

А. Ю. Попов, Д. С. Реченко, Е. В. Васильев, В. А. Сергеев, А. Г. Кольцов

ТЕХНОЛОГИЯ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Рассматриваются проблемы технологии шлифования твердосплавных изделий, в частности сменных твердосплавных пластин, применяемых при лезвийной обработке. На основе исследований процессов шлифования и затачивания предлагается схема шлифования пластин. Также представлена принципиальная кинематическая схема специального шлифовального станка для реализации предложенного метода и схемы шлифования. Данный метод шлифования позволяет значительно сократить время обработки повысить производительность обработки. *Алмазное шлифование; твердосплавные пластины; износ*

В стоимости твердосплавных инструментов затраты на материалы составляют более 20 %. Повторную прибыль можно получать, восстанавливая инструмент из отработавших свой первый ресурс сменных твердосплавных пластин (СТП). Причиной высокой стоимости этих технологий является существенный расход алмазного шлифовального инструмента и высокая трудоемкость операции. Данные экономические показатели определяются удельным расходом алмазов и интенсивностью съема твердого сплава. Улучшение этих технологических показателей позволяет довести прибыль до 1000 %, от использования отработавших свой первый ресурс СТП в качестве заготовок для изготовления режущих вставок другой формы. Анализ технологического процесса шлифования СТП показал повышенный удельный расход алмазных кругов на бакелитовой связке, значительно превышающий справочные данные. Основными причинами этого являются: превышение рекомендуемых значений подач для достижения максимальной производительности; недостатки общепринятых схем шлифования, а именно: значительные пульсации среднего контактного давления в зоне шлифования, которые приводят к разрушению связки; недостаточно интенсивный подвод смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания.

В традиционной технологии затачивания твердосплавного инструмента качество лезвия характеризуется:

- отсутствием трещин и сколов на лезвии;
- шероховатостью поверхностей, характеризующейся высотой микронеровностей. Инструменты, предназначенные для предварительной обработки, должны обладать шероховатостью поверхностей не более $Ra = 0,32$ мкм, для

чистой обработки – не выше $Ra 0,16...0,08$ мкм;

- остротой лезвия, определяемой радиусом округления ρ , которая должна составлять 3–5 мкм у твердосплавных инструментов для чистой обработки и до 15 мкм у остального инструмента.

Шероховатость шлифованных поверхностей режущей части лучших образцов импортного инструмента составляет $Ra = 0,32...0,16$ мкм, а радиус округления лезвия $\rho = 5...8$ мкм.

Известны основные факторы, влияющие на качество затачивания твердосплавного инструмента, к которым относятся:

- режимы резания при затачивании (скорость вращения шлифовального круга, продольная и поперечная подачи затачиваемого инструмента);
- характеристика алмазного шлифовального инструмента (марка материала, зернистость, связка, структура, твердость алмазного инструмента);
- марка обрабатываемого материала;
- состояние рабочей поверхности и величина биения алмазного шлифовального круга (торцовое или периферийное биение шлифовального круга, засаленность и острота алмазных зерен и т. д.);
- наличие СОЖ и его состав;
- схема затачивания;
- жесткость технологической системы.

В серийном производстве применяются универсально-заточные станки моделей 3М642, 3М642Е, 3Д642Е, ВЗ-208ФЗ. Режимы резания при затачивании твердосплавного инструмента на этих станках находятся в определенной области, рекомендуется принимать: окружную скорость шлифовального круга в пределах 15–

30 м/с, продольную подачу $S_{\text{прод}} = 1\text{--}12$ м/мин, поперечную подачу $S_{\text{поп}} = 0,01\text{--}0,05$ мм/дв. ход. Для затачивания твердосплавного инструмента применяют алмазные шлифовальные круги марок АС2, АС4, АС6 зернистостью 160/125, 125/100, 100/80, 80/63 на органической связке В2-01 (Б1), В3-01 (БР), В1-02 (Б156) и на металлической связке М2-01 (М1), при концентрации 100 и 150 %.

Применение существующего заточного оборудования и использование алмазных кругов позволяет обеспечить качество затачиваемого твердосплавного инструмента: шероховатость шлифованных поверхностей режущего клина $Ra = 1,25\text{--}0,63$ мкм, радиус округления лезвия $\rho = 5\text{--}15$ мкм, а применение СОЖ при затачивании позволяет практически избежать появления трещин и прижогов [3].

