

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКИХ РАСПИЛОВОЧНЫХ ДИСКОВ К ПРОДОЛЬНОМУ ИЗГИБУ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ШАРЖИРОВАНИЯ ИХ БОКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Докт. техн. наук, проф. КИСЕЛЕВ М. Г., НОВИКОВ А. А.

Белорусский национальный технический университет

Цель работы заключается в экспериментальной оценке влияния двух способов шаржирования боковых поверхностей распиловочного диска зернами алмазных микропорошков (традиционного и с применением ультразвука) на его устойчивость к продольному изгибу.

Распиловочный диск представляет собой инструмент, предназначенный для распиливания монокристаллов алмаза. Изготавливается он из бронзы БрОФ 6,5–0,15 диаметром 76 мм при толщине заготовки в пределах 0,04...0,09 мм, что определяется размером обрабатываемого кристалла алмаза. Важным этапом в технологическом процессе изготовления распиловочного диска, который в значительной степени определяет эксплуатационные показатели инструмента, является формирование на боковых поверхностях заготовки алмазного слоя путем закрепления на них, как правило, методом шаржирования зерен алмазных микропорошков. С целью минимизации безвозвратных потерь дорогостоящего алмазного сырья наряду с высокой режущей способностью распиловочный диск должен обеспечивать минимальную толщину реза при высоком качестве площадок распиленных полуфабрикатов. Они должны иметь минимальную шероховатость поверхности при отсутствии на ней отдельных рисков, плоскость распиливания должна проходить по линии разметки и не иметь дефектов в виде выпуклой или вогнутой поверхности [1, 2].

Появление последних связано с изгибом распиловочного диска, что сопровождается отклонением его режущей кромки от прямолинейности. Происходит это в случае, когда при распиливании статическая нагрузка, действующая на торцевую поверхность инструмента

со стороны заготовки, превышает критическое для данного распиловочного диска значение. Именно это обстоятельство ограничивает повышение интенсивности (производительности) распиливания монокристаллов алмаза за счет увеличения статической нагрузки на обрабатываемую заготовку. Отсюда следует, что наряду с вышеперечисленными требованиями весьма важным эксплуатационным показателем распиловочного диска является его устойчивость к продольному изгибу. Поэтому сегодня актуальна задача совершенствования технологии изготовления распиловочных дисков, обеспечивающая повышение их устойчивости к продольному изгибу.

В рамках решения этой задачи заслуживает внимания этап шаржирования боковых поверхностей заготовок распиловочных дисков зернами алмазных микропорошков. Дело в том, что сформированный таким образом алмазный слой в первом приближении можно рассматривать как покрытие, нанесенное на боковые поверхности заготовки, которое будет влиять на механические свойства распиловочного диска, включая его устойчивость к продольному изгибу. Степень влияния этого слоя определяется его параметрами (размером, глубиной внедрения и степенью закрепления алмазных частиц, характером их распределения в поверхностном слое заготовки), следовательно, условиями его формирования, т. е. способом шаржирования.

Таким образом, на уровне рабочей гипотезы можно высказать предположение о том, что путем изменения параметров алмазоносного слоя, формируемого на боковых сторонах заготовок распиловочных дисков, за счет применения различных способов и условий шаржиро-

вания можно целенаправленно влиять на их устойчивость к продольному изгибу.

Для измерения величины деформации продольного изгиба распиловочных дисков была создана специальная установка, принципиальная схема которой, а также ее общий вид приведены на рис. 1.

