

УДК 621.73

С. О. Скрябін, д-р техн. наук, проф.;

І. В. Гунько, канд. техн. наук, доц.;

І. А. Бубновська

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУР У ЗОНІ КОНТАКТУ ВАЛЬЦЬОВАНИХ ЗАГОТОВОК

З метою поліпшення пластичності металу при гарячому деформуванні в процесі вальцювання здійснюється нагрівання заготовок до потрібної температури. Описано: процес нагрівання та вимоги до нагрівання заготовок із алюмінієвих сплавів; механізм поширення тепла з поверхні усередину заготовки; наведено допустимі температури нагрівання заготовок із алюмінієвих сплавів; рекомендована ступінь деформації; недоліки внаслідок неправильного нагрівання заготовок (недогрів, перегрів, перепал, термічні тріщини). Наведено емпіричні формули, які визначають значення температури в зоні контакту та розподіл температур поперек і вздовж осередку деформації на поверхні вальцьованих заготовок.

Вступ

У номенклатурі штампованих поковок значний обсяг займають поковки з витягнутою віссю й змінним перерізом уздовж осі (важелі, куліси, качалки та ін.). Відомі технологічні процеси виготовлення штампованих поковок із алюмінієвих сплавів з витягнутою віссю, з не підготовлених заготовок, характеризуються низькою продуктивністю, високою трудомісткістю й підвищеною витратою металу. Ця робота є продовженням теоретичних і експериментальних досліджень, описаних у роботі [1] у відповідності до «Державної комплексної програми розвитку авіаційної промисловості України до 2010 року», яка затверджена 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».

Актуальність розробки та впровадження маловідходних технологічних процесів штампування поковок із алюмінієвих сплавів на підприємствах машинобудування, особливо в авіаційній промисловості, зумовлена значним застосуванням у виробі різних галузей цих сплавів, підвищеною витратою металу (КВМ 0,15...0,3), високою трудомісткістю, тривалим циклом виготовлення якісних штампованих поковок (як правило, 2—3 штампування із проміжними операціями — нагрівання, обрізки, облоя, травлення, зачищення) і завданнями по вдосконаленню металозбережних технологій. Широке використання алюмінієвих сплавів зумовлено їх технічними, фізичними та механічними властивостями [1, 2].

Аналіз поля температур у зоні контакту вальцьованих заготовок

Для поліпшення пластичності металу при гарячому деформуванні здійснюють нагрівання заготовок до необхідної температури. При цьому має забезпечуватися мінімальний хімічний вплив атмосфери нагрівального обладнання на поверхню металу (окислювання, насичення воднем і ін.), завершення структурних перетворень, мінімальний ріст зерна й зберігання цілісності металу (відсутність можливості появи внутрішніх тріщин і інших вад). Ці вимоги виконуються якщо дотримуються режими нагрівання сплаву, що деформується. Вони визначаються температурою робочого простору нагрівального обладнання, часом витримки, швидкістю нагрівання, а також проміжними витримками при тій або іншій температурі та часі витримки з остаточною температурою нагрівання [1].

У процесі нагрівання поверхня заготовки отримує теплоту шляхом теплопередачі конвекцією від нагрітої атмосфери камери електричної печі або продуктів горіння в полум'яних печах, а також від випромінювання розпечених стінок і склепіння печі, нагрівальних елементів і ін. Чим більше різниця між температурою робочого простору печі й заготовки (температурний напір), тим більше теплоти буде надходити за інших рівних умов на поверхню заготовки. Кількість теплоти, яку сприймає метал, залежить від коефіцієнта поглинання тепла поверхнею заготовки. Чим нижче цей коефіцієнт, тим менше теплоти поглинає поверхня заготовки.

Поширення тепла всередину заготовки з поверхні здійснюється шляхом теплопровідності, а те-

температура заготовки підвищується тим інтенсивніше, чим менше теплоємність і густина металу. Спільний вплив теплопровідності, теплоємності й густини металу відображає температуропровідність.

Метал нагрівається тим інтенсивніше, чим більший температурний напір і температуропровідність. В свою чергу, чим вищий температурний напір, тим більше різниця температур по перерізу заготовки в процесі нагрівання (температурний градієнт). Різниця температур зростає, якщо зменшується температуропровідність металу та збільшується переріз заготовки. Це приводить до можливої появи в металі, що нагрівається, термічних напруг. Вони особливо помітні в сплавах, в яких у зоні нагрівання виникають фазові перетворення, пов'язані з об'ємними змінами. При значній величині термічних напруг і малій пластичності сплаву може порушитися цілісність металу. Тому, нагрівання необхідно вести не з технічно можливою, а із допустимою швидкістю нагрівання при температурному напорі, що обслуговує температурний градієнт певної величини.

