Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 4 (2010 3) 411-421
~ ~ ~

УДК 621.777: 621.777:22

Выбор оптимальных зазоров в калибре при совмещенной прокатке-прессовании

С.В. Беляев*,
С.Б. Сидельников, И.Н. Довженко,
И.Ю. Губанов, Д.С. Ворошилов
Сибирский федеральный университет
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79 [1]

Received 3.12.2010, received in revised form 10.12.2010, accepted 17.12.2010

В статье представлена методика выбора оптимальных зазоров в калибре при совмещенной прокатке-прессовании (СПП) с учетом реологии деформируемого металла. Приведен пример расчета зазоров в калибре для процесса СПП при изготовлении пресс-изделий из алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: совмещенная прокатка-прессование, зазоры в калибре, удельное давление.

Введение

Одним из глобальных направлений в современной мировой металлургии является создание модульных технологий, которые заключаются в совмещении нескольких металлургических переделов в одном агрегате для производства заданной продукции [1]. Формы совмещения технологических операций весьма многообразны. В области обработки металлов давлением одно из перспективных направлений – совмещение процессов литья, прокатки и прессования. Особенно эффективен процесс СПП для производства длинномерных профилей небольшого поперечного сечения из цветных металлов и сплавов [2]. Однако при реализации процесса СПП сталкиваются с рядом проблем. С одной стороны, при минимальном зазоре увеличивается сила трения на границе контакта подвижных валков и неподвижной матрицы и возрастает абразивный износ инструмента, а с другой – при увеличении зазора возможно появление заусенца, что нарушает стабильность протекания непрерывного процесса СПП, ухудшает качество изделия и снижает выход годного. Поэтому задача выбора оптимального зазора в калибре, с учетом технологических и конструктивных параметров процесса СПП и реологии деформируемого металла, актуальна.

Процесс образования заусенца при СПП аналогичен обратному прессованию с «рубашкой», когда диаметр пресс-шайбы несколько меньше (на 2÷4 мм) диаметра контейнера, и во время прессования отделяется периферийный продольный слой заготовки от основной массы металла, образуя «рубашку». Механизм образования «рубашки» и силовые условия данного

* Corresponding author E-mail address: 244812@mail.ru
[1] © Siberian Federal University. All rights reserved

процесса подробно рассмотрены в работе И.Л. Перлина [3]. При этом силовой анализ данного процесса проведен на основе совместного решения приближенных уравнений равновесия и пластичности. Методика расчета давления для закрытой прошивки, которая сопоставима с процессом обратного прессования с «рубашкой», представлена в работе М.В. Сторожева [4], где удельное усилие определено на основе метода баланса работ. Разработанные методики требуют проведения дополнительного анализа и создания новой методики для проведения силового анализа образования заусенца в калибре при СПП с учетом особенностей данного процесса и реологии деформируемого металла.

Методика расчета оптимальных зазоров в калибре для СПП

Процесс образования заусенца в калибре при СПП аналогичен процессу обратного прессования, в котором роль пресс-штемпеля выполняет матрица, а давление прессования создается за счет активных сил трения подвижными валками в калибре. В начальный момент времени заусенец будет образовываться в том случае, если удельное давление прессования будет больше, чем удельное давление при образовании самого заусенца. При определении силовых условий образования заусенца в калибре при СПП вначале рассмотрим данный процесс для цилиндрического пуансона и контейнера и примем, что изменение сил трения подчиняется закону Зибеля, а напряжения трения и напряжения сдвига одинаковы и равны:

$$\tau = \mu\sigma_S, \tag{1}$$

где μ=0,5 – коэффициент трения; σ_s – сопротивление деформации металла.

