

УДК 621.7.016.2-412:669.715

Скрябин С.А., Гунько И.В.

Винницкий национальный аграрный университет. Украина, г. Винница

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВАЛЬЦОВКЕ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Анотація

У статті відзначено, що опір деформації металів і сплавів в умовах процесу гарячої прокатки, незважаючи на численні дослідження, залишається дотепер недостатньо вивченим із-за складності процесу прокатки й різноманіття технологічних параметрів, що впливають один на одного.

Враховуючи якість методу базисного тиску, який дає найбільш близький результат до реальних умов у осередку деформування при вальцюванні й прокатці, цей метод рекомендований як основний для визначення опору деформації, тобто прийняли рівність базисного тиску $P_{\text{сп.б}}$ і середнього питомого зусилля $P_{\text{сп.б}} = P_{\text{сп}}$.

У статті описані розрахункові залежності впливу температури нагрівання вальцювальних штампів на опір деформації при вальцюванні

заготовок алюмінієвих сплавів. У цій роботі застосовувалася програма для моделювання технології об'ємного штампування "QForm", розрахунки в якій проводяться за методом кінцевих елементів.

Abstract

The article noted that the strain resistance of metals and alloys in hot-rolling process, in spite of numerous studies, remains up to date insufficiently studied because of the complexity of the rolling process and the variety of technological parameters, which influence each other.

In consideration of the advantage of the method the basic pressure, which gives the closest result to the real conditions in the deformation region during forge rolling and rolling, this method is recommended as a basic for determining deformation resis-

tance, that is the basic pressure $P_{\text{ср.б}}$ and average unit stress assumed equal $P_{\text{ср.б}}=P_{\text{ср}}$.

Calculated dependence of the effect of rolling stamps heating temperature on the deformation resistance while rolling aluminum alloy billets, describes in this article. In this paper we used forging technology simulate program "QForm", in which the calculations are carried out by finite element method.

Вальцовка заготовок для последующей штамповки представляет собой процесс, протекающий с неравномерными обжатиями и деформациями при сложной схеме нагружения. Получение в этих условиях заготовок с заданной формой и размерами профиля зависит от правильного выбора силовых и технологических параметров вальцовки.

Сопrotивление деформации металлов и сплавов в условиях процесса горячей прокатки, несмотря на многочисленные исследования, остается до настоящего времени недостаточно изученным из-за сложности процесса прокатки и многообразия технологических параметров, влияющих друг на друга. Исследования по определению сопротивления деформации осуществляют различными методами — растяжением, сжатием, чистым сдвигом и методом базисного давления. Названные способы измерения позволяют с той или иной степенью точности определить фактическое сопротивление деформации.

Учитывая достоинство метода базисного давления, который дает наиболее близкий результат к реальным условиям в очаге деформации при вальцовке и прокатке, этот метод рекомендован в качестве основного для определения сопротивления деформации, т. е. приняли равенство базисного давления $P_{\text{ср.б}}$ и среднего удельного усилия $P_{\text{ср.б}}=P_{\text{ср}}=K$.

В работе [1] описана методика проведения исследований по определению базисного давления. Для проведения экспериментов были откованы образцы из сплава АК6 размером $18 \times 66 \times 300$ мм, термообработаны и простроганы в размер $12 \times 60 \times 300$ мм. Перед прокаткой образцы нагревались в камерной печи электросопротивления до температуры 420 и 470°C . Перед исследованием автоматический потенциометр печи был отградуирован. Прокатку проводили на прокатном стане валками диаметром 260 мм и частотой вращения 26 мин^{-1} . Валки перед прокаткой имели температуру 20°C . Выбранные температуры прокатки отражают граничные условия нагрева под горячую обработку давлением сплава АК6. Падение температуры образца при переносе от печи к прокатному стану компенсировалось нагревом образцов на $10...15^\circ\text{C}$ выше температуры прокатки. Измерение давления металла на валки осуществляли с помощью месдоз в виде силоизмерительного стакана

и записывали показания осциллографа Н-105 на светочувствительную бумагу типа УФ. Температура контролировалась хромель-алюмелевой термопарой.