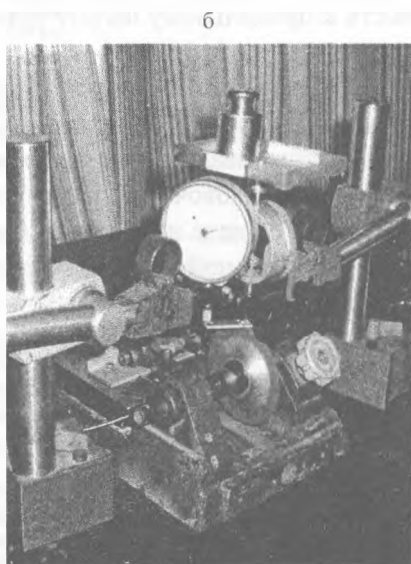
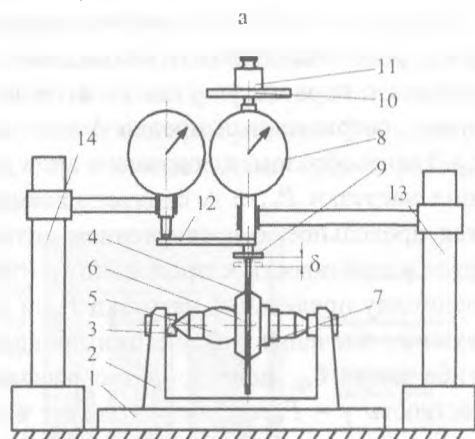


Рис 1 а – принципиальная схема установки для измерения деформации продольного изгиба распиловочного диска; б – общий вид

Она изготовлена на базе распиловочной секции станка мод. ШП-2. На массивной станине 1 закреплена пара стоек 2, в которых установлены бронзографитовые подшипники 3. Испытуемый распиловочный диск 4 закреплялся на шпинделе 5 между опорным 6 и прижимным 7 фланцами, его свободный вылет составлял 12 мм. Шпиндель в обратных центрах расположен в бронзографитовых подшипниках распиловочной секции.

На стойке 13 вертикально установлен индикатор 8 часового типа ИЧ10 с ценой деления 0,01 мм. Предварительно в его конструкцию были внесены следующие изменения: снята пружина, создающая измерительное усилие, на нижнем конце подвижного штока закреплен плоский наконечник 9, а на верхнем – площадка 10 для установки аттестованных грузов 11. К штоку индикатора консольно закреплен рычаг 12, к которому на стойке 14 подведена многооборотная индикаторная головка типа МИГ-1 с ценой деления 0,001 мм, которая фиксировала малые значения деформации продольного изгиба распиловочного диска.

Измерения на установке проводились следующим образом. К торцевой поверхности испытуемого диска подводился плоский наконечник индикатора с таким расчетом, чтобы обеспечивался свободный ход его штока в направлении действия нагрузки. В этом положении шкала индикатора устанавливалась на нуль. Затем на площадку последовательно, по мере увеличения массы, добавлялись аттестованные грузы и по шкале индикатора фиксировалась величина деформации продольного изгиба δ , соответствующая каждому значению нагрузки. После этого грузы снимались, шпиндель вместе с испытуемым диском поворачивался на 90° и процедура измерения повторялась. Таким образом, на каждом диске выполнялось четыре измерения величины деформации его продольного изгиба при различной статической нагрузке. Значение деформации продольного изгиба диска определялось как среднее арифметическое результатов четырех измерений, полученных при заданной величине статической нагрузки.

В ходе проведения экспериментальных исследований испытывались три вида дисков: исходные (вырубленные из ленты) заготовки толщиной 0,06; 0,07 и 0,09 мм, а также распиловочные диски, полученные методом шаржирования боковых поверхностей исходных заготовок традиционным способом и с применением ультразвука [3].

При первом способе процесс шаржирования осуществляется за счет втирания зерен алмазных микропорошков в материал диска плоской поверхностью вращающегося инструмента, прижатого с постоянным усилием к обрабаты-

ваемой поверхности. В процессе шаржирования с ультразвуком внедрение и закрепление зерен алмазных микропорошков в материале диска происходит за счет их втирания плоской поверхностью вращающегося инструмента, а при виброударном (дискретном) режиме – в процессе его взаимодействия с обрабатываемой поверхностью.