Витримка з кінцевою температурою нагрівання застосовується для рівномірного прогріву заготовки й приводить до завершення структурних перетворень, але зайва тривалість її може викликати ріст зерна й зниження пластичних властивостей. Підвищення швидкості нагрівання може привести до появи термічних напруг і нерівномірності прогріву по перерізу заготовки, а повільне нагрівання сприяє хімічному впливу атмосфери робочого простору нагрівального пристрою на поверхню металу, що нагрівається.

Швидкість нагрівання та його тривалість визначається необхідністю повного розчинення зміцнювальних фаз (CuAl₂; Mg₅Al₈ і т. п.) і забезпеченням гомогенного стану, при якому пластичність сплавів досягає максимального значення. При цьому небезпека виникнення термічних напруг відсутня.

Час нагрівання заготовок для деформації встановлюється залежно від діаметра або товщини заготовки з розрахунку: 0,8—1,0 хв. на кожний міліметр діаметра для заготовок діаметром до 100 мм; 0,6—0,8 хв. для заготовок більше 100 мм.

Температуру нагрівання заготовок у процесі обробки потрібно періодично контролювати контактною штиковою термопарою. Охолодження виробів після деформації проводиться на повітрі.

У табл. 1 наведена допустима температура нагрівання заготовок із алюмінієвих сплавів.

Таблиця 1

Допустима температура нагрівання заготовок, °С [3]

Марка сплаву	Допустима температура нагрівання, °С
АМЦ, АД31, АД35, АВ, АК6, АК4, АК4-1, АК4-1ч, Д20, Д21, 1201, 1230, 01205, АД33	500
Д19ч, ВАД1, Д16ч	480
Д1, Д1ч, АК8, ВД17,1913	490
АМг1, АМг2, АМг3	470
АМг4, АМг5, АМг5П, М40, 1915, АМг6	450
В92, В92Ц, В93пч, В95, В95пч, В96Ц, В96Цпч	460

Щоб уникнути грубозернистої структури внаслідок рекристалізації, рекомендується проводити кування й штампування алюмінієвих сплавів з деформацією не меншою 15—20 % за одне нагрівання.

Недотримання вимог до нагрівання заготовок приводить до порушення теплового режиму, в результаті чого заготовки мають недостатню температуру для їхньої деформації або її перевищення. До небажаних явищ, які виникають у результаті неправильного нагрівання заготовок, відносяться: недогрів, перегрів, перепал, термічні тріщини.

Недогрів металу можливий у таких випадках:

а) у разі недостатнього часу витримки заготовок у печі при заданій температурі (метал не встигає прогрітися по всьому перерізу й серцевина буде мати знижену, в порівнянні з поверхнею пластичність);

б) у разі заниженої температури нагрівання металу;

в) недогрів з якої-небудь однієї сторони (що є причиною неправильного укладання заготовок — на під печі) або зниження температури печі.

При штампуванні недогрітих або нерівномірно нагрітих по перерізу заготовок з'являються бі-

льші внутрішні напруження, які можуть призвести до утворення розривів, тріщин. Недогрів металу може призвести до того, що струмок штампа при наступному штампуванні заготовок, буде не повністю заповнений. Для того, щоб уникнути нерівномірності нагрівання й шкідливого впливу підсмоктуваного в піч повітря, заготовки розташовують на відстані 250—300 мм від завантажувального вікна печі, та, щоб уникнути замикань струму або ушкодження нагрівачів — приблизно на відстані 50—100 мм від нагрівачів у печах опору.

Перегрів виникає у разі незначного перевищення допустимої максимальної температури деформації металу, або якщо занадто велика витримка заготовок у печі. У результаті цього спостерігається інтенсивне зростання зерна в металі. Грубозерниста структура знижує механічні властивості. Перегрітий метал має низьку пластичність при деформуванні, і, як правило, викликає появу тріщин, а іноді може викликати руйнування заготовки.

Перепал виникає у разі нагріву металу до температури, близької до температури плавлення, супроводжується окислюванням границь зерен і втратою міцних зв'язків між зернами. Перепал є непоправним недоліком. У зв'язку із цим необхідно ретельно стежити за температурою печі й часом витримки в ній заготовок.

Термічні тріщини виникають у результаті занадто швидкого нагрівання металу, внаслідок чого з'являються термічні напруги, значення яких перевищують межу міцності сплаву.

