

При соответствующем раскрытии постоянная выражение (7) можно интерпретировать как условие текучести для микроскопического объема материала, содержащего определенное количество полостей или пор. Действительно, в общем случае это уравнение по своей структурной форме соответствует критериям пластичности пористых тел, в том числе металлов [2], что позволяет дать этим критериям ясное физическое толкование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии. Справочник/А.А.Лебедев, Б.И.Ковальчук, Ф.Ф.Гигиняк, В.П.Ламашевский. — Киев: Наукова думка, 1983. — 366 с. 2. Грин Дж. Р. Теория пластичности пористых тел. — Механика, 1973, 140, вып. 4, с. 109—120.

УДК 539.374

А.С.МАТУСЕВИЧ, д-р техн.наук
(ФТИ АН БССР)

АНАЛИЗ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Формирование композиционного материала прокаткой и горячим прессованием осуществляется в условиях плоского деформированного состояния [1]. В этом случае матричный материал деформируется в двух направлениях: заполняет промежутки между волокнами и течет в направлении поперек волокон под действием одного и того же усилия деформирования. Рассматривая два поля линий скольжения, допускаем в каждом элементарной очаге деформации в процессе элементарного обжатия модель жесткопластического тела, а связь между элементарными полями считаем определяемой зависимостями для жестковязкопластической модели [2].

Зависимость максимального удельного усилия от относительного шага укладки волокон при затекании матричного материала в промежутки между волокнами в случае максимального трения хорошо аппроксимируется уравнением [3]:

$$\rho/2k_1 = 2\ln[\sigma/(\sigma - d)], \quad (1)$$

где k_1 — пластическая постоянная матричного материала при заполнении межволоконных промежутков; δ — шаг укладки; d — диаметр волокон.

Течение матричного материала поперек волокон можно рассматривать как сжатие слоя между шероховатыми плитами. В этом случае

$$\rho/(2k_2) = 1 + [B/(4s)], \quad (2)$$

где k_2 — пластическая постоянная матричного материала при его течении поперек волокон; B и s — соответственно ширина и толщина матричного слоя.

Из выражений (1) и (2) находим:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{4s + B}{8s \ln \frac{\delta}{\delta - d}} \quad (3)$$

На основе модели жестковязкопластичного тела в [2] получена следующая зависимость:

$$\dot{\epsilon}_1 / \dot{\epsilon}_2 = [(\nu - 1)k_1] / [(\nu - k_1/k_2)k_2], \quad (4)$$

где $\nu = \tau_{\max} / \tau_0$ — отношение максимального значения предела текучести в рассматриваемом процессе к пределу жесткости материала.

Подставляя (3) в зависимость (4), после преобразований получим:

$$\frac{\dot{\epsilon}_1}{\dot{\epsilon}_2} = \frac{(\nu - 1)(4s + B)}{4s \left(2 \ln \frac{\delta}{\delta - d} - 1 \right) - B}. \quad (5)$$

Скорости деформации при течении металла в промежутки между волокнами и уширении заготовки соответственно [4]:

$$\dot{\epsilon}_1 = v / \delta; \quad \dot{\epsilon}_2 = v / s, \quad (6)$$

где v — скорость деформации.

Подставив выражение (6) в формулу (5) и приняв

$$M = 4(3\nu \ln \frac{\delta}{\delta - d} - 1), \quad N = \nu - 1,$$

получим

$$s(sM - 4N\delta) = B(s + N\delta). \quad (7)$$

В любой момент формоизменения полный смещенный объем равен Bds , а объемы металла, смещенного в промежутки между волокнами W_1 и поперек волокон W_2 ,

$$W_1 = m(\delta - a)df; \quad W_2 = sdB, \quad (8)$$

где m — количество волокон в ряду; f — глубина затекания металла в промежутки между волокнами; a — текущее расстояние между волокнами.

Тогда

$$m(\delta - a) \frac{df}{dB} + s = B \frac{ds}{dB}. \quad (9)$$

Скорости истечения в рассматриваемых направлениях соответственно

$$v_1 = W_1 / [m(\delta - a)]; \quad v_2 = W_2 / s,$$

откуда, с учетом уравнения (9), имеем:

$$v_1 / v_2 = df / dB. \quad (10)$$

В [2] показано, что для аналогичных процессов течения металла в двух направлениях существует зависимость:

$$\dot{\epsilon}_1 / \dot{\epsilon}_2 \approx v_1 / v_2. \quad (11)$$

Тогда выражение (9), учитывая формулы (6), (7), (10) и (11), можно преобразовать:

$$dB = \frac{\delta}{m(\delta - 0,86d) + \delta} \frac{sM - 4N\delta}{s + N\delta} ds. \quad (12)$$

