

І. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК*621.774

А.В. СТЕПАНЕНКО, д-р техн.наук,
Н.В. ЗАН (БПИ)

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ДОРНОВАНИИ ТРУБ

Повышение производительности труда и снижение себестоимости изготовления деталей типа гильз, втулок и труб можно обеспечить при внедрении точных методов бесстружечной обработки металлов пластическим деформированием. Деформирующая обработка точных и чистовых отверстий гильз, втулок и труб принципиально изменяет и упрощает существующую технологию производства, значительно снижает трудоемкость, металлоемкость, повышая качество и долговечность деталей [1]. Внедрение деформирующей обработки отверстий взамен резания исключает предварительную механическую обработку, что снижает на 15–40 % расход металла труб; в два-пять раз трудоемкость обработки отверстий; на 30–50 % затраты по инструменту, электроэнергии, вспомогательным материалам, амортизационным отчислениям. Значительно снижаются и другие производственные расходы; высвобождается дефицитное металлорежущее оборудование [2].

По сущности и характеру пластической деформации все известные процессы дорнования отверстий могут быть разделены на две группы.

Дорнование с малыми натягами, когда пластически деформированная зона металла не распространяется на всю толщину стенки обрабатываемой трубы, применяют для чистовой отделочной обработки отверстий.

Дорнование с большими натягами в отличие от дорнования с малыми натягами обеспечивает за один-два прохода получение отверстий точностью до 4–2а классов, прямолинейностью и $R_a = 1,25–0,16$ мкм и упрочнение поверхности металла на значительную глубину [1,2].

Дорнование с большими натягами относится к точным формообразующим способам обработки металлов без снятия стружки. Пластические деформации в этом случае соизмеримы с геометрическими размерами деталей и охватывают часть либо весь объем заготовки, изменяя в заданном направлении ее форму, размеры и физико-механические свойства металла.

Анализ напряженного состояния при дорновании труб является важной характеристикой процесса пластического деформирования, значение которого необходимо для определения усилия дорнования и максимальной степени деформации за проход; расчета инструмента и деформирующих элементов на прочность; выбора оборудования, оптимальной формы и геометрии деформирующих элементов; оценки качества и определения других характеристик обработки.

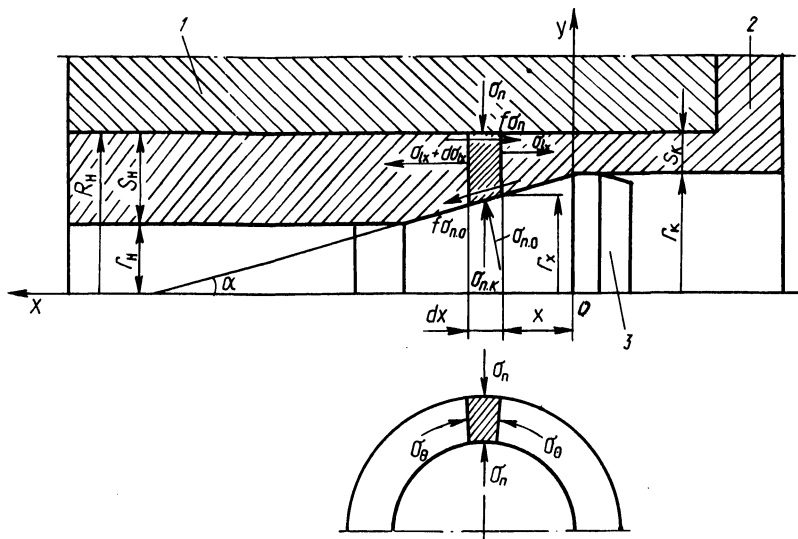


Рис. 1. Схема действующих сил и напряженного состояния при дорновании труб:
1 – обойма; 2 – труба; 3 – дорн

Схема действующих сил и напряженного состояния при дорновании труб показана на рис. 1.

Условие статического равновесия сил для выделенного в очаге деформации бесконечно малого элемента сечения трубы определяется следующим уравнением:

$$d\sigma_{lx} F_x + \left[\sigma_{lx} + \sigma_n \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{R_H}{r_x} - \sigma_{n.0} \frac{(\operatorname{tg} \alpha + f)}{\operatorname{tg} \alpha} \right] dF_x = 0 \quad (1)$$

где f – коэффициент трения; $F_x = \pi(R_H^2 - r_x^2)$ – площадь в произвольном сечении.

Из уравнения пластичности имеем

$$\sigma_n = \beta \sigma_T - \sigma_{lx},$$

где σ_T – предел текучести металла при линейном растяжении; β – коэффициент, учитывающий влияние третьего главного напряжения при объемной схеме напряженного состояния.

$$\sigma_{n.0} = \frac{\beta \sigma_T - \sigma_{lx}}{1 - f \operatorname{tg} \alpha}.$$

Подставляя значения σ_n и $\sigma_{n.0}$ в уравнение (1), после преобразования получим

$$d\sigma_{lx} F_x + [(1 - \epsilon_1) \sigma_{lx} + \beta \sigma_T \epsilon_1] dF_x = 0,$$

где $\frac{R_H}{r_x} \approx \frac{R_H}{r_K} = a$; $\epsilon_1 = a \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{\operatorname{tg} \alpha + f}{(1 - f \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha}$.

После интегрирования имеем

$$(\epsilon_1 - 1)\sigma_{1x} - \beta\sigma_T\epsilon_1 = F_x^{\epsilon_1 - 1} c_1. \quad (2)$$

Постоянную интегрирования c_1 определяем из граничных условий: при $F_x = F_H$ (начальной поперечной площади сечения трубы) $\sigma_{1x} = 0$. Исходя из этого имеем

$$c_1 = - \frac{\beta\sigma_T \epsilon_1}{F_H^{\epsilon_1 - 1}}.$$

Подставляя значение c_1 в уравнение (2), получим

$$\sigma_{1x} = \frac{\beta\sigma_T \epsilon_1}{\epsilon_1 - 1} \left[1 - \left(\frac{F_x}{F_H} \right)^{\epsilon_1 - 1} \right].$$

При $F_x = F_K$ (конечной площади сечения трубы) имеем выражение для определения напряжения в конце очага деформации

$$\sigma_K = \frac{\beta\sigma_T \epsilon_1}{\epsilon_1 - 1} \left[1 - \left(\frac{F_K}{F_H} \right)^{\epsilon_1 - 1} \right],$$

или

$$\sigma_K = \frac{\beta\sigma_T \epsilon_1}{\epsilon_1 - 1} \left[1 - \left(\frac{S_K}{S_H} \right)^{\epsilon_1 - 1} \right].$$

Усилие дорнования определяется как $P_D = \sigma_K F_K$, где $F_K = \pi(R_H^2 - r_K^2)$.

Исходя из условий $\sigma_K \leq \sigma_T$ определяем максимальную степень деформации за один проход дорнования

$$e = - \frac{1}{\epsilon_1 - 1} \ln \left(1 - \frac{\epsilon_1 - 1}{\beta\epsilon_1} \right).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Монченко В.П. Деформирующая обработка отверстий втулок и гильз гидропневмоцилиндров. — М.: НИИМАШ, 1976. — 91 с.
2. Монченко В.П. Эффективная технология производства полых цилиндров. — М.: Машиностроение, 1980. — 248 с.