

УДК 539.3: 621.9
DOI: 10.12737/23480

А.Ю. Карпачев, д.т.н.
(МГТУ им. Н. Э. Баумана, 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5, стр.1)
E-mail: bauman@bmst.ru

Температурные режимы термопластической подготовки к эксплуатации пильных дисков

Обоснована необходимость и приведены преимущества термопластического метода подготовки к работе дисков режущих инструментов. Указаны методы расчета допустимого остаточного напряженного состояния и создающего его неравномерного нагрева указанным способом подготовки. Даны рекомендации по рациональному выбору температурных режимов термопластической подготовки пильных дисков.

Ключевые слова: круглые пилы; остаточные напряжения; термопластический метод; неравномерный нагрев.

A.Yu. Karpachyov, D.Eng.
(Bauman State Technical University of Moscow, Building 1, 5, 2-d Baumanskaya Str, 105005, Moscow)

Temperature conditions in thermoplastic preparation to sawing discs operation

Basic principles of a thermoplastic method in preparation of cutter disc operation are stated. Restrictions and fields of the method efficient use connected with the formation of permissible residual stresses in a tool body are shown. The computation results of permissible temperatures in uneven heating are shown. The application efficiency of theoretical methods offered for temperature conditions computation at a thermoplastic preparation of sawing discs with variable thickness is substantiated.

Keywords: ring saws; residual stresses; thermo-plastic method; uneven heating.

Совершенствование технологии подготовки дисковых инструментов к эксплуатации имеет большое значение для достижения обеспечения максимальной эффективности их работы и, в частности, высокой производительности.

В свою очередь, скорость резания, как характеристика производительности процесса распиловки, пропорциональна частоте вращения инструмента. Ее максимальное значение ограничивают резонансные явления при вынужденных колебаниях дисков инструмента, возникающие при распиловках.

Совпадение угловой скорости вращения инструмента с наименьшим значением кратным значению частоты свободных колебаний его вращающегося диска приводит к опасному нарастанию амплитуды осевых колебаний, приводящее, как правило, к отказам работы

инструмента. На снижение допустимых скоростей вращения оказывает влияние так же и возникающий при распиловках неравномерный нагрев в радиальном направлении корпуса инструмента, понижающий собственные частоты его колебаний.

Проявление отрицательных эффектов подобных явлений может быть уменьшено созданием предварительного внутреннего напряженного состояния (поля остаточных напряжений) в корпусе (диске) инструмента. При этом для периферийной его зоны необходимы растягивающие окружные напряжения, препятствующие потере устойчивости инструмента по форме, имеющей узловые диаметры (веерная форма), вследствие неравномерного нагрева при эксплуатации инструмента.

При подготовке диска к эксплуатации наведение остаточных напряжений можно осу-

ществить термопластическим методом, который предполагает его предварительный неравномерный нагрев вдоль радиуса (причем температура периферийной зоны диска значительно выше его центральной) с последующим равномерным охлаждением.

В основе термопластического метода лежит создание упругопластических деформаций в результате неравномерного нагрева и последующая разгрузка материала диска при равномерном охлаждении.

Такой же эффект этим методом может быть достигнут от предварительного равномерного нагрева с последующим неравномерным охлаждением вдоль радиуса.

Неравномерный нагрев можно создавать с помощью непосредственно газовых горелок, использованием индукционного способа, а также применением лазерного оборудования.

Термопластический метод предпочтителен в подготовке дискового режущего инструмента, имеющего переменную толщину в радиальном направлении (пилы с поднутрением), так как, в отличие от механического пластического деформирования (путем вальцевания), не требует специальной оснастки.

Отечественный опыт разработки и применения термопластического метода подготовки круглых пил принадлежит Ю.М. Стахиву, Е.М. Боровикову, Б.Ф. Орлову, А.А. Настенко и другим авторам. Однако проводимые исследования процессов, связанных с термопластическим методом обработки заготовок, не имели теоретического обоснования и носили экспериментальный характер. Несмотря на это был накоплен обширный материал лабораторных и заводских испытаний пил и их заготовок, подвергнутых различным температурным режимам подготовки к эксплуатации.

Определение создаваемого остаточного напряженного состояния проводилось, как правило, трудоемким методом Калакутского–Давиденкова, на основе измерения деформаций колец, последовательно вырезаемых из диска.

При использовании термопластического метода подготовки пильных дисков существует опасность создания остаточных напряжений, приводящих к необратимому искажению плоскостности диска, как правило, в виде выпучивания его центральной зоны. Поэтому возникает необходимость теоретического определения допустимого температурного режима подготовки, который зависит как от геометрических размеров диска, так и от физико-механических свойств его материала при

повышенных температурах. Это возможно на основе совместных расчетов напряженного состояния диска при указанной термической обработке и устойчивости плоской формы равновесия диска при наведенных в нем остаточных напряжениях.

