

МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

УДК 621.7.016.2

С. О. Скрябін, д. т. н.;

В. І. Музичук, к. т. н.;

Л. В. Швець

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАСТИЧНОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ В ПРОЦЕСІ ВАЛЬЦЮВАННЯ ЗАГОТОВОК В УМОВАХ, НАБЛИЖЕНИХ ДО ІЗОТЕРМІЧНИХ

Показані переваги ізотермічного деформування у порівнянні з деформуванням металу в звичайних умовах, проведені експериментальні дослідження технологічних параметрів (розширення, тиск на валки) процесу вальцювання заготовок з алюмінієвих сплавів в умовах, наближених до ізотермічних.

Вступ

Актуальність розробки і впровадження маловідходних технологічних процесів штампування поковок з алюмінієвих сплавів на підприємствах авіаційної промисловості обумовлена широким застосуванням у виробі галузі цих сплавів, підвищеною витратою металу (КІМ 0,15...0,3), високою трудомісткістю, тривалим циклом виготовлення якісних штампованих поковок (як правило, 2—3 штампування із проміжними операціями нагріву, обрізання облоя, травлення, зачистки) і завданнями з удосконалення металозбережних технологій [1—5]. Вальцювання заготовок в умовах, наближених до ізотермічних, дасть можливість максимально використовувати ефект надпластичності, оскільки деформування нагрітих заготовок буде проводитися інструментом нагрітим до температур деформування (або близьких до них). Така схема дозволить зменшити зусилля деформування за рахунок підвищення пластичності оброблюваного металу, яке відбувається завдяки повному протіканню процесів, що зменшують зміцнення металу. Рівномірна деформація заготовки, за відсутності зон ускладненого деформування і локального перегріву, забезпечує якісну структуру металу, і як наслідок, зменшує розкид властивостей в об'ємі заготовки.

Дана робота виконувалася відповідно до «Державної комплексної програми розвитку авіаційної промисловості України до 2010 року», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 12.12.2001 р. № 1665-25, п. 6.1.3. «Нові технології та матеріали, стандартизація, системи якості, нормативне забезпечення, виробництво та ремонт авіаційної техніки».

На даний момент опубліковано дуже мало робіт з дослідження можливостей вальцювання заготовок в ізотермічних умовах і близьких до них. Тому, проведення досліджень щодо впливу температури, швидкості деформування, ступеня деформації на технологічні параметри вальцювання заготовок в умовах, наближених до ізотермічних, є актуальною задачею, вирішення якої забезпечить поліпшення пластичності і зниження зусиль деформування, підвищення якості напівфабрикатів.

Основна частина

В роботі отримали подальший розвиток дослідження, проведені С. О. Скрябіним і опубліковані в роботі [6]. Подальший розвиток полягає в проведенні додаткових експериментальних досліджень щодо впливу ступеня деформації, температур нагріву заготовок і вальцювальних штампів, дослідження макроструктури вальцюваних заготовок, а також використання для проведення експериментів, окрім сплаву АК6, сплавів АК4, АК4-1, АК8, АМг1, АМг2, АМг6, АМЦ.

Експерименти проводилися за методикою, описаною в роботі [6] на дослідній установці [2], показаній на рис. 1.

а б
Рис. 1. Установа для вальцювання в умовах ізотермічного деформування (а); фрагмент печі (б) [2]

Установа призначена для визначення оптимальних параметрів і термомеханічних характеристик при вальцюванні заготовок в умовах, наближених за температурним фактором до ізотермічних.

З метою забезпечення жорсткості валів і збереження постійної міжцентрової відстані в процесі деформування, установа виконана за типом двоопорних кувальних вальців. Для підтримки температури заготовки і нагріву робочого інструменту (вальцювальних штампів, безпосередньо

вставлених на валках) установа обладнана нагрівальним пристроєм, розташованим з тильного боку.

Щоб уникнути заклинювання від нагріву підшипникових вузлів робочих валів, корпуси зовнішніх пар виконані з отворами — каналами для забезпечення циркуляції проточної води. Привід установи дозволяє регулювати частоту обертання валів, що забезпечує зняття характеристик у різних швидкісних режимах.