Переходячи до визначення поля температур у зоні контакту, необхідно врахувати, що незалежно від виду обробки заготовки між поверхнею металу й інструментом (валком) при деформації завжди є прошарок, що складається з окислів металу, повітря, водяної пари тощо. Таким чином, має місце контактний теплообмін у системі трьох тіл: метал, що деформується, прошарок, валок (інструмент). Для рішення завдання по визначенню поля температур у зоні контакту, необхідно знати теплофізичні властивості металу, інструмента, прошарку, його товщини та ряду інших факторів. Дане завдання, як правило, вирішується з використанням експериментальних даних, отриманих для рівняння стану середовища, яке деформується.

Стан середовища в обробці металів тиском описується залежністю:

$$\sigma = \sigma(\varepsilon, v, t, T), \tag{1}$$

де ε — деформація, що враховує наклеп, час руйнування, вплив температури на опір деформації; v — швидкість деформації, з урахуванням в'язкості матеріалу, c^{-1} ; t — час деформації, c ; T — температура, $^{\circ}C$.

Залежність (1) недостатньо вивчена [4], тому вплив вказаних факторів необхідно врахувати на основі експериментальних даних.

На рис. 1 показаний графік залежності $\sigma_{0,2}$ від швидкості деформації і температури, побудований за результатами даних, які отримані на пластометрі УДИМ—1 під час розтягання коротких зразків № 47К зі сплаву АК6 [5].

Апроксимуючи залежність рис. 1 лінійною функцією $AT + B\sigma_{0,2} + Cv = 0$ методом найменших квадратів, отримуємо вираз, що визначає значення температури в зоні контакту:

$$T = 5,505v - 18,05\sigma_{0,2} + 250,9, \tag{2}$$

де $v = \frac{v_b}{h_0} \sqrt{\frac{\Delta h}{R_b}}$, v_b — колова швидкість валків, mm/c ; h_0 — початкова висота заготовки, mm ; Δh — абсолютне обтиснення, mm ; R_b — радіус валків, mm .

Нерівномірне обтиснення заготовки в осередку деформації та нерівномірний плин металу при вальцюванні в калібрах (рис. 2) супроводжується нерівномірним розподілом температури по поперечному і поздовжньому перерізах заготовки, що деформується. Він зумовлений геометричними співвідношеннями форми калібру та вальцьованої заготовки, контактною поверхнею між заготов-

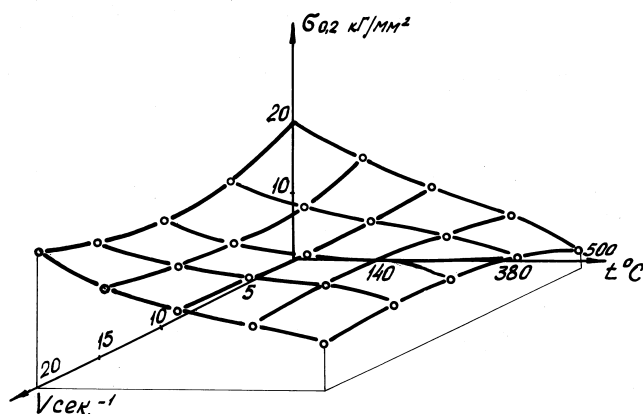


Рис. 1. Залежність границі текучості від швидкості деформації та температури при розтягнанні зразків зі сплаву АК6

кою й інструментом, опором деформації, тертям, температурою заготовки та температурою поверхні інструменту. Отримані в результаті аналітичних і експериментальних досліджень емпіричні формули, що визначають значення температури в зоні контакту, розподіл температур уперек та уздовж осередку деформації на поверхні вальцьованих заготовок наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Формули для визначення значень параметрів осередку деформації та розрахунку температурного поля в процесі вальцювання

Параметр, позначення, розрахункова формула	Значення параметрів осередку деформації та розрахунку температурного поля						
Кут контакту, град., $\alpha = \arccos\left(1 - \frac{2R_s - \Delta h}{2R_b}\right)$	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
Час вальцювання в перехідній зоні, $c, t = 10^{-3} \left(\frac{R_b \cdot \alpha}{v_b}\right)$	0,014 5	0,029	0,0435	0,058	0,0725	0,087	0,116
Радіус калібру, мм, R_k	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
Абсолютне обтиснення, мм, Δh	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Поточний кут обтиснення, рад. $\varphi_i = \frac{v_b \cdot t_i \left(1 - \frac{\Delta h}{2R_k}\right)}{R_b \alpha}$	0,0872	0,1744	0,2617	0,3489	0,4361	0,5233	0,6111
Кут захвату, рад. $\alpha_s = 2 \arcsin \sqrt{\frac{\Delta h}{2R_b}}$	61,05	61,05	—	—	—	—	—
Швидкість обтиснення, мм/с $v_{ob} = \frac{R_k \varphi}{R_b \alpha} v_{отр}$	75,2	75,2	75,2	75,2	75,2	75,2	75,2
Поточне значення температури в зоні контакту, °С $T = 5,505v - 18,05\sigma_T + 250,9$	271,3	442,4	446,3	446,3	446,3	450,0	450,0
Значення довжини дуги контакту R_{ki} у поперечному перерізі заготовки, на якій відбувається зміна температури: $R_{ki} = v t_i$, мм	1,0904	2,1808	3,2712	4,3616	5,452	7,6403	14,3
Поточне значення довжини осередку деформації, на якому відбувається зміна температури уздовж осередку деформації: $l_{d_i} = l_d - R_b \sin\left(\alpha - \frac{v_b t_i}{R_b}\right)$, мм	4,867	9,985	15,328	20,843	26,489	34,04	38,1

