

**О НАЗНАЧЕНИИ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ ПРИ  
ЗАДАННОМ ДОПУСКЕ НА КОРОБЛЕНИЕ****Д. Е. ЗАЙЦЕВ, Г. Д. ДЕЛЬ, М. Г. ГОЛЬДШМИДТ**

Шлифование является одной из окончательных операций технологического процесса. Поэтому в большом числе случаев возникает необходимость назначения таких режимов обработки, которые исключали бы значительное коробление изделия.

Величина коробления в основном зависит от размеров детали, материала и величины остаточных напряжений. Путем несложного эксперимента оказывается возможным получить достаточно подробную информацию для назначения режимов шлифования, обеспечивающих изготовление деталей, коробление которых находится в заданном допуске.

Из исследуемого материала изготавливается 8÷10 пластин толщиной от 2 до 8 мм., шириной  $b = 10$  мм и длиной  $l = 200$  мм.

Пластины шлифуются по всем плоскостям, а затем отжигаются в вакууме в сжатом состоянии для исключения коробления. Отклонение отожженных пластин от плоскостности проверяется с помощью индикаторного приспособления. К испытанию допускаются пластины с прогибом  $\Delta_0 \leq 0,08$  мм. В дальнейшем образцы устанавливаются выпуклой стороной на стол станка и шлифуются в исследуемых режимах (изменяется подача, скорость, охлаждение и т. п.). Прогибы  $\Delta'$  пластин после шлифования измеряются с помощью того же индикаторного приспособления. По разности прогибов  $\Delta = \Delta' - \Delta_0$  рассчитывается радиус кривизны.

$$\rho = \frac{l^2}{8\Delta} \quad (1)$$

Изгиб является следствием действия остаточных напряжений, момент которых равен [1]

$$M = \frac{EI}{\rho} \quad (2)$$

где  $E$  — модуль упругости материала

$I = \frac{bh^3}{12}$  — момент инерции сечения.

С известной погрешностью можно полагать, что начиная с некоторой толщины  $h_0$ , эпюра остаточных напряжений не зависит от

толщины [2]. В этом случае момент  $M$  является линейной функцией толщины пластины (рис. 1а)

$$M = N \left( \frac{h}{2} - \delta \right), \quad (3)$$

где  $N$ —равнодействующая остаточных напряжений  
 $\delta$ —расстояние от обработанной поверхности до линии действия  $N$ .

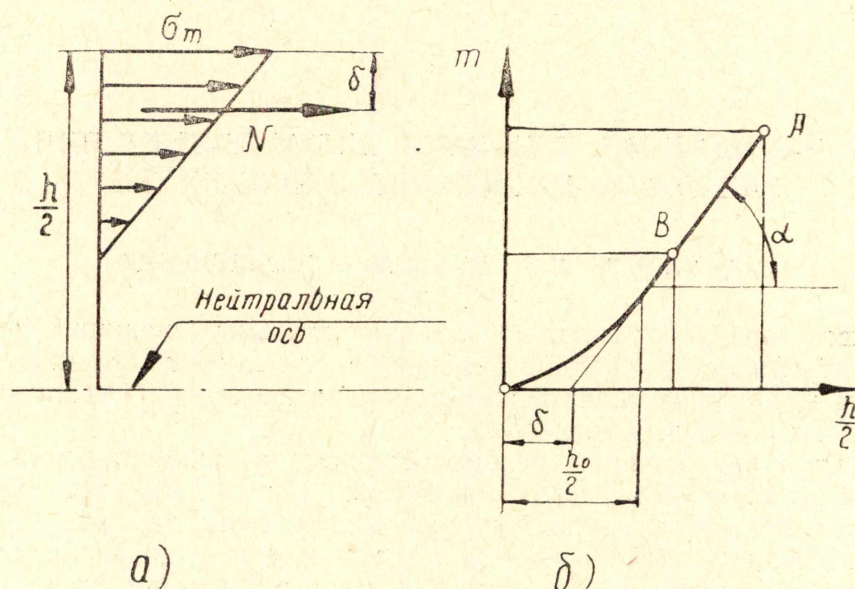


Рис. 1

На (рис. 1б) эта зависимость момента от толщины изображена схематично. При малых толщинах  $h < h_0$  зависимость, между  $M$  и  $h$  не является линейной (что связано с проникновением пластической зоны за нейтральный слой, лучшими условиями теплоотвода и т. д.). В дальнейшем эта зависимость становится линейной. Экстрополяцией прямой до оси  $\frac{h}{2}$  получаем смещение  $\delta$  равнодействующей остаточных напряжений от поверхности. Тангенс угла наклона прямой согласно (3) равен равнодействующей  $N$ .

Таким образом, зная коробление ряда пластин с различной высотой сечения, можно установить величину и положение равнодействующей остаточных напряжений.

Если задаться линейным законом изменения остаточных напряжений [2, 3], то можно определить и величину наибольшего напряжения у поверхности

$$\sigma_m = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{b \cdot \delta} \quad (4)$$

Знак напряжения определяется следующим образом. Если пластина обращена выпуклостью в сторону шлифуемой поверхности, то напряжения являются растягивающими. Как видно из рис. 2, величина  $\delta$  определяется недостаточно надежно в связи с этим погрешность определения остаточных напряжений может быть значительной.

