



УДК 621.7.016.2

*Гулько И.В.*

Винницкий государственный аграрный университет. Украина, г. Винница

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТРАДИЦИОННОЙ И ИЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ВАЛЬЦОВКАХ

#### *Анотація*

*У статті даний аналіз залежності тиску металу на валки від ступеня обтиснення, температури нагрівання вальцювальних штампів, коефіцієнта витягування й радіуса кривизни овального калібру.*

*Експериментальними даними встановлено, що вальцювання заготовок в умовах ізотермічного деформування знижує тиск металу на валки в 1,8 і більше разів.*

*Проведені експерименти показали, що з підвищенням температури нагрівання вальцювальних штампів до 350, 400 і 450°C, тиск на валки зменшується в порівнянні зі значеннями тисків при деформації заготовок у вальцювальних штампах, що мають температуру 20°C та ступені обтиснень 30, 40, 50% відповідно на: 350°C – 55,8%, 47,5%, 38,73%; 400°C – 54,15%, 46,5%, 38,24%; 450°C – 53,3%, 46,5%, 38,2%.*

*В інтервалі температур нагрівання вальцювальних штампів 350–450°C, тиск при різних ступенях обтиснення змінюється незначно, а при досягненні вальцювальними штампами температур 400°C і вище майже стабілізується, а збільшення ступеня обтиснення впливає тільки на абсолютні значення тиску  $P_{от}$ .*

#### Abstract

*An analysis to dependencies of the metal pressure on the rolls from reduction rate, rolling stamps heating temperature, elongation ratio and oval calibre curvature radius is given in article.*

*Experimental data has determined that rolling of the billet in isothermal deformation conditions reduces the metal pressure on the rolls in 1,8 and more once.*

*Performed experiments has shown that with increasing of the rolling stamps heating temperature to a 350, 400 and 450°C, the pressure on rolls reduces, in comparison with the pressures value when deforming the billet in rolling stamps, having temperature 20°C and reduction rate 30, 40, 50%, accordingly on: 350°C – 55,8%, 47,5%, 38,73%; 400°C – 54,15%, 46,5%, 38,24%; 450°C – 53,3%, 46,5%, 38,2%.*

*In interval of the heating temperature of the rolling stamps 350–450°C, pressure under different reduction rate changes insignificantly, but at achievement rolling stamp the temperature of 400°C and more have almost stabilized, but an increase of reduction rate affects only on absolute pressure value  $P_{от}$ .*

Актуальность разработки и внедрения малоотходных технологических процессов штамповки поковок из алюминиевых сплавов с применением процесса вальцовки на предприятиях авиационной промышленности, обусловлена значительным применением в изделиях отрасли этих сплавов, повышенным расходом металла (КИМ 0,15–0,3), высокой трудоемкостью, длительным циклом изготовления качественных штампованных поковок (как правило 2–3 штамповки с промежуточными операциями нагрева, обрезки облоя, травления, зачистки) и задачами по совершенствованию металлосберегающих технологий. Широкое использование алюминиевых сплавов определяется их техническими, физическими и механическими свойствами. Они должны обладать высокими статическими прочностными характеристиками (пределом прочности, пределом текучести, сопротивлением срезу), удовлетворительной пластичностью и термомеханическими характеристиками, что необходимо учитывать при разработке технологических процессов их горячего деформирования.

Процесс вальцовки заготовок в калибрах различной конфигурации характеризуется неравномерным распределением контактных напряжений как по длине так и по ширине очага деформации. В работах [1, 2] получены формулы, позволяющие определять контактные напряжения с учетом неравномерности их распределения в зоне формоизменения. При этом принято условие постоянства напряжения текучести обрабатываемого материала в процессе деформации ( $\sigma_i = \beta \sigma_r$ ). Это снижает достоверность полученных уравнений, так как скорость деформации и зависящее от нее напряжение текучести материала реально переменны как по длине, так и по ширине зоны деформирования.

В настоящее время распределение давлений достаточно хорошо исследовано с помощью точечных месдоз. Установлено, что вид эпюр давлений зависит от условий прокатки, и в первую очередь от таких факторов, как отношении длины очага деформации к средней высоте полосы в очаге деформации ( $l_d/h_{cp}$ ), коэффициента трения  $\mu$  и угла контакта [3].

Для определения влияния степени обжатия, температур нагрева вальцовочных штампов на давление металла на валки, заготовки из алюминиевых сплавов АК6, АК4, АК8, АМг2, АМг6, АМЦ с размерами  $\varnothing 16 \times 150$  мм нагретые до температуры 450°C вальцевали в гладких валках со степенями деформации 30, 40 и 50%. Вальцовку проводили в штампах нагретых последовательно до температур 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450°C, при которых проводились эксперименты. Температуру замеряли хромель – алюмелевой термопарой и регулировали с помощью самопишущего прибора КСП. Оптимальная частота вращения валков составляла  $12 \text{ мин}^{-1}$ , которая была принята для дальнейших исследований. В экспериментальных исследованиях использованы методы оптической микроскопии, математической статистики.

