

РАСЧЕТ НА ЖЕСТКОСТЬ ОПОРНЫХ И НАПРАВЛЯЮЩИХ
ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВ

Износоустойчивость штампов при вырубке-пробивке определяется, главным образом, жесткостью их опорных и направляющих элементов. При недостаточной жесткости последние в процессе работы деформируются, что вызывает неравномерное распределение зазора между режущими частями. В результате возникают односторонние изгибающие усилия, дополнительные напряжения и более сильные тепловые удары на отдельных участках режущих деталей штампов, что приводит к их преждевременному износу.

Для определения размеров опорных и направляющих элементов штампов, обеспечивающих равномерное распределение зазора между режущими частями в процессе вырубki-пробивки, принята расчетная схема, приведенная на рис. 1, а.

При этом нижняя опорная плита штампа с укрепленными на ней направляющими колонками и матрицей рассматривается как статически неопределимая рама переменной жесткости, свободно опирающаяся на стол пресса. Форма и размеры провального отверстия в плите одинаковы с отверстием в матрице; размеры провального отверстия в столе пресса не выступают за габариты матрицы в плане.

Расчет статически неопределимой рамы производим методом сил. Для этого преобразуем заданную систему в основную путем разреза $\Phi\epsilon$ по оси AA, как это показано на рис. 1, б.

В общем случае в месте разреза возникают нормальные силы X_1 , изгибающие моменты X_2 и поперечные силы X_3 . Симметрия рамы и нагрузки относительно оси AA позволяет утверждать, что $X_3 = 0$ как антисимметричный силовой фактор.

Следовательно, статически неопределимыми в сечении AA остаются нормальная сила X_1 и изгибающий момент X_2 . Для их определения использовали то обстоятельство, что грани разреза по оси AA не должны смещаться или поворачиваться относительно друг друга.

Уравнения перемещений для такого случая в канонической форме имеют вид:

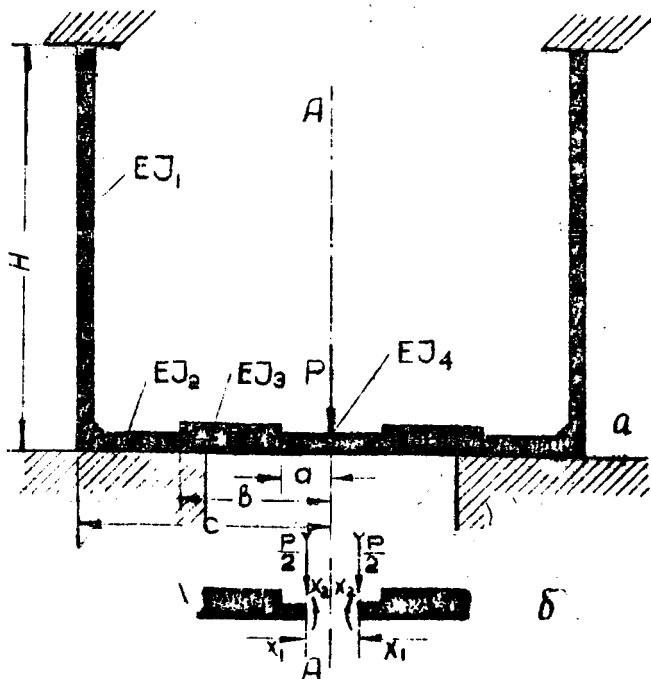


Рис. I. Расчетная схема штампа: EJ_1 - жесткость направляющих колонок; EJ_2 - жесткость опорной плиты; EJ_3 - суммарная жесткость опорной плиты с укрепленной матрицей; EJ_4 - суммарная жесткость опорной плиты с укрепленной матрицей в месте расположения рабочего отверстия.

$$\begin{aligned}
 X_1 \delta_{11} + X_2 \delta_{12} + \Delta 1P &= 0, \\
 X_1 \delta_{21} + X_2 \delta_{22} + \Delta 2P &= 0,
 \end{aligned}
 \tag{I}$$

где δ_{11} и δ_{12} - горизонтальное перемещение сечения AA от действия единичного момента и единичной силы;
 δ_{22} - поворот сечения AA от действия единичного момента;

$\Delta 1P$ и $\Delta 2P$ - соответственно горизонтальное перемещение сечения AA и его поворот от действия силы P .