При выдавливании (рис. 1) происходит течение металла в кольцевой зазор между торцом пресс-штемпеля 1 и контейнера 3. При этом в образовавшемся заусенце 2 деформации не происходит, и эта часть лишь передвигается под воздействием деформируемого металла 4, непрерывно поступающего в заусенец на уровне 5 торца пресс-штемпеля. Только при коническом пресс-штемпеле деформация будет охватывать также и объем образующегося заусенца. При цилиндрическом пресс-штемпеле металл не обтекает края его торца по направлению к оси пресс-штемпеля, и форма последнего может быть такой, какая представлена на рис. 2. Удельное усилие на пресс-штемпеле, необходимое для образования заусенца, определим методом баланса работ, взяв за основу схему процесса, представленную на рис. 2. Для какого-то момента процесса цилиндрическая зона 1 диаметром d=2r и высотой h осаживается пресс-штемпелем, а кольцевая зона 2 с наружным диаметром D=2R=d+Δ и той же высотой h подвергается внутреннему давлению, и некоторое количество металла из этой зоны вытесняется вверх в жесткую зону 3 деформированного металла, увеличивая объем последней. Зона 4 в этот момент рассматривается как жесткая. При этом высота деформируемых зон 1 и 2 в течение всего процесса деформирования остается постоянной и равной h.

Малые перемещения пуансона u_0 будут направлены вниз, а перемещения прошитой части или заусенца u – вверх:

$$u = \frac{u_0}{(R/r)^2 - 1}, \tag{2}$$

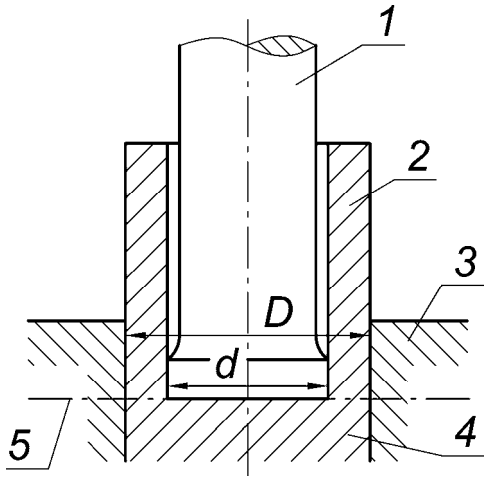

Рис. 1. Процесс образования заусенца при обратном прессовании: 1 – пресс-штемпель; 2 – заусенец; 3 – контейнер; 4 – деформируемый металл; 5 – уровень торца пресс-штемпеля

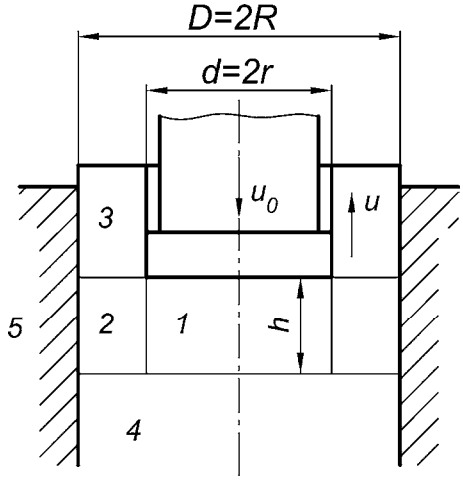

Рис. 2. Схема к расчету силовых условий образования заусенца

Удельное усилие на пресс-штемпеле $p_{ПР}$ можно представить как сумму:

$$p_{ПР} = \sum_{i=1}^{7} p_i, \tag{3}$$

где p_i – доли удельного усилия, необходимые для:

p_1 – деформирования осадкой зоны 1;

p_2 – деформации кольцевой зоны 2;

$p_3=p_{1,2}-p_{2,5}$ – преодоления трения по цилиндрической контактной поверхности между зоной 2 и контейнером и осуществления сдвига по цилиндрической поверхности разрыва между зонами 1 и 2;

$p_4=p_{1,P}+p_{1,4}$ – преодоления трения между торцом пресс-штемпеля и зоной 1 и сдвига по поверхности разрыва между зонами 1 и 4;

$p_5=p_{2,3}+p_{2,4}$ – осуществления сдвига по кольцевым поверхностям разрыва между зоной 2 и зонами 3 и 4;

$p_6=p_{3,P}+p_{3,5}$ – преодоления трения по цилиндрической контактной поверхности между зоной 3 и пресс-штемпелем и контейнером.

