Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 3, 1999, с. 315-321.

УДК 621.774.001.2 **МАШИНОСТРОЕНИЕ**

Л.М. МХОЯН, В.И. ОВЧИННИКОВ, Ф.С. ТОРОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ВАЛОК И ОПРАВКУ, ПРИ ТРЕХВАЛКОВОЙ ПРОШИВКЕ ГИЛЬЗ

Պլաստիկության տեսության հարթ խնդրի հիման վրա սահքի գծերի մեթոդի օգնությամբ լայնական-պարուրակային եռգլանակման հաստոցի վրա պատրաստուկների ծակման գործընթացի համար մշակված է գլանակի և կալակի (ձողիկի) վրա գործող ուժերի մեծության որոշման մեթոդ՝ հաշվի առնելով շփումը դեֆորմացվող մետաղի և գլանակների հպման մակերևույթներում:

На основе плоской задачи теории пластичности с использованием метода линий скольжения на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки в процессе прошивки гильз разработана методика расчета усилий, действующих на валок и оправку, с учетом трения на контактных поверхностях между валками и деформируемым металлом.

Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

A design method of forces operating on the roll and mandrel with contact surface friction between the roll and distorted metal has been developed on the basis of plane ductility problem using a slip line technique on the three-shaft helical rolling mill for sleeve broaching process.

Ill. 3. Ref. 4.

Известно, что трубы, прошитые на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки, имеют значительно меньше дефектов на внутренней поверхности, чем на двухвалковом стане. В связи с этим особое внимание уделяют прошивке гильз на трехвалковом стане. В настоящее время ведутся теоретические и экспериментальные работы по проектированию и внедрению этих станов в промышленность.

В данной работе на основе плоской задачи теории пластичности с использованием метода линий скольжения разработана методика расчета усилий, возникающих на валке и оправке в процессе прошивки гильз на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки с учетом трения на контактных поверхностях между валками и обрабатываемым металлом. Применение двумерной теории пластического деформирования по сравнению с одномерной дает возможность более точно определить силовые и кинематические параметры данных процессов и исследовать локальные явления, возникающие в процессе деформирования.

Плоское пластическое течение идеального жестко-пластического тела описывается следующими уравнениями [1]:

$$\frac{\partial\sigma}{\partial x}-2k\left(\cos 2\alpha\frac{\partial\alpha}{\partial x}+\sin 2\alpha\frac{\partial\alpha}{\partial y}\right)=0,$$

$$\frac{\partial\sigma}{\partial y}-2k\left(\sin 2\alpha\frac{\partial\alpha}{\partial x}-\cos 2\alpha\frac{\partial\alpha}{\partial y}\right)=0,$$

$$\frac{\partial\vartheta_x}{\partial x}-\frac{\partial\vartheta_y}{\partial y}+\operatorname{tg}2\alpha\left(\frac{\partial\vartheta_x}{\partial x}+\frac{\partial\vartheta_y}{\partial y}\right)=0, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial\vartheta_x}{\partial x}+\frac{\partial\vartheta_y}{\partial y}=0,$$

где функции σ, α, ϑ_x и ϑ_y определяют напряженное и кинематическое состояния пластической области и имеют два взаимно ортогональных семейства характеристик ξ и η, дифференциальные уравнения которых в физической плоскости x,y имеют вид

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_\xi=\operatorname{tg}\alpha;\quad\left(\frac{dy}{dx}\right)_\eta=-\operatorname{ctg}\alpha. \qquad (2)$$

Вдоль характеристик ξ и η справедливы соотношения Генки (для напряжений) и Гейрингер (для скоростей):

