



УДК 621.73

Скрябин С.А.¹, Швец Л.В.²

¹ ННЦ "Ухналь". Украина, Киев.

² Винницкий Государственный аграрный университет. Украина, Винница

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ВАЛЬЦОВКЕ ЗАГОТОВОК В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ, С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИИ ВО ВРЕМЕНИ

Анотація

У статті описаний метод дослідження течії металу у осередку деформації при вальцюванні заготовків об'ємним деформуванням, з урахуванням розвитку деформації в часі.

Abstract

Method of metal flow research up in deformation zone when rolling the storage for the three-dimensional warping, with accounting for deformation developments for a length of time, is described in article.

При разработке технологических процессов обработки металлов давлением возникают вопросы по определению усилий, затрат энергии, выбору оптимальных технологических параметров деформации, определению неравномерности деформации и др. Особое место в теории прокатки занимают вопросы перемещения металла в очаге деформации. Развитие вальцовки требует раскрытия закономерностей и физической сущности явлений, протекающих при деформировании металла в очаге деформации.

Работа выполнялась в соответствии с "Державною комплексною програмою розвитку

авіаційної промисловості України до 2010 року". 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 ремонту авіаційної техніки".

Актуальність розробки і впровадження малоотходних технологічних процесів штамповки поковок з алюмінієвих сплавів на підприємствах авіаційної промисловості, обумовлена значительним використанням в изделиях галузі цих сплавів і задачами по удосконаленню металосберегаючих технологій.

Дана робота є продовженням досліджень описаних в опублікованих джерелах [1–4]. За основу при теоретичному дослідженні процесу течія металу при об'ємному деформуванні заготовок в калібрах, був взят метод описаний в цих роботах. Задача по дослідженню течія металу в очагу деформації розв'язується поетапно: еластична задача як перше наближення до еластично-пластичної, еластично-пластична задача для малих пластичних деформацій. Характер течія металу в калібрах описан з допомогою методу кінцевих різниць і змінного параметра.

В якості прикладу характеризує течія металу в очагу деформації при вальцюванні заготовок в очагу деформації, з урахуванням розвитку деформації в часі, розглянемо вальцювання заготовок з розмірами $\varnothing 25 \times 150$ мм з алюмінієвого сплаву АК6 в овальному калібрі, який має розміри: висота 13 мм, ширина 29 мм, радіус калібру 20,5 мм, робочий радіус валків 66,5 мм, зазор між валками 1,0 мм. Температура вальцювання 450°C. Швидкість обертання валків 0,2 м/с.

Кут контакту вальцюваної заготовки з інструментом визначається по формулі

$$\alpha = \arccos \left(1 - \frac{2R_3 - \Delta h}{2R_p} \right) = \arccos (0,9022) = 0,4458, \quad (1)$$

де R_3 – радіус заготовки, мм; R_p – робочий радіус валків, мм; h – абсолютне обжаття, мм.

Часові проміжки деформування заготовки визначаються по формулі (2), табл. 1

$$t = 10^{-3} \left(\frac{R_p \cdot \alpha}{v_e} \right) = 10^{-3} \left(\frac{66,5 \cdot 0,4458}{0,2} \right) = 0,145, \quad (2)$$

де v – швидкість обертання валків, м/с.

Таблиця 1

Часові проміжки деформування заготовки

α_i	5°	10°	15°	20°	25°
t_i, c	0,029	0,058	0,087	0,1160	0,1450

Аналогічно знаходяться і інші проміжки деформацій в часі.

Значення кута контакту в поперечному сеченні очагу деформації визначаються по формулі (3), табл. 2

$$\varphi_i = \frac{v_e \cdot t_i \left(1 - \frac{\Delta h}{2R_k} \right)}{R_p \cdot \alpha}, \quad (3)$$

де R_k – радіус калібру, мм.

