

Министерство образования и науки Российской Федерации
Балтийский государственный технический университет «Военмех»
Санкт-Петербургская инженерная академия

ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Материалы международной научно-технической конференции,
посвящённой 75-летию кафедры Е4 «Высокоэнергетические
устройства автоматических систем» БГТУ «Военмех»

Санкт-Петербург
13–16 октября 2009 года

Санкт-Петербург
2009

УДК 621.77:539.3

П78

П78 **Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением: мат. междунаrod. науч.-техн. конф. / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2009. – 172 с.**

ISBN 978-5-85546-474-0

Представлены результаты исследований по различным вопросам механики деформированного твердого тела, теории и практики пластического формоизменения металлов в различных состояниях. Уделено внимание процессу деформирования анизотропных материалов. Рассматриваются различные вопросы применения нанотехнологий в обработке металлов давлением.

Материалы сборника могут быть полезны научно-техническим работникам, инженерам, аспирантам и магистрам, специализирующимся в области механики деформируемого твердого тела и обработки металлов давлением.

УДК 621.77:539.3

Редакционная коллегия: *К.М. Иванов, Г.А. Данилин (отв. ред.), А.М. Дмитриев, Н.П. Агеев, Ю.И. Гуменюк (отв. секр.), Л.Б. Аксенов, И.С. Алиев, Р.А. Васин, В.А. Голенков, Ф.В. Гречников, В.А. Демин, И.А. Кийко, В.Н. Кокорин, К.С. Колесников, В.А. Огородников, А.В. Сафонов, Е.Н. Сосенушкин, В.Н. Субич, В.Г. Шеркунов, Н.Ф. Шпунькин, С.С. Яковлев*

За содержание докладов и сообщений полную ответственность несут их авторы

Ответственные за выпуск
Э.И. Ульянов, Д.В. Усманов

ISBN 978-5-85546-474-0

© БГТУ, 2009
© Авторы, 2009

метров вырубного пуансона и вырубной матрицы (наладочный эксцентриситет).

Анализ уравнения регрессии (2) показывает, что наибольшее влияние на выходной эксцентриситет готовой сферической шайбы оказывает значение эксцентриситета осей диаметров вырубного пуансона и вырубной матрицы на второй операции, поэтому соответствующую настройку штампа следует проводить с помощью специальных настроечных эталонов.

Разработанная методика позволяет прогнозировать величину эксцентриситета и уровень вероятности брака деталей типа «шайба» еще на стадии проектирования штамповой оснастки и инструмента.

Библиографический список

1. Панфилов Г.В., Красавин Р.В., Шуляков А.В. Разработка технологии штампа для пластического формообразования сферической шайбы // Известия ТулГУ. Серия Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. – Тула: ТулГУ, 2006. – Вып. 1. – С. 302–307.

2. Точность производства в машиностроении и приборостроении. / Под ред. А.Н. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 376 с.

УДК 621.77

В. М. Михалевич, В. А. Краевский, Ю. В. Добрянку

Винницкий национальный технический университет, г. Винница,
Украина

Моделирование предельных деформаций на свободной поверхности при осесимметричной осадке

В данном сообщении предложены математическая модель и информационные технологии определения предельных пластических деформаций материала на свободной боковой поверхности цилиндрического образца при осадке между плоскими плитами в условиях холодного и горячего деформирования.

Для определения напряженно-деформированного состояния выполнили подробный анализ и совершенствование известной методики [1]. Наряду с известной аппроксимацией зависимости между осевой ε_z и окружной ε_φ деформациями, представленной в виде решения дифференциального уравнения с разделяющимися переменными

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{2} - \frac{3}{2} \cdot \frac{m^2}{\varepsilon_\varphi^2 + m^2}, \quad (1)$$

предложены и исследованы целый ряд других аналитических выражений, в частности,

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{2} - \frac{3}{2} \cdot \frac{p^2}{\varepsilon_z^2 + p^2}, \quad p > 0, \quad (2)$$

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{2} - \frac{3}{2} e^{-m\varepsilon_\varphi}, \quad m > 0, \quad (3)$$

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -ae^{-b\varepsilon_\varphi}. \quad (4)$$

Здесь $m > 0$, $p > 0$, $a > 0$, $b > 0$ – экспериментально определяемые константы.

