

УДК 539.3: 621.9
DOI: 10.12737/24209

А.Ю. Карпачев, д.т.н.,
Б.В. Букеткин, старший преподаватель
(МГТУ им. Н. Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1)
E-mail: bauman@bmstu.ru

Научноёмкая технология вальцевания пильных дисков сферическими роликами

Представлен инженерный метод определения допустимых сил прижима сферических роликов при вальцевании по окружности пильных дисков. Его применение позволяет предотвратить появление нарушений плоскостности дисков после создания в них остаточного напряженного состояния при подготовке к эксплуатации.

Ключевые слова: круглые пилы; остаточное напряжение; вальцевание; сферический ролик.

A.Yu. Karpachev, D. Eng.,
B.V. Buketkin, Senior lecturer
(Bauman STU of Moscow, Building 1, 5, 2-d Baumanskaya Str., 105005, Moscow)

High technology of cutting disks rolling by spherical rollers

The preparation for the operation of disk cutting tools by means of the creation of in them a preliminary stressed state (residual stresses) is considered. Methods for the definition of the influence arising at the operation of the uneven heating of a tool body upon its stability and dynamic characteristics which allows substantiating a choice of a formed field of residual stresses at preparation are mentioned. The admissible levels of residual stresses which do not result in the flat form distortion of a disk after rolling are defined and a method for the definition of corresponding pressing forces of rolling elements in the form of spherical rollers is offered.

Keywords: ring saws; residual stress; rolling; spherical roller.

Как правило, корпуса дисковых режущих инструментов подвергаются подготовке к эксплуатации путем термопластического деформирования [1] или механического деформирования по окружности вальцовочными роликами. Второй вариант обработки характерен для круглых пил, применяемых при распиловке древесины и древесностружечных материалов, а также алмазных отрезных кругов, используемых в камнерезании. Вместе с тем назначение режимов вальцевания при подготовке таких инструментов требует анализа условий их последующей эксплуатации.

Основным фактором, понижающим работоспособность, выступает неравномерный нагрев, который снижает динамическую устой-

чивость инструмента, тем самым ограничивая допустимую частоту вращения диска, что приводит к необходимости уменьшения скорости резания, а, следовательно, и производительности процесса пиления.

Результаты исследований влияния на устойчивость дисков при неравномерном нагреве вдоль радиуса представлены в работах [2 – 4]. В этих же работах установлена связь между напряженным состоянием корпуса и его динамическими характеристиками, определяющими возможности использования конкретных видов конструкций пильных дисков. Предложенные в этих работах методы позволяют определять допустимое предварительное остаточное напряженное состояние в дис-

ках, что дает возможность теоретически обосновать методику подготовки дисковых режущих инструментов к эксплуатации.

На рис.1 представлена схема вальцевания по окружности диска, т.е. прокатке между двумя роликами при его вращении вокруг оси z . Подобная операция осуществима на станках ПВ-20, ПВ-35.