Таблиця 2

Значення кута контакту в поперечному сеченні очагу деформації

t_i, c	0,029	0,058	0,087	0,1160	0,1450
φ_i	0,1312	0,2624	0,3936	0,5248	0,6561

Довжини дуг поперечного сечення зони контакту для кожного значення поточного кута φ_i визначаються по формулі (4), табл. 3

$$l_{\varphi i} = R_p \varphi_i \quad (4)$$

Таблиця 3

Довжини дуг поперечного сечення зони контакту для кожного значення поточного кута φ

φ_i	0,1312	0,2624	0,3936	0,5248	0,6381
R_k	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
$l_{\varphi i}$	2,689	5,379	8,068	10,758	13,450

Коефіцієнти деформацій вздовж дуги контакту визначаються по формулам (5), табл. 4

$$K_x = \frac{b_{os}^{(i)}}{2R_3}; \quad K_y = \frac{h_{os}^{(i)}}{2R_3} \quad (5)$$

Таблиця 4

Коефіцієнти деформацій вздовж дуги контакту

t_i, c	0,29	0,085	0,087	0,1160	0,1450
$K_x^{(i)}$	1,048	1,092	1,140	1,188	1,240
$K_y^{(i)}$	0,876	0,7352	0,6320	0,5640	0,5400

Зміна ширини овального калібру в залежності від часу деформування визначається по формулі (6), табл. 5

$$b_{os} = \frac{(b_{os} + 2R_k)}{\alpha \cdot R_p} \cdot v_e \cdot t_i + 2R_3, \quad (6)$$

де b_3 – ширина овального калібру, мм; t_i – час деформування, с.

Таблиця 5

Ширина овального калібру в залежності від часу деформування

t_i, c	0,029	0,058	0,087	0,1160	0,145
$B_{os}^{(i)}$	26,2	27,3	28,4	29,7	31,0



Площадь контакта в каждый промежуток времени деформирования определяется по формуле (7), табл. 6.

$$F_k^{(i)} = R_x \frac{v_e \cdot t_i}{R_p} [(R_p + R_x) \frac{\varphi v_e \cdot t_i}{2R_p \cdot \alpha} - R_x \sin(\frac{\varphi v_e \cdot t_i}{2R_p \cdot \alpha})] \quad (7)$$

Таблица 6

Площадь контакта в каждый промежуток времени деформирования

t, c	0,029	0,058	0,087	0,116	0,145
F _k ⁽ⁱ⁾	16,7	66,9	157,8	268,9	431,5

Шаг в направлении координатных осей определяется по формулам в направлении оси ОХ (8), табл. 7

$$h_{\alpha_1}^{(i,j)} = R_3 K_x^{(i)} (\sin \beta_{i+1,j} - \sin \beta_{i,j}); \quad (8)$$

направлении ОУ (9), мм

$$h_{\alpha_2}^{(i,j)} = R_3 K_y^{(i)} (\cos \beta_{i,j+1} - \cos \beta_{i,j}) \quad (9)$$

Граничные условия на поверхности деформируемой заготовки вдоль дуги контакта определяются по формулам (10, 11), табл. 7

$$u_{i,j+1}^{(2)} = R_3 (1 - K_x^{(i)}) \sin \beta_{i,j+1}; \quad u_{i+1,j}^{(2)} = R_3 (1 - K_y^{(i)}) \sin \beta_{i+1,j} \quad (10)$$

Таблица 7

Шаг в направлениях координатных осей ОХ и ОУ

t, c	t = 0,029					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
h _{α1} ^(ij)	3,3902	3,1597	2,7130 1	2,0815	1,3086	0,4467
h _{α2} ^(ij)	0,3733	1,0939	1,7399	2,2677	2,6411	2,8338
t, c	t = 0,058					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
h _{α1} ^(ij)	3,5326	3,2923	2,8268	2,1703	1,3635	0,4654
h _{α2} ^(ij)	0,3133	0,9180	1,4424	1,9032	2,2166	2,3783
t, c	t = 0,087					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
h _{α1} ^(ij)	3,6879	3,4371	2,9511	2,2657	1,4235	0,4858
h _{α2} ^(ij)	0,2693	0,7891	1,2399	1,6360	1,9054	2,044
t, c	t = 0,116					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
h ₂₁ ^(ij)	3,8431	3,5818	3,0753	2,3611	1,4854	0,5063
h ₂₂ ^(ij)	0,2403	0,7042	1,1202	1,4600	1,7004	1,8245
t, c	t = 0,145					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
h ₂₁ ^(ij)	4,014	3,7386	3,2099	2,4645	1,5483	0,5284
h ₂₂ ^(ij)	0,2301	0,6733	1,0725	1,3978	1,6281	1,7469