Далее определяем составляющие p_i удельного усилия на пресс-штемпеле. При определении перечисленных составляющих удельного усилия для зон, которые граничат с контейнером 5 (рис. 2), следует учитывать, что контейнер образован подвижными валками. Поэтому на границе контакта зоны 2 и контейнера, где скорость движения валков больше скорости перемещения деформируемого металла, будут действовать активные силы трения ($p_{2,5}<0$), а на границе контакта зоны 3 с контейнером, наоборот, скорости истечения заусенца превышают скорости движения валков, поэтому силы трения будут реактивными ($p_{3,5}>0$).

Удельное усилие p_1 при осадке зоны 1 будет равно $p_1=\beta\sigma_s$, где β–1,1

Деформация кольцевой зоны 2 будет осесимметричной, а деформацию ε_Z можно принять при малых перемещениях постоянной, тогда:

$$\varepsilon_Z = \frac{u}{h}; \qquad \varepsilon_\rho = \frac{du_\rho}{d\rho}; \qquad \varepsilon_\theta = \frac{u_\rho}{\rho}. \tag{4}$$

Из условия постоянства объема получим:

$$\frac{du_\rho}{d\rho} + \frac{u_\rho}{\rho} + \frac{u}{h} = 0. \tag{5}$$

Тогда:

$$\frac{d(\rho u_\rho)}{d\rho} = -\frac{\rho u}{h}. \tag{6}$$

Учитывая, что у стенки контейнера при ρ=R перемещение u_ρ=0, то после интегрирования и определения постоянной интегрирования получим:

$$u_\rho = \frac{u_0}{2h} \cdot \frac{1}{(R/r)^2 - 1} \cdot \frac{R^2 - \rho^2}{\rho}. \tag{7}$$

Тогда компоненты деформации будут равны:

$$\varepsilon_\rho = \frac{du_\rho}{d\rho} = -\frac{u_0}{2h} \cdot \frac{1}{(R/r)^2 - 1}(1 + \frac{R^2}{\rho^2}); \tag{8}$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{u_\rho}{\rho} = -\frac{u_0}{2h} \cdot \frac{1}{(R/r)^2 - 1}(1 - \frac{R^2}{\rho^2}); \tag{9}$$

$$\varepsilon_Z = \frac{u}{h} = -\frac{u_0}{h} \cdot \frac{1}{(R/r)^2 - 1}. \tag{10}$$

Учитывая, что $(R/\rho)^2 \geq 1$, то деформации ε_Z, ε_θ будут положительны, а деформация ε_ρ – отрицательна и максимальна по абсолютной величине. Так как интенсивность деформаций ε_i в данном случае мало отличается по абсолютной величине главной деформации, то $\varepsilon_i = \beta|\varepsilon|_{\max}$.

Уравнение баланса работ для данного случая деформирования можно записать в следующем виде:

$$p_2 \pi r^2 u_0 = \sigma_S \int_V \varepsilon_i dV = \frac{\beta \sigma_S \pi u_0}{(R/r)^2 - 1} \int_r^R (1 + \frac{R^2}{\rho^2}) \rho d\rho, \tag{11}$$

где $dV = 2\pi h \rho d\rho$.

