

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ДВУСТОРОННЕЙ ТОРЦЕШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Вайнер Л.Г. (ТОГУ, г. Хабаровск, Россия)  
Тел.: +8(4212) 224383; E-mail: [lgvainer@mail.ru](mailto:lgvainer@mail.ru)

**Abstract:** The article is dedicated to double-disc grinding - efficient and prevailing tooling method for processing of workpieces with parallel end surfaces, including bearing rings and rollers. Results of theoretic and experimental investigations concerned with optimization of grindingwheel construction, decreasing of thermal and elastic deformations, ensuring of rational kinematic characteristic, application of vibroacoustic diagnostics, modelling of double-disc grinding process is proposed.

**Key words:** double-disc grinding, grinding wheel, thermal and elastic deformations, vibroacoustic diagnostics, modelling.

Одним из наиболее эффективных способов механической обработки деталей, имеющих оппозитные торцовые поверхности, в настоящее время является двусторонняя торцешлифовальная обработка (ДТШО), осуществляемая как на отечественном, так и импортном оборудовании (рис. 1).

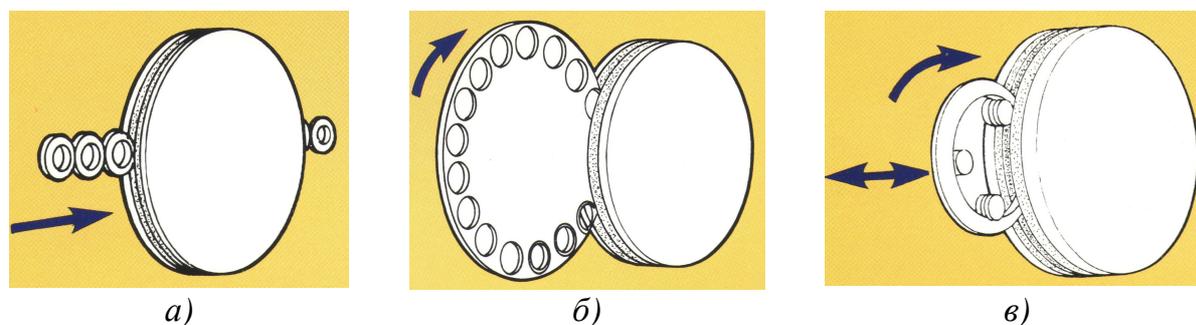


Рис. 1. Примеры схем ДТШО

Возможности получения высокой точности и производительности заложены в самой принципиальной схеме обработки при совмещении двух технологических переходов и непрерывности потока заготовок. Поэтому ДТШО активно применяется в крупносерийном производстве в таких определяющих развитие экономики страны отраслях промышленности как автотракторная, двигателестроение, сельскохозяйственное машиностроение, военно-промышленный комплекс, подшипниковое производство для высокоточной обработки колец и роликов подшипников качения, крестовин карданных валов, шатунов, дисков и пружин сцепления, поршневых колец, втулок, роликов и пальцев гусеничных машин. Требования к точности торцовых поверхностей, являющимися основными конструкторскими базами и технологическими базами при последующем круглом наружном, внутреннем и бесцентровом шлифовании, постоянно растут, т. к. в значительной степени влияют на качественные показатели машиностроительных изделий в целом.

Технологическое обеспечение точности при ДТШО способствует решению проблемы импортозамещения вышеперечисленных изделий машиностроения и направлено на укрепление экономической независимости и устойчивости страны.

Как показывает опыт проектирования, изготовления и эксплуатации двусторонних торцешлифовальных станков, повышение их геометрической точности, жесткости и других показателей не всегда дает эффект снижения погрешности обработанных торцов. Поэтому более эффективным направлением является повышение технологических

возможностей процесса ДТШО, правильный выбор рациональных режимов шлифования, оптимизация характеристик инструментов и параметров наладки.

В настоящее время среди основных направлений и результатов повышения эффективности процесса ДТШО можно выделить следующие.

### 1. Управление приведенной жесткостью станка с целью минимизации лимитирующих смещений в зоне обработки.

В работе [1] решена задача обеспечения повышения осевой жесткости станка за счет уменьшения и взаимной компенсации деформаций системы корпусных деталей, их стыков и опор; развал кругов в вертикальной плоскости от силы, приложенной вдоль оси круга, стал близок к 0. Таким образом, рациональные компоновка и баланс податливостей элементов упругой системы станка может обеспечить отсутствие угловых смещений шлифовальных кругов (ШК) при приложении силы вдоль его оси. Угловые смещения ШК при внецентренном приложении нагрузки являются некомпенсируемыми.