Коэффициент внешнего трения между прокатываемым металлом и валками определяли из условия максимального угла захвата металла валками при прокатке и среднее его значение равнялось $0,35$. Прокатку образцов проводили при обжатиях $2...60\%$, что соответствовало отношению $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}} = 0,5 - 3,55$, причем в интервале $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}} = 0,5...1,8$ проводилась с нарастающим обжатием $2...3\%$ на каждую последующую точку, а в интервале $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}} = 1,8...3,55$ с нарастающим обжатием $6...10\%$. Минимальное число образцов для определения одного значения $P_{\text{ср}}$ от $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}}$ равнялось трем.

Среднее удельное усилие определялось по формуле

$$P_{\text{ср}} = P / F_{\text{к}}, \quad (1)$$

где P — давление, измеренное месдозами; $F_{\text{к}} = B_{\text{ср}} \sqrt{R\Delta h}$ — площадь контактной поверхности.

Длина дуги принималась равной $\ell_{\text{д}} = \sqrt{R\Delta h}$. Средняя ширина контактной поверхности по размерам заготовки до и после прокатки — $b_{\text{ср}}$. Средняя высота заготовки $h_{\text{ср}}$ в очаге деформации определялась аналогично. Следовательно, условия метода определения базисного усилия полностью выдержаны, т.е. $b/h=5$, а прокатка велась в более широком диапазоне степеней деформации, чем предусматривается этим методом.

На рис. 1 представлены результаты экспериментов по определению зависимости общего усилия P от отношения $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}}$ [2]. Повышение значений общего усилия с увеличением $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}}$ 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.

На рис. 2 представлена зависимость $P_{\text{ср.б}}$ от $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}}$. Проведенные эксперименты показали, что при температурах прокатки 420 и 470°C сплава АК6, значения $P_{\text{ср.б}}$ находятся соответственно при отношениях $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}}=1,4$ и $1,0$. Экспериментальные данные показывают, что при небольших степенях деформации и соответственно отношений $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}}$ значения базисного давления высокие. По мере увеличения деформации снижаются до определенных значений, затем плавно возрастают. А. И. Целиков и А. И. Гришков [3] считают, что изменение зависимости $P_{\text{ср.б}}$ от $\ell_{\text{д}}/h_{\text{ср}}$ слева от точки минимума определяют в основном внешние зоны и незначительно контактные силы трения, а зависимость, расположенную справа от точки минимума, в

основном силы трения и незначительно внешние зоны. В точке минимума наблюдается незначительное влияние сил трения и внешних зон.

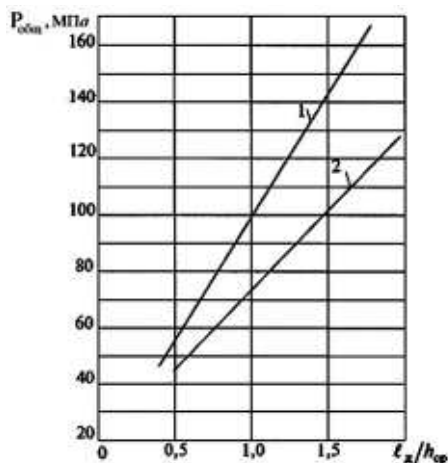


Рис. 1. Общее усилие при вальцовке эталонных образцов для определения базисного давления при температуре: 1 – 420°C; 2 – 470°C

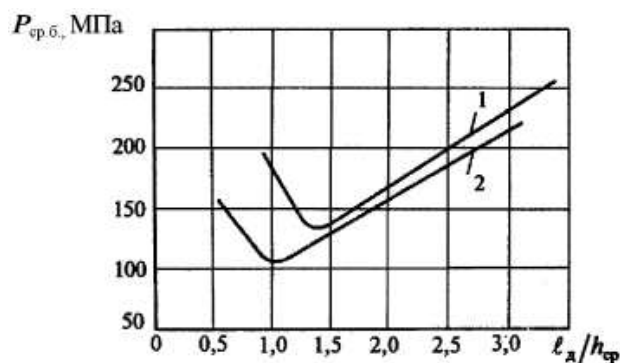


Рис. 2. Базисное давление при вальцовке заготовок из сплава АК6 при температуре: 1 – 420°C; 2 – 470°C

