

нем исходной заготовки, определяется как :

$$N_{cp} = 4 \int_{r_{01}}^{R_1} \int_0^{\theta_1} \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} U_p \rho dr d\theta + 4 \int_{r_2}^{R_2} \int_0^{\theta_2} \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} U_p \rho dr d\theta;$$

Баланс мощности выглядит следующим образом:

$$PV = N_i + N_{mp1} + N_{mp2} + N_{mp3} + N_{cp},$$

где Р - усилие деформации, которое и находим из этого баланса.

Выводы

Сила высадки увеличивается с уменьшением радиуса закругления головки в плане и уменьшением ее высоты. Отношение размеров $\frac{b}{a}$ влияет на усилие значительно слабее, причем с его уменьшением усилие снижается: схема деформации все более приближается к плоской осадке, и все меньшую роль играет выдавливание металла в угловой элемент штампа в плане.

Литература

1. Калпин Ю.Г., Филиппов Ю.К., Гипп Л.Б. Высадка стержневых деталей с прямоугольной в плане головкой - Механика деформированного тела и обработка металлов давлением, 2000г
2. Холодная объемная штамповка. справочник / Под ред. Г.А. Навроцкого, В.А.Головина, А.Ф.Нистратова. М.: Машиностроение, 1973. 496 с.
3. Филиппов Ю.К., Игнатенко В.Н., Головина З.С., Анюхин А.С., Рагулин А.В., Гневашев Д.А. Теоретическое исследование комбинированного процесса радиального и обратного выдавливания в конической матрице / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2011. № 7. С. 3-7.
4. Типалин С.А. Экспериментальное исследование процесса выдавливания технологической канавки в оцинкованной полосе / Известия МГТУ «МАМИ» 2012. Т.2 .№2. С.208-213.
5. Филиппов Ю.К., Игнатенко В.Н., Головина З.С., Рагулин А.В., Анюхин А.С., Гневашев Д.А. Экспериментальное исследование течения металла при комбинированном процессе радиального и обратного выдавливания в конической матрице /Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2011. № 9. С. 33-35.
6. Филиппов Ю.К., Молодов А.В. Моделирование процессов холодного комбинированного выдавливания полусферических деталей с фланцем / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2012. № 5 . С.27-30.
7. Петров М.А., Петров П.А., Калпин Ю.Г. Численное исследование трения при высадке с радиальным выдавливанием деталей типа «Стержень с утолщением» из алюминиевого сплава АД1. / Известия МГТУ «МАМИ» 2012. Т.1 .№1. С.200-210.
8. Соболев Я.А., Филиппов Ю.К., Рагулин А.В., Молодов А.В. Исследование различных типов смазки при холодном обратном выдавливании / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. №2. С.166-170.
9. Филиппов Ю.К. Критерий оценки качества деталей, получаемых холодной объемной штамповкой. / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 1999. № 2 . С. 3.
10. Крутина Е.В., Калпин Ю.Г. Определение пластичности металлов методом комбинированного поперечного выдавливания и высадки / Известия МГТУ «МАМИ». 2012. Т.2. №2. С.95-98.

Определение напряжений в слоях листовой детали при правке давлением

к.т.н. доц. Рябов В.А

Университет машиностроения
(495) 223-05-23 v.a.ryabov@mami.ru

Аннотация. В статье рассмотрено определение напряжений при правке листовых деталей давлением.

Ключевые слова: напряжения, усилие

При правке давлением обычно пользуются чисто практическими рекомендациями. В частности, для заготовок из малоуглеродистых сталей рекомендуют удельные усилия правки для достижения в детали напряжений около 20...40% от значения предела текучести. При этом полностью не устраняет искривлений листа.

Слои заготовки, находившиеся в зоне растяжения и перешедшие при распрямлении в пластическую область, после приложения дополнительного давления подвергаются дальнейшему пластическому растяжению. Слои металла, находящиеся после распрямления в зоне упругого растяжения, после дополнительного сжатия также перейдут в пластическую область, если интенсивность напряжений в них достигает предела текучести [1-4].

Деформации при распрямлении и правке упруго-пластические. В упругой области справедлив закон Гука: $\sigma = E\varepsilon$,

где σ - нормальные напряжения, действующие в плоскости детали (вдоль оси x);

ε - деформация вдоль этой оси; E - модуль упругости; можно считать, что деформации при распрямлении пропорциональны координате y : $\varepsilon_y = \frac{y}{\rho}$,

где ρ - радиус кривизны детали до распрямления.

