 – 350° С, розширення при постійному ступені деформації (аналогічно представленому на рис. 1) практично не змінюється, а зміна ступені деформації веде до збільшення абсолютних його значень (рис. 4, 5).



**Рис. 5. Залежність розширення від температури нагріву заготовок і вальцювальних штампів при ступені деформації 40% (температура нагріву заготовок: 1 – 300°C; 2 – 350°C; 3 – 400°C; 4 – 450°C; 5 – 470°C;)**

### Висновки

1. Аналізуючи переваги ізотермічного деформування, порівняно з деформуванням металу в звичайних умовах, проведені експериментальні дослідження технологічних параметрів (розширення, тиску) процесу вальцювання заготовок з алюмінієвих сплавів, в ізотермічних умовах.

2. Визначені залежності розширення, тиск металу на валки від ступені деформації, температур нагріву вальцювальних штампів і заготовки при вальцюванні в гладких валках.

3. Аналіз експериментальних даних показує, що вальцювання заготовок в ізотермічних умовах знижує тиск металу на валки в два і більше рази. Це є підтвердженням поліпшення пластичності металу при його деформування в ізотермічних умовах.

4. Встановлено, що в інтервалі температур нагріву вальцювальних штампів 250 – 350 °С розширення, тиск металу на валки при вальцюванні заготовок з алюмінієвих сплавів практично не змінюється. Це пояснюється відсутністю зміцнення металу за даних умов деформування.

5. Вальцювання заготовок з алюмінієвих сплавів, в ізотермічних умовах, рекомендується проводити в штампах нагрітих до температур 250 – 350 °С, при яких значення величин розширення постійні, а тиск металу на валки мінімальний.

### Література

1. Скрябин С.А., Музичук В.І., Швець Л.В. Дослідження пластичності алюмінієвих сплавів в процесі вальцювання заготовок в умовах наближених до ізотермічних // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007, № 5. – С. 102–107.
2. Скрябин С.А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием. – К.: КВІЦ, 2004. – 346 с.
3. Скрябин С.А., Полохов В.Н., Скрябин К.С. Применение процесса вальцовки и подготовительных ручьев при изготовлении горячим деформированием штампovaných поковок из алюминиевых сплавов, имеющих вытянутую ось с отростками // Технологические системы. – 2004. – № 3. – С. 29–32.
4. Скрябин С.А. Исследование термомеханических параметров вальцовки заготовок в изотермических условиях // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 1998. – № 33. – С. 311 – 317.