

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

В.С. Мамутов

**РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ОСАДКИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПЛОСКИМИ ПЛИТАМИ**

Методические указания к курсовой работе

2016

УДК 621

Мамутов В.С. **Расчет процесса холодной осадки цилиндрической заготовки плоскими плитами.** Методические указания к курсовой работе. СПб., 2016, 10 с.

Методические указания к курсовой работе соответствуют образовательному стандарту высшего образования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по направлению подготовки магистров 15.04.01_1 «Процессы и машины обработки давлением», по дисциплинам «Анализ процессов пластического деформирования», «Теория обработки металлов давлением».

Предлагается методология компьютерного эксперимента по анализу влияние трения и вида аппроксимации кривой деформационного упрочнения металла на параметры холодной осадки цилиндрической заготовки плоскими бойками. Даны характеристики кривой деформационного упрочнения ряда отечественных металлов, полученных при больших пластических деформациях. Представлена методика преобразования этих характеристик в вид, необходимый для задания исходных данных при конечно-элементных расчетах. Предполагается сопоставление результатов компьютерных расчетов с аналитическими расчетами, приближенные формулы для которых представлены.

Предназначено для студентов и аспирантов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям, связанным с расчетом и проектированием технологических операций обработки металлов давлением.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ЭТАПЫ РАСЧЕТА И ОФОРМЛЕНИЯ-----	4
РАЗМЕРЫ И ГЕОМЕТРИЯ ЗАГОТОВКИ -----	5
ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА ЗАГОТОВКИ-----	5
УСИЛИЕ ОСАДКИ-----	8
1. Приближенная формула Зибеля-----	8
2. Вывод формулы осадки методом анализа напряжений -----	9

ЭТАПЫ РАСЧЕТА И ОФОРМЛЕНИЯ

Исходными данными для расчета являются:

- 1) размеры осаживаемой заготовки;
- 2) марка и параметры кривой деформационного упрочнения материала заготовки.

В процессе проектирования необходимо сделать:

- 1) в геометрическом редакторе построить геометрическую модель заготовки и инструментов при осадке;
- 2) подготовить данные для конечно-элементного расчета:
 - преобразовать параметры кривой деформационного упрочнения к виду, необходимому для задания в препроцессоре КЭ-комплекса;
 - конвертировать файл геометрической модели в препроцессор КЭ-комплекса;
- 3) сделать верификацию компьютерной модели аналитическим расчетом при коэффициенте кулоновского трения $\mu = 0$, учитывая при расчете деформации и усилия, что заготовка сохраняет цилиндрическую форму;
- 4) при конечно-элементном расчете варьировать величиной коэффициента кулоновского трения, начиная от $\mu = 0$ до $\mu = 0.5$ с шагом 0.1,
- 5) осадку проводить до деформации, соответствующей $H/H_0 = 0.75$, где H_0 – начальная высота цилиндрической заготовки, H – конечная высота, фиксируя при этом шаги $H/H_0 = 0.25$, $H/H_0 = 0.5$ и $H/H_0 = 0.75$;
- 6) оценить усилие осадки и максимальное значение эффективных деформаций для каждого варианта расчета;
- 7) исследовать влияние сил контактного трения на усилие и максимальное значение эффективных или эквивалентных деформаций (в зависимости от постпроцессора КЭ-комплекса);
- 8) сравнить результаты расчетов для вариантов аппроксимации кривой деформационного упрочнения по формулам Холломана и Людвига;

9) по приближенным аналитическим формулам рассчитать усилие осадки и сопоставить результаты с данными конечно-элементного моделирования;

10) представить основные этапы (скриншоты с описанием) создания компьютерной модели и результаты расчетов (оформленные с учетом требований ГОСТ 7.32-2001) в электронном и бумажном видах.

РАЗМЕРЫ И ГЕОМЕТРИЯ ЗАГОТОВКИ

Размеры осаживаемой заготовки H_0 и D_0 (рис. 1) и марка материала задаются преподавателем.

