

УДК 621.937

ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ В ЗОНЕ ОБРАБОТКИ ПРИ ИХ ШАРЖИРОВАНИИ В ОБЫЧНЫХ УСЛОВИЯХ И С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

*д-р техн. наук, проф. М.Г. КИСЕЛЕВ, канд. техн. наук, доц. П.С. СЕРЕНКОВ, А.А. НОВИКОВ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния формы рабочей поверхности инструмента на характер распределения абразивных частиц в зоне обработки при их шаржировании в обычных условиях и с ультразвуком.

Цель работы заключалась в определении рациональной формы рабочей поверхности инструмента, применяемого для шаржирования образцов, при которой обеспечивается наиболее равномерное распределение абразивных частиц в зоне обработки, что имеет важное значение для формирования на поверхности инструмента абразивного слоя, обладающего стабильными режущими свойствами.

Введение. Предшествующими исследованиями [1] установлено, что значительно повысить качество шаржирования заготовок можно за счет применения энергии ультразвуковых колебаний, путем сообщения их деформирующему инструменту в направлении, перпендикулярном его рабочей поверхности. В отличие от традиционного способа шаржирования, когда внедрение абразивных частиц в материал заготовки происходит в результате их втирания плоской поверхностью вращающегося инструмента, при использовании ультразвука благодаря периодическому дискретному характеру взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью процесс внедрения в неё алмазных частиц протекает в режиме их виброударного втирания. Этот режим, во-первых, за счет наличия периодически возникающего зазора между поверхностью инструмента и заготовки обеспечивает гарантированное поступление в зону шаржирования алмазных частиц, а во-вторых, их последующее внедрение происходит в условиях динамического (ударного) воздействия со стороны колеблющегося деформирующего инструмента.

Как известно [2], для шаржирования заготовок, к примеру, распиловочных дисков, преимущественно используется так называемый «мокрый» способ, т.е. алмазные частицы в зону обработки подаются в виде суспензии, состоящей из касторового масла и алмазного микропорошка в соотношении 2:1. С помощью кисточки или поролонового ролика она предварительно наносится на обрабатываемые поверхности заготовки.

В процессе шаржирования при вращении деформирующего инструмента алмазная суспензия за счет сил вязкостного трения и поверхностного натяжения приходит в соответствующее движение и, попадая между поверхностями инструмента и заготовки, образует в зоне обработки прослойку, состоящую из жидкой фазы (касторовое масло) и твердых частиц (зёрен алмазного микропорошка). Следовательно, на условие внедрения и закрепления этих частиц, а также характер их распределения по обрабатываемой поверхности существенное влияние оказывают параметры прослойки и закономерности её поведения при виброударном режиме нагружения.

Совершенно очевидно, что в этом случае реализуются условия ударно-гидроабразивного изнашивания контактирующих поверхностей. Как известно [3], при этом виде изнашивания взаимодействие твердых частиц с поверхностью изнашивания (в нашем случае с обрабатываемой поверхностью) происходит прямым внедрением или относительным перемещением. Прямое внедрение частиц связано с ударом, а относительное перемещение – с вытеснением жидкости из зоны контакта. При этом на соотношение указанных видов взаимодействия твердых частиц, а следовательно, на условие их внедрения в процессе шаржирования существенное влияние оказывает форма рабочей поверхности деформирующего инструмента.

Методика проведения исследований. Для оценки влияния этого конструктивного параметра на условия взаимодействия абразивных частиц с обрабатываемой поверхностью были проведены сравнительные эксперименты по шаржированию образцов с применением двух видов инструментов, отличающихся формой рабочей поверхности. В одном случае использовался инструмент, имеющий сплошную плоскую рабочую поверхность в виде круга d_p (рис. 1, а). В другом – она имела форму кольца шириной $(d_p/2 - d_{омс}/2)$, где $d_{омс}$ – диаметр глухого отверстия, обработанного в центре рабочей поверхности инструмента и равного 5,0 мм.

Деформирующий инструмент (см. рис. 1, а) был изготовлен в виде спиленного шарика I , диаметром 17,85 мм, из стали ШХ15, твердостью 60... 62 HRC. Предварительно на нём со стороны сферической

части пропиливался паз шириной 2...2,5 мм и глубиной до половины его высоты. Затем с веру паз закрывался запрессованным на клею вкладышем 2 таким образом, чтобы образовывалось сквозное отверстие.