Основні технічні характеристики установи такі:

Номінальне зусилля, кН	20
Міжосьова відстань валів, мм	160
Діапазон частоти обертання валів, об/хв	12...60
Діаметр початкової заготовки, мм	30
Розміри посадочного місця, мм:	
діаметр	80;
довжина	135
Потужність приводу, кВт	10
Температура нагріву деформувального інструмента °С	до 500
Тип нагрівального пристрою	Електроопір
Напруга, В	220
Потужність нагрівача, кВт	4
Діаметр дроту (ніхром), мм	0,6

Установа для вальцювання заготовок в умовах, наближених до ізотермічних (рис. 1а), складається із зварного корпусу 3, що включає основу і два вертикальних стояки. Стояки мають пази для установа чотирьох корпусів підшипників ковзання, які кріпляться планками 4. У підшипниках, як в опорах, обертаються верхній 6 і нижній приводний 11 валки. Останній через шліцьове з'єднання 1 муфти 2 сполучений із приводом, а через зубчасту передачу (з відношенням 1:1) із верхнім валом, що забезпечує їх синхронне обертання. Міжосьова відстань валів регулюється в межах до 2,0 мм за допомогою калібрувальних прокладок. На валках між нерухомою 5 і рухомою 7 шайбами закріплені вальцювальні штампи 13. Для введення заготовки в робочу зону вальцювальних штампів строго по осі рівчака і її кантування на 90° при переходах від рівчака до рівчака в передній частині установа забезпечена проводкою 12, а з тильного боку корпусу установи закріплений нагрівальний пристрій 8. Нагрівання корпусів підшипників запобігають азбестоцементні плити 9. Штуцери 10 служать для подачі і зливу охолоджувальної проточної води. Контроль, регулювання і реєстрацію температури нагрівання заготовки і вальцювальних штампів забезпечує самописний прилад КСП-4.

У даній роботі описані експериментальні дослідження технологічних параметрів вальцювання (розширення, Δb — переміщення металу в поперечному напрямку, які викликає в бічних кромках вальцюваної заготовки значні напруження розтягу і знижують загальну витяжку, опір деформації) заготовок із вищезазначених алюмінієвих сплавів в гладких валках і в умовах, наближених за температурним чинником до ізотермічних.

Для визначення впливу ступеня деформації, температури нагріву вальцювальних штампів на розширення і опір деформації, заготовки із вищеназаних сплавів з розмірами $\varnothing 14 \times 150$ мм нагріті до температури 450°C [7] 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°C . Температуру заміряли хромель-алюмелевою термопарою і регулювали за допомогою самописного приладу КСП. У експериментальних дослідженнях використані методи тензометрування, оптичної і електронної мікроскопії, рентгенівського мікроаналізу, математичної статистики.

Аналіз експериментальних даних, поданих в табл. 1 і на рис. 2, показує, що розширення щодо початкового поперечного перерізу заготовки при вальцюванні у вальцювальних штампах, які мають температуру 20°C і ступінь деформації 30, 40 і 50 % збільшується відповідно на 20, 30 і 42 %. Пояснюється це тим, що із збільшенням ступеня деформації об'єм металу по ширині, і розширення за інших рівних умов зростають.

Таблиця 1

Значення розширення Δb щодо початкового поперечного перерізу заготовки залежно від ступеня деформації ϵ і температури нагріву вальцювальних штампів t_b

Розширення	Температура, t_b		
	20^0C	250^0C	450^0C
	$\epsilon = 30\%$		
	2,856	2,086	1,708
$\epsilon = 40\%$			
4,2	3,64	3,3	
$\epsilon = 50\%$			
5,88	5,2	4,65	

