

УДК 621.7.016.2–412:669.715

Скрябин С. А.
Чайка Д. С.**ВЛИЯНИЕ ВНЕКОНТАКТНЫХ ЗОН ВАЛЬЦУЕМЫХ ЗАГОТОВОК НА РАЗМЕРЫ ФАКТИЧЕСКОГО ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ**

Данная работа является продолжением экспериментальных исследований, описанных в работе [1, 2], и 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».

В работе [1] отмечается, что при «вальцовке заготовок в гладких валках или в калибрах наблюдается неполный охват периметра поперечного сечения заготовки и боковые участки поперечного сечения непосредственному обжатию не подвергаются, т. е. возникают внеконтактные зоны (ВЗ), которые в зависимости от их размера и формы значительно влияют на характер течения металла в очаге деформации. Если площади поперечного сечения внеконтактных участков небольшие, они получают при вальцовке такое же удлинение, как и обжимаемые участки заготовки, оказывая незначительное сопротивление вытяжке обжимаемым участкам. В этом случае они подвергаются сильному воздействию растягивающих напряжений, которые могут вызвать уменьшение (утяжку) размеров поперечного сечения ВЗ, что часто сопровождается нарушением их сплошности, особенно при пониженной пластичности деформируемого материала».

В работе [2] рассмотрен процесс вальцовки образцов из сплава АК6, у которых ширина внеконтактных зон прямоугольных, трапециевидных и треугольных форм с равными площадями сечений (рис. 1). Образцы были прокатаны в гладких валках диаметром 260 мм и частотой вращения 26 мин^{-1} при различных степенях деформации и температуре $450 \pm 10^\circ\text{C}$, коэффициент трения $\mu = 0,35$. Эксперименты и расчеты показали, что уширение при всех прочих равных условиях значительно выше уширения контактных участков, не имеющих ВЗ. Кроме этого, уширение образцов с ВЗ прямоугольного поперечного сечения меньше, чем уширение образцов с трапециевидным и треугольным сечениями. Также отмечается появление отрицательного уширения ВЗ, которое возрастает с увеличением степени деформации до 17 – 20 %, а затем постепенно уменьшается, переходя в положительное при деформациях выше 35 – 60 %.

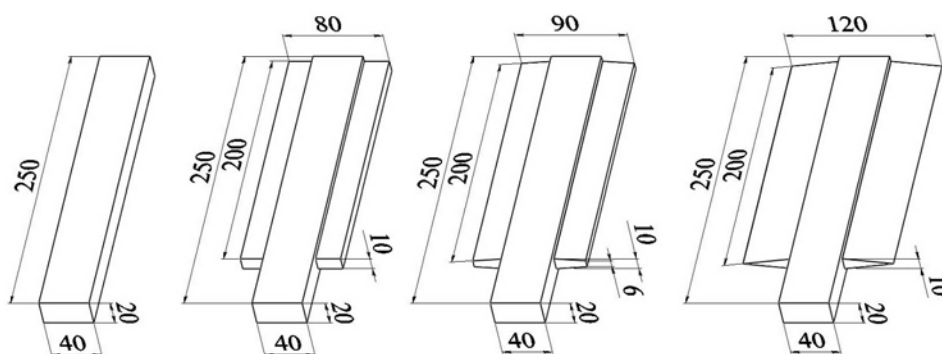


Рис. 1. Образцы для определения влияния ВЗ на продольную и поперечную деформацию при вальцовке [1]

Целью работы является исследование влияния внеконтактных зон вальцуемых заготовок на размеры фактического очага деформации.

Для полного рассмотрения зависимости параметров, определяющих качество вальцованных заготовок от ВЗ, необходимо рассмотреть влияние формы и размеров на геометрию

очага деформации (ОД) – участка с деформируемым объемом металла. Очаг деформации характеризуется геометрической и фактической зонами (очагами) деформации (рис. 2).