В работе [2] определены теоретические условия, при которых погрешность формы деталей приближается к нулю. Эти условия сводятся к определенному местоположению так называемого «полюса поворота» круга П (точки, относительно которой круг поворачивается под действием сил резания) (рис. 2) – полюс поворота должен находиться в зоне калибрования. Это накладывает ограничения на соотношение приведенных к кругу жесткостных характеристик станков, работающих с подачей изделий «напроход»

$$j_o = \frac{D_{кр}}{R_k R_y} j_u,$$

где  $j_o$  и  $j_u$  – осевая и угловая жесткость круга на шпинделе,  $R_y$  – радиус приложения равнодействующей сил резания,  $D_{кр}$  – диаметр круга.

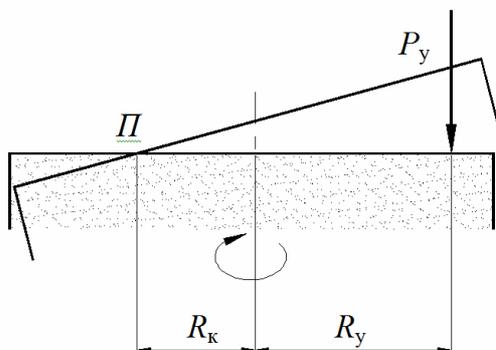


Рис. 2. Расположение полюса поворота ШК в точке калибрования П на радиусе  $R_k$  под действием силы  $P_y$  на плече  $R_y$

### 2. Снижение отрицательного влияния тепловых факторов и деформаций станков.

Отрицательное влияние тепловых процессов рассматривается в двух аспектах:

1) влияние высокотемпературных процессов в контакте ШК и тонкостенных заготовок типа заготовок пружин сцепления, дисков трения и др. на состояние поверхностного слоя и появление прижогов;

2) влияние тепловыделения в узлах трения и избыточной температуры СОТС на температурные смещения элементов несущей системы, приводящие к изменению относительного положения заготовки и ШК.

Практическим результатом решения первой теплофизической проблемы в работах [3] и [4] явилось усовершенствование конструкции и рабочего профиля ШК. В [3] предложен ШК с отверстиями для подвода СОТС в зону контакта, расположенными по концентрическим окружностям; они же выполняют функцию дополнительных теплоотводов. В [4] для исключения прижогообразования предлагается использовать прерывистые круги с пазами различной конфигурации; с этой целью предложены соответствующие устройства правки ШК.

Поскольку смещения ШК в основном связаны с тепловыми деформациями станины из-за ее нагрева отработанной СОТС в центральной верхней части, одним из радикальных и технически простых мер по их минимизации является совершенствование системы отвода СОТС в сочетании с рациональным распределением тепловых потоков в станке. В работе [5] разработаны мероприятия по значительному уменьшению (в 2-3 раза) и стабилизации тепловых деформаций путем стабилизации температуры СОТС и сбалансированности тепловых потоков.

### **3. Обеспечение рациональных кинематических характеристик движения заготовки при прохождении зоны обработки.**

Для реализации благоприятного с точки зрения формирования точности движения заготовки в зоне шлифования разработаны различные схемы принудительного ее вращения [6-8].

Для обеспечения заданного закона изменения угловой скорости свободной заготовки в гнезде диска-сепаратора автором проведены специальные расчетно-экспериментальные исследования. Предложена методика определения совокупности технологических параметров (углы наклона ШК, скорость подачи и припуск на обработку), обеспечивающей реализацию оптимальной характеристики вращения заготовки, при которой обеспечивается требуемая точность обработки [9].

### **4. Оптимизация конструкции и геометрических характеристик ШК с целью повышения их формоустойчивости и снижения погрешностей обработанных поверхностей.**

В результате моделирования процесса формообразования обработанных торцов и производственных испытаний установлено положительное влияние на точность геометрической модификации торцовых поверхностей ШК в виде параболоидов вращения [10]. Для формирования профиля ШК с параболической модификацией предложены соответствующие устройства правки [11-12].

Исследованиями характера форм износа ШК при потере точности обрабатываемой партии подшипниковых колец установлено, что наиболее интенсивному изнашиванию подвержена центральная кольцевая область ШК [13]. Предложена и принята к внедрению оригинальная конструкция двухзонного ШК с гетерогенными свойствами [14]. Применение геометрически модифицированного и двухзонного инструмента приводит к повышению точности обработки и периода времени между правками ШК.

### **5. Применение эффективного способа виброакустической диагностики процесса обработки цилиндрических деталей и разработанного на его основе метода оперативной направленной коррекции параметров настройки станка.**

Способ виброакустической диагностики процесса основан на эффекте возбуждения высокочастотных колебаний динамической системы диска-сепаратора вращающимся роликом. Установленная взаимосвязь показателей виброхарактеристики и характеристик вращения, определяющих точность обработки по параметру торцового биения, сделала возможным эффективно использовать виброхарактеристику для оперативной производственной настройки торцешлифовальных станков и ее коррекции [15].