Задавшись для сокращения расчета условной жесткостью EJ_0 и обозначив $\frac{EJ_1}{EJ_0} = k_1$, $\frac{EJ_2}{EJ_0} = k_2$, $\frac{EJ_3}{EJ_0} = k_3$ и $\frac{EJ_4}{EJ_0} = k_4$, по правилу Верещагина [1] вычислим значения

δ и Δ с индексами

$$\delta_{11} = \frac{2H^3}{3k_1 EJ_0} \text{ мм/кг}; \quad \delta_{12} = \delta_{21} = \frac{H^2}{k_1 EJ_0} \text{ 1/кг};$$

$$\delta_{22} = \frac{2}{EJ_0} \left(\frac{a}{k_1} + \frac{b-a}{k_3} + \frac{c-b}{k_2} + \frac{H}{k_1} \right) \text{ 1/кг.мм};$$

$$\Delta 1P = - \frac{PcH^2}{2k_1 EJ_0} \text{ мм};$$

$$\Delta 2P = - \frac{P}{EJ_0} \left(\frac{a^2}{2k_1} + \frac{b^2 - a^2}{2k_3} + \frac{c^2 - b^2}{2k_2} + \frac{Hc}{k_1} \right) \text{ рад},$$

где P - усилие вырубки-пробивки, кг;
 E_0 - модуль упругости материала опорных и направляющих элементов штампа, принятый в расчетах равным 20000 кг/мм²;
 H - длина направляющих колонок, мм;
 c - расстояние от оси штампа до оси направляющей колонки, мм;
 b - расстояние до края матрицы, мм;
 a - расстояние до края рабочего отверстия матрицы, мм.

Подставив найденные значения δ и Δ в уравнение (I) и решая его относительно X_1 и X_2 , получим:

$$X_1 = \frac{PC \left(\frac{a}{\kappa_4} + \frac{b-a}{\kappa_3} + \frac{c-b}{\kappa_2} \right) - P \left(\frac{a^2}{2\kappa_4} + \frac{b^2-a^2}{2\kappa_3} + \frac{c^2-b^2}{2\kappa_2} \right)}{\frac{4}{3} H \left(\frac{a}{\kappa_4} + \frac{b-a}{\kappa_3} + \frac{c-b}{\kappa_2} + \frac{H}{4\kappa_1} \right)} \text{ кг;}$$

$$X_2 = \frac{\frac{8}{3} P \left(\frac{a^2}{2\kappa_4} + \frac{b^2-a^2}{2\kappa_3} + \frac{c^2-b^2}{2\kappa_2} + \frac{HC}{4\kappa_1} \right)}{\frac{4}{3} \left(\frac{a}{\kappa_4} + \frac{b-a}{\kappa_3} + \frac{c-b}{\kappa_2} + \frac{H}{4\kappa_1} \right)} \text{ кг. мм.}$$

По заданным усилиям вырубки-пробивки P и найденным значениям X_1 и X_2 построим суммарную эпюру изгибающих моментов.

Обусловленный деформацией изгиба опорных и направляющих элементов штампа максимальный угол поворота φ сечения на участке расположения режущей кромки матрицы определяем переменением суммарной эпюры изгибающих моментов на эпюру от единичных моментов:

$$\varphi = \frac{1}{2CEJ_0} \left[\left(\frac{P}{2} C - X_2 \right) \left(\frac{b^2-a^2}{\kappa_3} + \frac{c^2-b^2}{\kappa_2} \right) - \frac{(b-a)(2C-a-b)}{\kappa_3} X_2 - \frac{(c-b)^2}{\kappa_2} X_2 + \frac{HC}{\kappa_1} (PC - 2X_2 - HX_1) \right] \quad (2)$$

