

К ВОПРОСУ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКИХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ

В.Н. Дятлов, В.Г. Шеркунов, С.В. Марченко, А.Б. Чаплыгин

Показаны возможные способы формования заготовок высоких абразивных кругов для бесцентрового шлифования. Определены их недостатки и преимущества. Установлена зависимость допустимой скорости вращения круга от надежности сцепления витков многослойной рулонной заготовки. Сделан вывод о целесообразности формования многослойных заготовок методом гидростатического прессования.

Высокие абразивные круги (250 мм и более) применяются для бесцентрового шлифования [1]. С увеличением высоты круга повышается качество шлифования и сокращается время вспомогательных операций.

Существующая технология предусматривает пакетную прокатку многослойных листовых заготовок и последующую вырубку из них сплошных либо полых цилиндрических заготовок. Готовые изделия из цилиндрических заготовок получают прессованием в закрытых штампах с последующей термообработкой. Существуют разновидности рассматриваемой схемы. В частности, один из вариантов не предусматривает многослойную прокатку. При этом вырубка, формирование пакета и прессование осуществляются одновременно на специальном оборудовании [2]. Недостатки применяемой в настоящее время технологии получения высоких заготовок очевидны: многооперационность, неизбежность значительных отходов при вырубке, высокая неоднородность деформации при прессовании и вероятность расслоения готовых абразивных кругов при эксплуатации.

Оптимальным вариантом получения высоких заготовок очевидно явился бы процесс непрерывного прессования длинных сплошных либо полых цилиндров с последующей порезкой их на требуемые (в соответствии с высотой круга) размеры непосредственно из сырой абразивной смеси с последующей термообработкой. Этот вариант по сравнению с многослойными аналогами отличается минимальным числом операций, практически исключает отходы, не ограничивает длину (высоту круга) заготовки и снижает до минимума вероятность расслоения заготовки при последующей обработке. Для реализации рассмотренной схемы требуется специальное оборудование, которым не располагает отечественное абразивное производство. На отечественных заводах используются валковые смесители, конечным продуктом которых является листовая заготовка ограниченной толщины (не более 20 мм). Этим и объясняется необходимость использования многослойных пакетов для получения высоких заготовок.

В рамках специфики существующего производства заслуживает внимания производство рулонных заготовок. Этот вариант предполагает плотную свертку листовой заготовки в рулон требуемого внутреннего и наружного диаметров непосредственно после смесителя. При этом отпадает необходимость в многослойной прокатке и вырубке, что сокращает число операций и отходы материала. Высота заготовки (круга) определяется шириной листа после смесителя, т. е. практически не ограничена. Вместе с тем следует иметь в виду, что для абразивных кругов, полученных из рулонной заготовки, усугубляется вероятность расслоения в процессе эксплуатации из-за центробежных сил, возникающих при вращении круга и действующих по нормали к поверхностям сцепления витков рулона.

Оценка напряженного состояния вращающегося диска (круга) делается методом сил теории упругости [3].

При вращении диска в качестве объемной силы выступает сила инерции

$$p = \rho a_n, \quad (1)$$

где ρ - плотность материала диска; a_n - нормальное ускорение.

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r, \quad (2)$$

где r - текущий радиус диска, v - окружная скорость точки диска, находящейся на окружности с текущим радиусом; ω - угловая скорость диска.

Без учета веса диска задача по определению напряжений сводится к осесимметричной, для которой дифференциальное уравнение равновесия имеет вид

$$\frac{d}{dr}(r\sigma_{rr}) - \sigma_{\varphi\varphi} + pr = 0, \quad (3)$$

где r – радиальная координата в цилиндрической системе координат; σ_{rr} и $\sigma_{\varphi\varphi}$ – нормальное радиальное и тангенциальное напряжения.

Из геометрических уравнений для осесимметричной задачи имеем

$$\varepsilon_{rr} = \frac{du_r}{dr}, \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{u_r}{r}, \quad (4)$$

где ε_{rr} , $\varepsilon_{\varphi\varphi}$ – радиальная и тангенциальная относительные деформации; u_r – радиальное перемещение.

Дополнив уравнения (3) и (4) обобщенным законом Гука [3], после формального преобразования уравнение (4) можно привести к следующему виду:

$$r^2 \frac{d^2 u_r}{dr^2} + r \frac{du_r}{dr} - u_r = -\frac{1-\nu^2}{E} \rho \omega^2 r^3, \quad (5)$$

где E – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона.