На рисунке 1, б показана конструкция соединения деформирующего инструмента 1 со сменным наконечником 3, имеющим коническое отверстие и закрепленным на выходном торце концентратора 5 ультразвукового преобразователя. На боковых поверхностях сменного наконечника просверлены два диаметрально расположенные отверстия. С помощью штифта 4, проходящего через эти отверстия, и отверстие в деформирующем инструменте, последнему передавался крутящий момент от вращающегося ультразвукового преобразователя. Сопряжение штифта с отверстием деформирующего инструмента выполнялось со значительным зазором. Это принципиально важно для того, чтобы обеспечить осевые смещения инструмента при виброударном режиме работы акустической системы, а также для самоустановки его рабочей поверхности относительно обрабатываемой заготовки 6 под действием статической нагрузки ($P_{ст}$).

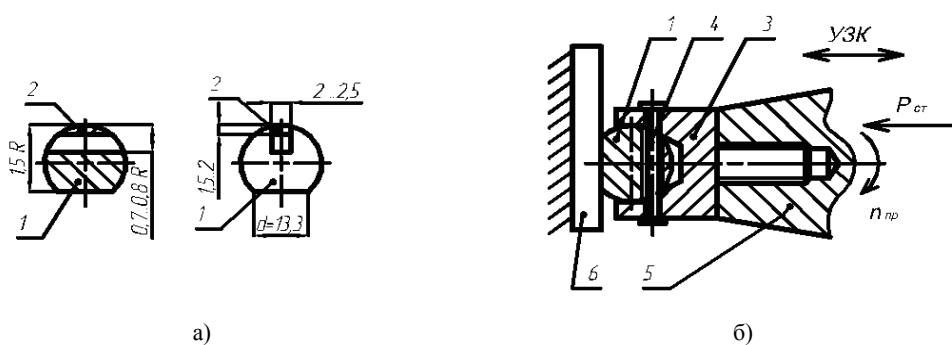


Рис. 1. Конструкция деформирующего инструмента (а) и конструкция его соединения концентратором ультразвукового преобразователя (б)

Материалом образцов служил легкоплавкий сплав Вуда, обладающий низкой твердостью и высокой пластичностью, что позволило создать наиболее благоприятные условия для шаржирования в их поверхность абразивных частиц. Образцы в виде пластин 30×50 мм и толщиной 4 мм изготавливались литьем в металлическую форму с последующим шлифованием и доводкой их рабочих поверхностей.

Для шаржирования образцов применялась абразивная суспензия, состоящая из зёрен карбида бора размером 50...63 мкм и касторового масла в объемном соотношении 1:2.

Методика проведения экспериментов включала в себя последовательное выполнение следующих действий. Образец 6 (см. рис. 1, б) неподвижно закреплялся в приспособлении. Затем на его поверхность в зоне контакта с инструментом с помощью кисточки равномерно наносилась абразивная суспензия. После этого за счет нагружения ультразвукового преобразователя, установленного на шариковых направляющих (на рисунке не показаны), статической нагрузкой $P_{ст}$ инструмент 1 своей рабочей поверхностью прижимался через абразивную прослойку к образцу. Затем одновременно включались привод вращения ультразвуковых преобразователей и ультразвуковой генератор. При выполнении экспериментов без ультразвука включался только привод вращения преобразователя.

По истечении установленного времени обработки преобразователь вместе с инструментом отводился от поверхности образца, указанные выше системы питания отключались. Затем образец переустанавливался в приспособлении таким образом, чтобы можно было обработать на его поверхности новый участок. С учетом использования двух противоположных сторон образцов на каждом из них проводилось шесть опытов. После этого образец снимался, тщательно промывался, высушивался, затем исследовались форма и размеры полученных на его поверхностях зон обработки, т.е. воздействия на них абразивных частиц. С этой целью производилось фотографирование этих зон, а также с помощью инструментального микроскопа измерялись их геометрические параметры, что в комплексе позволило оценить характер взаимодействия абразивных частиц с обрабатываемой поверхностью при различных условиях шаржирования.