$$v_{i,j+1}^{(2)} = R_3 (1 - K_y^{(i)}) \cos \beta_{i,j+1}; \quad v_{i+1,j}^{(2)} = R_3 (1 - K_x^{(i)}) \cos \beta_{i+1,j} \quad (11)$$

Таблица 8

Значения граничных условий на поверхности деформируемой заготовки вдоль дуги контакта l_{φ1}

t, c	t ₁ = 0,029					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
u _{ij+1}	0,0000	-0,1552	-0,3000	-0,4242	-0,5136	-0,5754
u _{i+1,j}	-0,1552	-0,3000	-1,4242	-0,5196	-0,5754	-0,6000
v _{ij+1} [®]	1,5500	1,4971	1,3423	1,0960	0,7750	0,4011
v _{i+1,j} [®]	1,4971	1,3423	1,0960	0,7750	0,4011	0,000
t, c	t ₂ = 0,058					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
u _{ij+1}	0,000	-2976	-05750	-0,8131	-0,9959	-1,1107
u _{i+1,j}	-0,2976	-0,575	-0,8131	-0,9959	-1,1107	-1,150
v _{ij+1} [®]	3,3100	3,1971	2,8664	2,3405	1,155	0,8566
v _{i+1,j} [®]	3,1971	2,8664	2,3405	1,155	0,8566	0,0000
t, c	t ₃ = 0,087					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
u _{ij+1}	0,000	-0,4528	-0,8750	-1,2374	-1,5155	-1,6903
u _{i+1,j}	-0,4528	-0,8750	-1,2374	-1,5155	-1,6903	-1,7500
v _{ij+1} [®]	4,4431	3,9836	3,2526	2,3000	1,19048	0,0000
v _{i+1,j} [®]	4,6000	4,4431	3,9836	3,2526	2,300	1,19048
t, c	t ₄ = 0,116					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
u _{ij+1}	0,000	-0,6081	-1,1750	-1,6616	-2,0351	-2,2698
u _{i+1,j}	-0,6081	-1,175	-1,6616	-2,0351	-2,2698	-2,3500
v _{ij+1} [®]	5,4500	5,2641	4,7197	3,8536	2,7260	1,4106
v _{i+1,j} [®]	5,2641	4,7197	3,8536	2,7260	1,4106	0,0000
t, c	t ₅ = 0,145					
i, j	(1;1)	(3;3)	(5;5)	(7;7)	(9;9)	(11;11)
u _{ij+1}	0,0000	-0,7764	-1,500	-2,1213	-2,5980	-2,8977
u _{i+1,j}	-0,7769	-1,500	-2,1213	-2,598	-2,8577	-3,0000
v _{ij+1} [®]	5,5539	4,9795	4,0658	2,8750	1,4881	0,0000
v _{i+1,j} [®]	5,7500	5,5539	4,9795	4,0658	2,8750	1,4881

Течение металла в очаге деформации при вальцовке заготовок объемным деформированием, с учетом скоростей перемещения узлов координатной сетки за определенный промежуток времени (рис. 1), сопоставимо с изменением "пластических волн" в очаге деформации во времени.

На рис. 1 представлен характер изменения "пластических волн" в очаге деформации при вальцовке заготовок в овальном калибре с размерами описанными выше (вид торца заготовки, первое приближение).

