

программы, реализующие А-процедуры.

При автоматизированном проектировании проектировщик сам определяет технологию проектирования штампа: принимает решение об использовании одной из имеющихся в базе данных типовых конструкций штампа или о проектировании оригинальной; определяет номенклатуру деталей штампа, подлежащих автоматизированному проектированию; выбирает с использованием библиотеки графических элементов требуемое конструктивное исполнение сборочной единицы, детали или отдельных ее элементов; выбирает из библиотеки типовые надписи на поле чертежа и при необходимости дорабатывает их в режиме диалога.

САПР ЭКСПРЕССШТАМП разрабатывается как открытая диалоговая система проектирования, которая может совершенствоваться и развиваться за счет последовательного и независимого наращивания А- и Д-процедур проектирования. Система пригодна к промышленной эксплуатации на самых ранних стадиях ее создания на предприятии. Значительная часть работы по совершенствованию и развитию системы может выполняться заводскими специалистами по проектированию штампов, не имеющими глубоких знаний и опыта в области автоматизации проектных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д о б р о в о л ь с к а я М.К. Состояние и перспективы развития САПР холодноштамповочного производства в отрасли ТисХМ // Совершенствование конструирования, изготовления и эксплуатации штампов для холодной штамповки на предприятиях отрасли, – Барнаул, 1982. – С. 23–25. 2. Г р и в а ч е в с к и й А.Г., П р о х в а т к и н Н.В. Моделирование и автоматизация проектирования штампов / Под ред. Е.А. Стародетко. – Минск: Наука и техника, 1986. – 198 с. 3. Т е т е р и н Г.П., Ш п а к Н.Б., Д о б р о в о л ь с к а я М.К. Применение диалоговой системы конструирования при автоматизированном технологическом проектировании // Кузнечно-штамповоч. пр-во. – 1987. – № 7. – С. 4.

УДК 621.771

ХОАНГ ВАН ДАО

### КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И СИЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОКАТКИ В ВАЛКАХ С КОЛЕБЛЮЩИМСЯ БАНДАЖОМ

Теоретические и экспериментальные исследования в области обработки металлов давлением, проведенные в последнее время, подтверждают возможность применения низкочастотных колебаний в целях дальнейшей ее интенсификации [1, 2]. При прокатке с наложением низкочастотных колебаний рабочие валки, кроме вращательного движения, совершают колебательное движение в радиальном, продольном, крутильном или смешанных направлениях. В этих процессах давление металла на валки снижается за счет уменьшения площади контакта металла с валком, снижения сопротивления металла пластической деформации, изменения характера напряженного состояния обрабатываемого металла в очаге деформации, изменения условия контактного трения.