Для шаржирования боковых поверхностей заготовок распиловочных дисков применялась алмазная паста, состоящая из алмазного микропорошка АСМ 28/20 и касторового масла в соотношении 1:2. После выполнения операции шаржирования для придания распиловочным дискам требуемой плоскостности они набирались в пакет в специальном зажимном приспособлении, и далее проводилась их термическая правка. После ее завершения пакет термообработанных инструментов разбирался на отдельные распиловочные диски, которые испытывались на стойкость к продольному изгибу.

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости величины деформации продольного изгиба δ для трех видов дисков от значения приложенной нагрузки P . Кривая 1 соответствует исходной заготовке; кривая 2 – распиловочному диску, шаржированному обычным способом; кривая 3 – распиловочному диску, шаржированному с применением ультразвука.

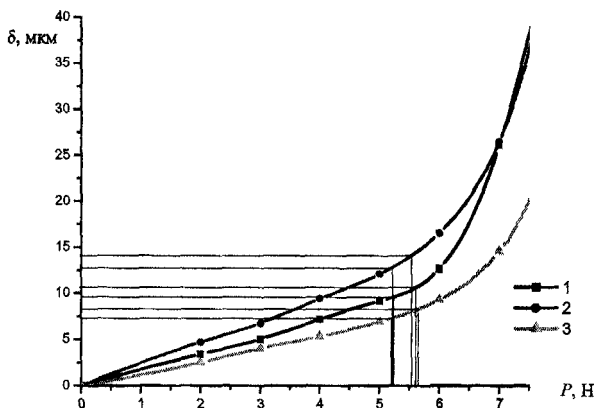


Рис. 2. Зависимость деформации продольного изгиба δ диска от нагрузки P при толщине заготовки $b = 0,07$ мм

Как видно из графика, зависимость $\delta(P)$ имеет два характерных участка, отличающихся интенсивностью приращения деформации продольного изгиба диска с увеличением нагрузки. Первый имеет зависимость $\delta(P)$, близкую к ли-

нейной, при которой по мере увеличения нагрузки P происходит пропорциональное с относительно малой величиной изменение параметра δ . Второй участок зависимости $\delta(P)$ имеет экспоненциальный характер, что в нашем случае можно трактовать как потерю устойчивости диска к продольному изгибу. Переход от первого участка ко второму происходит при нагрузке $P_{кр}$. Для объективности нахождения точки перехода с первого участка на второй был рассчитан доверительный предел Δ для значения $P_{кр}$. Таким образом, для данного вида диска значение нагрузки $P_{кр} \pm \Delta$ следует рассматривать как предельное, с превышением которого он теряет устойчивость к продольному изгибу. Зная величину предельной нагрузки $P_{кр}$ и соответствующее значение деформации продольного изгиба диска $\delta_{кр}$, целесообразно рассчитать его жесткость $\gamma = P_{кр}/\delta_{кр}$, что позволит ввести количественную оценку, характеризующую устойчивость к продольному изгибу различных видов дисков.

В табл. 1 приведены результаты экспериментальных исследований, отражающие влияние способа шаржирования боковых поверхностей заготовок распиловочных дисков зернами алмазного микропорошка на значения предельной нагрузки, предельной упругой деформации и жесткости диска.

Таблица 1
Значения предельной нагрузки, предельной упругой деформации и жесткости для трех видов испытанных дисков

Вид испытуемого диска	Толщина исходной заготовки, мм	Предельная нагрузка, Н	Предельная упругая деформация, мкм	Жесткость диска в пределах упругой деформации, Н/мм
Исходная (вырубленная из ленты) заготовка диска	0,06	2,5...2,8	6,3...7,1	394...397
	0,07	5,2...5,6	9,5...10,6	528...547
	0,09	7,1...8,0	7,5...8,6	930...947
Распиловочный диск, полученный шаржированием заготовки обычным способом	0,06	2,7...2,9	8,6...9,4	309...314
	0,07	5,2...5,5	12,8...14,2	387...406
	0,09	10,6...11,1	13,1...13,9	799...809
Распиловочный диск, полученный шаржированием заготовки с ультразвуком	0,06	2,9...3,3	3,0...3,7	892...967
	0,07	5,2...5,7	7,3...8,3	687...712
	0,09	10,7...11,5	8,4...9,3	1237...1274

Из анализа этих данных видно, что на устойчивость диска к продольному изгибу влияют толщина исходной заготовки и способ шаржирования ее боковых поверхностей. Для наглядности и удобства сравнения полученных данных обратимся к рис. 3, на котором приведены значения жесткости для трех видов испытанных дисков.