Учитывая, что $J_1 = \frac{\pi d^4}{64} = 0,05 d^4$, $J_2 = \frac{B h_1^3}{12}$,

$J_3 = \frac{B(h_1+h_2)^3}{12}$, а также полагая EJ_0 равным EJ_1 ,

получаем:

$$0,05 d^4 \kappa_2 = \frac{B h_1^3}{12} \quad \text{и} \quad 0,05 d^4 \kappa_3 = \frac{B(h_1+h_2)^3}{12}$$

Откуда определяем:

$$h_1 = \sqrt[3]{\frac{0,6 \cdot k_2 \cdot d^3}{B}} \quad ; \quad (3)$$

$$h_1 + h_2 = \sqrt[3]{\frac{0,6 \cdot k_3 \cdot d^3}{B}} \quad ; \quad (4)$$

$$h_2 = \sqrt[3]{\frac{0,6 \cdot d^3}{B}} (\sqrt[3]{k_3} - \sqrt[3]{k_2}) \quad , \quad (5)$$

где h_1 - толщина нижней опорной плиты штампа, мм;
 h_2 - толщина матрицы, мм;
 d - диаметр направляющей колонки, мм;
 B - ширина нижней опорной плиты с укрепленной на ней матрицей, мм.

Принимая в расчетах $B = C$, $\delta = \frac{2}{3} C$ и $a = \frac{1}{3} C$, находим:

$$X_1 = \frac{PC}{H} \left(\frac{1}{\delta} \cdot \frac{\frac{5}{k_1} + \frac{3}{k_2} + \frac{1}{k_2}}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_2} + \frac{3H}{4k_1 C}} \right) \quad ;$$

$$X_2 = PC \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{\frac{1}{k_1} + \frac{3}{k_2} + \frac{5}{k_2} + \frac{9H}{2Ck_1}}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_2} + \frac{3H}{4Ck_1}} \right) .$$

Обозначив выражения в скобках соответственно через X_1' и X_2' , получаем:

$$X_1 = \frac{PC}{H} X_1' \quad \text{и} \quad X_2 = PC \cdot X_2'$$

Подставляя найденные значения X_1 и X_2 в уравнение (2) и произведя преобразования, получим

$$\varphi = \frac{PC^2}{2EJ_0} \left[\frac{1}{18} \left(\frac{3}{k_3} + \frac{5}{k_2} \right) - \frac{6}{9} \left(\frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_2} \right) X_2' + \frac{H}{k_1 C} (1 - 2X_2' - X_1') \right]$$

или, обозначив выражение в квадратных скобках через η , имеем

$$\varphi = \frac{\rho c^2}{2 E J_0} \cdot \eta \quad (6)$$

С другой стороны значение угла поворота может быть вычислено из условия максимально допустимого перемещения режущей кромки матрицы, т.е.

$$\varphi = \frac{\bar{z}}{4(h_1 + h_2)} \quad (7)$$

где \bar{z} — величина двухстороннего зазора между режущими частями штампа, мм.

Приравнивая правые части уравнений (6) и (7) и производя подстановку, получаем:

$$\frac{\bar{z}}{4 \sqrt[3]{0,8 k_3 d^3}} = \frac{\rho c^2}{2 E \cdot 0,05 d^4} \cdot \eta \quad (8)$$

Откуда вычисляем значение диаметра направляющих волонок штампа:

$$d = K \sqrt[3]{\frac{c^3}{B} \left(\frac{\rho}{\bar{z} E}\right)^{3/2}} \quad (9)$$

где $K = (34 \sqrt[3]{k_3} \cdot \eta)^{3/8} \quad (10)$

Подставляя значение d из формулы (9) в уравнение (3) и преобразуя, определяем толщину нижней опорной плиты штампа:

$$h_1 = K_1 \sqrt{\frac{\rho c^2}{B \bar{z} E}} \quad (11)$$

где

$$K_1 = 0,845 \sqrt[3]{k_2 \cdot K^4} \quad (12)$$

Аналогичным путем определяем из уравнения (5) толщину матрицы:

$$h_2 = K_2 \sqrt{\frac{\rho c^2}{B \lambda E}} \quad (13)$$

где

$$K_2 = 0,845 (\sqrt[3]{K_1} - \sqrt[3]{K_2}) \cdot \sqrt[3]{K_2 \cdot K_3} \quad (14)$$

Значения коэффициентов K , K_1 , K_2 находим из номограммы, приведенной на рис. 2.