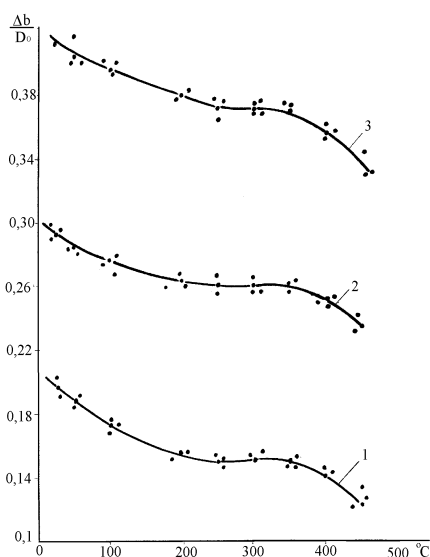


Рис. 2. Залежність розширення від ступеня деформації і температури нагріву вальцювальних штампів (ступінь деформації: 1—30 %; 2—40 %; 3—50 %)

Характер поведінки залежностей розширення від температури нагріву вальцювальних штампів в інтервалі $20...250^\circ\text{C}$ (рис. 2) можна пояснити таким: при температурі штампів 20°C і ступенях деформації 30, 40, 50 %, контактна площа зіткнення металу із вальцювальними штампами невелика, враховуючи площення круглої заготовки $\varnothing 14$ мм. При цьому осьові напруження стиску, направленні вздовж центру деформації, незначні, в порівнянні із напруженнями стиску, 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.

В інтервалі температур нагріву вальцювальних штампів $250...350^\circ\text{C}$ при постійному ступеня деформації, розширення практично не змінюється, а зміну ступеня деформації збільшують абсолютні значення розширення на 15, 26, 37 % щодо початкового поперечного перерізу zdeформованих заготовок, відповідно, із ступенями деформації 30, 40 і 50 %. Це відбувається в наслідок досягнення рівності осьового напруження стиску, направлено уздовж і поперек центру деформації, а також рівності зміщуваних об'ємів в цих напрямках.

З підвищенням температури нагріву вальцювальних штампів до 450°C 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 напруження стиску, направлено уздовж центра деформації, повнішого протікання процесів, які зменшують зміцнення металу, відсутності зон ускладненого деформування.

Проведений аналіз зміни розширення показав, що зі збільшенням температури нагріву вальцю-

вальних штампів, значення розширення зменшуються. Так, значення розширення отримані при температурі нагріву вальцювальних штампів до $t_b = 250$ і 450 °С при деформації $\epsilon = 30\%$, шуються, у відношенні до розширення, отриманого при вальцюванні заготовок у вальцювальних штампах, з температурою 20 °С, відповідно, на 37 і $67,2\%$. Зменшення розширення при $t_b = 450$ °С відносно до $t_b = 250$ °С складає 22% .

Аналогічно проведено аналіз зміни значень розширення при вальцюванні заготовок із ступенем деформації $40, 50\%$ та інших рівних умов показав, що розширення зменшується на $15,4$ і $27,3\%$ ($\epsilon = 40\%$), 13 і $26,45, 50\%$. Зменшення розширення при $t_b = 450$ °С відносно до $t_b = 250$ °С складає $10,3\%$ ($\epsilon = 40\%$); $11,8\%$ ($\epsilon = 50\%$).

З рис. 2 випливає, що зміна ступеня деформації від 30 до 50% збільшує значення розширення, не змінюючи характер залежностей їх від температури нагріву вальцювальних штампів. Вище було зазначено, що зі збільшенням ступеня деформації об'єм металу по ширині і розширення, за інших рівних умов, зростають.

На рис. 3 показано макроструктуру поздовжнього перерізу вальцюваних заготовок зі сплаву АК6 в гладких вальцювальних штампах за один прохід при температурі заготовок і вальцювальних штампів 470 °С, ступенях деформації 40 і 50% . Проведені всебічні дослідження якості вальцюваних заготовок в умовах, наближених до ізотермічних, показали відповідність вимогам її технічним вимогам.

а б

Рис. 3. Макроструктура повздовжніх перерізів вальцюваних заготовок в гладких валках. Сплав АК6, $\varnothing 14 \times 150$ мм., температура заготовок і вальцювальних штампів 470 °С: а — ступінь деформації 40% ; б — ступінь деформації 50%

З аналізу табл. 2 і рис. 4 видно, що відносний тиск металу на валках $P_{от} = 1 - \frac{P_0 - P_1}{P_0}$ зменшується з підвищенням температури нагріву вальцювальних штампів і найінтенсивніше зі збільшенням ступеня деформації.