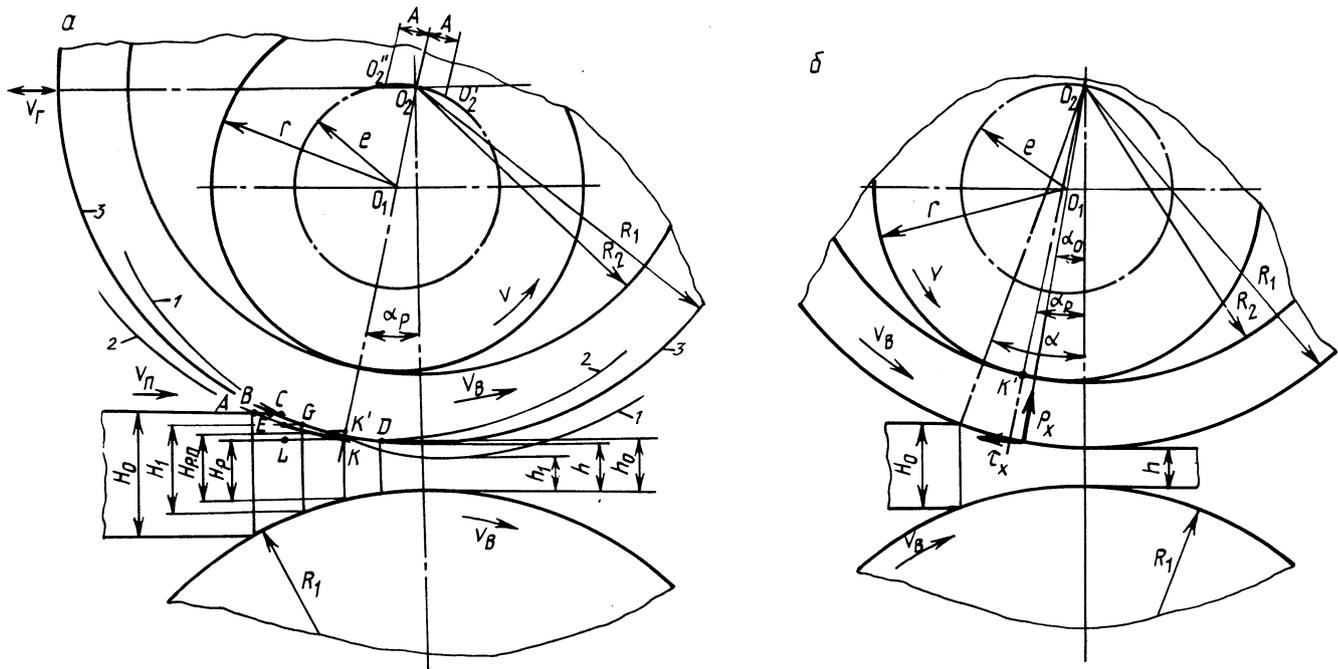


Рис. 1. Схема процесса прокатки в валках с колеблющимся бандажом

В данной работе рассмотрен процесс продольной прокатки в валках с колеблющимися бандажами (рис. 1, а). Отличие этого способа от известных способов прокатки состоит в том, что только бандаж совершает одновременно в процессе прокатки колебательное движение в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Рассмотрим кинематические особенности этого способа. Средняя скорость перемещения бандажа в горизонтальном направлении —  $v_{\Gamma}$ . Валки вращаются с окружной скоростью  $v_{\text{в}}$ . Средняя скорость движения ленты —  $v_{\text{п}}$ , причем, пренебрегая опережением, принимаем, что  $v_{\text{п}} = v_{\text{в}}$ . Если скорость горизонтального перемещения бандажа больше скорости движения ленты, то, как видно из рис. 1, а, бандаж внедряется в ленту в выходной части очага деформации. Имеет место разрыв контакта металла с валком во входной части, в данном случае в начальный момент по дуге  $AK$ . Так как лента движется по направлению прокатки со скоростью  $v_{\text{п}}$ , то площадь контакта металла с валком растет и в конечный момент дуга увеличивается на отрезок  $GK$ . Аналогично при движении в обратном направлении бандаж внедряется в ленту с входной части очага деформации и имеет место разрыв контакта металла с валком в выходной части. Дуга контакта в начальный момент определяется как  $AK$ , а в конечный момент увеличивается на  $KD$ .

Из вышеизложенного видно, что при прокатке в валках с колеблющимися бандажами имеет место частичный разрыв контакта металла с валком. Причем максимальные площади контакта наблюдаются в крайних точках колебания бандажа. Это явление придает процессу ряд особенностей, таких как уменьшение площади контакта металла с валком, уменьшение степени деформации и контактного трения в очаге деформации.

Определим степень снижения давления металла на валки, не учитывая изменения сил контактного трения. Из рис. 1, а с условием  $v_{\Gamma} \geq v_{\text{п}}$  видно, что

$$v_{\Gamma}/v_{\text{в}} = AC/AB. \quad (1)$$

Принимая дуги  $AK$  и  $CK$  за прямые, из  $\triangle ACK$  и  $\triangle CLK$  имеем:

$$AC/AB = CL/GM; \quad (2)$$

$$GM = \frac{H_1 - H_p}{2}; \quad (3)$$

$$CL = \frac{H_0 - H_p}{2}, \quad (4)$$

где  $H_1$  — текущая толщина ленты во входной части очага деформации;  $H_p$  — толщина ленты в положении равновесия;  $H_0$  — начальная толщина ленты.