Есть другая точка зрения на характер изменения зависимости $P_{сп.б}$ от l_d/h_{cp} [1, 4]. При небольших степенях деформаций наблюдается проработка только поверхностных слоев металла, сопротивление деформации которых значительно. При этом контактная поверхность соприкосновения металла с валком небольшая, и здесь для деформации поверхностных слоев металла необходимо применить большое общее усилие.

Поэтому при значительном высоком общем усилии и небольшой контактной поверхности наблюдаются высокие средние удельные усилия. С увеличением степени обжатия, контактная площадь возрастает, деформация проникает в глубинные слои металла. Здесь уже наблюдается уменьшение значений средних удельных усилий. Результаты экспериментальных данных при определении $P_{сп}$ методом базисного давления показали, что при определении усилия вальцовки заготовок можно пользо-

ваться данными, полученными при растяжении на пластометре, рис. 3 [5], вводя поправочный коэффициент [4]. Известно, что $P_{сп} = n_{\sigma} n_{\nu} \sigma_{\tau}$.

Для горячей прокатки

$$\sigma_{\Phi} = n_{\tau} n_{\nu} \sigma_{\tau}, \quad (2)$$

где n_{τ} и n_{ν} – коэффициенты, учитывающие влияние на сопротивление деформации соответственно температуры и скорости деформации.

Среднее удельное усилие при прокатке рассчитывают по формуле

$$P_{сп} = n_{\sigma} n_{\nu} \sigma_{\Phi}, \quad (3)$$

где n_{σ} – коэффициент, учитывающий влияние ширины полосы на удельное усилие; σ_{Φ} – фактическое сопротивление металла деформированию, отвечающее заданной температуре, степени и скорости деформации; n_{σ} – коэффициент напряженного состояния деформируемого металла, который выражается уравнением

$$n_{\sigma} = n'_{\sigma} \cdot n''_{\sigma} \cdot n'''_{\sigma}, \quad (4)$$

где n'_{σ} , n''_{σ} , n'''_{σ} – коэффициенты, учитывающие соответственно влияние внешнего трения, внешних зон и натяжения или подпора.

При определении σ_{τ} способом растяжения на пластометре коэффициенты n_{τ} и n_{ν} должны учитываться, так как разрыв или осадка образца происходит при заданных температурах и скоростях деформации. Остальные коэффициенты, входящие в формулу (3) для определения $P_{сп.б}$, можно обозначить поправочным коэффициентом

$$K_{\sigma} = n_{\sigma} n_{\nu}, \quad (5)$$

который учитывает напряженное состояние деформируемого металла и влияние ширины заготовки на удельное давление.

При определении базисного давления

$$K_{\sigma} = P_{сп.б} / \sigma_{0,2}, \quad (6)$$

где $P_{сп.б}$ – среднее удельное усилие, полученное методом определения базисного давления; $\sigma_{0,2} = \sigma_{\tau}$ – предел текучести металла, значения которого получены способом растяжения на пластометре при заданных температурах и скоростях деформации.

Обработка результатов экспериментов, полученных при определении $P_{сп.б}$ и предела текучести $\sigma_{0,2} = \sigma_{\tau}$, полученного при растяжении на пластометре (рис. 3) при заданных температурах и скоростях деформации сплава АК6, показала, что поправочный коэффициент $K_{\sigma} = 1,18...0,96$ для температуры вальцовки 420°C и скорости деформации 3,37...10,97 с⁻¹; $K_{\sigma} = 1,08...0,8$ для температуры вальцовки 470°C и скорости деформации 3,03...10,3 с⁻¹.

Скорость деформации определялась по формуле [1]

$$u = \left(\frac{v_b}{h_0} \right) \sqrt{\Delta h / R}, \quad (7)$$

где v – окружная скорость валков, м/с; h_0 – начальная величина заготовки, мм; Δh – абсолютное обжатие, мм; R – радиус валков, мм.

