

точек и область больших долговечностей и уменьшением наклона II участка кривой коррозионной усталости методика [3] дает необоснованно заниженные результаты: $\bar{\sigma}_c = 1,05-1,25$ и $\bar{\sigma}_H = 1,25-3,5$, причем высокие значения $\bar{\sigma}_c$ и $\bar{\sigma}_H$ соответствуют значению $P(N) = 0,999$, представляющему интерес для расчетов.

Проведенное исследование позволяет уточнить пределы использования той или иной модели коррозионного разрушения и вводом новой модифицированной модели добиться уточнения срока службы машин и снижения их материалоемкости на стадии проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родасов В. В. Исследование коррозии металлов под напряжением по потере длительной прочности: Учебн. пос.—М.: Изд-во МОПИ, 1981.—61 с.
2. Кирпенко Г. В. Физико-химическая механика конструкционных материалов: Избр. тр.—К.: Наукова думка, 1985, Т. 1.—228 с.
3. Олейник Н. В., Масденко А. Н., Скляр С. И. Сопротивление усталости материалов и деталей машин в коррозионных средах.—К.: Наукова думка, 1987.—200 с.
4. А. с. 1317329 СССР, МГГО 1А 17/00. Устройство для испытания на усталость в коррозионных средах/Н. В. Олейник, М. Г. Стакий, А. В. Вольчев, Г. А. Манукян (СССР).—№ 3848578/25—28; Заявл. 01.02.85, Оpubл. 15.06.87, Бюл. № 22,—3 с.
5. Стакий М. Г., Осинесян А. Г. Комплексное исследование сопротивления результатов механических испытаний нормальному закону распределения/Изв. вузов. Машиностроение.—1988,—№ 9.—С. 8—13.
6. Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов.—М.: Машгиз, 1962.—856 с.
7. Стакий М. Г., Манукян Г. А. Вероятностная оценка сопротивления усталости деталей, работающих в коррозионных средах/Теория и конструирование машин.: Между тем сб. науч. тр. по маш.—Ереван: Изд-во ЕрПИИ, 1986.—С. 21—25.

ЕрПИИ им. К. Маркса

10. 1. 1989

Изв. АН АрмССР (сер. III), т. XLII, № 5, 1989, с. 218—223.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.762

Г. Л. ПЕТРОСЯН, Г. К. АСКИДЖЯН, Г. В. МУСАЕЛЯН

МЕТОДИКА УЧЕТА УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК

С помощью метода тонких сеточек и теории пластичности реальных пористых материалов получена система уравнений, которая позволяет определить компоненты напряженно-деформированного состояния прокатываемой спеченной заготовки. Предлагаемое решение позволяет сформулировать методику учета упрочнения на основании получения и использования диаграммы деформирования спеченного материала.

Приведены численные данные решения задачи для различных значений пористостей материала и коэффициентов трения между валками и прокатываемым материалом. Результаты сопоставлены как между собой, так и с данными известного в литературе решения задачи прокатки беспористого материала.

Ил. 2. Библиогр.: 6 назв.

Աշխատանքում բարակ կտրվածքների մեթոդի և իրական ծանալեկեն նյութերի պլաստիկության տեսության հիման վրա ստացվել է հալասարումների համակարգ, որը հնարավորություն է տալիս որոշելու զլանվող մակերևույթի նախապատրաստվածքի բարձրագույն դեֆորմացիան վիճակը: Առաջարկվող լուծումը հնարավորություն է տալիս նյութի դեֆորմացիան կորի ստացման և կիրառման հիման վրա մեղմերակի ամրացումը հաշվի առնող մեթոդիկան:

Նյութի տարրերի մակերևույթի վրա զլանվող նյութի միջև շփման գործակիցների համար սերված են թվային արժեքներ: Արդյունքները համեմատված են ինչպես իրար հետ, այնպես էլ դրականության մեջ նաև նյութի համար ստացված տվյալների հետ:

При прокатке порошковых материалов на силовые и кинематические параметры процесса существенное влияние оказывает величина пористости материала. Поэтому для решения задачи прокатки спеченных заготовок важным является разработка математической модели, позволяющей учитывать влияние пористости материала. Решению указанной задачи посвящены работы [1, 2]. Однако вопросы учета упрочнения и реальной пористости материала при прокатке спеченных материалов изучены недостаточно полно.

