

и проверяем условия

$$\tilde{P}_j \leq P_{\max}, \quad \tilde{q}_j \leq q_{\max} \quad (11)$$

Если они выполняются и хотя для одного из них имеет место равенство, то процесс прекращаем, а полученные в п. 2.3 силы $P_j(t)$ будут теми оптимальными управлениями, которые являются решением поставленной задачи. Если же сказанное не выполняется, то выбираем новое значение t_2 и осуществляем переход к п. 2.1 настоящего алгоритма. При этом следует иметь в виду, что уменьшение $t_{\min}$ приводит к увеличению величины (10) и наоборот. Варьируя таким образом $t_{\min}$, добиваемся выполнения условий (11) и решения задачи оптимального управления по быстрдействию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов.—М.: Наука, 1976.—392 с.

ЕрНИ

29. III. 1990

Изв. АН Армении (сер. ТН). т. 45, № 3—4, 1992, с. 78—82

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.762

Г. К. АСКИДЖЯН, Г. Л. ПЕТРОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СПЕЧЕННОЙ ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Работа посвящена решению задачи прокатки спеченных полос с использованием теории пластичности реальных пористых материалов и зависимостей метода конечных элементов, учитывающих особенности пористости материала. Для учета сложных контактных условий между вращающимися вальцами и прокатываемой заготовкой применена модель прокатки с фрикционным слоем.

Ил. 3. Библиогр.: 7 назв.

Աշխատանքում լուծվում է ծանափեն նյութերի պլաստիկ ինտենսիվության մոդելների պիտանկության տեսության և վերջավոր տարրերի մեթոդի կախազործումով, որոնք հաշվի են առնում նյութի ծանափելիության առանձնահատկությունը Պոտրոսի լիսեռները և զրտեղող նախապատրաստումների միջև ընդհանուր պայմանները հաշվի առնելու համար զգաագործվել է շրտվան շրտագ պլոտման մոդելը:

До настоящего времени при решении задачи прокатки пористых спеченных полос применялся широко известный метод тонких сечений [1—3]. Однако данный метод является приближенным и не мо-

жет дать полную информацию о деформировании материала при его формовке. Особый интерес представляет решение этой задачи методом конечных элементов (МКЭ), который является одним из наиболее универсальных численных методов.

Настоящая работа посвящена решению задачи прокатки спеченных полов с использованием теории пластичности реальных пористых материалов и зависимостей МКЭ, учитывающих особенности пористости материала [4]. При этом полосу находится в плоском деформированном состоянии. Связь между напряжениями и приращениями деформаций осуществляется через матрицу $[D]$

$$D = \frac{E(1-c)}{(1+c)(1-2c)} \begin{vmatrix} 1 & \frac{c}{1-c} & 0 \\ \frac{c}{1-c} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1+c)(1-2c)(1-2\nu)}{3(1-c)} \end{vmatrix},$$

где $E = \frac{\beta^2 \sigma_{\text{ЭКВ}}}{\bar{\alpha} \bar{\epsilon}_{\text{ЭКВ}} (1 + \alpha^m)}$, $C = \frac{1 - 2\nu}{1 + \alpha^m}$, $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ и $\bar{\epsilon}_{\text{ЭКВ}}$ — эквивалентные напряжение и приращение пластических деформаций; α и β , m и n — функции и параметры пористости; ν — коэффициент поперечной деформации [4].

Для учета сложных контактных условий между вращающимися валами и прокатываемой заготовкой использована модель прокатки с фрикционным слоем, разработанная согласно [5]. При моделировании процесса влияния смазки на деформацию, на каждую поверхность, где действуют силы трения, устанавливается дополнительный слой элементов. Жесткость каждого элемента такого слоя умножается на величину γ , учитывающую трение, которая является отношением предела текучести смазки к пределу текучести прокатываемого материала. Для всех элементов, находящихся вне межвалкового контакта, жесткость условно принимается равной нулю. В случае прокатки предполагается, что верхние узловые точки элементов в фрикционном слое жестко прикреплены к валам. Таким образом, любое относительное движение поверхности заготовки вала может привести к деформации элементов фрикционного слоя и возникновению сил, препятствующих движению. В начале прокатки предполагается, что один поперечный слой уже находится в межвалковом зазоре, а узловые точки 1', 2' (рис. 1), фиксируемые в валке радиусом R_1 , и точки 1, 2 поверхности заготовки могут перемещаться по касательной к поверхности вала. Проекции приращений перемещений точек фрикционного слоя по направлениям координат x и y , зафиксированных на валке, определяются по формулам

$$dx = 2R_1 \sin \frac{\Delta\alpha}{2} \cos\left(\alpha - \frac{\Delta\alpha}{2}\right), \quad dy = 2R_1 \sin \frac{\Delta\alpha}{2} \sin\left(\alpha - \frac{\Delta\alpha}{2}\right),$$