Геометрический ОД – участок деформируемого металла, заключенный между валками и сечениями входа металла в валки и выхода его из валков AA_1BB_1 и c (рис. 2, a_1, a_2). Геометрический ОД зависит от диаметра валков, ширины заготовки, толщины ее до и после вальцовки, контактной поверхности. Размер фактического ОД зависит не только от геометрических факторов, но и от условий вальцовки: скорости деформации, степени обжатия, коэффициента трения на контактной поверхности и др. Протяженность фактической зоны деформации в 1,2 – 1,7 раза больше геометрического ОД [3].

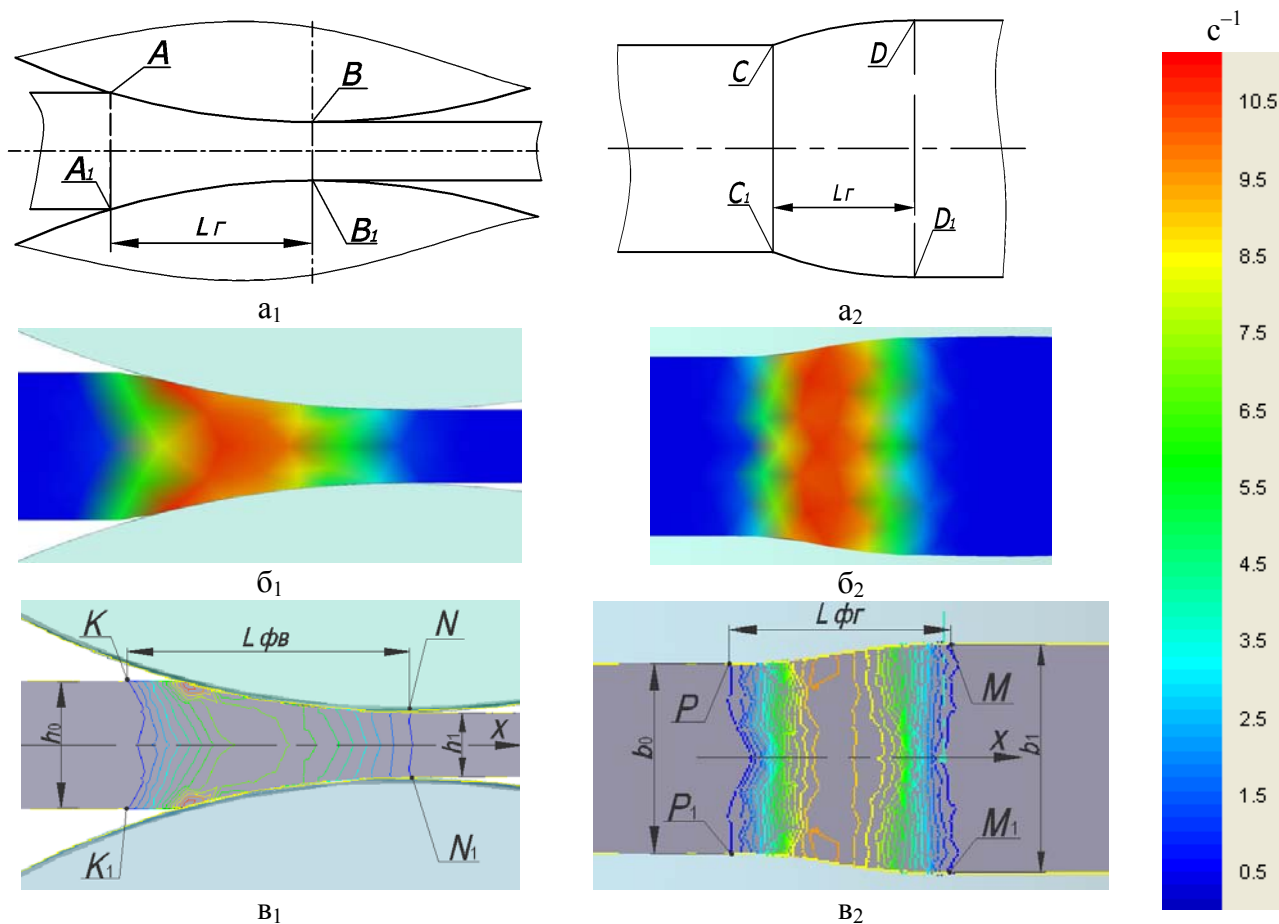


Рис. 2. Геометрический очаг деформации (а), поле скоростей деформаций (фактический очаг деформации) цветная заливка (б), изолинии (в):