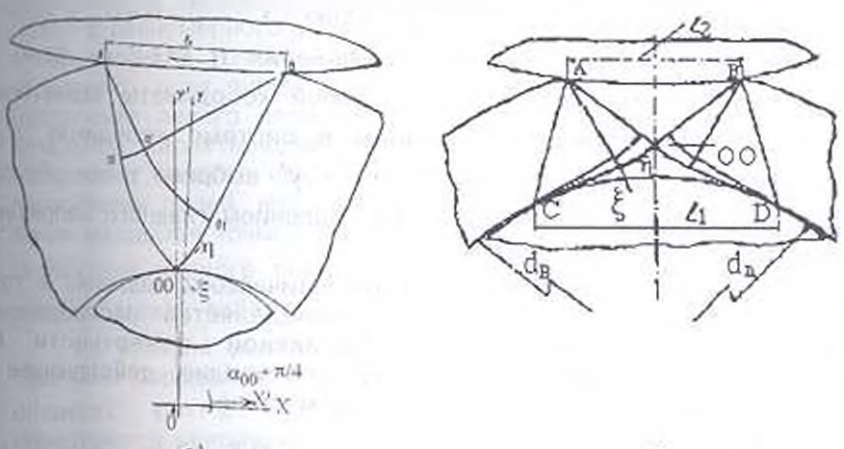
$$\begin{aligned}&\sigma-2k\alpha=\text{const},\ d\vartheta_x-\vartheta_y d\alpha=0 \text{ вдоль } \xi(\eta=\text{const}),\\ &\sigma+2k\alpha=\text{const},\ d\vartheta_x+\vartheta_y d\alpha=0 \text{ вдоль } \eta(\xi=\text{const}).\end{aligned} \qquad (3)$$

В выражениях (1)-(3) σ - среднее нормальное напряжение, равное $\sigma=(\sigma_x+\sigma_y)/2$; σ_x, σ_y - компоненты тензора напряжений; ϑ_x, ϑ_y и ϑ_ξ, ϑ_η - проекции вектора скорости движения частицы в декартовых (x,y) и криволинейных (ξ,η) координатах соответственно; α - угол наклона линии скольжения первого семейства ξ к оси x; $k=\text{const}$ - пластическая постоянная.

В [2] область деформации вдоль калибра разделяется на три зоны: I - зона поперечно-винтовой прокатки, II - зона собственно прошивки; III - зона раскатки прошитой заготовки. Там же для зоны поперечно-винтовой прокатки с учетом трения на контактных поверхностях между валками и обрабатываемым металлом построены совместные поля напряжений и скоростей и определена величина удельного безразмерного усилия, действующего на валок.

При исследовании напряженного состояния зоны раскатки (зона III), а затем и зоны собственно прошивки (зона II), ввиду малости угла наклона выходного конуса валка, принимается, что раскатка происходит между двумя цилиндрическими поверхностями. Граничные условия для процесса раскатки следующие: коэффициент трения на контактных поверхностях металла с валком принимается $\mu=0{,}25$ [3], на калибрующем участке оправки в окружном направлении трение отсутствует ($\mu=0$), так как оправка вращается

вместе с заготовкой; поле линий скольжения аналогично полю для процесса поперечно-винтовой прокатки. Ввиду симметрии рассмотрена раскатка только между одним валком и оправкой.



а) б)

Рис. 1. Поле линий скольжения при трехвалковой раскатке. а - толстостенных гильз; б - тонкостенных гильз

С учетом граничных условий при решении краевой задачи Коши определяется область равномерного напряженного состояния A-B-11 (рис. 1а). Дальнейшим решением вырожденных и характеристических задач завершается построение поля линий скольжения в точке OO на поверхности контакта металла с калибровочной частью оправки. В этой точке характеристики подходят к внутренней поверхности гильзы под углом 45°, что следует из граничных условий задачи.

Из анализа построенных полей выяснилось, что такое поле реализуется только при значениях отношения диаметра заготовки d к толщине стенки гильзы t, изменяющегося в интервале $2<d/t\leq 5,9$. Назовем такие гильзы толстостенными.