Измерение давления проводилось с помощью месдоз в виде силоизмерительного стакана с записью показаний осцилографа Н – 105 на светочувствительную бумагу типа УФ шириной 120 мм.

В табл. 1 представлены экспериментальные данные значений относительного давления  $P_{от}$  в зависимости от степени обжатия и температуры нагрева вальцовочных штампов при вальцовке заготовок  $\varnothing 16 \times 150$  мм.

Анализ экспериментальных данных, представленных в табл. 1 и на рис. 1, показывает, что относительное давление металла на валки  $P_{от} = 1 - (P_0 - P_1) / P_0$  уменьшается с повышением температуры нагрева вальцовочных штампов, и, наиболее интенсивно с увеличением степени обжатия.



Таблица 1

Значения относительного давления  $P_{от}$  в зависимости от степени обжатия  $\varepsilon$  и температуры нагрева вальцовочных штампов  $t_B$

№ п/п	$\varepsilon = 30\%$		$\varepsilon = 40\%$		$\varepsilon = 50\%$	
	$t_B, ^\circ\text{C}$	$P_{от}$	$t_B, ^\circ\text{C}$	$P_{от}$	$t_B, ^\circ\text{C}$	$P_{от}$
1	20	0,4	20	0,5083	20	0,6664
2	350	0,2232	350	0,2415	350	0,2581
3	400	0,2166	400	0,2365	400	0,2548
4	450	0,2133	450	0,2365	450	0,2548

Так, с повышением температуры нагрева вальцовочных штампов до 350, 400 и 450°C, давление на валки уменьшается по сравнению с значениями давлений при деформации заготовок в вальцовочных штампах, имеющих температуру 20°C и степени обжатий 30, 40, 50% соответственно на: 350°C – 55,8%, 47,5%, 38,73%; 400°C – 54,15%, 46,5%, 38,24%; 450°C – 53,3%, 46,5%, 38,2%.

В интервале температур нагрева вальцовочных штампов 350–450°C давление металла на валки при различных степенях обжатия изменяется незначительно, а при достижении вальцовочными штампами температур 400°C и выше почти стабилизируется, а увеличение степени обжатия влияет только на абсолютные значения давления  $P_{от}$ , (рис. 1).

Анализ экспериментальных данных представленных на рис. 1 показывает, что при вальцовке заготовок в условиях изотермического и приближенных к нему деформирования, давление металла на валки уменьшается с ростом температуры

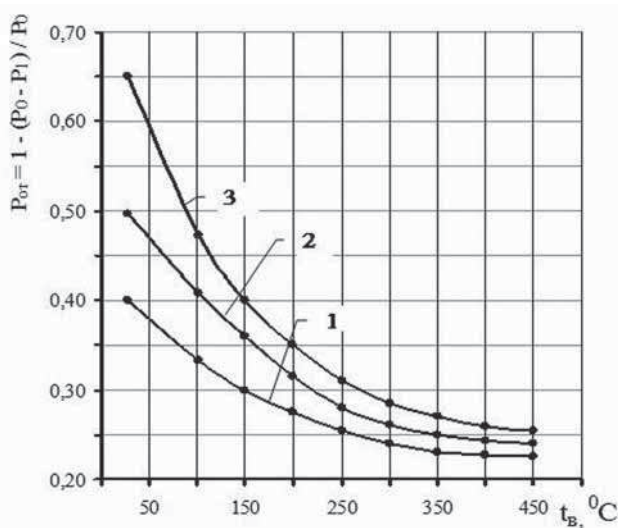


Рис. 1. Зависимость давления металла на валки от температуры нагрева вальцовочных штампов и степени обжатия: 1 – 30%; 2 – 40%; 3 – 50%.

Температура нагрева заготовок – 450°C

нагрева вальцовочных штампов наиболее интенсивно в интервале температур 20–350°C. Дальнейший нагрев вальцовочных штампов не приводит к существенному снижению давления и является нецелесообразным, так как ведет к дополнительному расходу энергии. Кроме этого наблюдается появление окалины на поверхности вальцовочных штампов.

Экспериментальными данными установлено, что вальцовка заготовок в условиях изотермического деформирования снижает давление металла на валки в 1,8 и более раз. Это является подтверждением улучшения пластичности металла при его деформировании в изотермических условиях и использования оборудования меньшего усилия. Кроме этого, нагрев вальцовочных штампов до температур деформирования (или близко к ним) позволит снизить усилие деформирования за счет повышения пластичности обрабатываемого металла, которое происходит из-за полного протекания разупрочняющих процессов. Равномерная деформация заготовки, при отсутствии зон затрудненной деформации и локального перегрева, обеспечивает хорошую и всестороннюю проработку структуры, и, как следствие, уменьшает разброс свойств в объеме заготовки.