Подставив выражения (3), (4) в уравнение (2) и затем (1), учитывая  $v_{\text{в}} = v_{\text{п}}$ , получим

$$\frac{v_{\Gamma}}{v_{\text{в}}} = \frac{H_0 - H_p}{H_1 - H_p}. \quad (5)$$

После преобразования

$$H_1 = H_p + \frac{v_B}{v_r} (H_0 - H_p). \quad (6)$$

Так как бандаж совершает колебательное движение через положение равновесия

$$h_0 = H_p - \frac{v_B}{v_r} (H_0 - H_p). \quad (7)$$

Толщину ленты в положении равновесия можно определить по выражению

$$H_p = H_{p.n} - e(1 - \cos A/e) \cos \alpha_p, \quad (8)$$

где  $H_{p.n}$  — толщина ленты в положении равновесия в процессе прокатки без колебания;  $e$  — эксцентриситет валка;  $A$  — амплитуда колебания бандажа;  $\alpha_p$  — угол равновесия бандажа.

Из рис. 1, б и условия равновесия бандажа имеем

$$\int_0^{\alpha} P_x R_1 d\alpha_x R_2 (\alpha_p - \alpha_0) - \left( \int_0^{\alpha_n} \mu P_x R_1 d\alpha_x - \int_0^{\alpha_n} \mu P_x R_1 d\alpha_x \right) \frac{R_1 - R_2}{\cos \alpha_0} = 0. \quad (9)$$

После интегрирования получим выражение для определения угла равновесия:

$$\alpha_p = \alpha_0 + \frac{\mu (R_1 - R_2) (\alpha - 2\alpha_n)}{R_2 \alpha \cos \alpha_0}, \quad (10)$$

где  $\alpha_0$  — угол приложения равнодействующей силы;  $R_1, R_2$  — соответственно внешний и внутренний радиусы бандажа;  $\alpha$  — угол охвата;  $\alpha_n$  — нейтральный угол.

Степень снижения давления металла на валки можно определить следующим образом:

$$\eta_p = \frac{p_{ср.п} A_{п} - p_{ср.б} A_{б}}{p_{ср.п} A_{п}}, \quad (11)$$

где  $p_{ср.п}, p_{ср.б}$  — среднее контактное давление на валки при обычной прокатке и при прокатке с колеблющимся бандажом;  $A_{п}, A_{б}$  — площади контакта металла с валком.

Так как самое большое давление металла на валки имеет место при прокатке в валках с бандажами, когда бандаж движется по направлению прокатки и находится в крайнем положении, значения  $A_{п}, A_{б}$  можно определить по выражениям [3]:

$$A_{п} = \sqrt{R_1 \Delta h_{п}} b; \quad (12)$$

$$A_{б} = \sqrt{R_1 \Delta h_{б}} b, \quad (13)$$

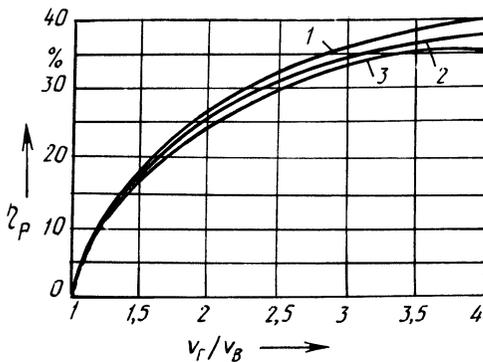


Рис. 2. Зависимость степени снижения давления металла на валки от соотношения  $v_r/v_B$ :  
 1 -  $\epsilon = 16\%$ ; 2 -  $\epsilon = 33,3\%$ ; 3 -  $\epsilon = 50\%$ ;  $\mu = 0,1$ ;  $R_1 = 100$ ;  $R_2 = 75$ ;  
 $e = 10$ ;  $A = 0,8$

где

$$\Delta h_{н} = H_0 - h_1, \quad (14)$$

$$\Delta h_{б} = H_1 - h_1. \quad (15)$$

Среднее контактное давление определяется по выражениям:

$$p_{ср.н} = 2\tau \frac{2h_1}{\Delta h_{н}(\delta_{н}-1)} \left(\frac{h_{н.н}}{h_1}\right) \left[\left(\frac{h_{н.н}}{h_1}\right)^{\delta_{н}} - 1\right]; \quad (16)$$

$$p_{ср.б} = 2\tau \frac{2h_1}{\Delta h_{б}(\delta_{б}-1)} \left(\frac{h_{н.б}}{h_1}\right) \left[\left(\frac{h_{н.б}}{h_1}\right)^{\delta_{б}} - 1\right], \quad (17)$$