1 – вертикальная плоскость; 2 – горизонтальная плоскость

Для определения расчетных размеров фактического ОД, в данной работе применялась программа «QForm» [2, 3]. Размеры фактического ОД определяются в зависимости от степени деформации по величине поля скоростей деформации (рис. 2, $б_1, б_2$). Для более четкого представления границ фактического ОД выберем тип отображения в виде изолиний (рис. 2, $в_1, в_2$). Изменение цвета изолиний от синего до красного означает рост скорости деформации от 0 до 11 с^{-1} . Для измерения фактической площади вертикального ОД ($F_{\text{фo,в}}$) берем сечение вертикальной плоскостью середины заготовки и сохраняем сначала в виде растрового изображения формата BMP. Полученное растровое изображение с помощью программы ScanPro переводим в векторное изображение формата DXF, которое читается AutoCad. В AutoCad определяем площадь вертикального и горизонтального геометрического ОД ($F_{\text{го,в}}$ и $F_{\text{го,г}}$) AA_1BB_1 и AA_1BB_1 и фактического ОД ($F_{\text{фo,в}}$ и $F_{\text{фo,г}}$) KK_1NN_1 и PP_1MM_1 для всех степеней деформации заготовок без внеконтактной зоны и с различными ВЗ (табл. 1, 2). Длина геометрического ОД (L_r) определяется по схеме на рис. 2, a_1, a_2 (табл. 3). Длина фактического ОД ($L_{\text{ф}}$) определяется по средней длине вертикального фактического ОД (рис. 2, $в_1, в_2$).

Таблица 1

Расчетные значения и отношения площадей вертикального фактического $F_{\text{фо,в}}$ и геометрического $F_{\text{го,в}}$ очага деформации

Степень деформации, %	$F_{\text{фо,в}}, \text{мм}^2$	$F_{\text{го,в}}, \text{мм}^2$	$F_{\text{фо,в}}/F_{\text{го,в}}$	$F_{\text{фо,в}}, \text{мм}^2$	$F_{\text{го,в}}, \text{мм}^2$	$F_{\text{фо,в}}/F_{\text{го,в}}$
	Без ВЗ			Прямоугольная ВЗ		
10	305,78	613,69	2,01	305,78	716,74	2,34
20	408,88	725,76	1,78	408,88	848,84	2,08
30	472,04	750,07	1,59	472,04	873,27	1,85
40	512,00	731,65	1,43	512,00	855,55	1,67
50	536,23	699,25	1,30	536,23	811,86	1,51
60	546,54	653,66	1,20	546,54	753,68	1,38
70	547,71	608,50	1,11	547,71	681,90	1,25
80	539,55	579,48	1,07	539,55	615,63	1,14
	Трапецидальная ВЗ			Треугольная ВЗ		
10	305,78	675,76	2,21	305,78	642,74	2,10
20	408,88	791,59	1,94	408,88	755,20	1,85
30	472,04	818,04	1,73	472,04	782,17	1,66
40	512,00	804,86	1,57	512,00	768,00	1,50
50	536,23	764,13	1,43	536,23	736,25	1,37
60	546,54	710,50	1,30	546,54	682,63	1,25
70	547,71	651,77	1,19	547,71	632,05	1,15
80	539,55	598,90	1,11	539,55	589,73	1,09

Таблица 2

Расчетные значения и отношения площадей горизонтального фактического $F_{\text{фо,г}}$ и геометрического $F_{\text{го,г}}$ очага деформации