После интегрирования, подстановки пределов и замены радиусов диаметрами окончательно получим:

$$p_2 = \beta \sigma_S (0,5 + \frac{1}{1 - (d/D)^2} \ln \frac{D}{d}). \tag{12}$$

При нахождении удельного усилия p_3 следует принять во внимание, что перемещение верхней границы зоны 2 относительно контейнера равно u, т. е. перемещению зоны 3, а нижняя граница зоны 2 относительно контейнера неподвижна. Так как осевая деформация зоны 2 принята постоянной, то величина перемещений по поверхности контейнера точек зоны 2 будет изменяться линейно. Поэтому при расчете работ трения можно взять среднее перемещение:

$$0,5u = \frac{0,5u_0}{(R/r)^2 - 1}. \tag{13}$$

Тогда уравнение баланса работ для удельного усилия $p_{2,5}$ примет следующий вид:

$$p_{2,5}\pi r^2 u_0 = 0,5\beta\sigma_S 2\pi Rh\frac{0,5u_0}{(R/r)^2-1}. \quad (14)$$

Откуда

$$p_{2,5} = \beta\sigma_S \cdot \frac{h}{d}\cdot\frac{D/d}{(D/d)^2-1}. \quad (15)$$

Аналогично находим удельное усилие $p_{1,2}$, где в качестве среднего перемещения в уравнение баланса работ подставляем полусумму перемещений u и u_0:

$$p_{1,2}\pi r^2 u_0 = 0,5\beta\sigma_S 2\pi rh0,5u_0(\frac{1}{(R/r)^2-1}+1). \quad (16)$$

Откуда

$$p_{1,2} = \beta\sigma_S \frac{h}{d}\cdot\frac{1}{1-(d/D)^2}. \quad (17)$$

Далее окончательно получаем:

$$p_3 = p_{1,2} - p_{2,5} = \beta\sigma_S \frac{h}{d}\cdot\frac{1}{1+d/D}. \quad (18)$$

Расчет удельного усилия $p_4=p_{1,P}+p_{1,4}$ на преодоление трения между торцом пресс-штемпеля и зоной 1 и сдвига по поверхности разрыва между зонами 1 и 4 представлен в работе [4]:

$$p_4 = p_{1,P} + p_{1,4} = \beta\sigma_S \cdot \frac{d}{6h}. \quad (19)$$

$p_5=p_{2,3}+p_{2,4}$ – осуществления сдвига по кольцевым поверхностям разрыва между зоной 2 и зонами 3 и 4;

Сдвиг по кольцевым поверхностям разрыва между зоной 2 и зонами 3 и 4 происходит в результате перемещения u_ρ, которое не является линейной функцией координат. Поэтому необходимо выполнить интегрирование по площадям разрыва. Уравнение баланса работ для двух поверхностей будет следующего вида:

$$p_5\pi r^2 u_0 = \frac{\beta\sigma_S 2\pi u_0}{2h[(R/r)^2-1]}\int_r^R \frac{R^2-\rho^2}{\rho})\rho d\rho. \quad (20)$$

После интегрирования и преобразований получим:

$$p_5 = \beta\sigma_S \frac{d}{h}\cdot\frac{(d/D)^3-3d/D+2}{6d/D[1-(d/D)^2]}. \quad (21)$$

Уравнение баланса работ для преодоления трения по цилиндрической контактной поверхности между зоной 3 и пресс-штемпелем и контейнером будет следующего вида:

$$p_6\pi r^2 u_0 = 0,5\beta\sigma_S 2\pi(R+r)l_{PП}\frac{u_0}{(R/r)^2-1}. \quad (22)$$

Откуда

$$p_6 = p_{3,P} + p_{3,5} = \frac{2\beta\sigma_S\, l_{PП}/D}{1-d/D}, \quad (23)$$

где l_P – высота рабочего пояска пресс-штемпеля.

Просуммируем найденные значения составляющих удельного усилия на пресс-штемпеле:

$$p_{ПР} = \beta\sigma_S[1,5 + \frac{\ln(D/d)}{1-(d/D)^2} + \frac{2l_{РП}/D}{1-d/D} + \frac{h/d}{1+d/D} + \frac{d/h}{3(d/D)(1+d/D)}]. \quad (24)$$

В данном уравнении неизвестна глубина очага деформации под пресс-штемпелем h, которая находится на основании принципа минимума энергии деформации:

$$\frac{h}{d} = \sqrt{\frac{a}{b}} = \sqrt{\frac{3d}{D}}, \quad (25)$$

где $a = \frac{1}{1+d/D}$ и $b = \frac{1}{3(d/D)(1+d/D)}$ – сомножители h/d и d/h последних членов уравнения (24).