### **6. Моделирование процесса ДТШО и прогнозирование формы и погрешностей обрабатываемых поверхностей, возможность интерактивного выбора управляющих технологических параметров.**

Разработана модельная среда [16], включающая модели формирования и трансформации технологического пространства, динамического реального формообразования обрабатываемых поверхностей, анализа и синтеза системы правки ШК; на ее основе создан программный комплекс виртуальной ДТШО с возможностью определения характеристик и визуализации объектов формообразования при заданных фазовых параметрах процесса, анализа результатов управляющих воздействий и прогнозирования

точности обработки. Эффективность моделирования процесса и виртуального шлифования выражается в обеспечении требуемой точности обработки и сокращении времени технологической подготовки операции ДТШО.

**Список литературы:** 1. Гуревич, А. Л. Автоматизированный расчет жесткости торцешлифовальных станков / А. Л. Гуревич, В. В. Каминская // Станки и инструмент. - 1983, № 12. - С. 4-6. 2. Байор, Б. Н. Повышение точности обработки на двустороннем торцешлифовальном станке / Б. Н. Байор, С. С. Шахновский // Станки и инструмент. - 1974, № 12. - С. 12-13. 3. Савинская, В. Г. Качество поверхностного слоя дисков трения при торцовом двустороннем шлифовании / В. Г. Савинская // Прогрессивные технологии чистовой и отделочной обработки / Челябинский гос. тех. ун-т. - Челябинск, 1995. - С. 102-106. 4. Гурьянихин, В. Ф. Повышение эффективности двустороннего торцового шлифования тонкостенных заготовок / В. Ф. Гурьянихин, А. Д. Евстигнеев // СТИН. - 2006. - № 3. - С. 34-35. 5. Андрианова, И. А. Влияние тепловых деформаций на положение шлифовальных кругов торцешлифовального станка / И. А. Андрианова, С. С. Шахновский // Станки и инструмент. - 1982, № 9. - С. 6-7. 6. Salhe, E. Plan- und Planprofilschleifmaschinen / E. Salhe, G. Rohde // VDI-Z. - 1982, v. 124, № 23/24. S. 129-137. 7. Патент № 2455142, РФ, МПК В24В7/17. Способ двустороннего торцового шлифования цилиндрических деталей / Вайнер Л. Г. - № 2010153645; заявл. 27.12.2010; опубл. 10.07.2012. Бюл. № 19. - 4 с. 8. Патент № 2463150, РФ, МПК В24В7/17. Способ двустороннего торцового шлифования цилиндрических деталей / Вайнер Л. Г. - № 2010153444/02; заявл. 27.12.2010; опубл. 10.10.2012. Бюл. № 28. - 4 с. 9. Вайнер, Л. Г. Исследование характера движения цилиндрических роликов при обработке на двусторонних торцешлифовальных станках. - Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2010, № 4 (282). - С. 49-54. 10. Степанов, Ю. С. Анализ систем и процессов реального формообразования оппозитных торцевых поверхностей при двустороннем шлифовании / Ю. С. Степанов, Л. Г. Вайнер // Моделирование технологических процессов механической обработки и сборки: коллективная монография. / Ю. А. Албагачиев, А.Ю. Албагачиев, А. В. Балыков и др., всего 12 чел.; под ред. А. В. Киричека. - М.: Изд. дом «Спектр», 2013. Разд. 5. - С. 227-277. 11. Патент № 126980 РФ, МПК В24В7/17. Устройство для правки торцевых поверхностей шлифовальных кругов / Вайнер Л. Г., Богачев А. П., Флусов Н. И.; заявл. 03.08.2012; опубл. 20.04.2013. Бюл. № 11. 12. Патент № 136381 РФ, МПК В24В53/02. Устройство для правки торцевых поверхностей шлифовальных кругов / Вайнер Л. Г.; заявл. 14.06.2013; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 1. 13. Вайнер, Л. Г. Анализ закономерностей изнашивания шлифовальных кругов при двусторонней обработке торцов колец подшипников / Л.Г. Вайнер, В. А. Носенко, А. Э. Сафронов // Вестник Тихоокеанского государственного университета. - 2013, № 3(30). - С. 111-118. 14. Патент № 121465 РФ, МПК В24В7/17. Устройство для двустороннего шлифования торцов деталей / Вайнер Л. Г. № 2011153276/02; заявл. 26.12.2011; опубл. 27.10.2012. Бюл. № 30. - 3 с. 15. Вайнер, Л. Г. Виброакустический контроль двустороннего торцешлифования в производственных условиях / Л.Г. Вайнер, В. А. Ривкин // Вестник машиностроения. - 2011, № 7. - С. 60-64. 16. Вайнер, Л. Г. Методология построения модели реального формообразования в процессе съема припуска на примере шлифования торцевых поверхностей // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2012, № 2-6 (292). - С. 21-27.