Окружная скорость валков рассчитывалась по формуле

$$v = \pi d \cdot n / 60, \quad (8)$$

где d – диаметр валков, мм; n – частота вращения валков, мин⁻¹.

Для определения расчетных зависимостей влияния температуры нагрева валь-

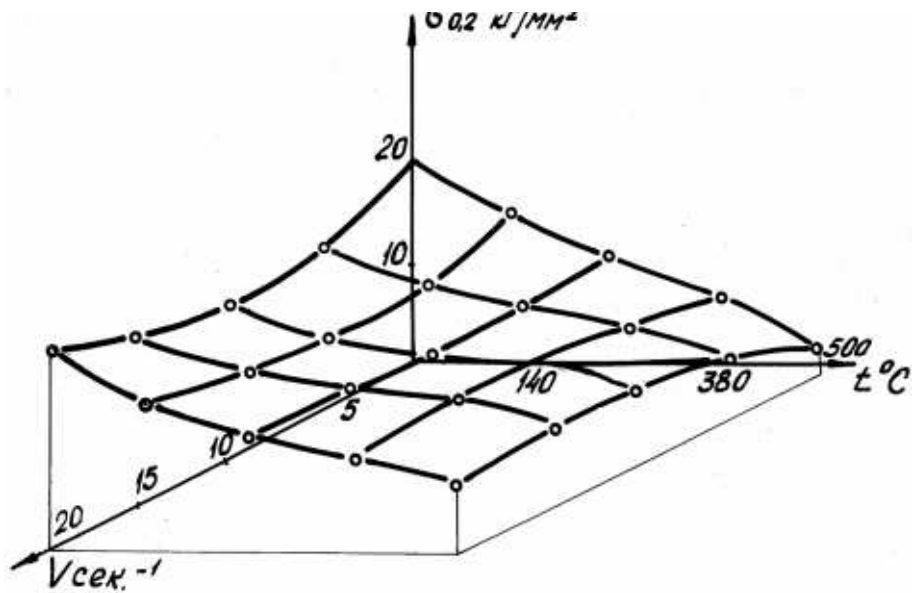


Рис. 3. Зависимость предела текучести от скорости деформации и температуры при растяжении образцов из сплава АК6 [5]