Отсюда видно, что с увеличением толщины исходной заготовки распиловочного диска значение ее жесткости возрастает. Это полностью согласуется с положениями теории устойчивости тонких пластин.

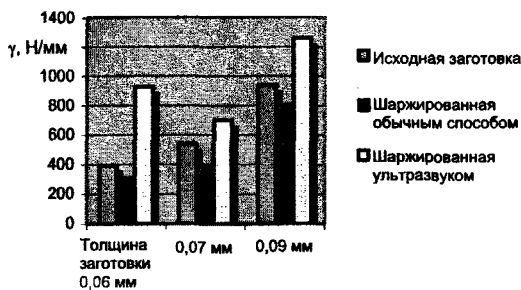


Рис. 3. Изменение жесткости испытанных видов дисков в зависимости от толщины исходной заготовки и способа шаржирования их боковых поверхностей

В зависимости от способа шаржирования боковых поверхностей исходных заготовок зернами алмазного микропорошка значение их жесткости может как снижаться, так и повышаться. Применение обычного способа шаржирования приводит к снижению жесткости распиловочного диска, а шаржирование с ультразвуком, наоборот, вызывает ее существенное повышение. По мере уменьшения толщины исходной заготовки b степень влияния способа шаржирования с ультразвуком на повышение жесткости распиловочного диска возрастает. Так, при $b = 0,06$ мм жесткость распиловочного диска по отношению к исходной заготовке увеличивается в 2 раза, при $b = 0,07$ мм – в 1,6 раза, при $b = 0,09$ мм – в 1,2 раза.

Для объяснения установленных закономерностей, необходимо проанализировать влияние способа шаржирования на изменение состояния поверхностного слоя исходной заготовки. Важно отметить, что в исходном состоянии металл ее поверхностного слоя находится в упрочненном состоянии, что обусловлено прокаткой ленты, из которой она вырабатывается.

В процессе шаржирования обычным способом благодаря высокой подвижности алмазных частиц в зоне обработки, которая обусловлена принятыми кинематикой и динамикой шаржирования, вероятность их внедрения и закрепления в поверхностном слое заготовки весьма мала, а поэтому степень его насыщения алмазными частицами оказывается незначительной. За счет интенсивного абразивного разрушения материала заготовки зернами алмазного микропорошка с ее поверхности удаляется исходный упрочненный слой, параметры которого (степень и глубина упрочненного слоя) способствуют повышению устойчивости диска к продольному изгибу. Отсюда следует, что при шаржировании заготовки обычным способом в силу малой степени насыщения поверхности алмазными частицами, а также удалением исходного упрочненного поверхностного слоя металла показатели, характеризующие устойчивость распиловочного диска к продольному изгибу, включая его жесткость, оказываются ниже по сравнению с соответствующими показателями исходной заготовки.

Улучшение показателей устойчивости распиловочных дисков к продольному изгибу, включая их жесткость, после шаржирования боковых поверхностей исходных заготовок с применением ультразвука связано со следующими обстоятельствами. Благодаря виброударному (дискретному) режиму взаимодействия вращающегося инструмента с обрабатываемой поверхностью значительно интенсифицируется по сравнению с обычным способом процесс внедрения и закрепления алмазных частиц в поверхностном слое за счет реализации их виброударного втирания в материал заготовки. В результате на боковых сторонах заготовки формируется алмазоносный слой, который в отличие от обычного способа шаржирования имеет более высокую степень насыщения алмазными частицами. Помимо этого динамический характер внедрения алмазных частиц сопровождается протеканием множества локальных пластических деформаций металла поверхностного слоя, что приводит к его значительному упрочнению.