Степень деформации, %	$F_{\text{фо,г}}, \text{мм}^2$	$F_{\text{го,г}}, \text{мм}^2$	$F_{\text{фо,г}}/F_{\text{го,г}}$	$F_{\text{фо,г}}, \text{мм}^2$	$F_{\text{го,г}}, \text{мм}^2$	$F_{\text{фо,г}}/F_{\text{го,г}}$
	Без ВЗ			Прямоугольная ВЗ		
10	650,82	1332,23	2,05	1282,81	2784,99	2,17
20	933,29	1673,38	1,79	1811,76	3411,55	1,88
30	1165,32	1908,80	1,64	2221,33	3796,26	1,71
40	1380,95	2096,28	1,52	2559,15	4025,54	1,57
50	1599,32	2275,83	1,42	2871,04	4203,20	1,46
60	1840,00	2478,48	1,35	3152,67	4356,99	1,38
70	2050,00	2609,65	1,27	3459,30	4500,55	1,30
80	2270,60	2680,00	1,22	3819,00	4650,00	1,24
	Трапецидальная ВЗ			Треугольная ВЗ		
10	1444,86	3347,74	2,32	1921,11	4795,09	2,50
20	2024,85	4025,40	1,99	2717,93	5922,38	2,18
30	2483,14	4464,69	1,80	3304,72	6487,16	1,96
40	2857,16	4702,89	1,65	3824,22	6784,17	1,77
50	3205,06	4871,69	1,52	4283,25	6900,32	1,61
60	3498,70	4947,16	1,41	4650,00	6868,05	1,48
70	3806,47	5047,38	1,33	4910,00	6736,52	1,37
80	4102,83	5157,26	1,26	5116,01	6599,65	1,29

Таблица 3

Расчетные значения и отношения длины фактического L_{ϕ} и геометрического L_{Γ} очага деформации

Степень деформации, %	L_{ϕ} , мм	L_{Γ} , мм	L_{ϕ}/L_{Γ}	L_{ϕ} , мм	L_{Γ} , мм	L_{ϕ}/L_{Γ}
	Без ВЗ			Прямоугольная ВЗ		
10	16,09	33,47	2,08	16,09	39,09	2,43
20	22,72	41,96	1,85	22,72	47,27	2,08
30	27,77	46,37	1,67	27,77	50,59	1,82
40	32,00	48,48	1,52	32,00	52,10	1,63
50	35,71	49,85	1,40	35,71	52,99	1,48
60	39,04	50,55	1,30	39,04	53,64	1,37
70	42,08	51,34	1,22	42,08	54,25	1,29
80	44,90	51,86	1,16	44,90	54,60	1,22
	Трапецидальная ВЗ			Треугольная ВЗ		
10	16,09	41,57	2,58	16,09	45,61	2,83
20	22,72	49,82	2,19	22,72	54,11	2,38
30	27,77	52,62	1,90	27,77	56,59	2,04
40	32,00	54,11	1,69	32,00	57,44	1,80
50	35,71	54,99	1,54	35,71	58,06	1,63
60	39,04	55,67	1,43	39,04	58,36	1,50
70	42,08	56,01	1,33	42,08	58,58	1,39
80	44,90	56,35	1,26	44,90	58,50	1,30

На рис. 3 представлены расчетные зависимости вертикального фактического $F_{\phi,в}$ и геометрического $F_{\Gamma,в}$ ОД от степени деформации при прокатке прямоугольных заготовок с различными формами ВЗ. Из анализа рис. 3 видно, что рост фактического вертикального ОД $F_{\phi,в}$ происходит до $\varepsilon = 30\%$, затем его размер начинает снижаться. Это характерно для прямоугольных образцов с различными ВЗ. Размер геометрического вертикального ОД $F_{\Gamma,в}$ стабилизируется после $\varepsilon = 50\%$, а после $\varepsilon = 70\%$ снижается. У заготовок с прямоугольной ВЗ – наибольший фактический вертикальный ОД.