Целью настоящей работы является разработка методики учета упрочнения материала при исследовании напряженно-деформированного состояния пористой плоской заготовки при прокатке, используя теорию пластичности реальных пористых материалов [3], основные зависимости которой имеют следующий вид:

$$\bar{\sigma}_{\text{экв}} = \frac{1}{2^{m+0.5}} \left(\frac{3}{2} S_{ij} S_{ij} + 9\alpha^n \bar{\sigma}_0^2 \right)^{1/2}; \quad (1)$$

$$d\bar{\sigma}_{\text{экв}} = 2^{3n-0.5} \left(\frac{2}{3} de_{ij} de_{ij} + \frac{2\bar{\sigma}_0^2}{2^m} \right)^{1/2}; \quad (2)$$

$$d\epsilon_{ij} = \frac{3d\bar{\sigma}_{\text{экв}}}{2\bar{\sigma}_{\text{экв}} 2^m} \epsilon_{ij} - (1 - 2\alpha^m) \delta_{ij} \bar{\sigma}_0; \quad (3)$$

$$d\alpha = \frac{9\alpha^m (1 - \nu) \bar{\sigma}_0 d\bar{\sigma}_{\text{экв}}}{2^{3n} \bar{\sigma}_{\text{экв}}}; \quad (4)$$

где $\bar{\sigma}_{\text{экв}}$, $d\bar{\sigma}_{\text{экв}}$ — эквивалентное напряжение и приращение пластической деформации; S_{ij} , ϵ_{ij} и de_{ij} , $d\epsilon_{ij}$ — компоненты девиаторов и тензоров напряжений и приращений пластических деформаций; $\bar{\sigma}_0 = \delta_{ij} \alpha \bar{\sigma}_{ij} / 3$ — среднее напряжение; $d\bar{\sigma}_0 = \delta_{ij} d\epsilon_{ij} / 3$ — приращение средней деформации; δ_{ij} — символ Кронекера; m и n — параметры пористости; 2 , 3 — функции пористости ν [4]:

$$\alpha = \frac{\nu}{2(1-\nu)}, \quad \beta = (1-\nu)^2. \quad (5)$$

Для решения поставленной задачи используем метод тонких сечений (рис. 1) [5], согласно которому для главных напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 и приращений соответствующих деформаций имеем:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_x; & \sigma_2 &= \sigma_y; & \sigma_3 &= \sigma_z = -p; \\ d\varepsilon_1 &= d\varepsilon_x; & d\varepsilon_2 &= d\varepsilon_y; & d\varepsilon_3 &= d\varepsilon_z,\end{aligned}\quad (6)$$

где p — нормальное давление металла на валки.

Заменяя дугу окружности валика параболой и считая, что угол α мал, уравнение равновесия элемента приводим к следующему виду:

а) для зоны отставания —

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{2x(\sigma_x + p) - \mu p R}{R h_1 + x^2}, \quad (7a)$$

б) для зоны опережения —

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{2x(\sigma_x + p) + \mu p R}{R h_1 + x^2}, \quad (7b)$$

где R — радиус валика; h_1 — высота заготовки после прокатки; h — текущая высота заготовки в очаге деформации; μ — коэффициент трения.

При плоском деформированном состоянии $d\varepsilon_z = 0$, а приращение деформации по направлению оси OY определяется уравнением

$$d\varepsilon_y = \frac{dh}{h} = -2 \frac{x}{R h_1 + x^2} dx. \quad (8)$$

Используя зависимости (3), (4) и условие (8), получаем

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{4x \left(\frac{1 - \sigma_x^m - 2\sigma_x^m}{1 + 5\sigma_x^m + 4\sigma_x^{2m}} \right)}{(R h_1 + x^2) \left[3p + \frac{3(1 - 2\sigma_x^m)}{2(1 + \sigma_x^m)} (\sigma_x - p) \right]}. \quad (9)$$