Во всех экспериментах частота вращения преобразователя ($n_{пр}$) и продолжительность обработки ($t_{обр}$) были постоянными: $n_{пр} = 75$ об/мин; $t_{обр} = 15$ с. Значение статической нагрузки изменялось таким образом, чтобы величина давления (P) в зоне обработки при различной площади рабочей поверхности инструмента оставалась неизменной и равной $P = 18$ МПа. Так, для инструмента со сплошной рабочей поверхностью $P_{ст} = 25$ Н, а при наличии на ней отверстия – $P_{ст} = 21$ Н.

Результаты исследований и их обсуждения. На рисунке 2 представлены фотографии зон обработки, полученные на образцах при различных условиях шаржирования. При их анализе обращают на себя

внимание следующие обстоятельства. Так, при шаржировании без ультразвука и использовании инструмента со сплошной рабочей поверхностью на образце формируется зона обработки в виде темного круга (рис. 2, а), в центре которого четко видна светлая область сравнительно небольшого диаметра, в которой отсутствуют следы воздействия абразивных частиц на материал образца. Эту область оправданно назвать нерабочей зоной на поверхности инструмента.

Её образование связано, во-первых, с разностью окружных скоростей точек рабочей поверхности вращающегося инструмента в её центре, где она равна нулю, и на периферии, где она имеет максимальное значение; во-вторых действием на абразивную прослойку центробежных сил. В результате жидкая фаза прослойки, перемещаясь от центра к периферии рабочей поверхности инструмента, увлекает за собой твердые частицы, формируя, таким образом, в центральной области зону, свободную от абразивных зёрен, т.е. нерабочую зону.

В случае шаржирования с ультразвуком с использованием того же инструмента оказалось, что диаметр нерабочей зоны на его поверхности зависит от режима работы акустической колебательной системы. Так, при безотрывном режиме взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью (рис. 2, б) диаметр этой зоны практически соответствует его значению, полученному при шаржировании в обычных условиях. При реализации виброударного режима взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью (рис. 2, в) и повышением его интенсивности (рис. 2, г) величина диаметра нерабочей зоны возрастает.

Выявленная закономерность обусловлена следующими обстоятельствами. При виброударном режиме шаржирования абразивная прослойка испытывает со стороны рабочей поверхности инструмента дополнительное периодическое ударное воздействие. По этому на стадии сближения и последующего соударения плоской поверхности инструмента с абразивной прослойкой её жидкая фаза интенсивно вытесняется от центра к периферии инструмента, увлекая за собой твердые частицы. В результате на его рабочей поверхности образуется нерабочая зона, диаметр которой оказывается большим, чем при обычной обработке, а также при обработке с ультразвуком, но в безотрывном режиме. Отсюда следует, что по мере увеличения интенсивности виброударного режима шаржирования возрастает скорость воздействия поверхности инструмента на абразивную прослойку на стадии их соударения. Это в свою очередь приводит к повышению скорости вытеснения жидкой фазы вместе с твердыми частицами от центра к периферии рабочей поверхности инструмента, обуславливая тем самым формирование на ней нерабочей зоны большего диаметра.

На рис. 2, д показана фотография зоны обработки, полученной на образце при шаржировании в обычных условиях с применением инструмента второго вида. В отличие от предыдущего, на его рабочей поверхности выполнено центральное отверстие, которое преднамеренно обеспечивает на ней наличие нерабочей зоны. В этом случае зона обработки представляет собой кольцо равномерного темного цвета с четко выраженной в его центре нерабочей зоной. Следует подчеркнуть, что такая же форма и размеры зоны обработки сохраняются при шаржировании образцов с ультразвуком как при безотрывном, так и при виброударном режимах обработки. Последнее иллюстрируется рисунками 2, е, ж.