Экспериментальные результаты проведенных работ, касающихся подготовки дисков к эксплуатации термопластическим методом, не носили универсального характера, так как малейшие изменения в конструкции диска или применение новых материалов и технологий изготовления пил и фрез вновь требовало трудоемких исследований. Поэтому только создание методик, оперирующих безразмерными параметрами, учитывающими механические свойства материала, геометрию диска и его закрепления, может коренным образом уменьшить затраты на поиск и обоснование эффективных способов подготовки к работе дисковых инструментов.

В связи с этим дальнейшее развитие термопластического метода можно связывать с решением проблемы теоретического определения допустимых температур для заданного вида неравномерного нагрева, вызывающих остаточные напряжения, не приводящих к необратимым искажениям плоской формы диска.

Один из вариантов постановки и решения задачи расчета остаточных напряжений, возникающих в дисках при использовании термопластического метода, предложен в работе [1]. Модель пильного диска представлена на рис. 1.

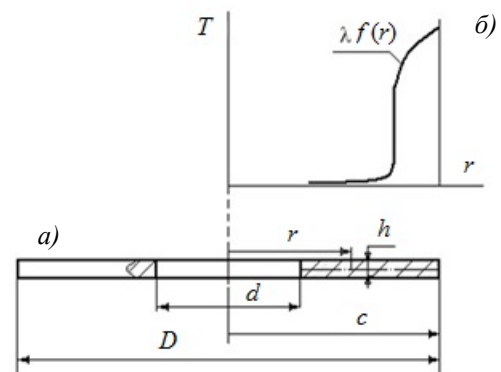


Рис. 1. Диск (а) и температура вдоль его радиуса при неравномерном нагреве (б)

Температура по толщине h считалась постоянной, а ее распределение вдоль радиуса задается в виде $\Delta T = T = \lambda f(r)$, где $f(r)$ – безразмерная функция, а λ – максимальная температура неравномерного нагрева [2].

При проведении исследования для получения желательного напряженного состояния в заданных зонах диска, целесообразно использовать три наиболее характерные зависимости, аппроксимирующие температурный перепад (неравномерный нагрев):

$$\tilde{T}_i = \tilde{\lambda} \cdot f_i(r), \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

где

$$f_1(\tilde{r}) = \left(\frac{1 - \tilde{r}}{1 - \tilde{k}_a} \right)^{n_1}, \quad f_2(\tilde{r}) = 0,5(1 - \cos(\tilde{p})), \quad (2)$$

$$f_3(\tilde{r}) = \left(\frac{\tilde{r} - \tilde{k}_a}{1 - \tilde{k}_a} \right)^{n_1},$$

$$\tilde{\lambda} = \frac{\alpha c^2 \eta}{h_0^2} \lambda, \quad \tilde{k}_a = \frac{a}{c} \leq \tilde{r} = \frac{r}{c} \leq 1,$$

$$\tilde{p} = \frac{2\pi(1 - \tilde{r})}{(1 - \tilde{k}_a)}, \quad \eta = 12(1 - \mu^2),$$

где $f_1(\tilde{r})$, $f_2(\tilde{r})$, $f_3(\tilde{r})$ – безразмерные функции распределения температуры с максимальным ее значением на внутреннем контуре, в середине и на внешнем контуре диска соответственно; α – температурный коэффициент расширения; μ – коэффициент Пуассона; h_0 – характерная толщина диска; параметр n_1 может быть принят равным 1, 2 ... 4.

После выбора вида функции (2), аппроксимирующей температурное поле в диске, задается параметр λ , значение которого заведомо соответствует возможности появления упругопластического напряженного состояния. На основе решения сформулированной краевой задачи [1] определяется упругое и упругопластическое напряженное состояние диска. Разность напряжений упругопластического и упругого состояния в каждой точке диска составит значение его остаточного напряжения, возникающее после разгрузки (в рассматриваемом случае после завершения процесса охлаждения).

Однако, как было отмечено, создаваемые при подготовке инструмента к работе остаточные напряжения могут приводить к потере устойчивости его плоской формы. Предложенный в работе [3] метод позволяет определять значения таких напряжений. В связи с этим представляется возможным теоретически установить допустимые температуры неравномерного нагрева при использовании термопластического метода подготовки инструмента от его геометрических параметров и

свойств материала.

Проведение указанных расчетов возможно численными методами, реализованными в виде разработанных программ [4, 5]. С их помощью установлена максимально допустимая температура в зависимости от параметра отношения толщины к радиусу диска ($2h/D$), представленная в виде графиков на рис. 2. для сталей 9ХФ и Р6М5.