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{12x(1 - \sigma_x)(\sigma_x - p)}{(R h_1 + x^2) [p(1 + 4\sigma_x^m) + \sigma_x(1 - 2\sigma_x^m)]}. \quad (10)$$

Из выражения (1) устанавливаем

$$\begin{aligned}p &= - \frac{1 - \sigma_x^m - 2\sigma_x^m}{1 + 5\sigma_x^m + 4\sigma_x^{2m}} \sigma_x + \\ &+ \left[\left(\frac{1 - \sigma_x^m - 2\sigma_x^{2m}}{1 + 5\sigma_x^m + 4\sigma_x^{2m}} \right)^2 - 1 \right] \sigma_x^2 + \frac{8\sigma_x^{2m+1} (1 + \sigma_x^m)^2 \sigma_{\text{кв}}}{6(1 + 5\sigma_x^m + 4\sigma_x^{2m})} \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, дифференциальные уравнения (9), (10), (7а) или (7б) с уравнениями (5) и (11) составляют систему уравнений для определения компонентов напряженно-деформированного состояния заготовки соответственно в зонах отставания и опережения.

При решении этих уравнений необходимо использовать также диаграмму деформирования материала

$$\sigma_{\text{зад}} = \Phi \left(\int d\varepsilon_{\text{зад}} \right). \quad (12)$$

Система соответствующих уравнений для зон опережения и отставания решается численным методом. Задаются начальные условия при $x = l$ (рис. 1):

$$\sigma_x = \sigma_{x0}, \quad v = v_0, \quad \Delta \varepsilon_{\text{зад}} = 0.$$

Затем для первого приближения фиксируется место нейтрального сечения $x_c = x_{c1}$ ($0 \leq x_c \leq l$) и соответствующим численным методом решается система дифференциальных уравнений (7а), (9), (10) с уравнениями (5), (11) и (12). После чего найденные результаты для сечения $x_c = x_{c1}$ принимаются как начальные условия для зоны опережения и аналогичным образом решается система дифференциальных уравнений (7б), (9), (10) с уравнениями (5), (11) и (12) для зоны опережения. Цикл продолжается до тех пор, пока не будет найдено такое значение $x_c = x_{cN}$, для которого выполняется условие $\sigma_x = \sigma_{x0}$ при $x = 0$. Если передние и задние натяжения отсутствуют, то $\sigma_{x1} = \sigma_{x0} = 0$.

В тех случаях, когда диаграмма деформирования материала не представлена в виде выражения (12), возникают трудности точного учета упрочнения материала и задача решается приближенно. Приведем одну методику учета реального упрочнения материала, позволяющую сопоставить результаты различных решений между собой.

Для этого сначала была решена задача прокатки компактного материала при $\sigma_0 = 0$ ($\alpha = 0$, $\beta = 1$). Было принято также [6], что $R = 250$ мм, $h_1 = 1,3$ мм, $h_0 = 1,9$ мм, $\mu = 0,08$, $l = 12,25$ мм.

Подобно [6] рассматривается прокатка заготовки из малоуглеродистой стали 08 Кп, диаграмма деформирования которой в [6] была аппроксимирована следующей зависимостью:

$$\sigma_{\text{зад}} = \sigma_{x1} = \frac{\sigma_{x1} - \sigma_{x0}}{R^2} x^2, \quad (13)$$

где $\sigma_{x0} = 475$ МПа — напряжение текучести материала в начале прокатки данного прохода и $\sigma_{x1} = 590$ МПа — после прокатки — определялись в [6] опытным путем.

Как известно, упрочнение материала непосредственно связано с деформациями материала, хотя уравнение (13) это наглядно не показывает. Но, имея ввиду то обстоятельство, что деформация ε свя-

зана с текущей координатой x некоторой функцией, зависящей от вида контактной линии материала и вала, с помощью уравнения (13) устанавливается связь между $\varepsilon_{\text{жн}}$ и $\sigma_{\text{жн}}$. Такая зависимость использовалась в [2, 3] для учета упрочнения пористого материала. Однако, эти решения не учитывают влияния на упрочнение деформация ε_x ($\varepsilon_x = 0$). Следовательно, такой подход не является универсальным и для учета влияния пористости на упрочнение материала необходимо каждый раз в зависимости от начальной пористости материала иметь новые опытные данные.