Тогда

$$\frac{h/d}{1+d/D} + \frac{d/h}{3(d/D)(1+d/D)} = 2\sqrt{ab} = \frac{2}{1+d/D\sqrt{3d/D}}. \quad (26)$$

Подставляя найденное значение h в уравнение (24) и учитывая (26), окончательно найдем удельное давление в объеме деформируемого металла при выдавливании заусенца:

$$\frac{p_{ЗС}}{\sigma_S} = \beta\cdot(\frac{d}{D})^2[1,5 + \frac{\ln(D/d)}{1-(d/D)^2} + \frac{2l_{РП}}{\Delta} + \frac{2}{(1+d/D)\sqrt{3d/D}}]. \quad (27)$$

Определим удельное давление при выдавливании заусенца на основе совместного решения приближенных уравнений равновесия и пластичности по методике И.Л. Перлина [3]. Решение данной задачи сведем к определению удельного давления при прессовании с обратным истечением трубы или «стакана» на пресс-штемпель. В рассматриваемом процессе в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3, общая сила прессования может быть представлена в виде суммы следующих сил:

$$P_{ПР} = R_M - T_{1,2} + T_{2,3} - T_{3,4} + T_{5,6} + T_{6,7} + T_{8,9}, \quad (28)$$

где R_M – сила, необходимая для осуществления основной деформации без учета сил трения;

$T_{1,2}$ – сила для преодоления трения на участке 1-2 боковой поверхности контейнера;

$T_{2,3}$+$T_{5,6}$ – сила для преодоления трения на участке контейнера 2-3 и на рабочем участке пресс-штемпеля 5-6;

$T_{3,4}$ – сила для преодоления трения на участке контейнера 3-4, соответствующем высоте пластической зоны $h_{ПЗ}$;

$T_{6,7}$ – сила для преодоления трения на торцовой поверхности пресс-штемпеля;

$T_{8,9}$ – сила для преодоления трения по дну контейнера.

Силы $T_{1,2}$ и $T_{3,4}$ будут отрицательными, т.к. на границе контакта с контейнером, который образован подвижными валками, в начальный момент образования заусенца будут действовать активные силы трения. Силу $T_{1,2}$ в расчет можно не принимать, т. к. давление на внутреннюю поверхность трубы отсутствует, а силы, вызываемые упругими деформациями трубы, несоизмеримо малы по сравнению со всеми прочими силами, действующими на прессуемый металл.

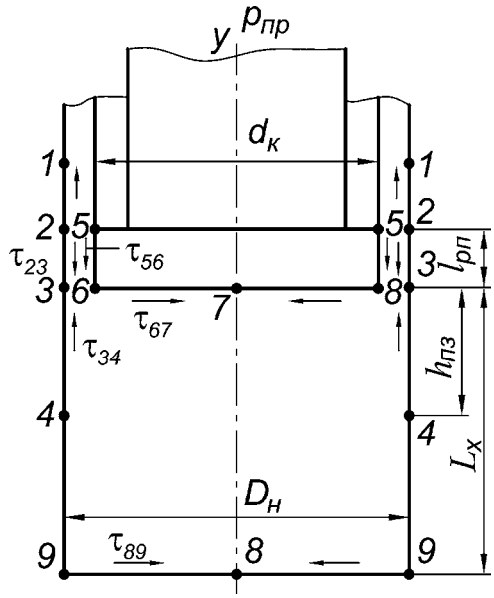

Рис. 3. Схема сил контактного трения, действующих на прессуемый металл при обратном истечении трубы на пресс-штемпель