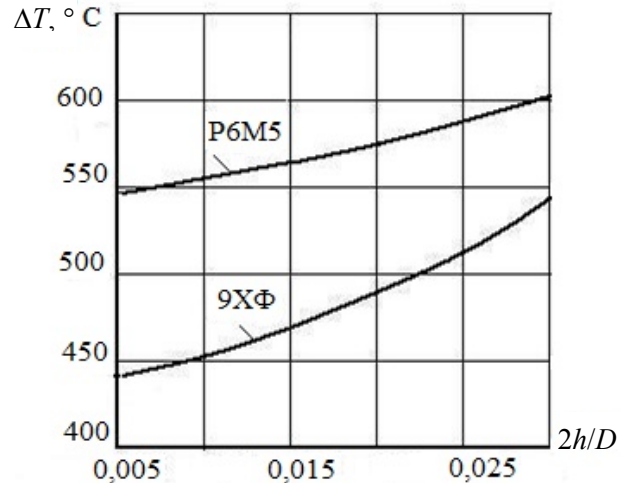


Рис. 2. Допустимые температуры неравномерного нагрева в зависимости от отношения толщины диска к его радиусу

В качестве распределения температур неравномерного нагрева периферийной зоны диска ($0,8 \leq \tilde{r} \leq 1$) принята зависимость, представленная графиком на рис. 1 [1]. Как показывает практика применения термопластического метода, неравномерный нагрев указанной зоны наиболее эффективен при подготовке пильных дисков постоянной толщины.

Для формирования исходных данных к расчетам дисков использовались значения физико-механических характеристик сталей при повышенных температурах, приведенные в справочной литературе, а также полученные в результате специально проведенных испытаний [6].

При использовании приведенного распределения температур неравномерного нагрева на примере диска из стали 9ХФ ($D = 100$ мм, $h = 1$ мм, $d = 8$ мм) допустимая максимальная температура подготовки $\Delta T = 480$ °C, а создаваемые окружные растягивающие остаточные напряжения его внешнего контура составляют 80 МПа, что увеличивает допустимые частоты вращения диска в 2 раза.

Следует отметить, что максимальная температура неравномерного нагрева не должна

быть выше температуры процесса отпуска заготовки диска, в противном случае последующее охлаждение ведет к недопустимому снижению твердости ее материала. Очевидно, для дисков, у которых ΔT выше температуры процесса отпуска материала, подвергать их термопластическому методу нерационально.

На основе предлагаемых методов после незначительных изменений, внесенных в разработанные программы расчета, можно устанавливать допустимые температурные режимы подготовки пильных дисков специальной конструкции (переменной толщины), обосновывать наиболее рациональный вид распределения температур (1) для создания необходимого напряженного состояния диска, обеспечивающего требуемую частоту его вращения при эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпачев, А.Ю. К анализу эффективности применения термопластического метода подготовки к работе тонких круглых пил и фрез переменной толщины // Вестник машиностроения. – 2010. – №11. – С.61–65.
2. Karpachev, A.Yu. Stability of plane equilibrium of mills in nonuniform heating[Текст] // Russian Engineering Research. 2009. V.29. №3. P.272–275.
3. Карпачев, А.Ю. Исследование влияния вальцевания на динамические характеристики круглых пил и фрез // Вестник машиностроения. – 2007. – №12. – С. 42–48.
4. Свидетельство Гос. рег. программы для ЭВМ №2013617463. Расчет допустимой температуры нагрева термопластического метода подготовки к эксплуатации круглых пил из стали 9ХФ/ Карпачев А.Ю. Москва. 2013.
5. Свидетельство Гос. рег. программы для ЭВМ №2013617766. Расчет допустимой температуры нагрева

термопластического метода подготовки к эксплуатации отрезных и прорезных фрез, изготавливаемых из быстрорежущих сталей/ Карпачев А.Ю. Москва. 2013.

6. Карпачев, А.Ю., Букеткин, Б.В. Исследования механических свойств стали Р6М5 при повышенных температурах // Вестник машиностроения. – 2010. – №6. – С.40–41.

REFERENCES

1. Karpachev, A.Yu. To the analysis of application efficiency of thermoplastic method for operation preparation of thin ring saws and milling cutters with variable thickness // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2010. – №11. – pp.61–65.
2. Karpachev, A.Yu. Stability of plane equilibrium of mills in nonuniform heating[Текст] // *Russian Engineering Research*. 2009. V.29. №3. P.272–275.
3. Karpachev, A.Yu. Investigation of rolling impact upon dynamic characteristics of ring saws and milling cutters // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2007. – №12. – pp.42–48.
4. *Certificate of State Reg. of Program for Comp. №2013617463*. Computation of permitted heating temperature of thermoplastic method for operation preparation of ring saws made of 9ChF steel/ Karpachev A.Yu. Moscow. 2013.
5. *Certificate of State Reg. of Program for Comp. №2013617766*. Computation of permitted heating temperature of thermoplastic method for operation preparation of cutoff cutters and metal slitting saws made of high-speed steels / Karpachev A.Yu. Moscow. 2013.
6. Karpachev, A.Yu., Buketkin, B.V. Investigations of R6M5 steel stress-strain properties at increased temperatures // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2010. – №6. – pp.40–41.

Рецензент д.т.н. А.Г. Суслов