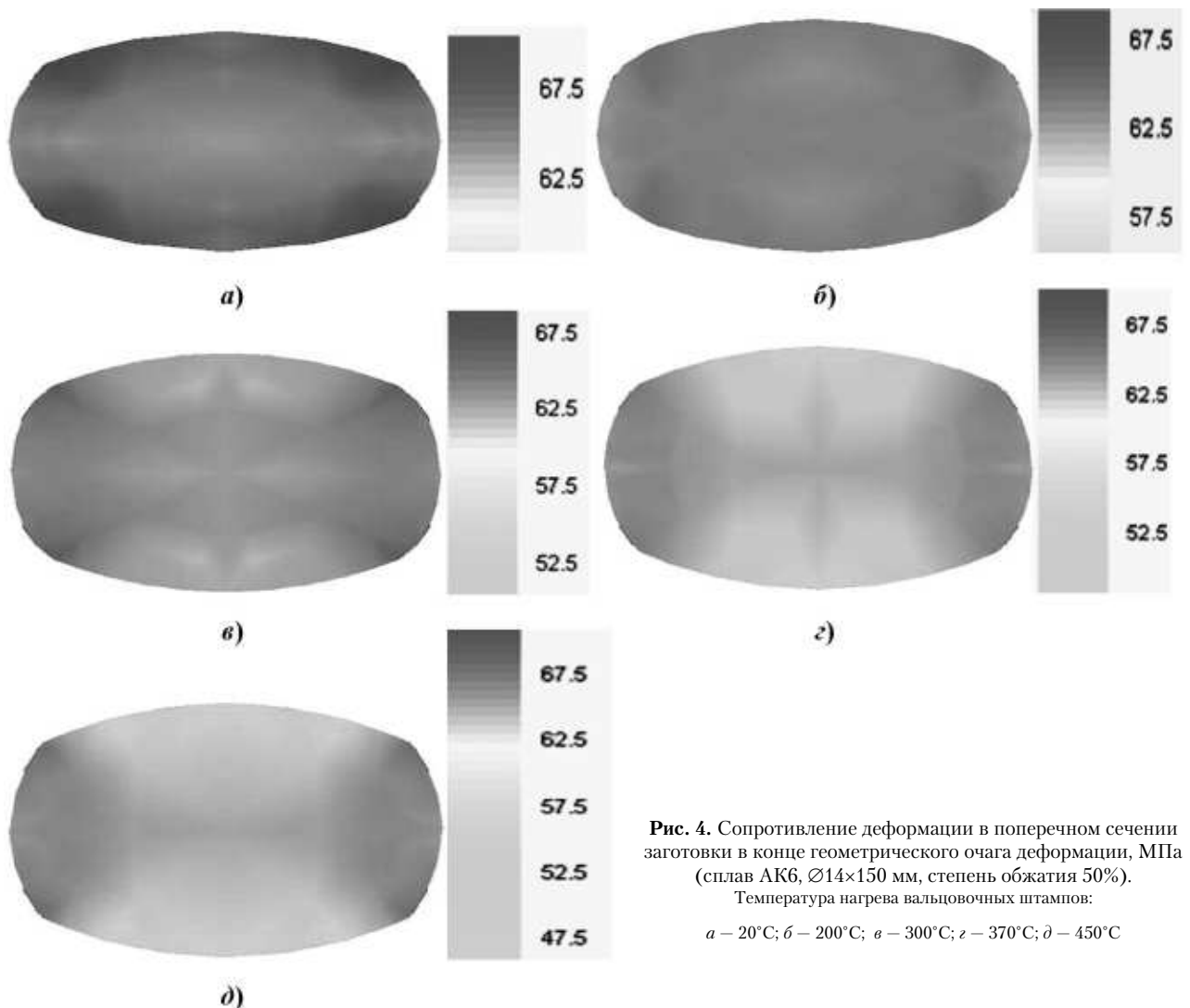


Рис. 4. Сопротивление деформации в поперечном сечении заготовки в конце геометрического очага деформации, МПа (сплав АК6, Ø14×150 мм, степень обжатия 50%).

Температура нагрева вальцовочных штампов:

а – 20°С; б – 200°С; в – 300°С; г – 370°С; д – 450°С

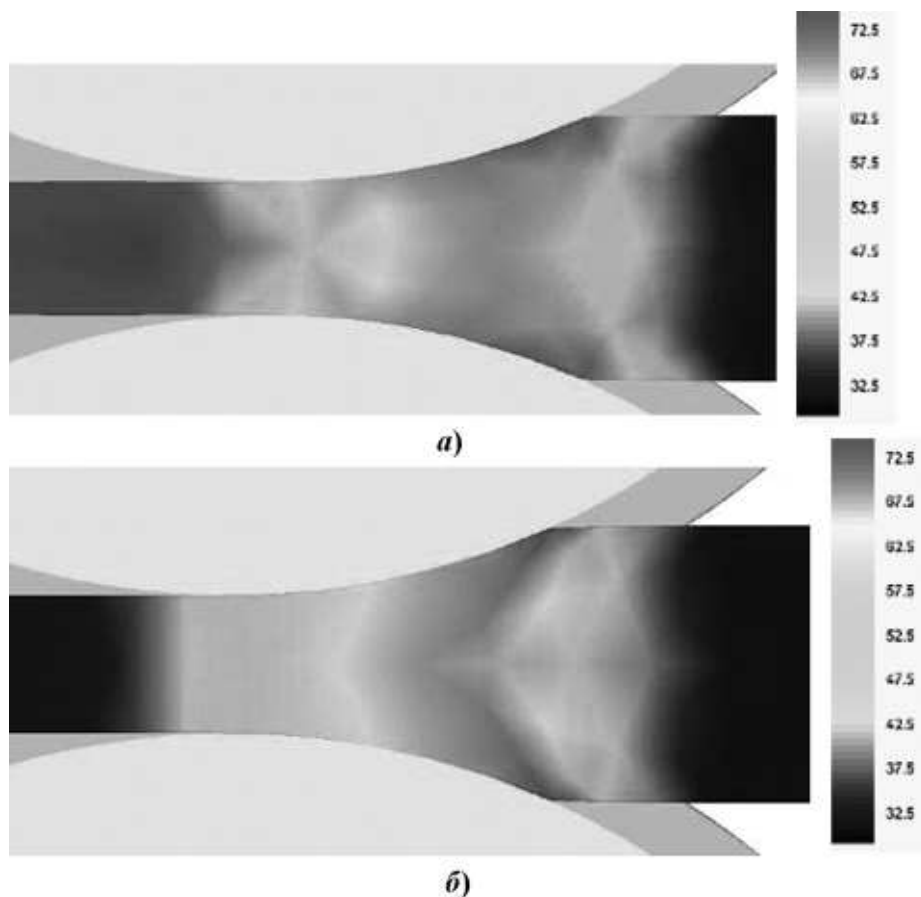


Рис. 5. Сопротивление деформации продольного сечения заготовки в очаге деформации (сплав АК6, $\varnothing 14 \times 150$ мм, степень обжатия 50%), МПа.

Температура нагрева вальцовочных штампов: а – 20°C, б – 450°C

цовочных штампов на сопротивление деформации при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов, в данной работе применялась программа для моделирования технологии объемной штамповки "QForm", расчеты в которой проводятся по методу конечных элементов.

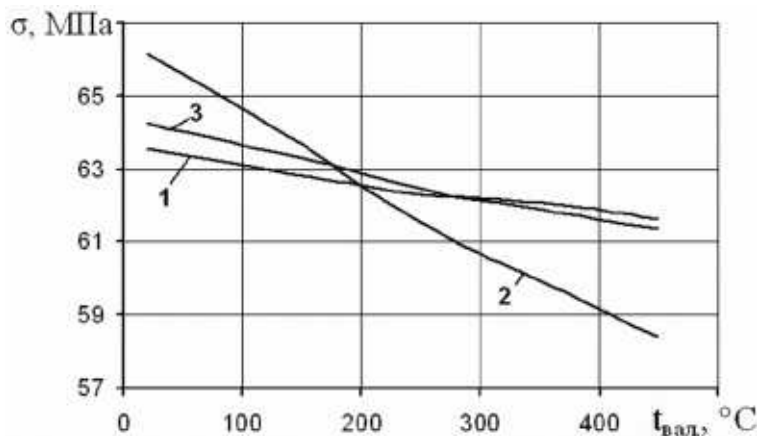


Рис. 6. Зависимость сопротивление деформации в: середине заготовки (1); месте соприкосновения заготовки с валками (2); во внеконтактных зонах (3) от температуры нагрева вальцовочных штампов в поперечном сечении середины геометрического очага деформации

На рис. 4, 5 представлены результаты исследования сопротивления деформации в поперечном и продольном сечениях заготовки, в конце геометрического очага деформации, при различных температурах нагрева вальцовочных штампов.

На рис. 6 представлена зависимость сопротивление деформации в: середине заготовки (1); месте соприкосновения заготовки с валками (2); во внеконтактных зонах (3) от температуры нагрева вальцовочных штампов в поперечном сечении середины геометрического очага деформации, из которого видно, что при температуре нагрева вальцовочных штампов ниже 200°C сопротивление деформации заготовки в месте контакта со штампами больше, чем в ее центральной части. Под влиянием нагрева вальцовочных штампов, сопротивление деформации металла в месте контакта с инструментом значительно снижается и становится меньше, чем в середине заготовки и во внеконтактных зонах. Этим объясняется уменьшение усилий, затрачиваемых на деформирование, а также то, что металл лучше течет в продольном направлении, чем в поперечном, где более высокое сопротивление деформации во внеконтактных зонах (рис. 6).