Жесткие области справа и слева от жестко-пластических границ OO-B и OO-A свободны от внешних усилий. Условие их равновесия будет

$$\int_{00}^{B}(\sigma\sin\beta+k\cos\beta)dS_{\beta}+\int_{00}^{A}(\sigma\sin\gamma-k\cos\gamma)dS_{\gamma}=0. \qquad (4)$$

Использовав соотношения Генки (3), можно найти гидростатическое давление в точке OO, отнесенное к пластической постоянной k:

$$\frac{\sigma_{00}}{2k}=\frac{1}{y'_B+y'_A}\left[\int_{00}^{m}\beta dy'+\beta_{00}(y'_B-y'_{00})-\beta_{m0}(y'_B-y'_{m0})+\right. \qquad (5)$$

$$\left.+\int_{00}^{m}\gamma dy'+\gamma_{00}(y'_A-y'_{00})-\gamma_{m0}(y'_A+y'_{m0})-\frac{1}{2}(x'_B-x'_A)\right].$$

В уравнениях (4) и (5) dS_ξ, dS_η - элементы дуг линий скольжения ξ и η; $\gamma = -\alpha + \alpha_{00} + \pi/4$ - переменный угол между линией скольжения ξ А-ОО и осью x'; $\beta = \alpha + \alpha_{00} + 3\pi/4$ - переменный угол между линией скольжения η ОО-В и осью x'; x', y' с индексами представляют собой координаты характерных точек жестко-пластической границы в системе координат x', y'. Заметим, что положение новых осей x', y' выбрано таким образом, чтобы направление x' совпало с направлением главного напряжения σ_1 в точке 00.

По найденному значению гидростатического давления в точке 00 с помощью соотношения (3) определяется распределение нормальных напряжений на контактной поверхности АВ, следовательно, и удельное безразмерное усилие, действующее на валок при раскатке гильз на трехвалковом стане:

$$\frac{q_m}{2k} = -\frac{\sigma_n}{2k} = -\frac{\sigma_{00}}{2k} + (2\alpha_m - \alpha_{\xi 1} - \alpha_{\xi 0}) - 0.5\sin 2(\alpha_{\xi 1} - \varphi), \qquad (6)$$

где α с индексами - углы линий скольжения первого семейства ξ с осью x' в соответствующих точках поля линий скольжения; φ - угол между нормалью контакта и осью абсцисс.

Гильзы, у которых $d/t > 5,9$, условно назовем тонкостенными. Поле линий скольжения при раскатке таких гильз существенно отличается от случая раскатки толстостенных гильз. Для его построения необходимо установить ширины контактных поверхностей l_1 и l_2 соответственно на внутренней и наружной частях заготовки. В [4] выведена формула для определения ширины внутреннего контакта заготовки с оправкой l_1 в зависимости от ширины наружного контакта заготовки с валком l_2:

$$l_1^2 + l_2 l_1 - \frac{\Delta R(d_к d_в)}{d_к - d_в} = 0, \qquad (7)$$

где ΔR - суммарное обжатие на сторону; $d_к$ - диаметр калибрующей части оправки; $d_в$ - внутренний диаметр гильзы.

В результате обработки данных экспериментов, проводимых во ВНИИМЕТМАШ, при прошивке гильз на трехвалковом стане установлено, что отношение $d_в/d_к$, учитывающее овализацию полученных гильз, для различных значений толщины стенок и диаметров прошиваемой заготовки остается постоянным и равным $d_в/d_к = 1.04$. Имея в виду это отношение и определив из геометрических соображений ширину наружного контакта l_2 для конкретного значения ΔR, можно затем установить величину значения l_1 при различных отношениях d/t, изменяющегося в интервале $5.9 < d/t \le 11$, где $t = 0.5(d - 1.04d_в)$.

После установления геометрических параметров очага деформации в зоне раскатки можно перейти к построению поля

линий скольжения для этого процесса. Построение его аналогично построению поля линий скольжения для процесса осадки с конечным отношением высоты к ширине [1]. Поле линий скольжения в случае трехвалковой раскатки тонкостенных гильз показано на рис. 1б. Область равномерного напряженного состояния в виде треугольника с вершинами в точках А и С, а также особенности в этих точках определяют поля линий скольжения в виде центрированных вееров. Построение левого поля линий скольжения завершается решением начальной характеристической задачи. Аналогично производится построение правого поля. Линия равных давлений, построенная на пересечении полей, является вертикальной осью симметрии. На этой линии находится точка сопряжения 00 этих полей, где углы α линий скольжения первого семейства ξ для обоих полей должны быть равными между собой (ввиду симметрии $\alpha_{00}=-\pi/4$).