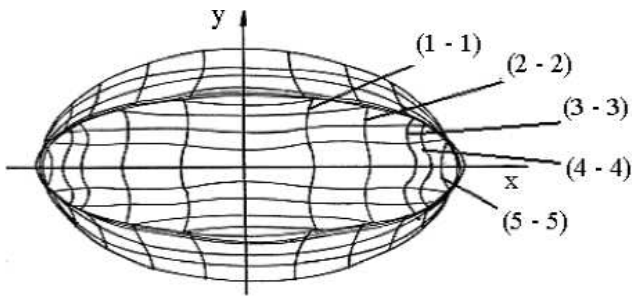


Рис. 1. Изменение "пластических волн" в очаге деформации с учетом развития деформации во времени:
(1 - 1) – 0,0145 с; (2 - 2) – 0, 0290 с;
(3 - 3) – 0, 0435 с; (4 - 4) – 0, 0580 с;
(5 - 5) – 0, 0725 с

На приведенном рисунке показан характер течения металла при вальцовке заготовок в очаге деформации в трехмерной постановке (объемное деформирование), выполненной по методу описанному в работах [2–4] и получившему дальнейшее развитие, заключающееся в учете развития деформации во времени.

Экспериментальная проверка достоверности результатов теоретических и экспериментальных исследований течения металла при вальцовке заготовок объемным деформированием в очаге деформации, с учетом развития деформации во времени подтвердила, что разработанный метод позволяет раскрыть картину перемещения металла как для установившегося (деформация при постоянном обжатии) так и неустановившегося (деформация с нарастающим или убывающим обжатием) процессов горячего деформирования, определить неравномерность деформации в зависимости от соотношения геометрических форм калибра и деформируемой заготовки, найти область возможной концентрации напряжений.

Максимальное расхождение теоретических и экспериментальных исследований при проверке предложенного метода составляет до 10% для третьего приближения, что подтверждает возможность применения этого метода для исследования течения металла в очаге деформации при вальцовке заготовок в калибрах произвольной формы, с учетом развития деформации во времени.

Выводы

1. В работе получили дальнейшее развитие теоретическое и экспериментальное исследования течения металла при вальцовке заготовок объемным деформированием в очаге деформации, с учетом развития деформации во времени.

2. Разработан метод исследования течения металла в очаге деформации при вальцовке заготовок объемным деформированием, с учетом развития деформации во времени. Максимальное расхождение теоретических и экспериментальных исследований при проверке предложенного метода составляет до 10% для третьего приближения, что подтверждает возможность применения этого метода для исследования течения металла в очаге деформации при вальцовке заготовок в калибрах произвольной формы, с учетом развития деформации во времени.

3. Экспериментальная проверка достоверности результатов теоретических и экспериментальных исследований течения металла при вальцовке (прокатке) заготовок при их объемном деформировании в очаге деформации, с учетом развития деформации во времени подтвердили, что разработанный метод позволяет раскрыть картину перемещения металла как для установившегося (деформация при постоянном обжатии) так и неустановившегося (деформация с нарастающим или убывающим обжатием) процессов горячего деформирования, определить неравномерность деформации в зависимости от соотношения геометрических форм калибра и деформируемой заготовки, найти область возможной концентрации напряжений.

Литература

1. *Скрябин С.А.* Исследование, разработка и внедрение процесса вальцовки заготовок из алюминиевых сплавов. – Дисс. канд. техн. наук: 05.16.05. – М., 1978. – 216 с.
2. *Скрябин С.А., Скрябин К.С.* Теоретическое решение объемной задачи по исследованию течения металла при деформации заготовок в калибрах // Вестник НТУУ "Киевский политехнический институт", 2003. – № 44. – С. 56–60.
3. *Скрябин С.О., Скрябин К.С.* Застосування методів скінченних різниць і змінного параметру для визначення плину металу під час об'ємного деформування заготовок у калібрах. – Вінниця: Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2004. – № 1. – С. 86–95.
4. *Скрябин С.А., Швець Л.В., Чайка С.Д.* Исследование течения металла в переходной и установившейся зонах при вальцовке заготовок в очаге деформации, с учетом развития деформации во времени // Технологические системы, 2006. – № 4. – С. 32–38.