

чета угловых скоростей относительного, переносного и абсолютного вращений шарика и скорости скольжения относительно инструмента. Установлены условия изменения положения мгновенной оси вращения шарика и влияние рабочей нагрузки на расположение следов обработки по поверхности шарика.

Скольжение шариков при перемещении по кольцевым дорожкам, низкие контактные нагрузки и быстрая переориентация шариков в пространстве обеспечивают высокую точность и качество обработанной сферической поверхности. Применение сборного инструмента позволяет использовать серийные доводочные станки для финишной обработки как стальных шариков, так и шариков, изготовленных из различных хрупких материалов.

#### **Литература**

1. Олендер Л. А. Технология и оборудование шарикового производства. Минск: Вышэйшая школа, 1974. 336 с.
2. Олендер Л. А., Добрынин Ю. А. Совершенствование формообразования сферических поверхностей. Минск: БелНИИНТИ, 1980. 43 с.
3. Филонов И. П. Механика процессов обкатки. Минск: Наука и техника, 1985. 328 с.
4. Куранов В. Г., Виноградов А. Н., Бузов А. В. Оптимизация финишной обработки шаров прецизионных подшипников качения // Актуальные проблемы электронного приборостроения и машиностроения: сб. науч. ст. / отв. ред. Т. В. Конюшкова. Саратов: СГТУ, 2002. С. 126–129.
5. Куранов В. Г., Виноградов А. Н. Явление «трибоцементации» в процессе финишной обработки шаров подшипников // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 8. С. 32–37.
6. Пат. 1250 Респ. Беларусь: Устройство для обработки шариков. МПК7 В 24 В 11/02: / К. Г. Щетникович, № 526 А; заявл. 19.07.93, опубл. 14.06.96. Бюл. № 2.

#### **О взаимодействии волокна абразивно-полимерных щёток с обрабатываемой поверхностью**

Яковлев Д.Р., к.т.н. доц. Пини Б.Е.  
МГТУ «МАМИ»

Абразивно-полимерные щетки, как известно, изготавливаются с использованием полимерного волокна, в котором до 30% объема занимают абразивные зерна. В связи с этим они обладают рядом свойств, обеспечивающих возможность их эффективного использования при обработке машиностроительных деталей, в том числе изготавливаемых из труднообрабатываемых материалов. В частности, это могут быть операции по удалению тонких поверхностных дефектных слоев, например пригаров и т.п., без ухудшения (а часто с улучшением) качества поверхности; полирование, в том числе сложнопрофильных поверхностей; снятие заусенцев после чистовых операций на наружных и внутренних поверхностях деталей и т.д.

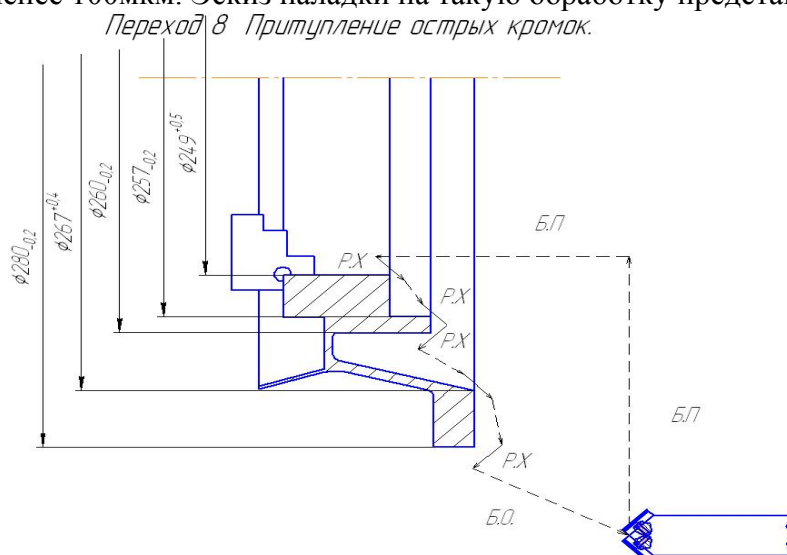
Однако эти инструменты практически не используются в отечественном машиностроении, так как, по сути, нет информации об эффективных областях их применения, рациональных режимах обработки такими щётками в различных случаях их применения, стойкости и работоспособности щёток и т.д.

Отсутствует и информация о характере взаимодействия волокна абразивно-полимерных щёток с обрабатываемыми поверхностями; о необходимых и достаточных усилиях в зоне контакта волокон с изделием; влиянии зернистости абразива, распределенного в волокне, влиянии полимера, в котором распределены абразивные зерна на процесс контактного взаимодействия; влияния диаметров и длин вылета абразивного волокна на процесса обработки и т.д.