где R_1 —расстояние между фрикционной узловой точкой и центром вала; α —угол, образованный радиусом, проведенным узловой точкой, и осью y (рис. 1); $\Delta\alpha$ —угловое приращение вала.

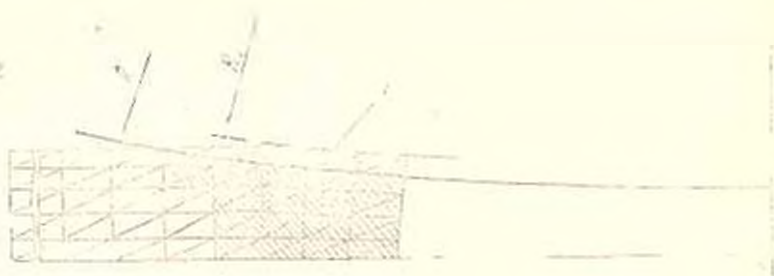


Рис. 1. Схема прокатки с фрикционной осью

По мере того, как ваток поворачивается на угловой угол $\Delta\alpha$, заготовка еще дальше заходит в зазор. При соприкосновении поверхностного узла 3 с валком соответствующий фрикционный узел 3' фиксируется на валке радиусом R_1 , прилагая таким образом жесткость соответствующим элементом. Такая процедура повторяется и для последующих узловых точек до тех пор, пока не достигается устойчивое состояние процесса. Во избежание чрезмерного искажения элементов слоя фрикционные узловые точки на окружности радиуса R_1 радиально передвигаются над соответствующими узловыми точками на поверхности заготовки в начале каждого углового приращения.

Преимущество этой модели заключается в том, что распределение и направление силы трения, направление и величина относительного скольжения поверхностей валков и заготовки предварительно не задаются, автоматически определяются в процессе решения задачи. При решении задачи для контактных точек были приняты следующие условия:

$$\frac{dx}{dy} = \tan \alpha, \quad \frac{F_y}{F_x} = \tan \alpha,$$

где F_x и F_y — проекции нормальной контактной силы F . Поскольку деформация симметрична относительно средней плоскости полосы, то при расчете принималась только половина заготовки, которая разделена на 184 треугольных элемента с 120 узлами.

Для решения примера были использованы следующие начальные экспериментальные данные работы [6]: диаметр вала—159, 159,75 · 10⁻³ м и исходная толщина медной полосы—1,58 · 10⁻³ м, диаграмма деформирования меди, выраженная формулой

$$\sigma_{\text{мед}} = 70,3 \left(1 - \int \bar{\sigma}_{\text{мед}} d\bar{\sigma}_{\text{мед}}\right)^{0,49} \text{ МПа}.$$

На рис. 2 показана зона пластической деформации в начальной стадии прокатки. Пластическая деформация распространяется и в зонах, не входящих в межиалковый зазор.

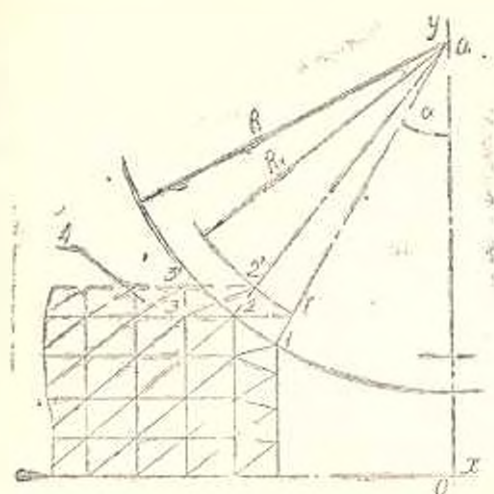


Рис. 2. Начальная стадия прокатки (1 — фрикционный слой).