Для сравнения давления металла на валки при традиционной и изотермической вальцовках, были взяты экспериментальные данные (рис. 2, 3, 5), полученные при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов и описанные в работе [4].

На рис. 2 видно, как радиус кривизны овальных калибров влияет на давление металла в зависимости от степени обжатия. С увеличением степени обжатия давление металла на валки растет,

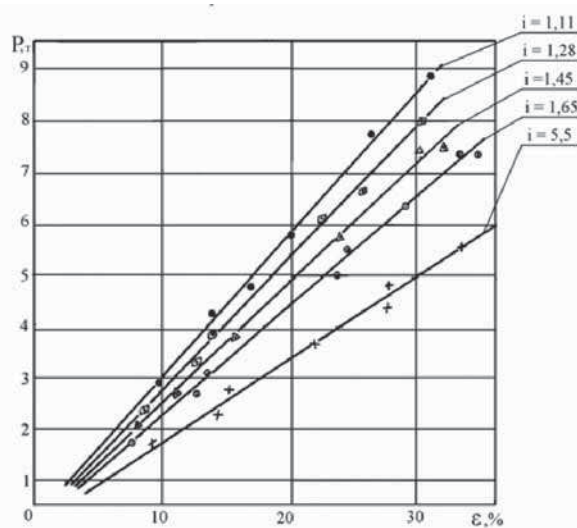


Рис. 2. Зависимость давления от степени обжатия и кривизны овальных калибров:

$$R_k/R_3 = i; F_{cm} = \text{const} [4]$$

а в калибрах с меньшим отношением  $R_k/R_3$  давление при одном и том же обжатии выше ( $R_k$  – радиус калибра,  $R_3$  – радиус заготовки).

Анализ (рис. 3) показывает, что с увеличением степени обжатия коэффициент вытяжки растет интенсивнее всего в калибрах с меньшим отношением  $R_k/R_3$ . При отношении  $R_k/R_3$ , равном 1,11 и 1,22, наблюдается переполнение калибра металлом и появление облоя по линии разъема.

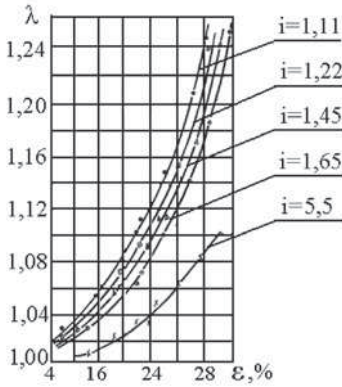


Рис. 3. Зависимость коэффициента вытяжки от степени обжатия и кривизны овальных калибров:  $R_k/R_3 = i$ ,  $F_{см} = \text{const}$  [4]

Характер изменения зависимостей на рис. 2, 3 можно объяснить, рассмотрев схему процесса, представленную на рис. 4.

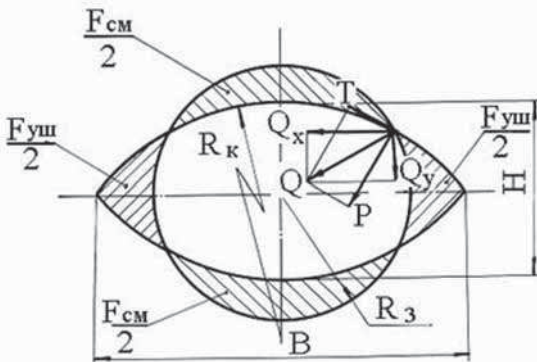


Рис. 4. Схема распределения сил при вальцовке заготовок круглого сечения в овальном калибре [4]

При вальцовке заготовки с высотой  $H$  в калибрах со стороны инструмента валков на нее действуют нормальные силы  $P$  и силы трения  $T$ . Обозначим равнодействующую силу через  $Q$ , а ее проекции на оси координат  $Q_x$  и  $Q_y$ . Как видно из рисунка, горизонтальная составляющая препятствует течению металла по ширине  $B$  калибра. Чем больше значение  $Q_x$ , тем сильнее стесняющее действие оказывают стенки калибра перемещению металла в поперечном направлении, поэтому возрастает давление металла на валки, уменьшается площадь смещения на уширение  $F_{уш}$ , увеличивается вытяжка.

Таким образом, из проведенного анализа ясно, что с увеличением радиуса овального калибра при

постоянной смещенной площади вальцуемой заготовки сопротивление стенок калибра перемещению металла по ширине уменьшается, а это вызывает изменение соотношения объемов металла, перемещаемых в продольном и поперечном направлениях.