Играет определенную роль в процессе сдерживания их использования также то, что имеются различные конструкции щёток (чашечные, типа «ёрш» и т.д.). Это дополнительно усложняет вопрос об их применении в производстве. Характерным является то обстоятельство

ство, что использование абразивно-полимерных щёток, как правило, связано с применением устройств с закрепленными на них щётками, которыми обработка осуществляется вручную (пневмоголовки, электродрели). В то же время, практически нет информации о применении щеток в условиях автоматизированного производства с механизированным воздействием инструмента с абразивно-полимерным волокном на поверхности изделий. Именно такая задача была проработана в МГТУ «МАМИ» применительно к одной из деталей - статору турбины авиационного двигателя, обрабатываемому на токарном многоцелевом станке с ЧПУ.

Деталь дискообразной формы со сложной конфигурацией поверхностей изготавливается из вязкого жаропрочного сплава и имеет тонкие стенки. В связи с этим при выполнении токарной обточки-расточки даже качественным, неизношенным инструментом на кромках детали образуются тонкие заусенцы. Эти заусенцы могут быть эффективно удалены специальным несложным инструментом с абразивно-полимерным волокном. Инструмент представляет собой державку с двумя колодками, в которых закреплено абразивно-полимерное волокно. Колодки закрепляются на державке под углом, равным  $45^\circ$  к оси державки, и составляют угол, равный  $90^\circ$  между собой. Диаметр волокна должен быть не менее 1 мм при величине его выступания из державки около 10 мм. Зернистость абразивных зерен в волоке должна быть не менее 100 мкм. Эскиз наладки на такую обработку представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1**

Траектория движения колодок с абразивно-полимерным ворсом и режимы обработки закладываются в программу обработки на станке, аналогично другим используемым резцам.

При этом перемещение инструмента должно быть таким, чтобы абразивно-полимерный ворс колодки последовательно входил в контакт с острыми кромками обрабатываемой детали, как это изображено на рисунке. Перемещение обрабатывающего инструмента целесообразно осуществлять в прямом и обратном направлении.

Абразивно-полимерные щётки способны не только эффективно удалять заусенцы, но могут притуплять и острые кромки, образуя небольшие радиусы закругления (например, равные 0,3 мм), что часто предусматривается техническими требованиями на изготовление деталей.

Если рассматривать процесс обработки детали цилиндрической щёткой то можно увидеть, что в процессе взаимодействия абразивно-полимерных волокон с обрабатываемой поверхностью наибольшее значение имеет усилие прижима щётки и скорость её вращения. В процессе обработки ворс отгибается и проскальзывает по обрабатываемой поверхности. Чем больше усилие прижима щётки, тем больше отклоняется ворс щётки под соответствующим углом от радиального его расположения. При этом характерным является то, что практически не происходит изгиба ворса по его длине, а отклонение происходит с поворотом волокна

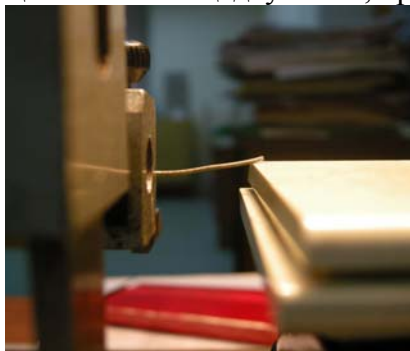
относительно точки его закрепления. Это является своеобразной особенностью работы абразивно-полимерного волокна, что существенно отличает его от взаимодействия проволоки карцовочных проволочных щёток или от рабочих элементов лепестковых кругов с обрабатываемой поверхностью. В результате на торце волокна образуется площадка износа под углом, примерно соответствующим углу отклонения волокна (рисунок 2). Благодаря этому увеличивается количество абразивных зерен, вступающих в контакт с обрабатываемой поверхностью, и, следовательно, повышается производительность обработки.



**Рисунок 2**

Усилие прижима щётки к обрабатываемой поверхности и угол отклонения волокна связаны с упругостью волокна. Для исследования этого параметра абразивно-полимерного ворса был проведен эксперимент. При подготовке к определению упругости волокна один конец единичного волокна жестко закреплялся в приспособлении, а второй конец волокна подводили до касания к измерительному устройству. В качестве измерительного устройства были использованы высокоточные весы фирмы TANITA с максимальной нагрузкой 100гр. и погрешностью измерения в диапазоне от 0 до 10гр. в пределах 0,1гр., а в диапазоне 10-50гр – 0,2гр. В первоначальном положении волокно располагалось горизонтально, не создавая нагрузку на весы.

Устройство для закрепления волокна обеспечивало возможность вертикального смещения точки закрепления волока на строго определенную величину с точностью до 0,1мм. Вид заземленного волокна, опирающегося на площадку весов, представлен на рисунке 3.