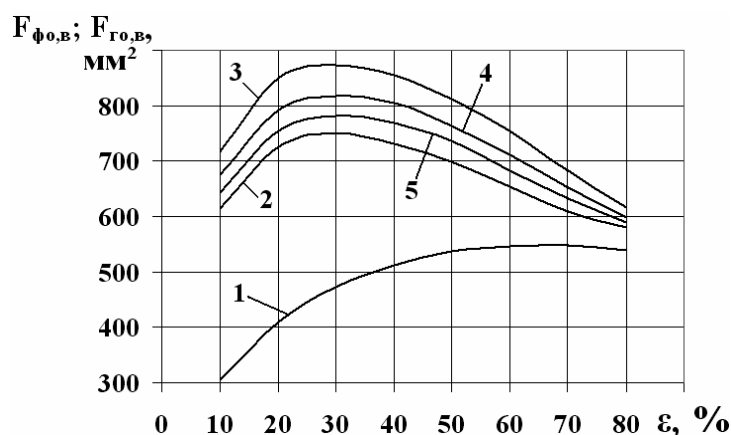


Рис. 3. Расчетные зависимости площадей вертикального геометрического $F_{\Gamma,в}$ и фактического $F_{\phi,в}$ очагов деформации от степени деформации при прокатке прямоугольных заготовок в гладких валках $\varnothing 260$ мм с частотой вращения 26 мин^{-1} . Температура нагрева заготовок $450 \text{ }^\circ\text{C}$:

1 – геометрический ОД; фактический ОД: 2 – без ВЗ; 3 – прямоугольная ВЗ; 4 – трапецидальная ВЗ; 5 – треугольная ВЗ

На рис. 4, 5 представлены расчетные зависимости площадей горизонтального фактического $F_{\text{фо,г}}$ и геометрического $F_{\text{го,г}}$ ОД от степени деформации при прокатке прямоугольных заготовок с различными формами ВЗ. Анализ рис. 4 показывает, что при деформации заготовок трапецидальных и прямоугольных форм ВЗ, наблюдается интенсивный рост площади горизонтального ОД (рис. 4 – линии 2, 3) до $\varepsilon = 30\%$, затем интенсивность роста площадей замедляется (рис. 4 – линии 2, 3) до $\varepsilon = 40\%$, затем интенсивность роста площадей замедляется. Линия 4 показывает интенсивность роста площади ОД до $\varepsilon = 50\%$, затем площадь ОД уменьшается.

Анализ рис. 5 показывает интенсивность роста площади ОД до $\varepsilon = 80\%$ для заготовок с различными формами ВЗ.

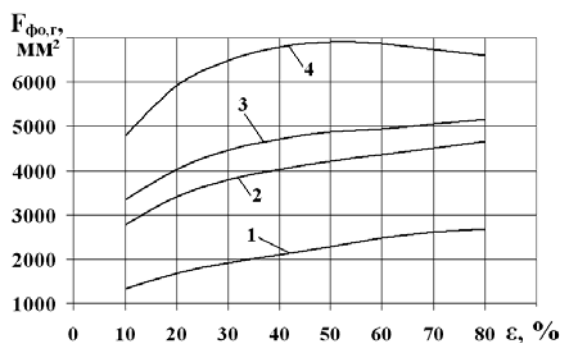


Рис. 4. Расчетные зависимости площадей горизонтального фактического очага деформации $F_{\text{фо,г}}$ от степени деформации при прокатке прямоугольных заготовок в гладких валках $\varnothing 260$ мм с частотой вращения 26 мин^{-1} . Температура нагрева заготовок 450°C :
1 – без ВЗ; 2 – прямоугольная ВЗ;
3 – трапецидальная ВЗ; 4 – треугольная ВЗ

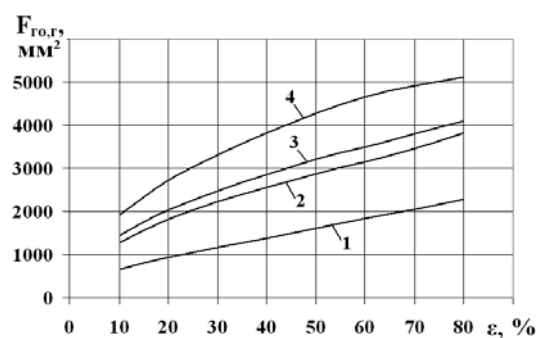


Рис. 5. Расчетные зависимости площадей горизонтального геометрического очага деформации $F_{\text{го,г}}$ от степени деформации при прокатке прямоугольных заготовок в гладких валках $\varnothing 260$ мм с частотой вращения 26 мин^{-1} . Температура нагрева заготовок 450°C :
1 – без ВЗ; 2 – прямоугольная ВЗ;
3 – трапецидальная ВЗ; 4 – треугольная ВЗ