Общее решение уравнения (5) имеет вид [3]

$$u_r = \frac{1}{E} [(1-\nu)c_2 r - (1+\nu)c_1 \frac{1}{r} - \frac{1-\nu^2}{8} \rho \omega^2 r^3], \quad (6)$$

где c_1 и c_2 – произвольные постоянные.

С учетом (6) вычисляются линейные деформации, после чего напряжения находятся из обобщенного закона Гука:

$$\sigma_{rr} = c_2 + c_1 \frac{1}{r^2} - \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 r^2, \quad (7)$$

$$\sigma_{\varphi\varphi} = c_2 - c_1 \frac{1}{r^2} - \frac{1+3\nu}{8} \rho \omega^2 r^2. \quad (8)$$

Константы c_1 и c_2 определяются из граничных условий задачи.

Для вращающегося диска со свободными от напряжений поверхностями $\sigma_{rr} = 0$ при $r = R_B$ и $r = R_H$ (R_B и R_H – внутренний и наружный радиус диска). Из этих условий следует

$$c_1 = -\frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 R_B^2 R_H^2, \quad c_2 = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 (R_H^2 + R_B^2). \quad (9)$$

С учетом констант получим

$$\sigma_{rr} = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 (R_H^2 + R_B^2 - \frac{R_B^2 R_H^2}{r^2} - r^2), \quad (10)$$

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 (R_H^2 + R_B^2 + \frac{R_B^2 R_H^2}{r^2} - \frac{1+3\nu}{3+\nu} r^2). \quad (11)$$

Формулы (10) и (11) позволяют оценить напряженное состояние вращающихся абразивных кругов в процессе их эксплуатации.

Из условия $\frac{d\sigma_{rr}}{dr} = 0$ следует, что максимальные растягивающие радиальные напряжения, способствующие расслоению круга, изготовленного из рулонной заготовки, возникают в кольцевом сечении $r = \sqrt{R_B R_H}$ и равны

$$\sigma_{rr \max} = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 (R_H - R_B)^2. \quad (12)$$

Максимальное окружное напряжение действует на внутренней границе ($r = R_B$)

$$\sigma_{\varphi\varphi \max} = \frac{3+\nu}{4} \rho \omega^2 \left(R_H^2 + \frac{1-\nu}{3+\nu} R_B^2 \right). \quad (13)$$

На рис. 1 показан характер распределения относительных радиальных напряжений $K_\sigma = \sigma_{rr} / \sigma_\sigma$ по сечению круга. Анализ показывает, что в зависимости от массы круга и скорости его вращения максимальные радиальные напряжения могут быть соизмеримы с пределом прочности σ_σ материала круга на разрыв. Это обстоятельство накладывает повышенные требования к прочности сцепления витков рулонной заготовки.

В общем случае следует ожидать, что расслоение будет происходить при радиальных напряжениях, меньших, чем предел прочности материала на разрыв. В связи с этим представим напряжение расслоения в виде

$$\sigma_p = k_c \sigma_\sigma, \quad (14)$$

где k_c – коэффициент сцепления ($k_c \leq 1$).

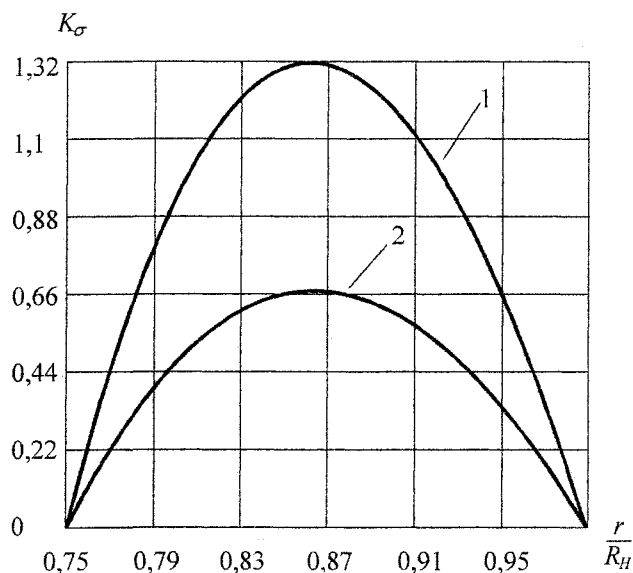


Рис. 1. Распределение относительных радиальных напряжений по сечению вращающегося круга ($R_H = 200$ мм, $R_B = 150$ мм, $\sigma_\sigma = 20$ МПа): 1 – окружная скорость круга 70 м/с; 2 – окружная скорость круга 50 м/с