Решением дифференциальных уравнений (1)–(4), с учетом начального условия $\varepsilon_z|_{\varepsilon_\varphi=0} = 0$, получаем соответственно следующие зависимости:

$$\varepsilon_z = -\frac{1}{2}\varepsilon_\varphi - \frac{3}{2}m \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{\varepsilon_\varphi}{m}\right); \quad (5)$$

$$\varepsilon_\varphi = -2\varepsilon_z + 3p \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{\varepsilon_z}{2p}\right); \quad (6)$$

$$\varepsilon_z = -\frac{1}{2}\varepsilon_\varphi + \frac{3}{2m}(e^{-m\varepsilon_\varphi} - 1); \quad (7)$$

$$\varepsilon_z = a(1 - e^{-b\varepsilon_\varphi}). \quad (8)$$

Параметры полученных аналитических выражений определяли методом наименьших квадратов, который во всех рассматриваемых случаях приводит к необходимости решения трансцендентных уравнений. Поэтому значения параметров находили непосредственной минимизацией суммы квадратов отклонений с помощью стандартной команды дополнительного пакета *Optimization* системы компьютерной математики *Maple* и перепроверяли полученное значение с помощью надстройки *Microsoft Excel Solver*.

Напряженное состояние определяли с использованием теории течения и деформационной теории. Предельные деформации определяли с использованием скалярных и тензорных моделей накопления повреждений [2–4]. Простейшая скалярная модель Колмогорова, базирующаяся на линейном принципе накопления повреждений

$$\psi(\varepsilon_u) = \int_0^{\varepsilon_u} \frac{d\varepsilon_u}{\varepsilon_{*c}[\eta(\varepsilon_u)]}, \quad (9)$$

при использовании параметрического представления зависимости (5), принимает следующий вид

$$\psi(x) = 1,47m \int_0^x \frac{e^{f(1,t) \cdot f(2,t) \cdot \ln(0,94 \cdot f(1,t) \cdot f(2,t))}}{f(2,t) \cdot \cos^2 t} dt, \quad (10)$$

$$f(k,t) = \left(1 + (-1)^k \cdot 3 \cos^{2k}(t)\right)^{\frac{(-1)^{k+1}}{k}}, \quad k = 1, 2.$$

Здесь ψ – поврежденность макрочастицы; $\varepsilon_{*c} = \varepsilon_{*c}(\eta)$ – кривая предельных деформаций при стационарном деформировании; ε_u – накопленная пластическая деформация; η – показатель напряженного состояния [1-5]; x – параметр процесса деформирования.

Результаты расчета предельных деформаций представлены на рис. 1.

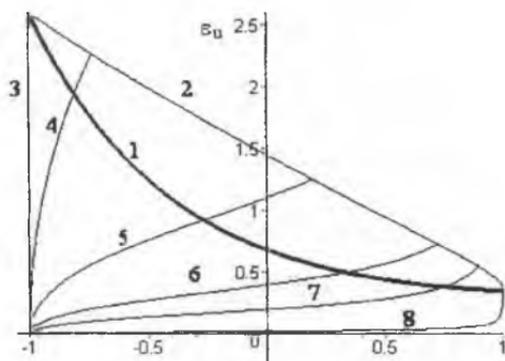


Рис. 1. Моделирование предельных деформаций при осесимметричной осадке цилиндрических образцов: 1 – кривая предельных деформаций при стационарном деформировании; 2 – кривая предельных деформаций при нестационарном деформировании; 3–8 – пути деформирования при разных условиях трения на торцах (параметр m): 3 – $m = 30$, 4 – $m = 2$, 5 – $m = 0,5$, 6 – $m = 0,18$,

7 – $m = 0,09$, 8 – $m = 0,01$

При горячем деформировании предельная пластическая деформация существенным образом зависит от закона изменения скорости деформаций. Данное обстоятельство отражается скалярным вариантом известной модели [4]

$$\psi(t) = \int_0^t \varphi[t - \tau; I(\tau)] \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau, \quad (11)$$

где t, τ – время; $\varphi[t - \tau; I(\tau)]$ – ядро наследственности; f – некоторая функция. С учетом зависимости накопленной деформации ε_u от скорости деформации $\dot{\varepsilon}_u$

$$\varepsilon_u = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau, \quad (12)$$

