

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПОВРЕЖДЕННОСТИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ПОСТПРОЦЕССОРА DEFORM3D

Власов А.В., д.т.н., доцент.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

Одним из основных факторов, лимитирующих применение процессов холодной штамповки, является разрушение металла в процессе пластической деформации. В настоящий момент не существует общепризнанной методики прогнозирования разрушения металлов при больших пластических деформациях.

Программный комплекс [DEFORM3D](#) имеет встроенные средства прогнозирования разрушения при холодной штамповке [6]. Критерием «по умолчанию» является критерий Cockcroft@Latham, рассчитываемый по формуле:

$$D = \int_0^{\bar{\epsilon}} \frac{\sigma}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon}$$

где $\bar{\epsilon}$ - накопленная пластическая деформация, $d\bar{\epsilon}$ - приращение накопленной деформации, σ^* - максимальное главное растягивающее напряжение, $\bar{\sigma}$ - интенсивность напряжений.

В практике расчетов в нашей стране предлагаемые в DEFORM3D критерии не нашли широкого распространения прежде всего потому, что в них не учитывается экспериментальный факт увеличения технологической пластичности материала при увеличении в схеме напряженного состояния сжимающих напряжений.

Работы Бриджмена, Смирнова-Аляева, Колмогорова и др. показали, что накопленная деформация в момент разрушения в максимальной степени зависит от жесткости напряженного состояния η

$$\eta = \frac{3\sigma_m}{\bar{\sigma}}$$

где $\sigma_m = \frac{1}{3} \sigma_{ii}$ - среднее напряжение.

Графически такая зависимость отображается диаграммой пластичности, которая является характеристикой материала и для большинства материалов нелинейна. Отечественными учеными создан целый ряд критериев разрушения, базирующихся на свойствах диаграммы пластичности.

Наибольшее распространение получили критерии В.Л.Колмогорова [1], В.А.Огородникова [2] и Г.Д.Деля [3]. Критерий Колмогорова дает наилучшие результаты при монотонном нагружении, когда знаки деформаций не изменяются. Критерий Огородникова учитывает немонотонность нагружения введением производной $d\eta/d\bar{\epsilon}$. В отличие от первых двух критериев, критерий Деля является тензорно-скалярным и позволяет учесть анизотропию накопления повреждений. Нами создана подпрограмма для постпроцессора DEFORM3D, позволяющая предсказывать поврежденность материала при холодной штамповке по этим критериям.

Исходными данными для работы подпрограммы является база данных результатов расчета и файл исходных данных, который должен быть расположен в том же каталоге, что и обрабатываемая база данных.

Подпрограмма рассчитывает степень использования запаса пластичности по критериям Колмогорова, Деля и Огородникова, а также показатель жесткости напряженного состояния η и параметр напряженного состояния Лоде-Надаи μ_σ .

Тестирование подпрограммы проводилось на операциях протяжки бруска с квадрата на квадрат на плоских бойках с кантовкой заготовки на 90 градусов вокруг оси X после каждого обжатия, а также последовательного сжатия-кручения круглой заготовки. Примеры взяты из учебного пособия Н.А.Шестакова [4], в котором для расчетов применена среда MathCAD. Расчеты поврежденности, выполненные разработанной программой, с ошибкой до 2% совпадают с аналитическими расчетами, выполненными по аналогии с [4]. Следует отметить, что с увеличением шага расчета ошибка численного интегрирования в подпрограмме растет, поэтому в практических расчетах следует применять по возможности меньший шаг расчета.

Разработанную программу применили для анализа расчетов процесса радиальнойковки. Четыре бойка одновременно деформируют заготовку в радиальном направлении. Между каждым двойным ходом бойков заготовка поворачивается на 26° вокруг продольной оси и подается на 0.2 мм вдоль оси. Ход деформирования составляет около 0.1 мм. Весь процесс выполняется более чем за 4000 операций. После 1500 операций процесс переходит в установившуюся стадию. Для обеспечения симметрии поверхностная сетка КЭ выполнена максимально равномерной. Для ускорения счета заготовка разбита на 16000 элементов. Во время расчета задавалось принудительное локальное переразбиение сетки через каждые 201 шаг расчета.