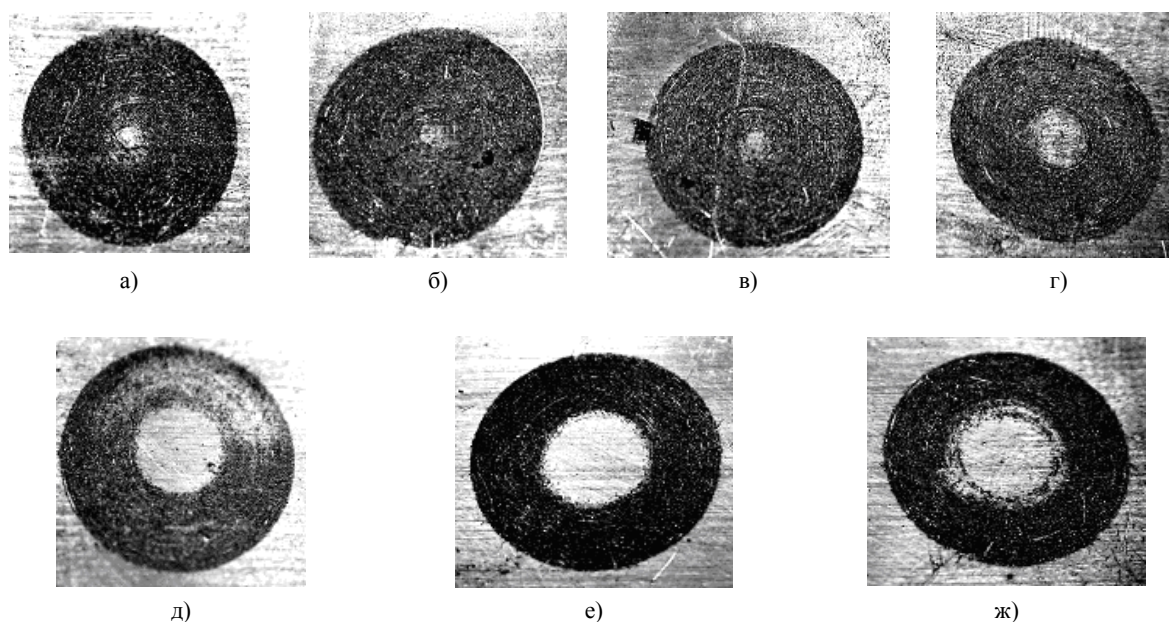


Рис. 2. Зоны обработки, полученные на образцах при различных условиях шаржирования

Совершенно очевидно, что наличие отверстия на рабочей поверхности инструмента изменяет характер поведения абразивной прослойки в зоне обработки. Так, во-первых, уменьшается разность окружных скоростей точек рабочей поверхности инструмента, расположенных на её периферийных и внутренних участках, что способствует более равномерному распределению абразивных частиц в зоне обработки. Во-вторых, центральное отверстие на инструменте является своеобразным резервуаром для абразивной суспензии, которая в процессе шаржирования, постоянно попадая в зону обработки, обеспечивает поступление в неё новых абразивных частиц, поддерживая тем самым стабильные параметры абразивной прослойки.

При шаржировании с ультразвуком в виброударном режиме наличие на рабочей поверхности инструмента отверстия также существенно изменяет условия поведения абразивной суспензии в зоне обработки. В этом случае вытеснение её жидкой фазы вместе с твердыми частицами на стадии соударения инструмента с поверхностью образца происходит как к периферии рабочей зоны, так и в полость отверстия. Последняя, как уже отмечалось, выполняет функцию резервуара для абразивной суспензии, из которого она постоянно подается в зону шаржирования. В результате создаются условия, обеспечивающие более равномерное распределение абразивных частиц на обрабатываемой поверхности по сравнению с инструментом, имеющим сплошную рабочую поверхность.

Отмеченные особенности поведения абразивной прослойки подтверждаются результатами измерений диаметра нерабочей зоны, получаемой на поверхности образца. Так, на рисунке 3 приведены его значения при шаржировании образцов инструментами с различной рабочей поверхностью как в обычных условиях, так и с применением ультразвука при изменении частоты возбуждения преобразователей.