На рис. 2 показана зависимость изгибающего момента остаточных напряжений, отнесенных к ширине пластины от половины ее толщины.

Пластины из стали 45 шлифовались при различных режимах. Изменялись поперечная подача, (на рис. 2 указаны подачи в мм (дв. ход) режимы охлаждения (несколько партий шлифовались с охлаждением и три—без охлаждения). Скорость резания была равна  $V=27$  м/сек, продольная подача составляла  $S_{пр.} = 18$  м/мин., за исключением одной партии, обработанной при  $S_{пр.} = 2$  м/мин.

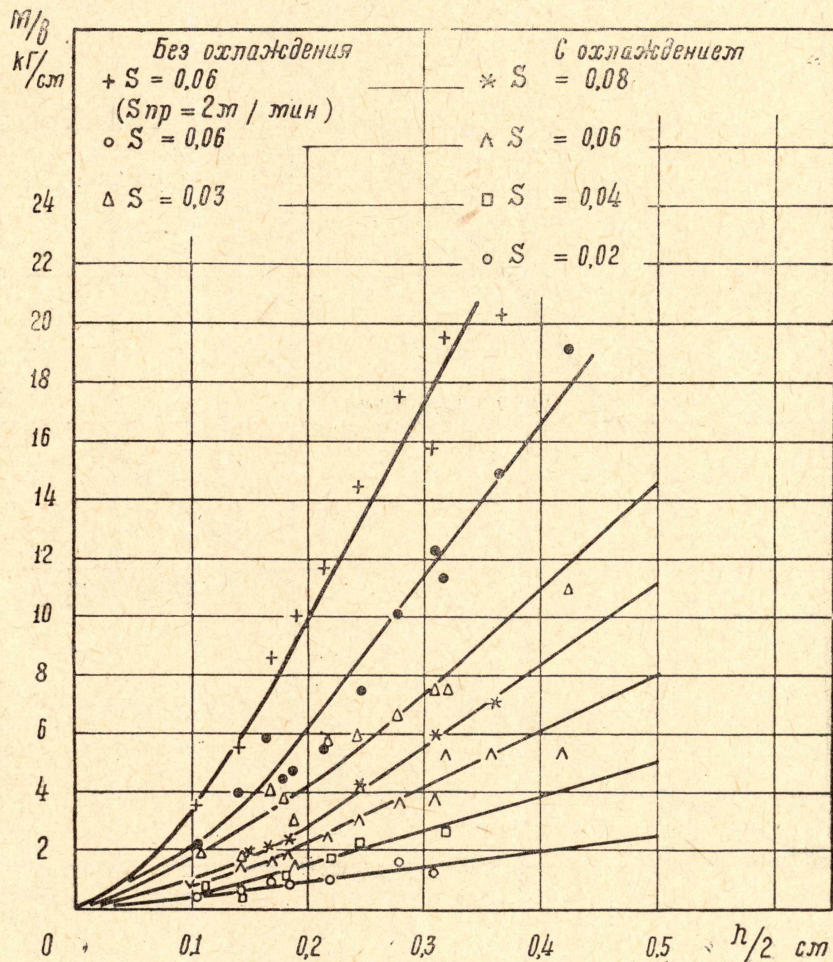


Рис. 2

Изгибающий момент, отнесенный к ширине пластины, вычислялся по формуле:

$$m = \frac{M}{b} = \frac{2}{3} \cdot \frac{E h^3 \Delta}{l^2} \quad (5)$$

следующей из (1) и (2).

Из полученных графиков определяли:

$$n = \frac{N}{b} = \frac{(m_A - m_B) \cdot 2}{h_A - h_B} \quad (6)$$

(обозначение по рис. 1б)

Как видно из рис. 2, экспериментальные точки расположились достаточно близко у прямой, что подтверждает допущение о независимости эпюры остаточных напряжений от толщины пластины.

По результатам проведенных экспериментов построена номограмма (рис. 3), показывающая зависимость величины равнодействующей оста-

точных напряжений, отнесенной к ширине пластины, от исследуемых параметров процесса шлифования.

При расчете короления будем считать, что равнодействующая остаточных напряжений направлена вдоль подачи стола и действу-