На рис. 5 представлены результаты экспериментов по определению зависимости общего усилия  $P$  от отношения  $l_d/h_{cp}$  (коэффициента формы) при определении базисного давления. Повышение значений общего усилия с увеличением  $l_d/h_{cp}$  объясняется тем, что площадь контакта металла и валков увеличивается. При этом возрастают силы трения на контактных поверхностях, направленные к нейтральному сечению, а в результате сопротивления перемещению металла вдоль оси заготовки увеличивается и вследствие этого растет давление металла на валки.

Коэффициент внешнего трения между прокатываемым металлом и валками определялся из условия максимального угла захвата металла валками при прокатке и среднее его значение равнялось  $\approx 0,35$ .

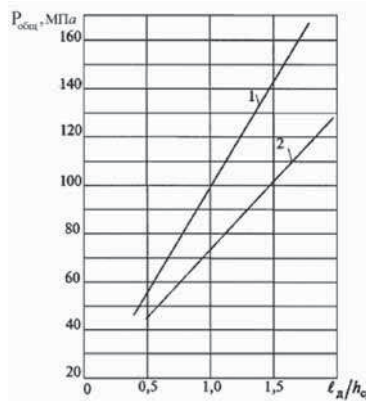


Рис. 5. Общее усилие при вальцовке эталонных образцов для определения базисного давления при температуре: 1 – 420°C; 2 – 470°C [4]

Особенностью отличия результатов изотермического деформирования (рис. 1) от традиционного (рис. 2, 3, 5) заключается в характере поведения зависимости давления от степени обжатия и температуры нагрева вальцовочных штампов. Сравнивая результаты экспериментов по влиянию степени обжатия видно, что с увеличением обжатия растет давление металла на валки, вследствие увеличения контактной площади смещаемого объема металла вдоль и поперек очага деформации и повышения сил трения на контактных поверхностях, направленных к нейтральному сечению. В результате сопротивление перемещению металла растет и увеличивается давление.

Снижение давления металла на валки с увеличением температуры нагрева вальцовочных штампов происходит за счет протекания разупрочняющих процессов и повышения пластичности обрабатываемого металла.





### Выводы

В статье дан анализ зависимости давления металла на валки от степени обжата, температуры нагрева вальцовочных штампов, коэффициента вытяжки и радиуса кривизны овального калибра.

1. Экспериментальными данными установлено, что вальцовка заготовок в условиях изотермического деформирования снижает давление металла на валки в 1,8 и более раз. Снижение давления металла на валки с увеличением температуры нагрева вальцовочных штампов происходит за счет протекания разупрочняющих процессов и повышения пластичности обрабатываемого металла. Это является подтверждением улучшения пластичности металла при его деформировании в изотермических условиях и использования оборудования меньшего усилия.

2. Проведенные эксперименты показали, что с повышением температуры нагрева вальцовочных штампов до 350, 400 и 450°C, давление на валки уменьшается по сравнению с значениями давлений при деформации заготовок в вальцовочных штампах, имеющих температуру 20°C и степени обжата 30, 40, 50% соответственно на: 350°C – 55,8%, 47,5%, 38,73%; 400°C – 54,15%, 46,5%, 38,24%; 450°C – 53,3%, 46,5%, 38,2%.

В интервале температур нагрева вальцовочных штампов 350–450°C давление при различных степенях обжата изменяется незначительно, а при достижении вальцовочными штампами температур 400°C и выше почти стабилизируется, а увеличение степени обжата влияет только на абсолютные значения давления  $P_{от}$ .

3. Приведены результаты экспериментов по определению зависимости общего усилия  $P$  от

отношения  $\ell_d/h_{ср}$  при определении базисного давления традиционной вальцовкой. Повышение значений общего усилия с увеличением  $\ell_d/h_{ср}$  объясняется тем, что площадь контакта металла и валков увеличивается. При этом возрастают силы трения на контактных поверхностях, направленные к нейтральному сечению, а в результате сопротивления перемещению металла вдоль оси заготовки увеличивается и вследствие этого растет давление металла на валки.

4. Коэффициент внешнего трения между прокатываемым металлом и валками определяли из условия максимального угла захвата металла валками при прокатке и среднее его значение равнялось  $\approx 0,35$ .

5. Отмечено, что особенностью отличия результатов изотермического деформирования от традиционного заключается в характере поведения зависимости давления от степени обжата и температуры нагрева вальцовочных штампов.

### Литература

1. Грудев А.П. Теория прокатки / Грудев А.П. // М.: Металлургия, 1988. – 240 с.
2. Целиков А.И., Гришков А.И. Теория прокатки. / Целиков А.И. // М.: Металлургия, 1980. – 359 с.
3. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.А. Теория продольной прокатки / Целиков А.И. // М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
4. Скрыбин С.А. Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах / Скрыбин С.А. // Винница: О. Власюк, 2007. – 284 с.