Из анализа рис. 6, 7 видно, что сопротивление деформации заготовки после выхода из очага деформации ниже у заготовок, изготавливаемых в нагретых штампах.

Из анализа рис. 6, 7 видно, что сопротивление деформации заготовки после выхода из очага деформации ниже у заготовок, изготавливаемых в нагретых штампах.

Выводы

1. Учитывая достоинство метода базисного давления, который дает наиболее близкий результат к реальным условиям в очаге деформации при вальцовке и прокатке, этот метод был принят в качестве основного для определения сопротивления деформации, т.е. принято равенство базисного давления $P_{ср.б.}$ и среднего удельного усилия $P_{ср.}$

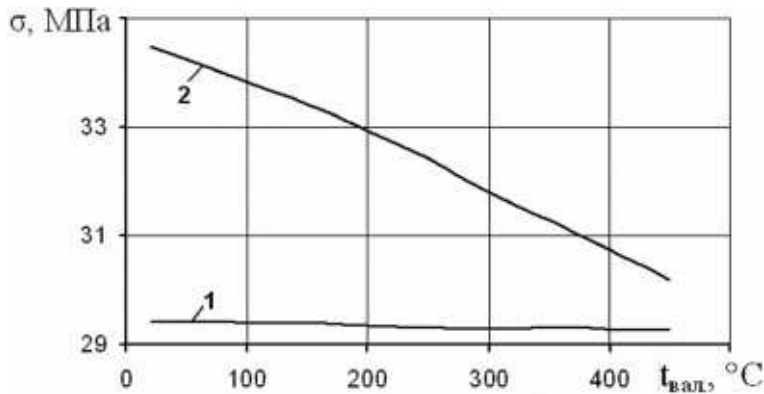


Рис. 7. Зависимость сопротивление деформации на входе в очаг деформации (1) и на выходе из очага деформации (2) от температуры нагрева вальцовочных штампов в поперечном сечении середины геометрического очага деформации

2. В статье описана методика проведения исследований по определению базисного давления. Дано объяснение характера поведения зависимостей базисного давления $P_{ср.б.}$ от коэффициента формы $l_d/h_{ср.}$.

3. Описан метод применения результатов испытания сопротивления деформации при растяжении образцов на пластометре, вводя поправочный коэффициент $K_\sigma = n_\sigma n_b$, учитывающий напряженное состояние деформируемого металла и влияние ширины заготовки на удельное давление. При определении базисного давления $K_\sigma = P_{ср.б.}/\sigma_{0,2}$.

4. Для определения расчетных зависимостей влияния температуры нагрева вальцовочных штампов на сопротивление деформации при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов, в данной работе применялась программа для моделирования технологии объемной штамповки "QForm", расчеты в которой проводятся по методу конечных элементов.

5. С применением программы "QForm" проведены исследования сопротивления деформации заготовок в: поперечном и продольном сечениях очага деформации; середине заготовки; месте соприкосновения заготовки с вальцовочными штампами; во внеконтактных зонах; на входе в очаг деформации и выходе из него.

Литература:

1. Скрябин С.А. Научное обоснование, исследование, разработка и внедрение малоотходных технологических процессов вальцовки заготовок из алюминиевых и титановых сплавов / Скрябин С.А. // Дисс. д.т.н. — М.: МАТИ, 1990. — 438 с.
2. Целиков А.И. К методике определения сопротивления деформации на прокатном стане. Известия ВУЗов / Целиков А.И. // М.: Машиностроение. № 11, 1973. — 114 с.
3. Целиков А.И. Теория прокатки. / Целиков А.И., Гришков А.И. // М.: Металлургия, 1980. — 329 с.
4. Скрябин С.А. Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах / Скрябин С.А. — Винница: А. Власюк. — 2007. — 284 с. — ISBN 978-966-2932-27-0.
5. Микляев П.Г. Атлас тройных диаграмм пластичности и сопротивления деформации алюминиевых сплавов / Микляев П.Г., Дуденков В.М., Лебедев Г.Д. // М.: ВИЛС, 1975. — 180 с.