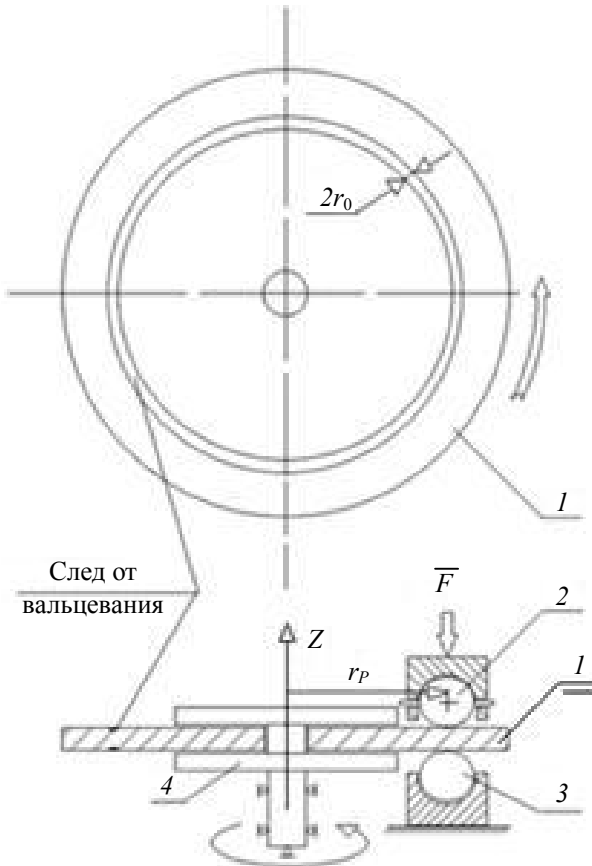


Рис. 1. Принципиальная схема вальцевания диска сферическими роликами: 1 – вальцуемый диск; 2 – прижимной ролик; 3 – опорный ролик; 4 – опора диска, обеспечивающая его вращение вокруг оси z

В результате вальцевания в диске формируются внутренние остаточные напряжения. Создание особого предварительного поля растягивающих напряжений в периферийной зоне диска позволяет в значительной степени увеличить его динамическую устойчивость.

В связи с этим решалась задача определения ограничений при создании остаточных напряжений, так как с одной стороны, существует опасность разрушения диска при вальцевании, а с другой, наведенные остаточные напряжения могут приводить к нарушению его плоской формы [5, 6].

Процесс вальцевания представлялся как осесимметричное сдавливание диска абсолютно жесткими кольцами радиуса r_p , толщи-

ны δ , вызывающее осевое напряжение, которое принималось постоянным в пределах кольцевого элемента $r_p - \delta/2 \leq r \leq r_p + \delta/2$.

Также считалось, что напряженное состояние в указанных пределах этой зоны трехосное, в остальной области диска – двухосное, по толщине диска напряженное состояние однородное. Технологический процесс вальцевания рассматривался с позиций деформационной теории пластичности. Остаточные напряжения возникают в диске в результате разгрузки, наступающей после упругопластической деформации, создаваемой вальцеванием по окружности.

После нахождения максимально допустимых остаточных напряжений в диске следует проводить определение соответствующей силы прижима вальцовочных роликов. Оно связано с решением контактной задачи о вдавлении ролика в поверхность диска, которое достаточно сложно применить в производственной практике вальцевания. Поэтому для вычисления сил прижима сферических роликов предлагается следующая инженерная методика расчета.

Вначале необходимо рассчитать для выбранного диска на заданном радиусе вальцевания допустимые σ_{zi} [5] для двух значений i и определить соответствующие допустимые силы прижима:

$$F_i = 0,25\sigma_{zi}\pi\delta_i^2, \quad (1)$$

а затем представить в виде линейной зависимости теоретически найденные допустимые силы от радиуса площадки контакта r :

$$F_{Д} = F_1 + \frac{F_2 - F_1}{r_2 - r_1}(r - r_1) = F_1 + a(r - r_1), \quad (2)$$

$$a = \frac{F_2 - F_1}{r_2 - r_1} \quad (3)$$

При воздействии роликов на реальный диск с силой F , радиус круговой площадки их контакта можно представить в виде

$$r^* = r_0 + r_y, \quad (4)$$

где r_0 – радиус отпечатка на диске после прекращения действия силы; r_y – радиус площадки контакта при действии силы, после снятия, которой $r_0 = 0$. Согласно [7]

$$r_y = 0,5\pi r \vartheta \sigma_0, \quad (5)$$

где r – радиус сферического ролика; σ_0 – максимальное давление на площадке контакта, при котором в диске не возникают остаточные

напряжения (определяется в процессе расчета допустимых напряжений), а

$$\vartheta = \frac{1-\mu_1}{E_1} + \frac{1-\mu_2}{E_2}, \quad (6)$$

где μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона материала диска и вальцовочного инструмента; E_1 и E_2 – модули упругости соответственно.