Анализ кинематики процесса показывает, что на каждой операции деформации подвергаются новые участки заготовки, причем, если на предыдущей операции участок находился непосредственно под бойком и испытывал деформации сжатия, то на следующей операции этот участок может находиться между бойками и испытывать деформации растяжения. Таким образом, процесс радиальнойковки – это процесс со сложной историей нагружения и немонотонным характером изменения показателя жесткости напряженного состояния η в каждой материальной точке.

Для таких процессов наиболее приближенные к реальности результаты можно ожидать при применении критерия Дея.

Сравнение результатов расчета степени использования запаса пластичности по различным критериям приведено на Рис.1 - Рис.3.

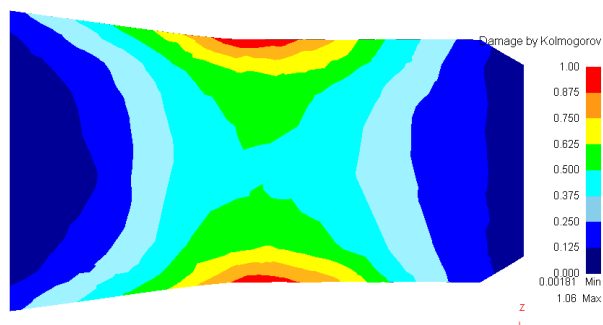


Рис. 1. Степень использования запаса пластичности по критерию Колмогорова

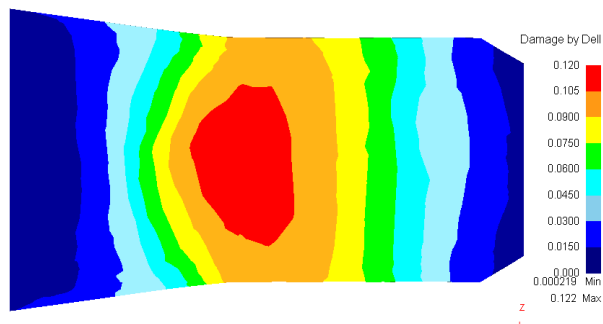


Рис. 2. Степень использования запаса пластичности по критерию Дея

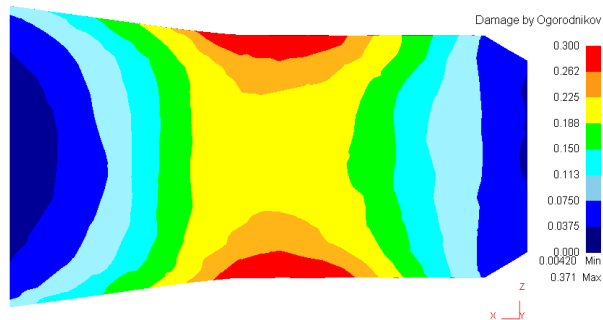


Рис.3. Степень использования запаса пластичности по критерию Огородникова

Анализ результатов показывает, что расчет по критерию Колмогорова предсказывает разрушение на поверхности заготовки ($\psi > 1$). По критерию Огородникова также наиболее опасными являются поверхностные слои, однако разрушения в них не предсказывается ($\psi < 0.4$). Распределение степени использования запаса пластичности по критерию Дея имеет качественно иной характер по сравнению с двумя первыми. Здесь наиболее опасными являются уже центральные слои, хотя критические значения по критерию Дея не достигаются ($\psi < 0.2$).

В технической литературе [5] наиболее опасным сечением при радиальной ковке считаются именно центральные слои, в которых при определенных условиях может возникнуть разрушение материала. Изложенное свидетельствует, что критерий Дея качественно более точно описывает процесс. Для получения количественного совпадения необходимо максимально точно построить диаграмму пластичности деформируемого материала.

Литература

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ГТУ, 2001. – 836 с.
2. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. – Киев: Вища школа, 1983. – 174 с.
3. Дель Г.Д. Пластичность деформированного материала // Физика и техника высоких давлений. 1983. №11. С. 28-32
4. Шестаков Н.А. Расчеты процессов обработки металлов давлением. Решение задач энергетическим методом: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2008. – 344 с.
5. Ковка на радиально-обжимных машинах // В.А.Тюрин, В.А.Лазоркин, И.А.Поспелов и др. – М.:Машиностроение, 1990. – 256 с.
6. DEFORM™ 3D Version 6.1 User's Manual