

Резюме. Установлено, что хонингование отверстий обеспечивает значительно меньшую погрешность формы по сравнению с другими способами обработки; брак на операциях обработки центральных отверстий является неисправимым, так как центр группирования смещается в сторону, большую  $\Delta_0$  (середины поля допуска).

### Л и т е р а т у р а

1. Горбачевич А.Ф. Выбор оптимального количества заготовок на операции зубофрезерования с учетом производительности и точности процесса. - В сб.: Прогрессивная технология машиностроения. Вып. 3. Минск, 1972.

УДК 621.9.016

В.В. Бабук, канд.техн.наук

### ОБ УЧЕТЕ ВЛИЯНИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ УСИЛИЯ ОБКАТКИ ШАРИКАМИ

В работе [2] приведена методика расчета усилия обкатки и раскатки поверхностей шариками, в которой учитывается только пластическая деформация поверхностного слоя детали. Однако на преодоление упругой деформации также затрачивается некоторое усилие. Найдем соотношение между усилиями, необходимыми для осуществления этих деформаций. При этом допустим, что обкатка или раскатка поверхностей шариками представляет собой бесчисленное множество элементарных процессов вдавливания жесткого инструмента в упруго-пластическую поверхность.

Границу перехода от упругой деформации к пластической можно определить на основе уравнений Герца [4]. В общем случае наибольшее напряжение в центре площадки контакта, представляющей собой эллипс с полуосями  $a$  и  $b$ , равно

$$\sigma_{\max} = 1,5 \frac{P}{\pi ab}, \quad (1)$$

где  $P$  - нормальное усилие.

Выразив из условий упругости полуося эллипса,  $a$  также необходимые для их определения коэффициенты и решив это уравнение относительно  $P$ , получим

$$P = 9,187 \alpha^3 \beta^3 \frac{\delta^2}{k^2} \sigma_{\max}^3, \quad (2)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  - коэффициенты, определяемые в зависимости от угла  $\theta$  [2].

Для случая упругого контакта цилиндра и шара

$$\cos \theta = \frac{1}{2A+1}, \quad (3) \quad \mathcal{S} = 4r \frac{A}{2A+1}, \quad (4) \quad A = \frac{R_{\theta}}{r}, \quad (5)$$

где  $r$  и  $R_{\theta}$  - радиусы шара и цилиндра соответственно.

Допуская, что значения модуля упругости  $E_1$ ,  $E_2$  и коэффициента Пуассона  $\mu_1$  и  $\mu_2$  материалов деталей, контактирующих в холодном состоянии, отличаются незначительно, можно записать

$$k = \frac{4E}{3(1-\mu^2)}. \quad (6)$$

Критическое значение  $\bar{\sigma}_{\max}$ , при котором происходит переход от упругих к пластическим деформациям, зависит от вида напряженного состояния. В случае линейного напряженного состояния, например при растяжении стержня, не подвергающегося наклепу,  $\bar{\sigma}_{\max} = \bar{\sigma}_s$  ( $\bar{\sigma}_s$  - предел текучести) [3].

В условиях сложного напряженного состояния, каким является контактное сжатие шара и цилиндра, переход от упругости к пластичности затруднен вследствие дополнительных напряжений, действующих в перпендикулярных направлениях. Поэтому критическое значение максимальных напряжений, соответствующее этому переходу, может возрасти в несколько раз в зависимости от геометрических и других условий контакта, т.е.