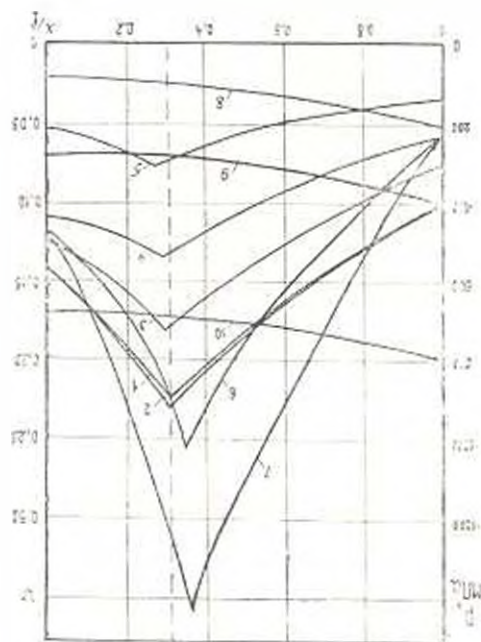


Рис. 2 Кривые распределения пористости материала и нормальных давлений при прокатке.

Так как представленное решение исходит из единой кривой деформирования материала (12), то целесообразным является уравнение (13) представить в виде (12). Это возможно, если использовать решение задачи компактного материала на основании уравнения (13). При этом, на зависимостей (7а), (7б), (9) и (11) совместно с компонентами напряженно-деформированного состояния заготовки определяется и распределение величины $\int \bar{d\varepsilon}_{\text{жн}}$ по оси x . По полученным значениям $\int \bar{d\varepsilon}_{\text{жн}}$ и соответствующим значениям $\sigma_{\text{жн}}$ была аппроксимирована диаграмма деформирования материала в следующем виде:

$$\sigma_{\text{жн}} = \sigma_{\text{жн}0} + b \int \bar{d\varepsilon}_{\text{жн}0} + c \left(\int \bar{d\varepsilon}_{\text{жн}0} \right)^2, \quad (14)$$

где $\sigma_{\text{жн}0} = 475 \text{ МПа}$; $b = 31 \text{ МПа}$, $c = -10 \text{ МПа}$.

На рис. 2 кривыми 1, 3, 4, 5 показаны распределения нормального давления по длине прокатки материалов с начальными пористостями—0, 0,05, 0,1, 0,2 (кривая 2 соответствует тангисм [6]).

Как видно из рис. 2, при увеличении пористости положение нейтрального сечения незначительно перемещается в направлении выхода металла из валков. Задача решалась также для значения коэффициента трения $\mu = 0,15$ (кривая 6) и $\mu = 0,2$ (кривая 7) при $\sigma = 0,1$. При увеличении величины μ увеличивается максимальное нормальное давление и положение нейтрального сечения приближается к сечению входа металла в валки. Полученное решение позволяет также определить распределение пористости в зоне деформирования и установить пористость заготовки прокатки (кривые 8, 9, 10).

Таким образом, анализом напряженно-деформированного состояния спеченной заготовки при прокатке показано, что предложенная методика учета упрочнения материала описывает реальную картину деформирования материала. Ее можно использовать и в тех случаях, когда диаграмму деформирования материала обычным методом невозможно построить.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мисихин А. М. Напряжение 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. Л. Пластическое деформирование порошковых материалов.—М.: Металлургия, 1988.—152 с.
4. Тучинский Л. Н., Скороход В. В. Условие пластичности пористых тел//Порошковая металлургия.—1978.—№ 11.—С. 10—13.
5. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Б. Теория продольной прокатки.—М.: Металлургия, 1980.—319 с.
6. Третьяков А. В. Теория, расчет и исследование станов холодной прокатки.—М.: Металлургия, 1966.—255 с.

Ерлн им. К. Маркса

22, XII. 1988