где

$$\delta_{н} = \frac{\mu 2l_{н}}{\Delta h_{н}}; \quad (18)$$

$$\delta_{б} = \frac{\mu 2l_{б}}{\Delta h_{б}}; \quad (19)$$

$$\frac{h_{н.н}}{h_1} = \left\{ [1 + \sqrt{1 + (\delta_{н}^2 - 1)(H_0/h_1)}] / (\delta_{н} + 1) \right\}^{1/\delta_{н}}; \quad (20)$$

$$\frac{h_{н.б}}{h_1} = \left\{ [1 + \sqrt{1 + (\delta_{б}^2 - 1)(H_1/h_1)}] / (\delta_{б} + 1) \right\}^{1/\delta_{б}}. \quad (21)$$

Подставив (12), (13), (16) и (17) в (11), после сокращения получим

$$\eta_p = 1 - \frac{\sqrt{\Delta h_{н}}(\delta_{н}-1)h_{н.б} \left[\left(\frac{h_{н.б}}{h_1}\right)^{\delta_{б}} - 1\right]}{\sqrt{\Delta h_{б}}(\delta_{б}-1)h_{н.н} \left[\left(\frac{h_{н.н}}{h_1}\right)^{\delta_{н}} - 1\right]}. \quad (22)$$

Степень снижения давления на валки можно определить по выражению (22). Расчетные степени снижения давления на валки показаны на рис. 2. Из рис. 2 видно, что чем больше соотношение  $v_r/v_B$ , тем больше степень снижения давления на валки.

При прокатке в валках с колеблющимся бандажом обеспечивается значительное снижение давления металла на валки. При улучшении условия контактного трения металла с валком за счет частичного разрыва контакта, то эффект снижения давления металла на валки еще увеличивается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Северденко В.П., Степаненко А.В., Хренов О.В. Прокатка с механическими колебаниями валков // Докл. АН БССР. – 1971. – Т. XV, № 10. – С. 900–903.
2. Николаев В.А. Давление и момент при прокатке полосы с вибрационным нагружением // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1971. – № 6. – С. 102–105.
3. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.

УДК 563.12:669.046

В.И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, И.А. ТРУСОВА,  
Э.А. ГУРВИЧ, В.Б. КОВАЛЕВСКИЙ, В.А. ХЛЕБЦЕВИЧ

### РАСЧЕТ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ НАГРЕВЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СЛИТКОВ И ЗАГОТОВОК ПЕРЕД ПРОКАТКОЙ

Решение вопросов интенсификации процессов производства проката требует тщательного изучения сопутствующих тепловых и термомеханических явлений. Почти полное отсутствие в отечественной и зарубежной литературе соответствующих экспериментальных данных, обусловленное известными методическими и организационными трудностями проведения качественного эксперимента, привело к поиску новых методов оценки этих явлений. В последнее время наибольшее распространение, в частности в инженерной практике, получил метод математического моделирования.

В работе предлагается математическая модель термоупругопластичности при радиационно-конвективном нагреве сплошного неограниченного цилиндра с учетом зависимости теплофизических и термомеханических свойств материала от температуры. Реализация модели позволяет проследить динамику изменения полей температур и термических напряжений в массивных цилиндрических слитках и заготовках и оценить их состояние перед прокаткой и прошивкой.

Считаем материал нагреваемого тела идеальным упругопластическим, предел текучести – линейной функцией температуры  $\sigma_T = \sigma_T^0 (1 - KT)$ . В качестве условия пластичности принимаем условие текучести Сен-Венана  $\sigma_T = \sigma_r - \sigma_\theta$ .

Зона пластических деформаций ограничена радиусами  $R$  и переменным  $r_0$ , а в зоне  $0 \leq r \leq r_0$  имеют место упругие напряжения (рис. 1).

Соотношения для напряжений базировались на решении температурной задачи, полученной ранее [1] с применением схемы теплового пограничного