Таблиця 2

Значення відносного тиску $P_{от}$ залежно від температури нагріву вальцювальних штампів t_b і ступеня деформації ϵ

№ п/п	$\epsilon = 30\%$		$\epsilon = 40\%$		$\epsilon = 50\%$	
	$t_b, \text{°C}$	$P_{от}$	$t_b, \text{°C}$	$P_{от}$	$t_b, \text{°C}$	$P_{от}$
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

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 штампах, що мають температуру 20 °С і ступенів деформації $30\%, 40\%, 50\%$ відповідно на: 250 °С — $62,45\%, 54\%, 45\%$; 350 °С — $55,8\%, 47,5\%, 38,73\%$; 450 °С — $53,3\%, 46,5\%, 38,2\%$.

В інтервалі температур нагріву вальцювальних штампів $300...450$ °С тиск металу на валки зі зміною ступеня деформації змінюється несуттєво, а з досягненням вальцювальними штампами температури заготовки 450 °С і збільшенням ступеня деформації — майже стабілізується (рис. 4).

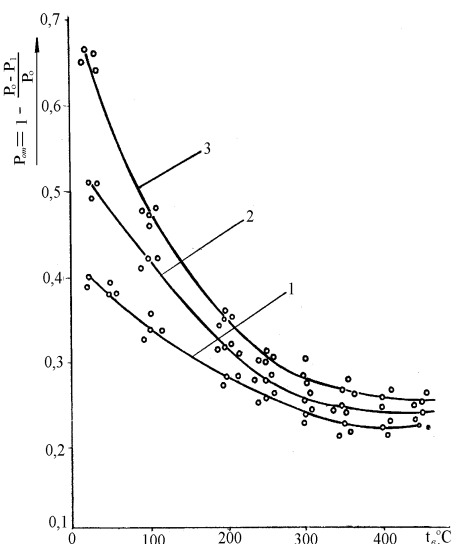


Рис. 4. Залежність відносного тиску металу на валках від температури нагріву вальцювальних штампів і ступеня деформації: 1 — 30 %; 2 — 40 %; 3 — 50 %

З аналізу експериментальних даних поданих на рис. 4 випливає, що при вальцюванні заготовок на кувальних вальцях в умовах, наближених до ізотермічних, тиск металу на валки зменшується зі зростанням температури нагріву вальцювальних штампів найінтенсивніше в інтервалі температур 20...350 °С. Подальше нагрівання вальцювальних штампів не призводить до істотного зниження тиску і є недоцільним, оскільки спричиняє додаткову витрату енергії. Окрім цього, спостерігається поява окалини на поверхні вальцювальних штампів.

В іншій серії експериментів, заготовки з вищезазначених сплавів розміром $\varnothing 14 \times 150$ мм, нагріті в камерній електропечі до температур 300, 350, 400, 450, 470 °С вальцювали в гладких вальцювальних штампах, які нагрівали послідовно до температур 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 470 °С. Вальцювання проводилося зі ступенями деформації 30 і 40 %. Результати експериментальних даних показані на рис. 5, 6.

Аналіз експериментальних даних (рис. 5, 6) показує, що зі збільшенням температури нагріву заготовок і вальцювальних штампів розширення зменшується

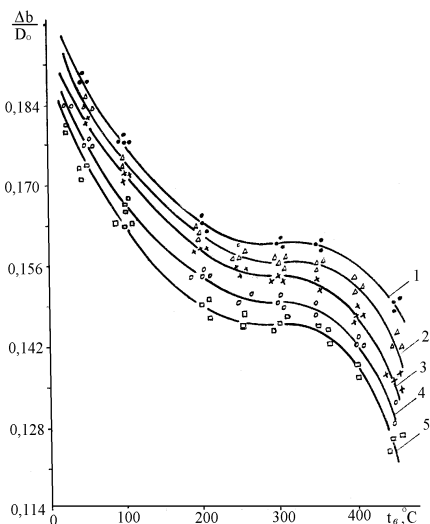


Рис. 5. Залежність розширення від температури нагріву заготовок і вальцювальних штампів для ступеня деформації 30 % (температура нагріву заготовок: 1 — 300 °С; 2 — 350 °С; 3 — 400 °С; 4 — 450 °С; 5 — 470 °С)