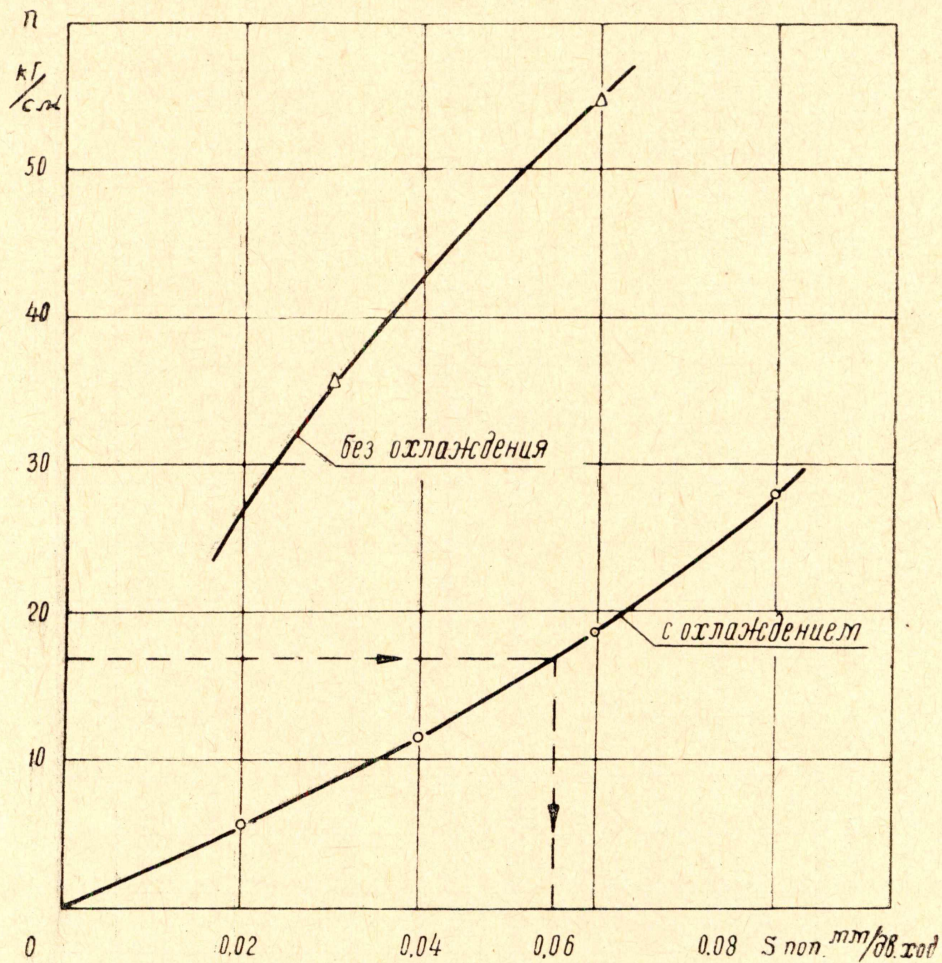


Рис. 3. Номограмма для выбора режимов шлифования

ет вдоль шлифуемой поверхности (величиной  $\delta$  в (3) пренебрегаем по сравнению с  $\frac{h}{2}$ ). Следовательно, изгибающий момент

$$M = N \cdot \frac{h}{2} \quad \text{или} \quad m = n \cdot \frac{h}{2}$$

Рассмотрим изгиб шлифуемой детали после снятия ее со стола. Толщину детали  $h$  будем считать постоянной. Ее ширина  $b$  может быть переменной. Кривизна этой детали

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} = n \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{b}{EI} \quad (7)$$

У деталей постоянной толщины

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

(Если деталь имеет отверстие, то  $b$  — суммарная ширина в рассматриваемом сечении). Таким образом, радиус кривизны оказывается постоянным:

$$\rho = \frac{E h^2}{6n} \quad (8)$$

Это означает, что при любой конфигурации детали, имеющей постоянную толщину, она изгибается по дуге окружности.

Коробление детали оценивается по ее прогибу (1).

$$\Delta = \frac{l^2}{8\rho} = \frac{3}{4} \cdot \frac{n}{E} \left( \frac{l}{h} \right)^2 \quad (9)$$

Если задано допускаемое коробление  $[\Delta]$ , то равнодействующая остаточных напряжений, отнесенная к ширине детали, должна удовлетворять неравенству

$$n \leq [n] = \frac{4}{3} E [\Delta] \left( \frac{h}{l} \right)^2 \quad (10)$$

Рассчитав по (10) допускаемое значение этой величины  $[n]$ , выбираем с помощью номограмм, подобных изображенной на рис. 3 условия шлифования, при которых  $n \leq [n]$ .

Рассмотрим пример. Шлифуется кольцо из стали 45 с наружным диаметром 200 и толщиной 5 мм. Допускаемое коробление 0,1 мм. Вычисляем

$$[n] = \frac{4}{3} \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 0,01 \left( \frac{0,5}{20} \right)^2 = 16,7 \text{ кг/см}$$

Из номограммы на рис. 3 находим, что при шлифовании с охлаждением  $n \leq [n]$ , т. е. коробление будет лежать в заданном допуске, при подаче  $S_{\text{ноп}} \leq 0,055 \text{ мм/дв.ход}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Федосьев. Сопротивление материалов. Издательство «Наука», 1964 г.
2. А. И. Исаев. Выбор оптимальной толщины образца при определении остаточных напряжений в поверхностном слое. Вестник машиностроения. № 8, 1967 год.
3. А. В. Подзей. Регулирование остаточных напряжений, возникающих при шлифовании жаропрочных и титановых сплавов. Обрабатываемость жаропрочных и титановых сплавов. Труды всесоюзной межвузовской конференции. Куйбышев. 1962 год.