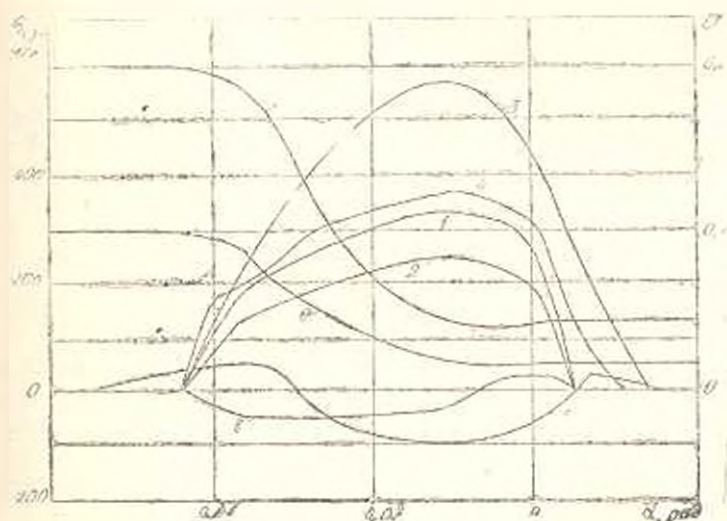


Рис. 3. Кривые распределения: нормальных контактных давлений p (1, 2 — при $v_0 = 0.1$ и 0.2 , 3 и 4 — соответствуют [6]), пористости материала v (5, 6 — при $v_0 = 2$ и 0.1), напряжения σ (7) и силы трения τ (8) в контактирующем слое заготовки.

На рис. 3 приведены кривые P , σ и τ в контактирующем слое при установившемся процессе прокатки с конечным обжатием 22,76%. По данным [6], кривые 3 и 4 соответствуют нормальным контактным давлениям для беспористой меди, где 3 — расчетная кривая, полученная методом конечных элементов, а 4 — экспериментальная. С увеличением начальной пористости (рис. 3) значения нормальных

контактных давлений уменьшаются, хотя характер их распределения почти не меняется, причем кривые 2 и 1 хорошо согласуются с кривыми 3 и 4. Большой разброс кривых 3 и 4, приведенных в [6], объясняется в основном упругим сплющиванием валков и деформированной полосы, особенно при прокатке с большим обжатием. По полученным приращениям перемещений узловых точек элементов можно установить зоны отставания и опережения заготовки. Основное уплотнение материала происходит в зоне отставания. Аналогичные экспериментальные результаты уплотнения пористых полос при прокатке получены и в [7].

Количество узлов заготовки выбрано, исходя из возможностей ЭВМ. Но при решении этой же задачи с малым количеством узлов, т. е. с разделением такой же заготовки на три слоя конечных элементов (138 треугольных элементов с 96 узлами), разница между полученными результатами составляет не более 3%.

Методом конечных элементов решена задача прокатки пористых материалов, что позволяет учитывать материальные и геометрические нелинейности. Предлагаемая методика не требует предварительных знаний о нейтральной плоскости, характере распределения и направления силы трения. Все эти факторы определяются во время деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мусхелишвили А. М. Напряжения в очаге деформации при холодной прокатке пористых материалов // Порошковая металлургия. — 1977. — № 3. — С. 20—25.
2. Радченко К. М. Контактные напряжения при уплотняющей прокатке // Порошковая металлургия. — 1972. — № 9. — С. 8—13.
3. Петросян Г. А., Аскиджян Г. К. Методика учета упрочнения при исследовании процессов прокатки пористых заготовок // Изв. АН АрмССР, Сер. ТН. — 1989. — Т. XLII, № 5. — С. 218—223.
4. Петросян Г. А. Пластическое деформирование порошковых материалов. — М.: Металлургия, 1988. — 152 с.
5. Hargreys P., Sturgess C. E., Rose G. W. Friction in finite element analyses of metal-forming process, Int. J. Mech. Sci. — 1979. — 21. — P. 301—311.
6. Hargreys P., Hargreys P., Sturgess C. E., Rose G. W. Elastic-plastic finite element modelling of cold rolling of strip, Int. J. Mech. Sci. — 1983. — 27. — P. 531—541.
7. Виноградов Г. А., Катишвили В. П. Теория листовой прокатки металлических порошков и гранул. — М.: Металлургия, 1979. — 224 с.