В пластической области металл упрочняется по степенной зависимости:

$$\sigma_i = \sigma_s + A(\varepsilon_i - \varepsilon_{ynp})^n \quad (1)$$

где σ_s - предел текучести; ε_{ynp} - упругая деформация при напряжении, равном пределу текучести; A и n - параметры материала.

Рассмотрим эпюры нормальных напряжений, действующих в поперечном сечении детали после ее распрямления. Они могут быть двух типов в зависимости от того, возникают ли при этом пластические деформации или нет.

Если при распрямлении детали возникают пластические деформации, значит выполняется условие пластичности:

$$\begin{aligned} \beta\sigma_i &= \sigma_x - \sigma_y, \\ E\varepsilon_{x(y=\frac{S}{2})} &> \beta\sigma_s. \end{aligned} \quad (2)$$

где β - коэффициент Лодэ; S - толщина детали.

Неравенство (2) выполняется при

$$\rho < \frac{Es}{2\beta\sigma_s}.$$

Эпюра напряжений показана на рисунке 1 сплошной линией. В срединных слоях детали деформация упругая, которая при $y = \pm y_s$ переходит в пластическую.

Координата y_s может быть найдена из условия

$$E\varepsilon_x = E \frac{y_s}{\rho} = \beta\sigma_s; \quad y_s = \frac{\beta\sigma_s\rho}{E},$$

$$\text{при } y < y_s \quad \sigma_x = \frac{Ey}{\rho};$$

$$\text{при } y \geq y_s \quad \sigma_x = \beta \left[\sigma_s + A(\varepsilon_x - \varepsilon_{ynp})^n \right], \quad \varepsilon_{ynp} = \frac{\beta\sigma_s}{E} \quad (\text{точнее } \varepsilon_{ynp} = \frac{\beta\sigma_x}{E};$$

однако погрешность невелика, а уточнение существенно усложняет выкладки).

Аналогично можно рассчитать напряжения в зоне сжатия, т.е. при $y < 0$.

После приложения давления правки q эпюра напряжений изменяется (на рисунке 1 показана пунктиром). Двухосное напряженное состояние сменяется трехосным: вдоль оси y возникают напряжения $\sigma_y = -q$.

Для определения возникающих напряжений σ_x в пластически деформируемой области используем условие пластичности Мизеса

$$\sigma_x - \sigma_y = \sigma + q = \beta \sigma_i.$$

Отсюда следует, что пластические деформации в зоне растяжения распространятся на большую глубину: до координаты y_q .

Необходимо отметить, что напряжения растяжения σ_x в пластической области (на рисунке 1 - участок 4) при приложении давления уменьшаются, хотя деформация вдоль оси X возрастает на величину ε . Соответственно в зоне сжатия происходит разгрузка: эпюра напряжений на участках 1, 2, 3 смещается вправо на величину $E\varepsilon$.

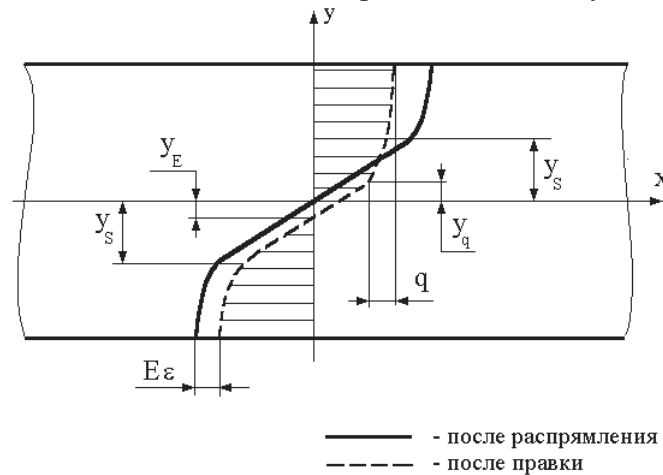


Рисунок 1. Эпюра напряжений в листовой детали, не имеющей остаточных напряжений.