На рис. 6 представлен очаг деформации в виде изолиний, где белым фоном показан геометрический ОД, а серым фоном – фактический ОД. Отношения фактического ОД к геометрическому ОД при $\varepsilon = 10 - 80\%$, рассчитанные по размерам площадей ОД, ограниченных изолиниями и расчетные зависимости отношения площадей горизонтального фактического и горизонтального геометрического $F_{\text{фо,г}} / F_{\text{го,г}}$, рис. 7, а также отношение площадей фактического и вертикального геометрического ОД $F_{\text{фо,в}} / F_{\text{го,в}}$, рис. 8 аналогичны.

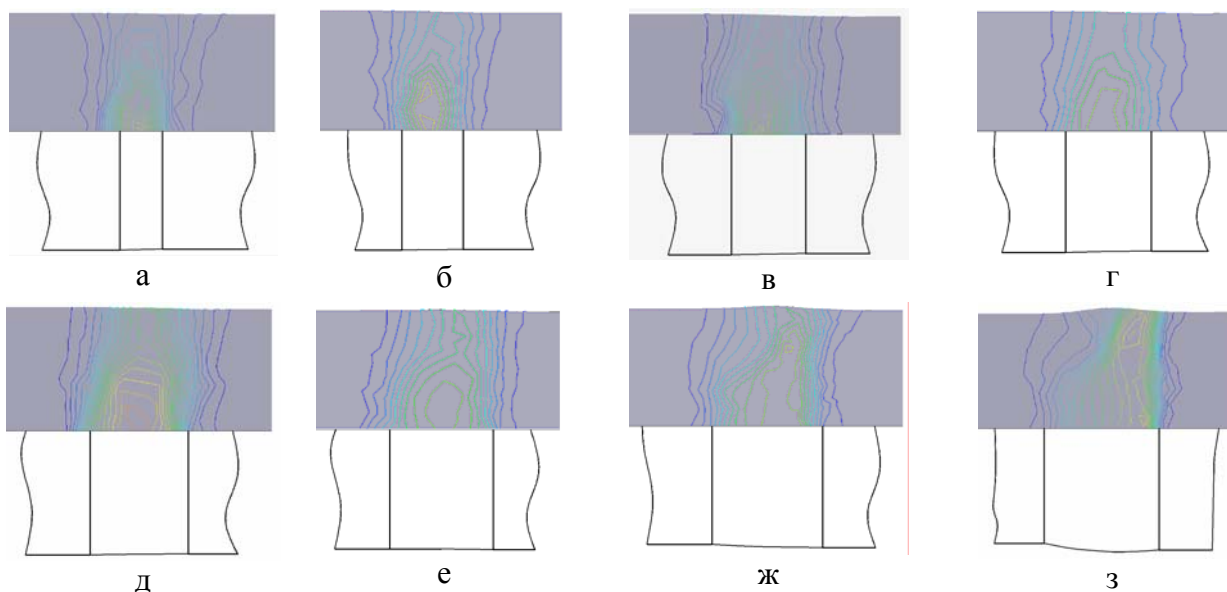


Рис. 6. Горизонтальный очаг деформации при прокатке заготовок с трапецидальными ВЗ при степени деформации: 10 % (а); 20 % (б); 30 % (в); 40 % (г); 50 % (д); 70 % (ж); 80 % (з)

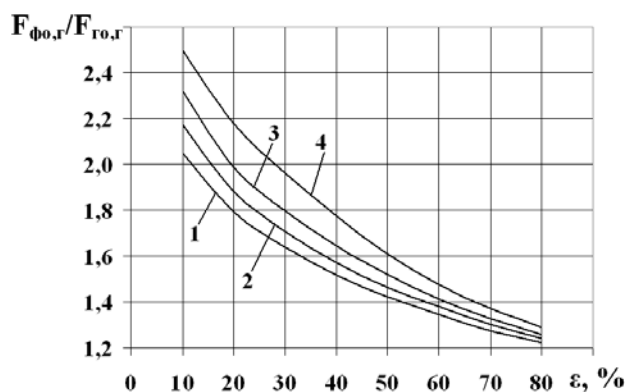


Рис. 7. Расчетные зависимости отношения площадей горизонтального геометрического и фактического очага деформации $F_{\phi,г}/F_{г,г}$ от степени деформации при прокатке прямоугольных заготовок в гладких валках $\varnothing 260$ мм с частотой вращения 26 мин^{-1} .