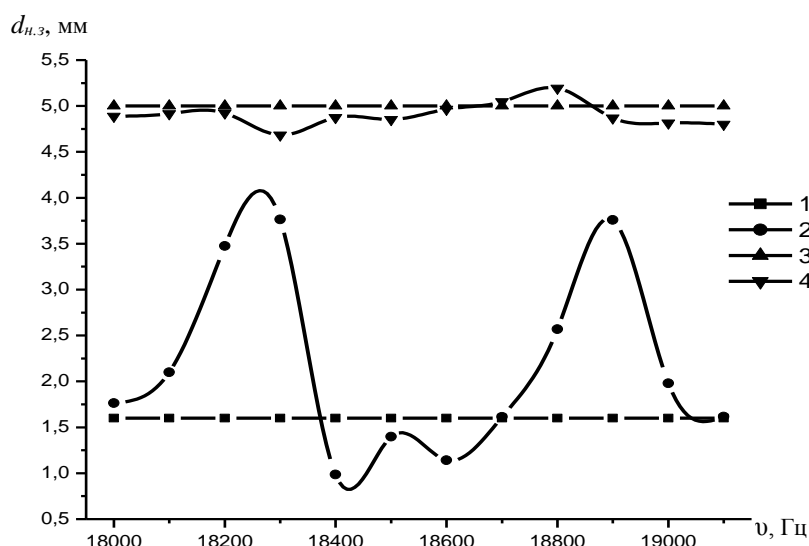


Рис. 3. Зависимость диаметра нерабочей зоны на поверхности образцов при их шаржировании инструментами с различной рабочей поверхностью как в обычных условиях, так и с применением ультразвука от частоты возбуждения преобразователя

Из анализа этих зависимостей видно, что при шаржировании в обычных условиях инструментом со сплошной рабочей поверхностью диаметр нерабочей зоны остается постоянным (зависимость 1) и для условий проводимых экспериментов составляет порядка 1,6 мм. При шаржировании с ультразвуком (зависимость 2) значение диаметра нерабочей зоны существенным образом зависит от режима взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью, который, в свою очередь, определяется частотой возбуждения ультразвукового преобразователя. На этой зависимости имеются два четко выраженных пика, при которых диаметр нерабочей зоны имеет максимальное значение и составляет порядка 3,7...3,8 мм. По частоте они соответствуют резонансному возбуждению акустической колебательной системе с установлением в ней виброударного режима взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью. По мере изменения частоты возбуждения преобразователя от резонансного значения интенсивность виброударного режима снижается, что сопровождается уменьшением диаметра нерабочей зоны, а при безотрывном режиме его значение становится даже ниже, чем при обработке в обычных условиях. Отсюда следует, что при шаржировании с ультразвуком с использованием инструмента со сплошной рабочей поверхностью условия поведения абразивной прослойки и характер распределения твердых частиц

на обрабатываемой поверхности в значительной степени зависят от режима работы акустической колебательной системы. При этом наиболее благоприятные для шаржирования условия обеспечиваются при её резонансном возбуждении с реализацией виброударного режима обработки.

В случае использования инструмента с отверстием как в обычных условиях (зависимость 3), так и с ультразвуком (зависимость 4) во всем исследуемом диапазоне частот возбуждения значение диаметра нерабочей зоны остается практически неизменным и составляет 4,8...5,0 мм. Следовательно, с точки зрения поддержания стабильных условий поведения абразивной прослойки в процессе шаржирования и обеспечения более равномерного распределения твердых частиц в зоне обработки необходимо применять инструмент с отверстием на его рабочей поверхности.

Выводы

1. Показано, что в процессе шаржирования форма рабочей поверхности вращающегося инструмента оказывает существенное влияние на условия поведения абразивной суспензии и характер распределения абразивных частиц в зоне обработки.

2. Установлено, что применение инструмента со сплошной рабочей поверхностью приводит к образованию в её центральной части нерабочей зоны, в которой отсутствуют абразивные частицы, что обуславливает их неравномерное распределение на обрабатываемой поверхности. При этом в процессе шаржирования с ультразвуком по мере увеличения интенсивности виброударного режима диаметр этой нерабочей зоны возрастает по сравнению с обработкой в обычных условиях или при реализации безотрывного режима взаимодействия инструмента с поверхностью образца.

3. Показано, что для обеспечения более равномерного распределения абразивных частиц в зоне обработки при шаржировании как в обычных условиях, так и с ультразвуком необходимо применять инструмент, имеющий форму рабочей поверхности в виде кольца. Наличие на ней центрального отверстия, с одной стороны, преднамеренно исключает появление нерабочей зоны, а с другой – оно является своеобразным резервуаром для абразивной суспензии, которая в процессе шаржирования, непрерывно поступающая в зону обработки, обеспечивает более равномерное распределение абразивных частиц на поверхности контакта инструмента с образцом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев М.Г., Минченя В.Т., Ибрагимов В.А. Ультразвук в поверхностной обработке материалов. – Мн.: Тесей, 2001. – 344 с.
2. Епифанов В.И., Песина А.Я., Зыков Л.В. Технология обработки алмазов в бриллианты. – М.: Высшая школа, 1982. – 351 с.
3. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Албагачиев А.Ю. Изнашивание при ударе. – М: Машиностроение, 1982. – 192 с.