Таким образом, при шаржировании с ультразвуком на боковых сторонах заготовок формируется упрочненный слой металла, содер-

жащий значительное количество алмазных частиц, что можно сравнить с нанесением на них более прочного, чем основной металл, покрытия. В результате изменяются механические свойства распиловочного диска, в частности повышаются его устойчивость к продольному изгибу и жесткость. Отсюда понятно, что степень влияния способа шаржирования с ультразвуком на повышение устойчивости распиловочных дисков к продольному изгибу будет при прочих равных условиях определяться соотношением глубины упрочненного алмазного слоя к толщине исходной заготовки. Поэтому при неизменной глубине этого слоя с увеличением толщины исходной заготовки влияние рассматриваемого способа шаржирования на повышение устойчивости распиловочных дисков к продольному изгибу и его жесткости снижается, что подтверждается результатами экспериментальных исследований.

Таким образом, шаржирование с применением ультразвука боковых поверхностей тонких распиловочных дисков позволяет наряду с формированием алмазоносного слоя с высокими режущими свойствами существенно (до двух раз) повысить их устойчивость к продольному изгибу, которая является важным эксплуатационным показателем этих инструментов.

ВЫВОДЫ

1. На уровне рабочей гипотезы выдвинуто и экспериментально подтверждено положение о том, что условия формирования алмазоносного слоя на боковых поверхностях распиловочного диска в процессе их шаржирования зернами алмазных микропорошков существенным образом влияют на его механические свойства, в частности на устойчивость к продольному изгибу, которая является важным эксплуатационным показателем сверхтонких нежестких инструментов.

2. Разработано устройство, позволяющее измерять величину деформации продольного изгиба распиловочного диска в зависимости от значения приложенной статической нагрузки.

3. Установлено, что зависимость деформации продольного изгиба диска δ от приложенной статической нагрузки P имеет два харак-

терных участка. Первый участок представляет линейную зависимость $\delta(P)$. При определенном значении статической нагрузки он сменяется вторым, имеющим экспоненциальный характер. При этом в качестве критерия потери устойчивости распиловочных дисков к продольному изгибу приняты значения их предельных нагрузки и деформации, соответствующие границе этих участков.

4. Установлено, что на устойчивость дисков к продольному изгибу оказывают влияние толщина исходной заготовки, с увеличением которой она возрастает, а также способ шаржирования ее боковых поверхностей. Так, использование традиционного способа шаржирования боковых поверхностей исходных заготовок дисков приводит к снижению их устойчивости к продольному изгибу, а шаржирование с ультразвуком, наоборот, вызывает существенное повышение этого показателя.

5. Показано, что снижение устойчивости распиловочных дисков к продольному изгибу после шаржирования боковых сторон их заготовок традиционным способом объясняется, во-первых, весьма низкой степенью насыщения поверхности алмазными частицами, а во-вторых, удалением в процессе обработки за счет абразивного разрушения упрочненного после прокатки поверхностного слоя металла.

В процессе шаржирования с использованием ультразвука благодаря дискретному взаимодействию вращающегося инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки реализуется режим виброударного втирания зерен алмазных микропорошков в материал поверхностного слоя, обеспечивающий как высокую степень его насыщения алмазными частицами, так и упрочнение металла поверхностного слоя заготовки, что обуславливает повышение устойчивости распиловочных дисков к продольному изгибу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанов В. И., Песина А. Я., Зыков Л. В. Технология обработки алмазов в бриллианты. – М.: Высш. шк., 1982. – 335 с.
2. Изнашивание монокристаллов алмаза / А. М. Бочаров, А. Ф. Климович, А. С. Старовойтов, В. В. Снежков. – Мн.: Беларуская навука, 1996. – 144 с.
3. Киселев М. Г., Минченя В. Т., Ибрагимов В. А. Ультразвук в поверхностной обработке материалов. – Мн.: Тесей, 2001. – 344 с.