Силу R_M можно определить исходя из следующих соображений: при отсутствии контактного трения течение металла в пластической зоне в рассматриваемом процессе аналогично процессу обратного истечения круглого сплошного профиля через плоскую матрицу, кроме направления течения относительно оси симметрии Y-Y. В рассматриваемом процессе металл течет от этой оси к периферии, тогда как при прессовании круглого сплошного профиля – от периферии к оси. Такое изменение направления течения при отсутствии контактного трения не может повлиять на величину искомой силы, поэтому для ее определения может быть применена формула, в которой следует принять $\alpha_{ПР} \approx \pi/2$:

$$R_M = \frac{F_H \sigma_S \ln \lambda_{ЗС}}{\cos^2 \alpha_{ПР}/2} = 2F_H \sigma_S \ln \lambda_{ЗС}, \tag{29}$$

где $\lambda_{ЗС} = \dfrac{F_H}{F_{ЗС}} = \dfrac{F_H}{F_H - F_{ПР}}$ – вытяжка при выдавливании заусенца;

$F_H = \dfrac{\pi D_H^2}{4}$ и $F_{ПР} = \dfrac{\pi d_K^2}{4}$ – площади поперечного сечения контейнера и пресс-штемпеля соответственно.

Сумма сил $T_{2,3}+T_{5,6}$ на участках 2-3 и 5-6 можно рассматривать, как поверхности калибрующего пояска длиной $l_{ПР}$:

$$T_{2,3} + T_{5,6} = \pi(D_H + d_K)\mu_S \sigma_S \lambda_{ЗС} l_{РП}, \tag{30}$$

где $\mu_S \square 0,5$ – коэффициент трения, которое подчиняется закону Зибеля, принимается для всех зон равным максимальному значению.

Скорость скольжения металла по контейнеру на окружности, определяемой точкой 3, равна $v_M = \lambda_{ЗС} v_{ПР}$ (где $v_{ПР}$ – скорость движения пресс-штемпеля). Скорость скольжения металла по

контейнеру на окружности, определяемой точкой 4, находящейся на границе упругой и пластической зон, можно считать равной нулю. Среднюю скорость скольжения по участку 3-4 можно считать равной $\lambda_{ЗС}\, v_{ПР}/2$. Отсюда, имея в виду равенство мощностей активных и реактивных сил, определяем силу $T_{3,4}$ по следующей формуле:

$$T_{3,4} = \frac{\pi}{4} D_H \sigma_S \lambda_{ЗС} h_{ПЗ}, \tag{31}$$

где $h_{ПЗ} = \dfrac{D_H + d_K}{2\sqrt{\lambda_{ЗС}}}$ – высота пластической зоны.

Сила $T_{6,7}$ определяется на основании того же положения равенства мощностей соответствующих активных и реактивных сил. Учитывая, что средняя скорость скольжения по торцовой поверхности пресс-штемпеля может быть определена по формуле

$$v_{CP}(L_X) = \frac{v_{ПР} D_X}{6 L_X}, \tag{32}$$

где D_X и L_X – текущие высота деформируемого металла до дна контейнера и диаметр контактной поверхности, а также, что максимальное сдвигающее напряжение металла в его состоянии на контактной поверхности с пресс-шайбой и коэффициент трения не могут сколько-нибудь заметно отличаться от таких же параметров на боковой поверхности контейнера, применяя уравнение мощностей, определяем силу $T_{6,7}$:

$$T_{6,7} = \frac{\pi d_K^3}{48 h_d} \sigma_S. \tag{33}$$

Силу $T_{8,9}$ определяем на основе тех же рассуждений, что силу $T_{6,7}$:

$$T_{8,9} = \frac{\pi D_H^3}{48 h_D} \sigma_S, \tag{34}$$

где h_D определяем в зависимости от текущей длины заготовки:

при $L_X > h_{ПЗ}$, $h_d = h_{ПЗ}$, и $h_D = \infty$; при $L_X > h_{ПЗ}$, $h_d = h_D = L_X$.