Температура нагрева заготовок $450 \text{ }^\circ\text{C}$:

- 1 – без ВЗ; 2 – прямоугольная ВЗ;
- 3 – трапецидальная ВЗ;
- 4 – треугольная ВЗ

Расчетные зависимости отношения горизонтального геометрического и фактического очагов деформации $F_{\phi,г}/F_{г,г}$, отношения вертикального геометрического и фактического очагов деформации $F_{\phi,в}/F_{г,в}$ от степени деформации $\varepsilon = 10\text{--}80 \%$ при прокатке прямоугольных заготовок в гладких валках представлены на рис. 7, 8.

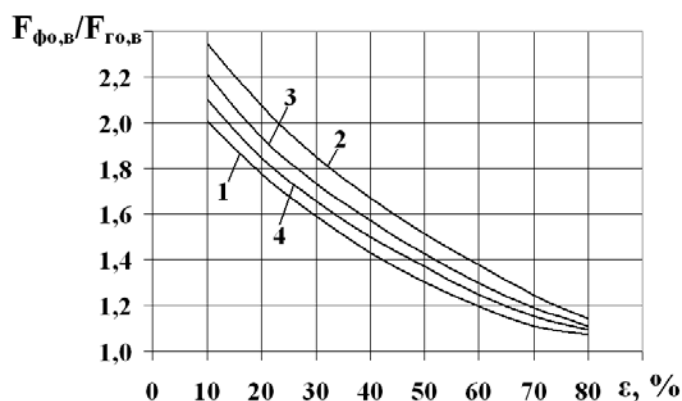


Рис. 8. Расчетные зависимости отношения площади вертикального геометрического и фактического очага деформации $F_{\phi,в}/F_{г,в}$ от степени деформации при прокатке прямоугольных заготовок в гладких валках $\varnothing 260$ мм с частотой вращения 26 мин^{-1} . Температура нагрева заготовок $450 \text{ }^\circ\text{C}$:

- 1 – без ВЗ; 2 – прямоугольная ВЗ;
- 3 – трапецидальная ВЗ; 4 – треугольная ВЗ

На рис. 9 представлены расчетные зависимости длины очага деформации L_0 , мм от степени деформации. Анализ рис. 9 показывает интенсивность роста длины фактического очага деформации до $\varepsilon = 30 \%$, затем идет ее снижение. Расчетные зависимости отношения длины фактического и геометрического ОД $L_{\phi}/L_{г}$ представлены на рис. 10.

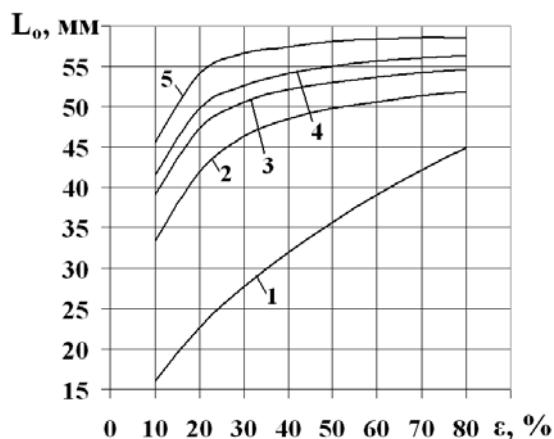


Рис. 9. Расчетные зависимости длины очага деформации L_0 от степени деформации при прокатке прямоугольных заготовок в гладких валках $\varnothing 260$ мм с частотой вращения 26 мин^{-1} . Температура нагрева заготовок $450 \text{ }^\circ\text{C}$:
1 – геометрический ОД; фактический ОД;
2 – без ВЗ; 3 – прямоугольная ВЗ;
4 – трапецидальная ВЗ; 5 – треугольная ВЗ