Из условия равновесия областей равномерного напряженного состояния определяется величина гидростатического давления в этих областях $\sigma=-k$. Затем с помощью соотношения Генки определяется напряжение в каждой точке пластической области.

Для определения нормальных контактных напряжений $\sigma_n/2k$ на поверхности контакта металла с валком (АВ) построение поля линий скольжения по известным значениям функций σ и α на характеристиках А-ОО и ОО-В известным способом продолжается в жесткую зону А-ОО-В при различных значениях отношения d/t. После чего определяется удельное безразмерное усилие, действующее на валок $q_{III}/2k=-\sigma_n/2k$. На основании этих расчетов получена зависимость изменения удельного безразмерного усилия $q_{III}/2k$ на валок от безразмерного отношения d/t как для толстостенных, так и для тонкостенных гильз (рис.2). Как видно из графика, с уменьшением толщины стенки гильзы (с увеличением d/t) усилие на валок сначала падает (в случае толстостенных гильз), а затем возрастает (в случае тонкостенных гильз).

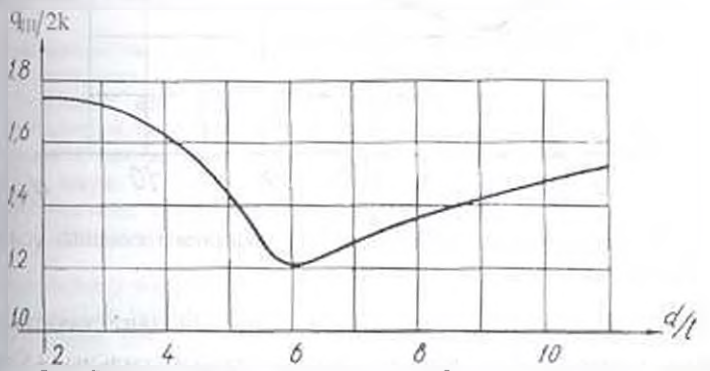


Рис. 2 Зависимость удельного безразмерного усилия, действующего на валок, от отношения d/t в зоне раскатки

Осевое усилие Q, действующее на оправку, определяется рассмотрением зоны собственно прошивки сплошной заготовки (зона II). Внедрению оправки препятствует сила, действующая со

стороны деформируемой заготовки и определяемая напряженным состоянием поперечно-винтовой прокатки (зона I). Для определения усилия Q построение поля линий скольжения для зоны поперечно-винтовой прокатки (см. рис.2 в [2]) продолжается в жесткие области. В каждой точке сетки линий скольжения с помощью соотношения Генки определяется гидростатическое давление σ, которое для плоско-деформированного состояния совпадает с напряжением σ_z, имеющим осевое направление. Криволинейные стороны четырехугольников сетки линий скольжения, находящихся в области ограниченной диаметром оправки (эта область на рис.2 [2] обозначена штрихпунктирной линией), аппроксимируем прямыми линиями. В каждом четырехугольнике гидростатическое давление σ_i принимается постоянным и равным среднеарифметическому значению гидростатического давления в узловых точках четырехугольника

Осевое усилие, действующее на оправку, будет

$$Q = \sum_{i=1}^{m} q_i = \sum_{i=1}^{m} \sigma_i S_i, \qquad (8)$$

где q_i - усилие на оправку со стороны каждого четырехугольника; m - число четырехугольников в области, ограниченной диаметром оправки; S_i - площадь четырехугольника, равная

$$S_i = 0.5[(x_{i1}y_{i4} - x_{i4}y_{i1}) + \sum_{n=1}^{4}(x_{in+1}y_{in} - x_{in}y_{in+1})]. \qquad (9)$$