$$\bar{\sigma}_{\max} = c \bar{\sigma}_s. \quad (7)$$

По данным [3], коэффициент  $c$  изменяется от 1 до 6. При отсутствии тангенциального перемещения  $c = 3$  [1]. При наличии тангенциального перемещения коэффициент  $c$  уменьшается с увеличением коэффициента трения  $\mu$ . При  $\mu = 0,4$   $c = 1$  ввиду выхода точки с максимальными касательными напряжениями на поверхность [1]. Таким образом, для случая обкатки или раскатки цилиндрической детали шариком или роликом можно принять

$$\bar{\sigma}_{\max} \leq 3 \bar{\sigma}_s. \quad (8)$$

Тогда уравнение (2) для определения максимального усилия упругой деформации, при котором начинается пластическая деформация, принимает вид

$$P \leq 248 \alpha^3 \beta^3 \frac{\delta^2}{k^2} \sigma_s^3. \quad (9)$$

Усилие, необходимое для осуществления пластической деформации при обкатке или раскатке шариком, можно определить по формуле [2]

$$Q = 3,6 r^2 \sigma_s f(\gamma), \quad (10)$$

где  $f(\gamma)$  определяется по графику (рис. 1);  $\gamma$  — угол вдавливания шарика при пластической деформации поверхности.

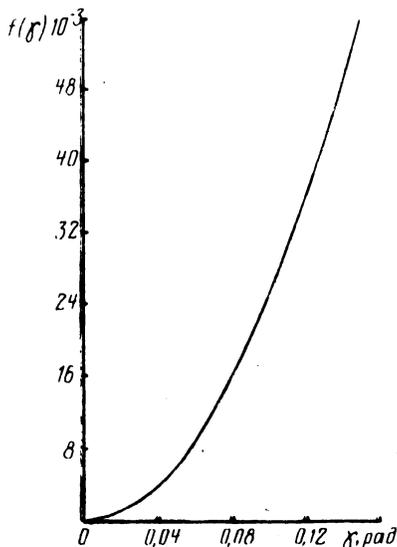


Рис. 1. Влияние угла вдавливания на величину нормального усилия.

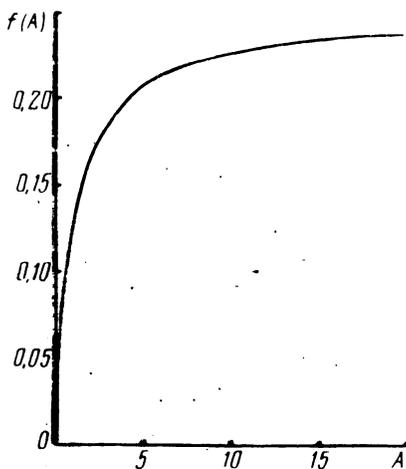


Рис. 2. Зависимость  $f$  от  $A$ .

Найдем отношение усилий  $P/Q$ . Учитывая выражения (4), (6) и принимая для стали  $E = 2,1 \cdot 10^4$  кгс/мм<sup>2</sup> и  $\mu = 0,3$ , получим

$$\frac{P}{Q} = 1,16 \cdot 10^{-6} (\alpha \beta)^3 \left( \frac{A}{2A+1} \right)^2 \frac{\sigma_s^2}{f(\gamma)}. \quad (11)$$

Множители выражения (11), стоящие в скобках, в конечном итоге зависят только от отношения радиусов детали и шарика  $A$ . Поэтому

$$f(A) = (\alpha \beta)^3 \left( \frac{A}{2A+1} \right)^2. \quad (12)$$

Тогда отношение усилий упругой и пластической деформаций

$$\frac{P}{Q} = 1,16 \cdot 10^{-6} f(A) \frac{\sigma_s^2}{f(\gamma)} \quad (13)$$

Значения  $f(A)$  вычислены для наиболее употребительного интервала значений  $A$  от 0,05 до 20 и приведены на рис. 2. Из формулы (13) видно, что отношение  $P/Q$  прямо пропорционально квадрату предела текучести материала обкатываемой детали и обратно пропорционально функции угла вдавливания шарика при обкатке. Такая зависимость вполне объяснима физически.