сформулировано две важные с практической точки зрения вариационные задачи изопериметрического типа. Первая задача формулируется так: определить закон изменения скорости деформации $\dot{\varepsilon}_u = \dot{\varepsilon}_u(t)$ при котором заданная накопленная деформация ε_* достигается за кратчайшее время t_* при условии, что $\psi(t_*) = 1$

$$t_* = t_*(\dot{\varepsilon}_u(t)) \rightarrow \min,$$

$$\varepsilon_* = \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau, \quad (13)$$

$$\int_0^{t_*} \varphi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau = 1.$$

Формулирование второй задачи: определить закон изменения скорости деформации $\dot{\varepsilon}_u = \dot{\varepsilon}_u(t)$ при котором за заданное время t_* материал приобретает наибольшую деформацию ε_* при условии, что $\psi(t_*) = 1$.

$$\varepsilon_* = \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau \rightarrow \max,$$

$$\int_0^{t_*} \varphi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau = 1. \quad (14)$$

Необходимые условия существования экстремума (14) выполняются только в тривиальных случаях, которые не имеют практического значения. В данной постановке не учтено важное условие, которое из физических представлений отображает тот факт, что разрушение материала не может произойти до времени t_* , т. е.

$$\int_0^t \varphi(t - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau \leq 1, \forall t \in (0, t_*). \quad (15)$$

При сужении области допустимых функций к классу кусочно-постоянных функций, в частности, для двухступенчатой схемы

$$\dot{\varepsilon}_u(t) = \begin{cases} \dot{\varepsilon}_{u1}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ \dot{\varepsilon}_{u2}, & t_1 < t \leq t_*, \end{cases} \quad (16)$$

задача (14) с учетом (15) сведена к задаче нелинейного программирования

$$\begin{aligned} \varepsilon_* &= \dot{\varepsilon}_{u1} \cdot t_1 + \dot{\varepsilon}_{u2} \cdot (t_* - t_1) \rightarrow \max, \\ \left(\frac{t_*}{t_{*1}}\right)^n + \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*2}}\right)^n - \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*1}}\right)^n &= 1, \\ t_1 &\leq t_{*1}, \end{aligned} \quad (17)$$

в которой целевая функция зависит от трех неизвестных $\dot{\varepsilon}_{u1}, \dot{\varepsilon}_{u2}, t_1$.

Здесь $t_{*i} = t_{*c}(\dot{\varepsilon}_{ui})$, $i = 1, 2$; t_{*c} – известная функция, которая характеризует свойства материала. С помощью метода множителей Лагранжа задача (17) сведена к задаче определения оптимального значения функции одного аргумента. Согласно полученному решению оптимальной является схема, для которой $\dot{\varepsilon}_{u1} > \dot{\varepsilon}_{u2}$ (!). Приведенные результаты позволяют предположить, что оптимальные решения поставленных вариационных задач (13) и (14) существуют и для многих других классов допустимых функций.

Библиографический список

1. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Инженерные методы расчета операций пластической обработки материалов. – М.-Л.: Машгиз, 1961. 463 с.
2. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении. – К.: УМК ВО, 1989. 152 с.
3. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. – М.: Металлургия, 1970. 230 с.
4. Михалевиц В.М. Тензорные модели накопления повреждений. – Винница: "УНИВЕРСУМ-Винница", 1998. 195 с.
5. Лебедев А.А., Михалевиц В.М. О выборе инвариантов напряженного состояния при решении задач механики материалов // Пробл. прочности. – 2003. – № 3. С. 5 – 14.

УДК 681.: 658.562.3/6

А. П. Муслимов, О. Л. Киреев

Филиал Балтийского государственного технического университета «Военмех» им. Д.Ф. Устинова в г. Бишкеке, Кыргызская Республика

Разработка метода и устройства автоматического контроля неуравновешенности изделий типа тел вращения с малыми массой и габаритами, изготавливаемых способами ОМД

Одной из важнейших характеристик, определяющих качество изделий типа тел вращения, вращающихся с большими скоростями, является величина радиального смещения центра масс (РСЦМ).