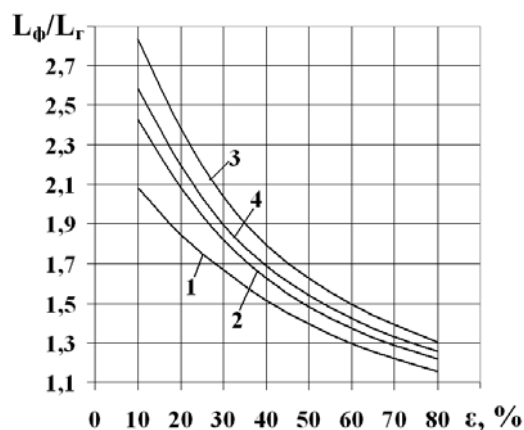


Рис. 10. Расчетные зависимости отношения длин фактического и геометрического очага деформации $L_{\phi}/L_{г}$ от степени деформации:
1 – без ВЗ; 2 – прямоугольная ВЗ;
3 – трапецидальная ВЗ; 4 – треугольная ВЗ

ВЫВОДЫ

1. Для теоретического исследования влияния ВЗ на величину фактического очага деформации проведено компьютерное моделирование процесса прокатки с применением конечно-элементной программы «QForm». Исследования проводились на прямоугольных образцах с различной формой ВЗ из алюминиевого сплава АК6 в гладких валках со степенью деформации 10–80 %.

2. Проведены экспериментальные исследования влияния формы ВЗ и степени деформации на размеры фактического ОД при прокатке прямоугольных заготовок в гладких валках. Установлено, что наличие в заготовке ВЗ увеличивает отношение размеров фактического и геометрического очага деформации F_{ϕ}/F_{Γ} , которое снижается с увеличением степени деформации.

3. Экспериментально установлено, что при степени деформации $\varepsilon = 30\%$ площадь фактического вертикального очага деформации достигает максимального размера, а при $\varepsilon > 30\%$ длина фактического очага деформации практически не увеличивается. Это позволяет сделать вывод, что при $\varepsilon = 30\%$ наблюдается оптимальный режим деформирования заготовок с различными ВЗ.

4. Для наглядного представления влияния ВЗ на размер ОД, использовалась методика, позволяющая по изолиниям полей скоростей деформации определить площадь фактического ОД и сравнить ее с площадью геометрического ОД.

5. Проведенные эксперименты по определению отношения площадей фактического и геометрического ОД показали, что эти отношения для разных форм ВЗ и степеней деформации составляют 1,2–2,5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скрябин С. А. *Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах* / С. А. Скрябин. – Винница : О. Власюк, 2007. – 284 с.
2. Скрябин С. А. *Влияние формы и размеров внеконтактных зон вальцуемых заготовок на уширение* / С. А. Скрябин, Д. С. Чайка // *Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»*. – *Машиностроение*. – 2007. – № 50. – С. 192 – 199.
3. Целиков А. И. *Теория прокатки* / А. И. Целиков, А. И. Гришюков. – М. : *Металлургия*, 1980. – 329 с.
4. *QForm-3D – конечно-элементная программа для расчета процессов пластической деформации металлов и сплавов, ©1991–2008 [Электронный ресурс]*. – ООО «КванторФорм». – Режим доступа : www.qform3d.com.
5. Biba N. *Automated Design and Finite Element Simulation of Reducer Rolling Technology. New Forming Technology 2004* / N. Biba, A. Vlasov, S. Stebunov // *Proceedings of the 1st International Conference on New Forming Technology, ICNFT, 6–9 Septembe. – Harbin, China, 2004. – P. 403–408.*

Скрябин С. А. – д-р техн. наук, директор НПЦ «Ухналь», г. Киев;

Чайка Д. С. – инженер-конструктор ОАО «НИАТ».

НПЦ «Ухналь» – Научно-производственный центр «Ухналь», г. Киев;

ОАО «НИАТ» – Национальный институт авиационных технологий, г. Москва, Россия.

E-mail: chaika_ds@mail.ru

uhnal@ukr.net