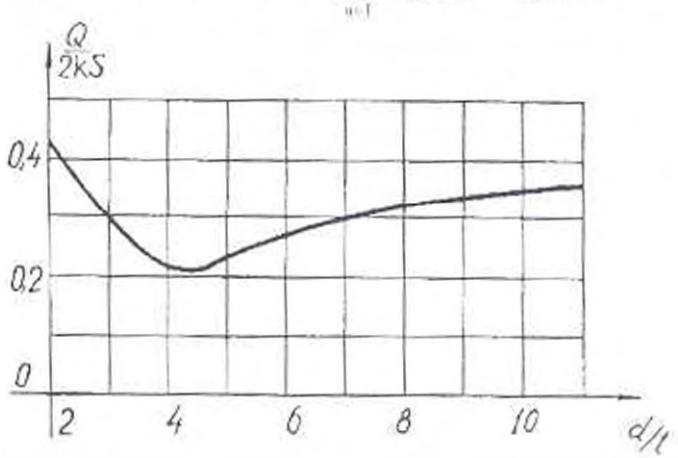


Рис. 3. Зависимость удельного безразмерного осевого усилия от отношения d/t

На основании этих вычислений получена зависимость удельного осевого усилия $Q/2kS$ от толщины стенки гильзы ($S = \pi d_c^2/4$ - площадь поперечного сечения калибрующей части оправки) (рис. 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Томленов А.Д.** Теория пластического деформирования металлов. - М.: Металлургия, 1972. - 408 с.
2. **Чхартишвили И.В., Овчинников В.И., Мхоян Л.М., Торосян Ф.С.** Пластическое напряженное состояние при прошивке заготовок на трехвалковых станах поперечно-винтовой прокатки. ИЛ. Сер. Металлургия /ГрузНИИНТИ. - Тбилиси, 1985. - № 2. - С.
3. **Голубев Т.М., Зайков М.А.** Коэффициент трения при горячей прокатке // Сталь. - 1950. - № 3. - С. 237-241.
4. **Остроушкин Г.П.** Особенности пластического напряженного состояния при раскатке колец // Кузнечно-штамповочное производство. - М.: Машиностроение, 1973. - № 4. - С. 5-8.

Гюмрийский образовательный
комплекс ГИУА

05.01.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 3, 1999, с. 321-328

УДК 622.75; 621.762

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Н.В. МАНУКЯН, А.Н. КАЗАРЯН, В.Л. КАСЬЯН,
Г.А. ТУМАНЯН, М.К. ЗУРНАЧЯН, Г.Г. МКРТЧЯН

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Հիմնավորված է պղնձի խտանյութերից պղնձի, երկաթի և այլ թանկարժեք մետաղների կորզման նպատակահարմարությունը հիդրոմետալուրգիական ճանապարհով: Այլընտրանքային տեխնոլոգիայի էությունը հետևյալն է. պղնձի խտանյութերը ենթարկվում են օքսիդացնող թրծման, այնուհետև վերականգնվում են՝ երկաթի (մագնիսական թաց զատման) և պղնձի (էլեկտրոլիզով) հետագա կորզմամբ: Ստացված արգասիքի որակը համապատասխանում է ստանդարտի պահանջներին:

Обосновывается целесообразность гидрометаллургического передела медных концентратов с извлечением меди, железа и других драгоценных металлов. Сущность альтернативной технологии заключается в следующем: медные концентраты подвергаются окислительному обжигу, затем восстановлению с последующим извлечением железа путем магнитной мокрой сепарации и меди - электролизом. Полученные продукты по качеству отвечают требованиям стандарта.

Ил. 3. Табл. 3. Библиогр.: 13 назв.

Hydrometallurgy process stage of copper concentrates with extraction of copper, iron and other precious metals is grounded. Alternative technology is due to the fact that copper concentrates are subjected to oxidizing roasting, then to restoration with afterextraction of iron by magnetic wet separation and copper - by electrolysis. The materials obtained meet the standard requirements by quality.

Il. 3. Tables 3. Ref. 13.

Становление металлургического производства в Армении на основе использования местного сырья имеет особое значение. В