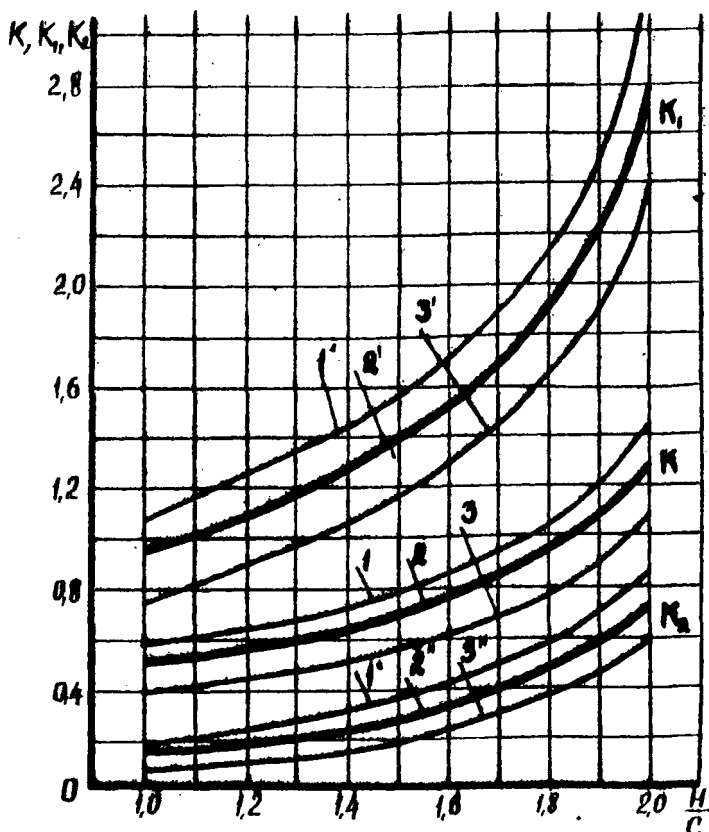


Рис. 2. Номограмма для определения коэффициентов K , K_1 , K_2 в зависимости от соотношения H/C : 1, 1', 1'' — для диагонального расположения колбнок; 2, 2', 2'' — для осевого расположения; 3, 3', 3'' — для четырехточечного расположения.

Номограмма построена по данным, вычисленным с помощью расчетных формул (10), (12), (14) для осевого расположения колонок и с учетом поправок, полученных экспериментальным путем для диагонального и четырехточечного расположения колонок. Проверку результатов расчета по формулам (9, 11, 13) производили сравнением с фактическими величинами деформаций, полученными при исследовании работы вырубных и пробивных штампов. Погрешность не превышала 12%.

Л и т е р а т у р а

1. Пономарев С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении. Том I. Машгиз, М., 1956.

УДК 621.771

Е.Г.Сичев

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ

Предлагаемый метод может быть использован при прокатке толстых полос в горячем состоянии, когда другие методы менее удобны. Так, например, при исследовании коэффициента контактного трения в вакууме, где важно сохранить конструкцию стана и не применять сложных дополнительных устройств, данный способ может найти широкое применение.

Сущность метода заключается в определении сил трения в процессе прокатки с одноосонным скольжением. В этом случае искусственно создается очаг деформации с отставанием скорости валков по всей длине дуги захвата.

Одновременно с помощью измерительных приборов фиксируется момент прокатки и общее давление металла на валки. Среднюю величину коэффициента контактного трения можно определить по формуле

$$\mu_{cp} = \frac{M_{np}}{R \cdot P} \quad , \quad (1)$$

где M_{np} — крутящий момент на одном из валков;
 P — общее давление металла на валки;