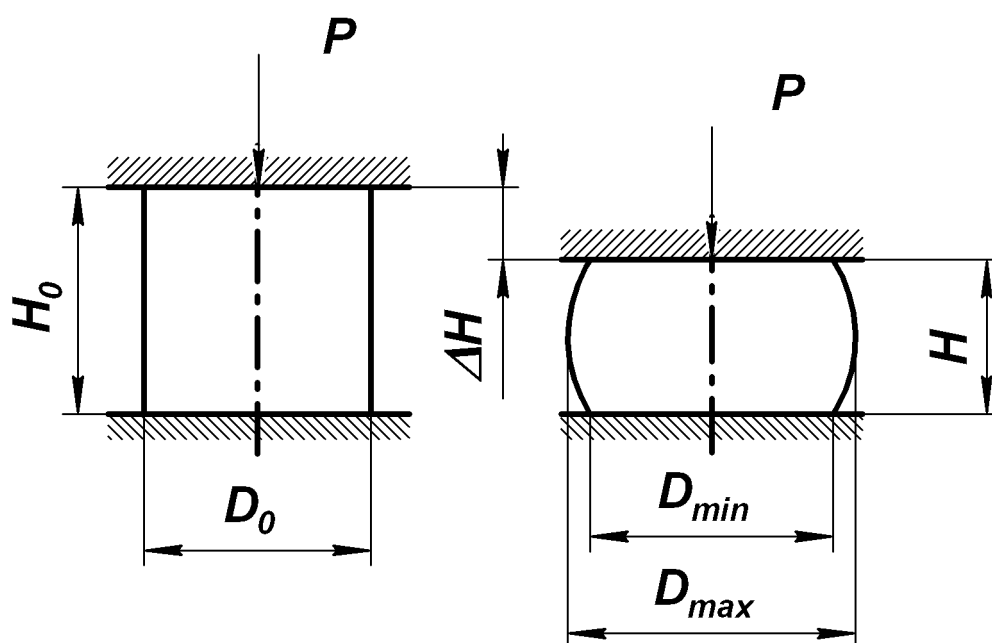


Рис. 1. Цилиндрическая заготовка до осадки и после осадки

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ЗАГОТОВКИ

Для конечно-элементных расчетов необходимо задать параметры кривой деформационного упрочнения в виде аппроксимаций, например

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + B\varepsilon_i^m \quad (\text{Ludwick}), \quad (1)$$

или (и)

$$\sigma_s = B\varepsilon_i^m \quad (\text{Holloman}), \quad (2)$$

где σ_s – напряжение текучести; ε_i – интенсивность тензора логарифмических деформаций, совпадающей при одноосном растяжении с эффективной деформацией; σ_{s0} – начальное напряжение текучести; B, m – параметры степенной аппроксимации.

В процессе осадки могут быть достигнуты большие деформации, значительно превышавшие относительное удлинение в момент разрыва при испытании на растяжение. Использование аппроксимации кривой деформационного упрочнения из испытаний на растяжение при прогнозировании больших деформаций может дать большую ошибку, особенно при использовании степенного закона упрочнения (2). Поэтому в данной работе использованы характеристики отечественных материалов, полученные по специальной методике в условиях больших пластических деформаций¹. В представленной ниже табл. 1 даны характеристики кривой деформационного упрочнения ряда материалов. При этом использована следующая аппроксимация кривой упрочнения

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + B_1(100\varepsilon_{eng})^{m_1}, \quad (3)$$

где ε_{eng} – инженерная или относительная деформация, связанная с интенсивностью тензора логарифмических деформаций соотношением

$$\varepsilon_i = \ln(1 + \varepsilon_{eng}). \quad (4)$$

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА ЗАГОТОВКИ

№ п/п	Материал	σ_{s0} , КГ/ММ ²	B_1 , КГ/ММ ²	m_1	Плотность, ρ , КГ/М ³	Модуль Юнга, E , КГ/ММ ²	Коэффициент Пуассона, ν
1	Армко-железо	25	5	0.56	7870	21100...21700	0.28
2	Ст.0	25	5.62	0.46	7850...8000	21100...21700	0.28
3	Ст.2	30	3.06	0.62	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32

¹ Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М: Металлургия, 1973.

№ п/п	Материал	σ_{s0} , КГ/ММ ²	B_1 , КГ/ММ ²	m_1	Плотность, ρ , КГ/М ³	Модуль Юнга, E , КГ/ММ ²	Коэффициент Пуассона, ν
4	Сталь 08	30	7.7	0.48	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
5	Сталь 08кп	23	3.46	0.6	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
6	Сталь 10	30	2.95	0.64	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
7	Сталь 20	37.5	3.16	0.64	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
8	Сталь 20А	35	6.45	0.5	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
9	Сталь 40	35	8.36	0.48	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
10	Сталь 45	35	8.66	0.48	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
11	Сталь 50	40	10	0.47	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
12	Сталь 85	50	14.7	0.43	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
13	Сталь Х18Н9Т	41	2.4	0.91	7850...8000	17000...24500	0.24...0.32
14	Алюминий А1	6	0.64	0.62	2700	6900...7500	0.32...0.36
15	Алюминий А2	9.5	0.94	0.59	2700	6900...7500	0.32...0.36
16	АМц	5	0.6	0.71	2700...3100	6900...7500	0.32...0.36
17	АМг1	10	1.3	0.59	2700...3100	6900...7500	0.32...0.36
18	АМг3	7.5	6.4	0.3	2700...3100	6900...7500	0.32...0.36
19	Д1	8.8	3.5	0.41	2790	6900...7500	0.32...0.36
20	Медь М4	7.5	5.6	0.41	8930	11000...13000	0.31...0.34
21	Латунь Л68	12	3.6	0.62	8400...8700	9000...12000	0.32...0.42
22	Латунь Л63	15	3.1	0.65	8400...8700	9000...12000	0.32...0.42
23	Никель НП4	15	13.7	0.38	8600...8900	20500...21000	0.31
24	Технический титан	50	6.7	0.36	4500	10500...12000	0.34
25	BT1-1	42	5.2	0.48	4500...5500	10500...12000	0.34
26	BT1-2	44	4.2	0.54	4500...5500	10500...12000	0.34
27	BT6	100	1.1	0.76	4500...5500	10500...12000	0.34
28	OT4	64	2.4	0.68	4500...5500	10500...12000	0.34
29	OT4-1	67	2.3	0.67	4500...5500	10500...12000	0.34
30	Тантал	57.5	5	0.54	16600	17900...19200	0.24
31	Ниобий	40	4.2	0.5	8400	8700...16000	0.35