Для непрерывного процесса СПП заготовка имеет бесконечную длину, поэтому $T_{8,9}=0$.

Подставляя найденные силы в уравнение (28), окончательно найдем удельное давление в объеме деформируемого металла при выдавливании заусенца:

$$\frac{p_{ЗС}}{\sigma_S} = \frac{P_{ПР}}{\sigma_S F_H} = 2\ln\lambda_{ЗС} + 2\lambda_{ЗС}\left(1 + \frac{d_K}{D_H}\right)\frac{l_{РП}}{D_H} - \lambda_{ЗС}\frac{h_{ПЗ}}{D_H} + \frac{d_K}{12 h_{ПЗ}}\left(\frac{d_K}{D_H}\right)^2. \tag{35}$$

В установке СПП валок с ручьем и валок с выступом образуют рабочий калибр прямоугольного сечения шириной b_K, на выходе из которого установлена матрица также прямоугольного сечения высотой h_M. Поэтому преобразуем полученные формулы (27) и (35) для расчета технологических и конструктивных параметров процесса СПП. Пусть зазор Δ между матрицей и валками равномерно расположен по всему периметру. Тогда площади калибра F_K, матрицы F_M и заусенца (зазора) $F_{ЗС}$ будут соответственно равны:

$$F_K = (b_K + \Delta)(h_M + \Delta),\ F_M = b_K h_M,\ F_{ЗС} = F_K - F_M \simeq \Delta(b_K + h_M). \tag{36}$$

Вытяжка при выдавливании заусенца $\lambda_{ЗС}$ будет равна:

$$\lambda_{ЗС} = \frac{F_K}{F_K - F_M} = 1 + \frac{b_K h_M}{\Delta(b_K + h_M)}. \tag{37}$$

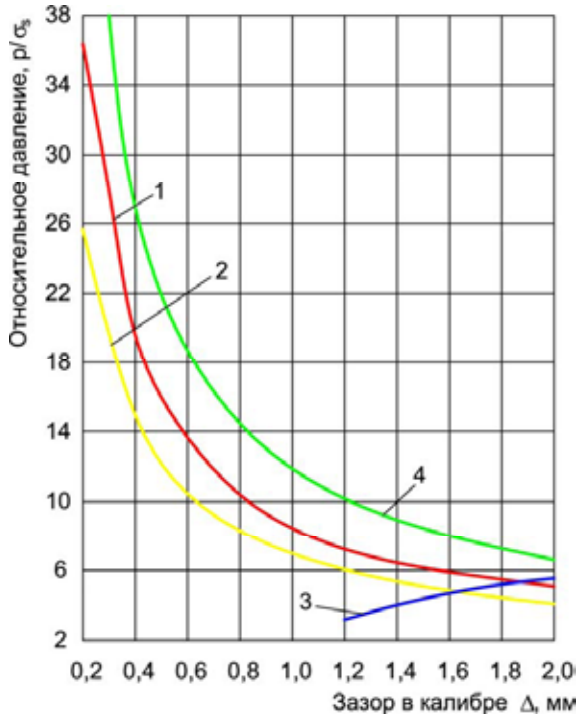

Рис. 4. Изменение относительного удельного давления при выдавливании заусенца

Кроме того, учтем следующие соотношения:

$$(\frac{D}{d})^2 = \frac{F_K}{F_M} = 1 + \frac{\Delta(b_K + h_M)}{b_K + h_M} = \frac{\lambda_{ЗС}}{\lambda_{ЗС} - 1},\ D = \frac{2(b_K + h_M + 2\Delta)}{\pi}. \quad (38)$$

С учетом вышеприведенных выражений получим следующие зависимости для определения удельного давления при выдавливании заусенца из калибра прямоугольного сечения:

- по методике М.В. Сторожева [4]

$$\frac{p_{ЗС}}{\sigma_S} = \frac{\beta(\lambda_{ЗС} - 1)}{\lambda_{ЗС}}[1,5 + 0,5\lambda_{ЗС}\ln(\frac{\lambda_{ЗС}}{\lambda_{ЗС} - 1}) + \frac{2l_{РП}}{\Delta} + \frac{1,15\sqrt{\lambda_{ЗС}}}{\sqrt{\lambda_{ЗС}} + \sqrt{\lambda_{ЗС} - 1}}]; \quad (39)$$

- по методике И.Л. Перлина [3]

$$\frac{p_{ЗС}}{\sigma_S} = 2\ln\lambda_{ЗС} + \frac{2\pi\lambda_{ЗС}\, l_{РП}/b_K}{1 + h_M/b_K + 2\Delta/b_K} - \sqrt{\lambda_{ЗС}} + \frac{(\lambda_{ЗС} - 1)^{3/2}}{6\lambda_{ЗС}}. \quad (40)$$

На рис. 4 представлены графики относительного удельного давления в начальный момент образования заусенца, полученные по формулам (39) – кривая 1 и (40) – кривая 2, а также кривая 3 – изменение удельного давления прессования в зависимости от вытяжки прессования, которая изменялась в пределах $\lambda_{ПР} = 4 \div 12$, при изготовлении прутка из алюминиевого сплава АД31 на установке СПП. При этом калибр имел ширину b_K=20мм, высота матрицы h_M=22 мм, а длина контакта матрицы с калибром $l_{ПР}$=3,0 мм. Кривая 4 – это изменение относительного удельного давления при образовании заусенца, рассчитанное по формуле (40) и при длине контакта матрицы с калибром $l_{ПР}$=6,0 мм.

Выводы

Анализируя полученные результаты, можно отметить следующее:

1. При определении удельного усилия для образования заусенца на основе метода баланса работ по методике М.В. Сторожева [4] более высокие результаты расчетов (на 20÷30 %), чем рассчитанные по методике И.Л. Перлина [3].

2. С увеличением длины контакта матрицы с калибром удельное усилие для образования заусенца возрастает.

3. Оптимальный односторонний зазор при СПП должен составлять $5 \le \Delta/2 \le 0,7$ мм. При меньшем значении возможно образование надиров [5], при большем – появление заусенца.

Статья опубликована при поддержке Программы развития Сибирского федерального университета

Список литературы

1. Рудской А.И. Теория и технология прокатного производства: учебное пособие / А.И. Рудской, В.А. Лунев. – СПб.: Наука, 2005. – 540 с.
2. Довженко Н.Н. Прессование алюминиевых сплавов: моделирование и управление тепловыми условиями: монография / Н.Н. Довженко, С.В. Беляев, С.Б. Сидельников и др. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2009. – 256 с.
3. Перлин И.Л. Теория прессования металлов / И.Л. Перлин, Л.Х. Райтбарг. – М.: Металлургия, 1977. – 448 с.
4. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1975. – 423 с.
5. Сидорин А.А. Совершенствование процесса непрерывного прессования тонкостенных труб из алюминиевых сплавов: автореф. дисс. … канд. техн. наук: 05.16.05 – М.: МИСиС, 2006. – 22 с.

The Decision of the Optimal Choices in Fixed Gage for the Process of Combine Rolling and Extrusion

Sergey V. Belyaev,
Sergey B. Sidelnikov, Ivan N. Dovzenko,
Ivan Y. Gubanov and Denis S. Voroshilov
Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia

The report presents the design procedure of the optimal choices in fixed gage for the process of combine rolling-and extrusion with a glance of the rheology of the deformed metal. The example of calculation of optimal choice in fixed gage for combine rolling and extrusion for making the profiles from aluminum alloy is resulted.

Keywords: process of combine rolling-and extrusion, choice in fixed gage, specific pressure.