На рис. 2 показано загальний вигляд нерівномірного переміщення координатних сіток під час об'ємного деформування заготовок в овалному калібрі (перше наближення), що характеризує плин металу у разі вальцювання заготовок у осередку деформації [1].

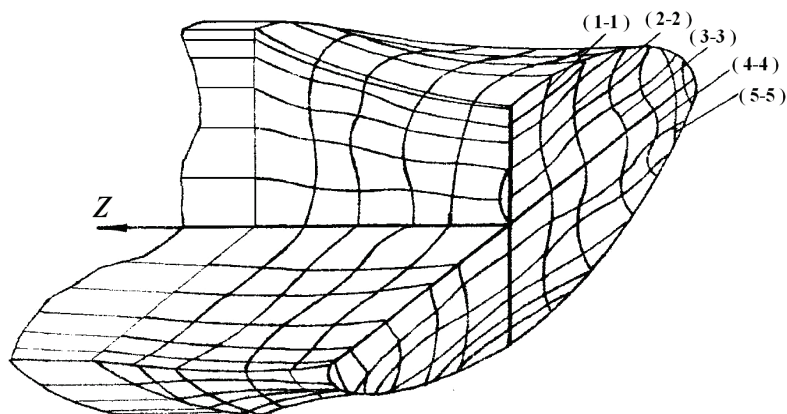


Рис. 2. Загальний вигляд переміщення координатних сіток в процесі вальцювання заготовок в овалному калібрі (перше наближення) з урахуванням розвитку деформації в часі: (1—1) — 0,029; (2—2) — 0,058; (3—3) — 0,087; (4—4) — 0,116; (5—5) — 0,145

Висновки

1. Описано вимоги до нагрівання заготовок із алюмінієвих сплавів. Відзначено, що невиконання вимог до нагрівання заготовок спричиняє недоліки у вигляді недогріву, перегріву, перепалу, термічних тріщин.
2. Описано механізм поширення тепла з поверхні в об'єм заготовки, рекомендовано допустимі температури нагрівання і допустимі деформації заготовок з алюмінієвих сплавів.
3. Наведено емпіричні формули, що були отримані в результаті аналітичних та експериментальних досліджень, які визначають значення температури в зоні контакту, розподіл температур поперек і уздовж осередку деформації на поверхні вальцьованих заготовок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Скрябин С. А. Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах / С. А. Скрябин. — Винница : вид-во «О. Власюк», 2007. — 284 с.
2. Скрябин С. А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием / С. А. Скрябин. — К. : Квіц, 2004. — 346 с.
3. Производственная инструкция по ковке и штамповке деформируемых алюминиевых сплавов: ПИ 1.2. 085 — 78 : утв. начальником ВИАМ Шалиным Р. Е. 28.04.78. Введ. 01.09.78. — М., 1978. — 17 с.
4. Сафаров Ю. С., К вопросу о выборе оптимальной геометрии инструмента при прессовании / Ю. С. Сафаров, В. И. Гаращенко // Кузнечно-штамповочное производство. — 1971. — № 2. — С. 8—11.
5. Атлас тройных диаграмм пластичности и сопротивления деформации алюминиевых сплавов / П. Г. Микляев, В. М. Дуденков, Г. Д. Лебедев. — М. : ВИЛС, 1975. — 180 с.

Надійшла до редакції 5.02.10
Рекомендована до друку 17.02.10

Скрябін Семен Олександрович — професор, **Гулько Ірина Василівна** — доцент.

Кафедра машин і обладнання сільськогосподарського виробництва

Бубновська Ірина Анатоліївна — асистент кафедри математики, інформатики й математичних методів в економіці.

Вінницький національний аграрний університет