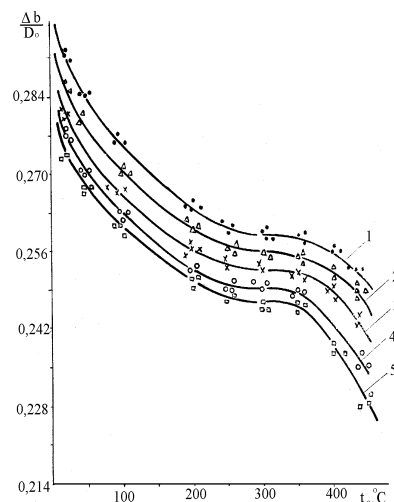


Рис. 6. Залежність розширення від температури нагріву заготовок і вальцювальних штампів для ступеня деформації 40 % (температура нагріву заготовок: 1 — 300 °С; 2 — 350 °С; 3 — 400 °С; 4 — 450 °С; 5 — 470 °С)

через наявність процесів, які зменшують зміцнення металів. Окрім цього, необхідно зазначити, що в інтервалі температур нагріву вальцювальних штампів 250...350 °С, розширення при постійному ступені деформації (аналогічно поданому на рис. 2) практично не змінюється, а зміна ступеня деформації веде до збільшення абсолютних його значень.

Висновки

1. Для аналізу переваг ізотермічного деформування, у порівнянні з деформуванням металу в звичайних умовах, проведено експериментальні дослідження технологічних параметрів (розширення, тиску) процесу вальцювання заготовок з алюмінієвих сплавів в умовах, наближених до ізотермічних.

2. Визначено залежності розширення, тиск металу на валки від ступеня деформації, температур нагріву вальцювальних штампів і заготовки в процесі вальцювання в гладких валках.

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

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

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

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Скрябин С. А., Полохов В. Н., Скрябин К. С. Применение процесса вальцовки и подготовительных ручьев при изготовлении горячим деформированием штампованных поковок из алюминиевых сплавов с вытянутой осью и закрытыми сечениями // Технологические системы. — 2003. — № 4. — С. 32—37.
2. Скрябин С. А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием. — К.: КВЦ, 2004. — 346 с.
3. Скрябин С. А., Полохов В. Н., Скрябин К. С. Применение процесса вальцовки и подготовительных ручьев при изготовлении горячим деформированием штампованных поковок из алюминиевых сплавов, имеющих вытянутую ось с отрезками // Технологические системы — 2004. — № 3. — С. 29—32.
4. Скрябин С. А., Полохов В. Н., Барабой Н. Н., Скрябин К. С. Штамповка поковок из алюминиевых сплавов с вытянутой осью, тонким полотном, закрытыми сечениями и глубокой полостью // Технологические системы. — 2006. — № 1. — С. 30—35.
5. Скрябин С. А., Барабой Н. Н. Исследование пластичности титанового сплава ВТЗ-1 при деформировании в калибрах различных систем // Технологические системы. — 2006. — № 2. — С. 45—49.
6. 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.
7. ПИ 1.2. 085-78. Ковка и штамповка деформируемых алюминиевых сплавов. — М.: ВИАМ, 1978.

Рекомендована кафедрою опору матеріалів та прикладної механіки

Надійшла до редакції 12.04.07
Рекомендована до друку 18.04.07

Скрябін Семен Олександрович — директор науково-виробничого центру «Ухналь», м. Київ;
Музичук Василь Іванович — старший викладач кафедри тракторів, автомобілів і технічного сервісу машин;
Швець Людмила Василівна — асистент кафедри експлуатації машинотракторного парку і ремонту машин.

Вінницький державний аграрний університет