При $y = y_q$ упругие деформации переходят в пластические, следовательно, в этой точке интенсивность напряжений равняется пределу текучести. На участке 3

$$\sigma_x = \frac{E y}{\rho} + E \varepsilon ;$$

значит при $y = y_q$

$$\frac{E y_q}{\rho} + E \varepsilon = \beta \sigma_s - q.$$

Отсюда

$$y_q = \frac{(\beta \sigma_s - q) \rho}{E} - \varepsilon \rho.$$

Таким образом, напряжения в направлении оси X, после приложения давления q можно рассчитать по следующим формулам.

$$\begin{aligned} \sigma_x &= -\beta \sigma_s - \beta A (-\varepsilon_x + \varepsilon_{\text{ср}})^n + E \varepsilon = \\ \text{1 участок} \quad &= -\beta \sigma_s - \beta A \left(-\frac{y}{\rho} - \frac{\beta \sigma_s}{E} \right)^n + E \varepsilon. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{2 и 3 участок} \quad \sigma_x = \frac{E y}{\rho} + E \varepsilon. \quad (4)$$

$$\text{4 участок} \quad \sigma_x = \beta \sigma_s - q + \beta A \left(\frac{y}{\rho} + \varepsilon - \frac{\beta \sigma_s - q}{E} \right)^n. \quad (5)$$

Величину ε можно найти из уравнения равновесия: сумма всех сил, действующих вдоль оси x равна нулю

$$\int_{-S/2}^{S/2} \sigma_x dy = 0. \quad (6)$$

Подставим в формулу (6) значения (3), (4), (5):

$$\int_{-\frac{S}{2}}^{\frac{\beta\sigma_s\rho}{E}} [-\beta\sigma_s + E\varepsilon - \beta A(-\frac{y}{\rho} - \frac{\beta\sigma_s}{E})^n] dy + \int_{\frac{\beta\sigma_s\rho}{E}}^{\frac{(\beta\sigma_s-q)\rho}{E}-\varepsilon\rho} (\frac{Ey}{\rho} + E\varepsilon) dy +$$

$$+ \int_{\frac{(\beta\sigma_s-q)\rho}{E}}^{\frac{S}{2}} [\beta\sigma_s - q + \beta A(\frac{y}{\rho} + \varepsilon - \frac{\beta\sigma_s - q}{E})^n] dy = 0. \quad (7)$$

Интегрирование выражения (7) приводит к трансцендентному уравнению относительно величины ε . Поэтому его решение будем искать в численном виде при нахождении остаточной кривизны детали после правки.

Изгибающий момент, который создает эпюра напряжений σ_x в сечении детали после правки, можно найти по формуле:

$$M = b \int_{-\frac{S}{2}}^{\frac{S}{2}} \sigma_x y dy = b \int_{-\frac{S}{2}}^{\frac{\beta\sigma_s\rho}{E}} [-\beta\sigma_s + E\varepsilon - \beta A(-\frac{y}{\rho} + \frac{\beta\sigma_s}{E})^n] y dy +$$

$$+ b \int_{\frac{\beta\sigma_s\rho}{E}}^{\frac{(\beta\sigma_s-q)\rho}{E}-\varepsilon\rho} (\frac{Ey}{\rho} + E\varepsilon) y dy + b \int_{\frac{(\beta\sigma_s-q)\rho}{E}-\varepsilon\rho}^{\frac{S}{2}} [\beta\sigma_s - q + \beta A(\frac{y}{\rho} + \varepsilon - \frac{\beta\sigma_s - q}{E})^n] y dy,$$

где b - ширина детали.

После снятия нагрузки изгибающий момент приводит к изгибу; деталь получает остаточную кривизну $\frac{1}{\rho'} = \left(\frac{1}{\rho} \right)_{\text{ост}}$: $\frac{1}{\rho'} = \frac{M}{EJ}$,

где J - момент инерции сечения ; при прямоугольном сечении $J = \frac{bS^3}{24}$.

Список литературы

1. Норицын И. А., Калпина Ю. Г., Определение угла пружинения при одноугловой гибке, Вестник Машиностроения, №1, Москва, 1968 г. 63-66 с.
2. Калпин Ю.Г., Перфилов В.И., Петров П.А., Рябов В.А., Филиппов Ю.К. Сопротивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением / Учебное пособие // М.:Машиностроение . 2011. 244с., 73 ил.
3. Типалин С.А. Исследование и разработка методики расчета процесса профилирования ленты при локальном формоизменении /Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 1998.
4. Типалин С.А. Исследование изгиба упрочненного оцинкованного листа / МГТУ «МАМИ» 2012. №2. С.199-204.

Моделирование механических испытаний для изучения сопротивления деформации при резких изменениях скорости деформации

Потапенко К.Е., Воронков В. И., к.т.н. доц. Петров П.А.

Университет машиностроения
8(495)223-05-23, доб. 1306, v-i-w@bk.ru

Аннотация: В данной статье описана методика моделирования механических