Значения  $f(A)$ , как видно из рис. 2, существенно меняются лишь при изменении  $A$  от 0,05 до 5. При увеличении  $A$  от 5 до 20  $f(A)$  изменяется незначительно и в исследуемом интервале не превышает 0,24. При дальнейшем увеличении  $A$  до бесконечности  $(\alpha\beta)^3 \rightarrow 1$  и в пределе  $f(A) \rightarrow 0,25$ . Если принять это значение как максимально возможное, то формула для определения наибольшего отношения усилий упругой и пластической деформаций принимает вид

$$\frac{P}{Q} = 0,29 \cdot 10^{-6} \frac{\sigma_s^2}{f(\gamma)} \quad (14)$$

Так как предел текучести незакаленных конструкционных и наиболее распространенных легированных сталей приблизительно равен 20... 40 кгс/мм<sup>2</sup>, а  $f(\gamma)$  для обычных условий обкатки шариком равна (10...24)  $10^{-3}$ ,  $P/Q$  может колебаться от 0,005 до 0,05, т.е. усилие упругой деформации составляет приблизительно от 0,5 до 5% от усилия пластической деформации, что в практических расчетах может не учитываться.

В табл. 1 приведены результаты расчета отношения  $P/Q$  при следующих условиях: материал детали - сталь 20 нормализованная, НВ 156 не более,  $\sigma_s = 22$  кгс/мм<sup>2</sup>. Значения  $f(A)$  взяты по рис. 2, значения  $f(\gamma)$  определены по методике [1].

Таблица 1. Результаты расчета  $Q$  и  $\frac{P}{Q}$

$R_2$ , мм	$r$ , мм	$Q$ , кгс	$\frac{P}{Q}$
20	5	9,3	0,010
20	20	120	0,008
50	5	9,9	0,011
50	20	143	0,010
250	20	160	0,011
250	50	930	0,011

Уравнения (13) и (14) могут быть использованы для определения отношения  $P/Q$  и при обкатке закаленных сталей. Однако надо иметь в виду, что для определения  $f(\gamma)$  необходимо оптимизировать значение угла вдавливания шарика в обкатываемую при этих условиях поверхность.

Резюме. Приведенная методика расчета позволяет оценить соотношение усилий упругой и пластической деформаций при осуществлении процесса обкатки металлических поверхностей шариками. Как показывают расчеты, усилие, необходимое для осуществления упругой деформации незакаленных поверхностей, составляет лишь несколько процентов от общего усилия обкатки и в практических расчетах может не учитываться.

#### Л и т е р а т у р а

1. Айнбиндер С.Б. О площади контакта между трущимися телами. - "Изв. АН СССР. Механика и машиностроение", 1962, №6.
2. Бабук В.В. К расчету нормального усилия обкатки и раскатки поверхностей шариками. - "Изв. АН БССР, сер. физ.-техн. наук", 1975, №3.
3. Крагельский И.В. Трение и износ. М., 1968.
4. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. Т. II. М., 1965.

УДК 621.002.54

Г.Я. Беляев, канд.техн. наук

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ

Изучение микротвердости нанесенных износостойких покрытий производилось на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой на алмазную пирамиду 0,98Н, для чего предварительно подготавливался шлиф из исследуемого материала. Измерения производились в направлении, нормальном к нанесенной поверхности. Время выдержки составляло 15 с, расстояние между центрами двух соседних уколов принималось равным 0,05 мм. Необходимо отметить, что сплавы СНГН, НЖ1 и ПГ-ХН80 СР4 обладают достаточно высокой агрегатной твердостью, но имеют сравнительно низкую микротвердость. Это можно объяснить тем, что в процессе напыления бор и кремний вследствие низкого удельного веса выдуваются на периферию плазменного факела.

Агрегатная твердость сплава составляла СНГН-НРС 58... 60, ПГ-ХН80СР4-НРС-54... 58, НЖ1-НРС 56... 62, ПГ-ХН80СР3-НРС-42... 46, ПГ-ХН80-СР2-30... 35. В то же