Если учесть, что максимальная сила F_0 , при которой $r_0 = 0$, определяется по известной формуле [7]:

$$F_0 = \pi \sigma_0)^3 \rho^2 \vartheta^2 / 6, \quad (7)$$

можно получить линейную зависимость значения силы прижима роликов к диску от радиуса площадки их контакта:

$$F = F_0 + \frac{F^* - F_0}{r^* - r_y} (r - r_y) = F_0 + b(r - r_y), \quad (8)$$

$$b = \frac{F^* - F_0}{r^* - r_y}. \quad (9)$$

Абсцисса точки пересечения прямых (2) и (8), вычисляемая по формуле

$$r_d = \frac{ar_1 - br_y - F_1 + F_0}{a - b}, \quad (10)$$

определяет значение истинного радиуса площадки контакта, а ее ордината представляет значение допустимой силы прижима роликов при вальцевании диска:

$$F_d^* = F_1 + a(r_d - r_1). \quad (11)$$

Так при вальцевании сферическими роликами (диаметром 70 мм) из стали ШХ15 диска пилы, имеющей диаметр $D = 315$ мм, толщины 2 мм, выполненной из стали 9ХФМ, для $r_p = 0,4D$, $\delta_1 = 3$ мм, $\delta_2 = 4$ мм расчетные значения составят: $\sigma_0 = 1428$ МПа; $\sigma_{z1} = 1531$ МПа; $\sigma_{z2} = 1523$ МПа.

Приложение силы к роликам $F^* = 25$ кН, оставляет отпечаток $r_0 = 1,85$ мм. На основе формул (1) – (11) установлено $r_d = 1,83$ мм, при этом значение допустимой силы равно 16,3 кН. Полученное значение этого параметра на 4,1 % ниже по сравнению с рекомендованным значением РПИ 6.6-00 «Подготовка круглых плоских пил».

Вальцевание диска повышает работоспособность режущего инструмента и производительность при пилении, за счет увеличения допустимой частоты его вращения в 1,8 раза по сравнению с не вальцованным диском. Предложенная методика коренным образом упрощает определение допустимого значения основного параметра вальцевания (силы при-

жима) в зависимости от радиуса окружности вальцевания, радиуса используемых роликов, размеров диска и твердости его материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпачев, А.Ю. Температурные режимы термопластической подготовки к эксплуатации пильных дисков // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2016. – №12(66). – С. 10–13.
2. Карпачев, А.Ю. К исследованию устойчивости дисковых пил при неравномерном нагреве // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – №1. – С. 21–24.
3. Карпачев, А.Ю. Собственные динамические характеристики вращающихся круглых пил при неравномерном нагреве // Вестник машиностроения. – 2006. – №5. – С. 32–36.
4. Карпачев, А.Ю. Влияние остаточных напряжений на устойчивость круглых пластин при неравномерном нагреве // Известия вузов. Машиностроение. – 2006. – №9. С. 3–13.
5. Карпачев, А.Ю. Исследование влияния вальцевания на динамические характеристики круглых пил и фрез // Вестник машиностроения. – 2007. – №12. – С. 42–48.
6. Карпачев А.Ю., Николаев С.М. Динамические характеристики отрезных фрез // Вестник машиностроения. – 2014. – №10. – С. 80–82.
7. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.

REFERENCES

1. Karpachev, A.Yu. Temperature modes of thermoplastic preparation to sawing disks operation // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2016. – №12(66). – pp. 10–13.
2. Karpachev, A.Yu. To investigation disk saws stability at uneven heating // *Proceedings of Colleges. Mechanical Engineering*. – 2004. – №1. – pp. 21–24.
3. Karpachev, A.Yu. Self-dynamic characteristics of rotating ring saws at uneven heating // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2006. – №5. – pp. 32–36.
4. Karpachev, A.Yu. Residual stresses impact upon circular plate stability at uneven heating // *Proceedings of Colleges. Mechanical Engineering*. – 2006. – №9. pp. 3–13.
5. Karpachev, A.Yu. Investigation of rolling impact upon dynamic characteristics of ring saws and mills // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2007. – №12. – pp. 42–48.
6. Karpachev, A.Yu., Nikolayev S.M., Dynamic Characteristics of Cutoff Cutters // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2014. – №10. – pp. 80–82.
7. Johnson C. *Contact Interaction Mechanics*. – M.: World, 1989. – pp. 510.

Рецензент д.т.н. О.А. Горленко