После интегрирования уравнения (12), подстановки постоянной интегрирования, определяемой условиями $s = s_0$ при $B = B_0$, $s = s_k$ при $B = B_k$, подстановки коэффициентов M и N , выражая s_k через степень обжатия заготовки ϵ_1 после заполнения промежутков между волокнами, количество слоев волокон и их диаметр, получим формулу для определения уширения матричного материала в процессе формирования композиций:

$$\begin{aligned} \Delta B = & \frac{4\delta}{B_0(1 - 0,86d/\delta) + \delta} \left\{ 2\nu [(\nu - 1) \times \right. \\ & \times \ln \frac{(\nu - 1)\delta + s_0}{(\nu - 1)\delta + s_0(1 - \epsilon_1) - n\epsilon_1 d/(n+1)} - (s_0 - \\ & \left. - \frac{nd}{n+1}) \epsilon_1 \right] \ln \frac{1}{1-d/\delta} + (s_0 + \frac{nd}{n+1}) \epsilon_1 \left. \right\}. \quad (13) \end{aligned}$$

Уравнение (13) позволяет анализировать процессы формоизменения при получении композиционных материалов методами прокатки и горячего пресования. Очевидно, что в основном процесс формирования композиций зависит от начальной ширины заготовки и толщины матричного материала, отношения шага укладки волокон к их диаметру, количества слоев волокон и степени обжатия.

Из выражения (5) следует, что основное условие отсутствия деформации в направлении уширения

$$\frac{B}{s} = 4(2\nu \ln \frac{\delta}{\delta - d} - 1), \quad (14)$$

откуда

$$\delta/(\delta - d) = \exp[B/(8\nu s) - 1/(2\nu)]. \quad (15)$$

Минимальное отношение шага укладки волокон к их диаметру, при котором матричный материал заполняет промежутки между волокнами без уширения, в соответствии с формулой (15)

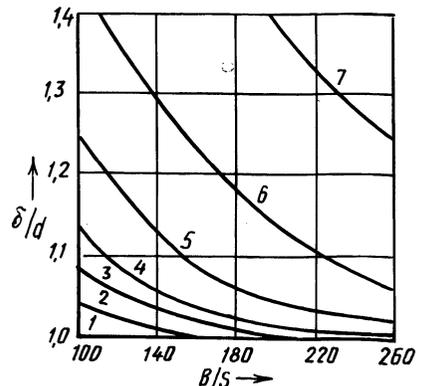


Рис. 1. Зависимость минимального отношения шага укладки к диаметру волокна от отношения ширины заготовки к толщине матричного слоя:
1—7 — $\nu = 1, 4, 5, 6, 8, 12$ и 20 соответственно

$$\frac{\delta}{d} = \frac{e^A}{e^A - 1}, \quad (16)$$

где $A = \frac{1}{2\nu} \left(\frac{B}{4s} + 1 \right)$.

Графическое изображение зависимости (16) для различных значений ν представлено на рис. 1. Каждому материалу соответствует определенная кривая, а ее расположение зависит от диапазона напряжений и скоростей деформации. Для постоянных значений B/s при повышении скорости деформации и вязкости матричного материала увеличивается минимальное отношение шага укладки волокон к их диаметру, при котором происходит заполнение промежутков между волокнами без уширения.

Для практического применения полученных зависимостей необходимо знать отношение максимального сдвигающего напряжения к экстраполированному пределу жесткости материала. Например, при изготовлении композиционного материала методом прокатки на стане с диаметром валков 400 мм и скоростью вращения 0,15 м/с максимальная скорость относительной деформации составляет 10^2 с^{-1} . По данным [4], для матрицы из алюминия этой скорости деформации соответствует $\nu = \tau_{\max}/\tau_0 = 5$. В этом случае минимальное отношение шага укладки к диаметру волокна, при котором происходит формирование композиционного материала без уширения, определяется кривой 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. М а т у с е в и ч А.С. Композиционные материалы на металлической основе. — Мн.: Наука и техника, 1978. — 215 с.
2. Теоретические основыковки и горячей объемной штамповки/Е.М. М а к у ш о к, А.С. М а т у с е в и ч, В.П. Северденко, В.М. С е г а л. — Мн.: Наука и техника, 1968. — 407 с.
3. М а т у с е в и ч А.С. Определение усилий формирования композиционных материалов. — Кузн. штам. производство, 1981, № 12, с. 7—9.
4. Т и х о н о в А.С., О с и п о в В.Г., Б у л а т С.И. Деформируемость металлов и бинарных сплавов. — М.: Наука, 1971. — 131 с.

УДК 621.762

Е.Г.СЫЧЕВ, канд.техн.наук,
В.Ф.БУРЕНКОВ (ГПИ)

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА НА УГЛЫ ЗАКЛИНИВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛОПОРШКОВОГО ПОКРЫТИЯ

Нанесение порошковых покрытий с заранее заданными свойствами является одним из важнейших путей повышения долговечности деталей машин, изготовленных из обычных конструкционных сталей. Нанесение металлических порошков методом пластического деформирования позволяет исключить металлургические недостатки и получить покрытие высокой плотности и адгезии, без припекания к поверхности металла.

Представляет практический интерес определение углов инструмента в зоне