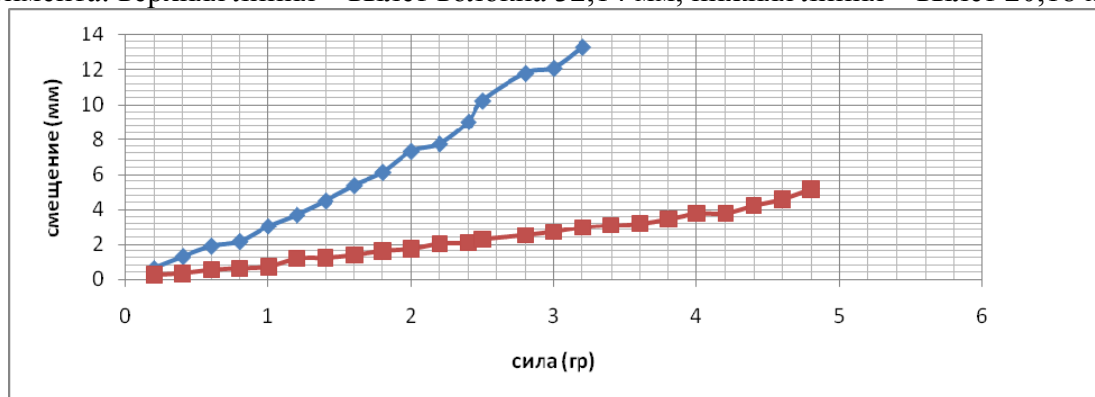


**Рисунок 3**

При перемещении закрепленного конца ворса на определенную величину усилие воздействия волокна фиксировалось по показаниям весов. Изгиб волокна фиксировался с помощью фотокамеры. Измерения были произведены в три этапа. Волокно с диаметром 1,06мм имело на первом этапе вылет отточки закрепления до точки опоры на платформу весов – 32,14 мм, на втором этапе - 20,18 мм, на третьем – 10 мм. Измерения вылета осуществлялось штангенциркулем с цифровой индикацией с ценой деления – 0,01 мм. Нагрузка на волокна создавалась через 0,2 грамма. Измерения производились до тех пор, пока показания усилия на весах не переставало изменяться, т.е. деформация волокна имела место, а увеличение силы воздействия не фиксировалось.

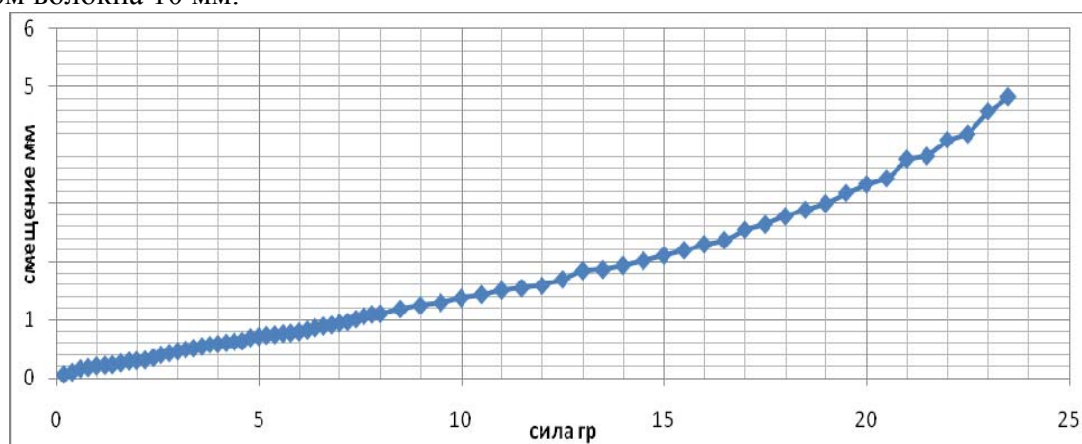
В результате эксперимента была получена практически прямая зависимость силы от величины смещения, что показано на рисунках 4 и 5. На рисунке 4 представлены два этапа

эксперимента: верхняя линия – вылет волокна 32,14 мм, нижняя линия – вылет 20,18 мм.



**Рисунок 4**

На рисунке 5 представлен график полученный в ходе третьего этапа эксперимента с вылетом волокна 10 мм.



**Рисунок 5**

В соответствии с показателями упругости волокна осуществляется съём металла с обрабатываемых поверхностей. Аналогично росту усилия при увеличении величины смещения волокна и последующему прекращению изменения измеряемого усилия съём металла возрастает до определенной величины сближения инструмента и детали, а затем рост величины съёма металла прекращается.

Говоря о величине съёма металла при обработке абразивно-полимерными щётками, следует отметить, что этот процесс связан не только с воздействием абразивных зерен, распределенных в волокне, на обрабатываемую поверхность, но и с ударным действием каждого волокна, соприкасающегося с ней. Это воздействие возрастает с увеличением скорости вращения щётки и лимитируется прочностными свойствами волокна. Очевидно, что полимерная основа волокна оказывает амортизирующее воздействие на зерно, ударяющее по обрабатываемой поверхности. Это снижает режущие способности зерна и уменьшает съём металла каждым единичным зерном и щёткой в целом.

В заключение следует сказать о том, что для расширения использования абразивно-полимерных щёток в машиностроении необходимо разработать справочные материалы по выбору и эффективному применению этих инструментов с данными по режимам обработки применительно к различным обрабатываемым материалам с рекомендациями по различным технологическим операциям.

### Выводы

Перспективным направлением использования абразивно-полимерных щеток является их применение на станках с ЧПУ. Для определения усилий воздействия нити на обрабатываемую поверхность можно использовать данные, полученные в процессе проведения исследований упругости волокна.