При переводе размерности кГ/мм² в современно используемые в конечно-элементных комплексах примерно полагать, что 1 кГ \cong 9.8 Н.

В некоторых конечно-элементных комплексах (например, MSC.SuperForm) при холодном деформировании можно задавать теплофизические характеристики металла, что позволяет оценить нагрев металла при холодном деформировании. В этом случае коэффициент температурного расширения α , изобарную теплоемкость C_p и коэффициент теплопроводности λ можно найти, например, в справочнике «Таблицы физических величин» под редакцией И.К. Кикоина². Для теплоемкости при переводе в систему единиц СИ иметь в виду, что 1 кал = 4.1868 Дж.

Также теплофизические характеристики могут быть найдены в других источниках и в INTERNET.

УСИЛИЕ ОСАДКИ

1. Приближенная формула Зибеля.

Упрощенная формула расчета усилия осадки цилиндрического образца (рис. 1) опубликована в 1934 году Э. Зибелем³ и представлена в учебнике Сторожева М.В. и Попова Е.С.⁴.

При этом сначала определяется удельное усилие осадки

$$p = \sigma_s \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{D_{mid}}{H} \right), \quad (5)$$

где σ_s – напряжение текучести, μ – коэффициент трения, $D_{min} < D_{mid} < D_{max}$ – средний диаметр заготовки после осадки, H – высота заготовки после осадки.

Напряжение текучести можно определить по формуле (1) или (2). Например, для формулы (2), определяя интенсивность деформаций:

$$\varepsilon_i = \ln(1 + \Delta H/H_0), \quad (6)$$

² Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976

³ Зибель Э. Обработка металлов в пластическом состоянии. М. – Л., ОНТИ, 1934

⁴ Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977

и с учетом вида аппроксимации кривой деформационного упрочнения находим напряжение текучести

$$\sigma_s = B\varepsilon_i^m.$$

Средний диаметр заготовки после осадки определяем из условия постоянства объема при пластическом деформировании

$$D_{mid} = (D_0 \cdot H_0) / H. \quad (7)$$

Далее определяем усилие осадки

$$P \cong p \cdot \pi \cdot (D_{mid}/2)^2. \quad (8)$$

2. Вывод формулы осадки методом анализа напряжений⁵.

Предполагается, что заготовка в процессе осадки сохраняет цилиндрическую форму. Рассматривается уравнение равновесия точек осесимметричной заготовки при осадке плоскими бойками в цилиндрической системе координат (r , φ , z , усилие действует вдоль оси z):

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2\mu\sigma_z}{H} = 0. \quad (9)$$

Дополнительно используем приближенное условие пластичности

$$\sigma_s \cong \sigma_r - \sigma_z. \quad (10)$$

Предположив, что σ_s не является функцией r , из (10) можно получить

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{d\sigma_z}{dr}. \quad (11)$$

Подставив (11) в (9), получим

$$\frac{d\sigma_z}{dr} + \frac{2\mu}{H} dr = 0. \quad (12)$$

Так как на краю заготовки, при $r = D/2$ напряжение вдоль оси z равно напряжению текучести

$$- \sigma_z \cong \sigma_s, \quad (13)$$

⁵ Томсен, Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э. Томсен, И. Янг, Ш. Кобаяши. – М. : Машиностроение, 1969.

то это соотношение можно использовать в качестве граничного условия, и решение дифференциального уравнения (12) имеет вид

$$-\sigma_z = \sigma_s \exp\left[\frac{2\mu}{H}(D/2 - r)\right]. \quad (14)$$

Интегрируя (14) по r от $r = 0$ до $r = D/2$ и усредняя по площади, можно получить удельное усилие в виде

$$p = \frac{\sigma_s}{2} \left(\frac{H}{\mu D}\right)^2 \left[\exp\left(\frac{2\mu D}{H}\right) - \frac{2\mu D}{H} - 1\right]. \quad (15)$$

При определении усилия прессы напряжение текучести и площадь рассчитывать аналогично, как в разделе 1.