Поделив (12) на σ_p и приравняв результат единице, получим условие безаварийной работы круга

$$\frac{3+\nu}{8k_c \sigma_\sigma} \rho \omega^2 (R_H - R_B)^2 = 1. \quad (15)$$

Из (15) можно найти максимально-возможную скорость вращения круга

$$\omega_{\max} = \frac{1}{R_H - R_B} \sqrt{\frac{8K_c \sigma_\sigma}{\rho(3+\nu)}}. \quad (16)$$

На рис. 2 показана зависимость максимальной угловой скорости вращения круга от наружного радиуса, а на рис. 3 – от коэффициента сцепления. Из рисунков следует, что для абразивных кругов, изготовленных из рулонной заготовки, надежность сцепления компонентов заготовки оказывает непосредственное влияние на возможные эксплуатационные характеристики.

Для надежного сцепления витков рулонной заготовки требуется применение нетрадиционных способов радиального уплотнения. Как возможный вариант радиального уплотнения рулонной заготовки может быть способ уплотнения заготовки центробежными силами при вращении ее в центрифуге. Однако такой способ не обеспечит равномерного уплотнения по всему сечению заготовки, так как сжимающие радиальные напряжения будут снижаться вплоть до нуля от наруж-

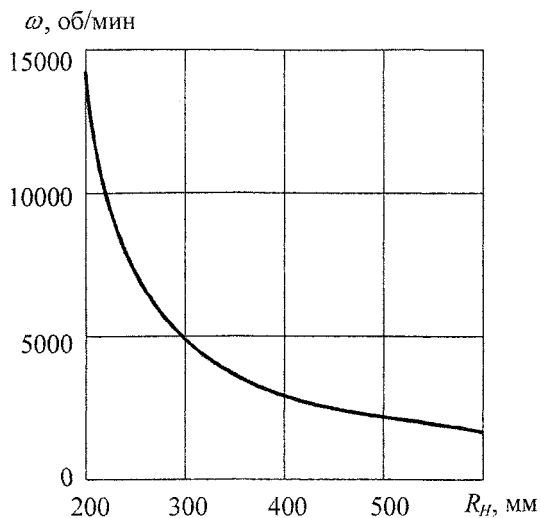


Рис. 2. Зависимость максимально-возможной угловой скорости от наружного радиуса диска ($k_c = 0,6$)

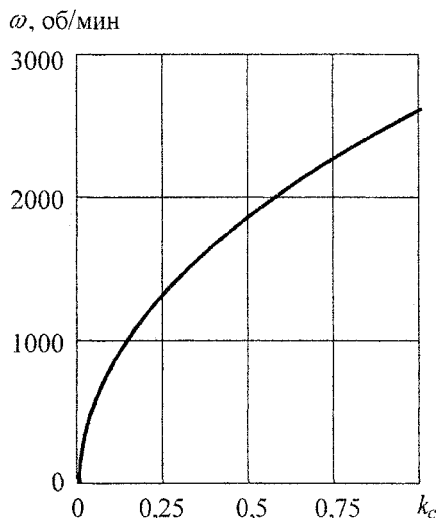


Рис. 3. Зависимость максимально-возможной угловой скорости от коэффициента сцепления ($R_n = 500$ мм)

ного диаметра к внутреннему. Таким образом, решение проблемы надежного и однородного уплотнения рулонной заготовки требует применения нетрадиционных способов формования, одним из которых вероятно мог бы быть способ гидростатического прессования в эластичных оболочках.

Литература

1. Чаплыгин, Б.А. Получение высоких абразивных кругов на вулканической связке / Б.А. Чаплыгин // *Машины и технология обработки материалов давлением: сб. науч. трудов.* - Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1998. - С. 83-95.
2. Патент РФ № 2113975. Способ производства абразивного инструмента на вулканической связке / Л.А. Барков, В.И. Трусковский, В.Н. Дятлов и др. // *Опубл.* 30.10.98, Бюл. № 18.
3. Тимошенко, С.П. *Теория упругости* / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер; под ред. Г.С. Шапиро; пер. с англ. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. - 560 с.