Немаловажную роль при алмазном затачивании играет направление вращения шлифовального круга относительно обрабатываемой режущей кромки. При затачивании твердосплавных инструментов различают две схемы затачивания: первая – вращение шлифовального круга на режущую кромку (рис. 1, а); вторая – вращение шлифовального круга от режущей кромки (рис. 1, б).

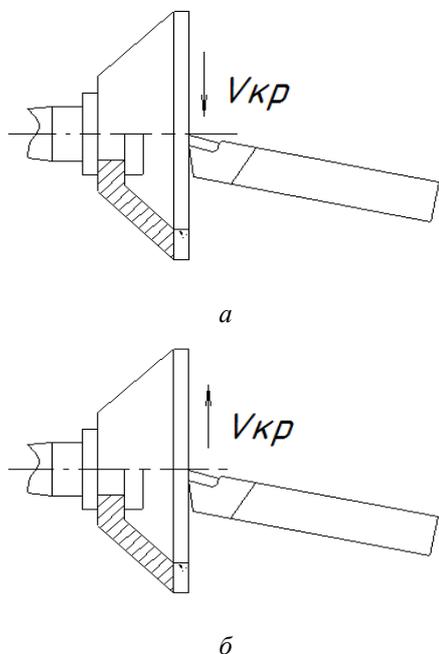


Рис. 1. Схемы затачивания режущего инструмента

В зависимости от направления вращения шлифовального круга микросколы и трещины имеют различные размеры. Микросколы и тре-

щины на лезвии возникают также из-за ударных нагрузок, являющиеся результатом нежесткой системы, биения шлифовального круга и температурных воздействий, имеющих пульсирующий характер. От этого дефекта избавиться очень сложно, так как независимо от метода правки, шлифовальный круг всегда имеет биение по цилиндрической и торцовой части. Также в процессе работы шлифовальный круг самозатачивается или засаливается, и в зависимости от его характеристик и режимов обработки может приобрести еще большее биение.

По экспериментальным данным [4] при затачивании твердосплавного инструмента кругом АЧК 125×10×3-АСО10-Б1-50 (при $V_{\text{кр}} = 30$ м/с, $S_{\text{прод}} = 1,5$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 0,01$ мм/дв. ход, сплав Т15К6, без охлаждения) наблюдаются большие сколы на лезвии, их величина, для первой схемы затачивания, составляет 5 мкм, а для второй – 12 мкм.

На рис. 2 показано лезвие твердосплавного инструмента, полученное при $V_{\text{кр}} = 25\text{--}30$ м/с, $S_{\text{прод}} = 1\text{--}3$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 0,01\text{--}0,02$ мм/дв. ход различными шлифовальными кругами.

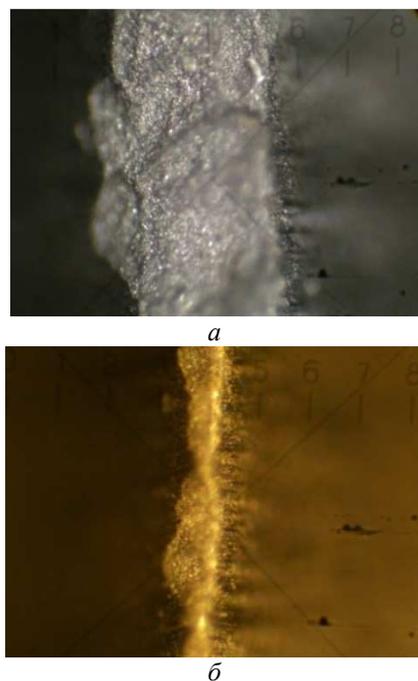


Рис. 2. Лезвие, полученное различными шлифовальными кругами:
а – 63С25СМ15К3;
б – АСР100/80 100% Б156, ×130

В настоящее время затачивание твердосплавного инструмента осуществляется алмазными кругами марок АС2, АС4, АС6, при $V_{\text{кр}} = 20\text{--}25$ (м/с), $S_{\text{прод}} = 1\text{--}12$ м/мин, $S_{\text{поп}} =$

= 0,01–0,05 мм/дв. ход. При затачивании твердосплавного металлорежущего инструмента применяют, как правило, несколько операций обработки, к которым относятся:

- черновая (обдирочная) операция, осуществляется кругами из карбида кремния зеленого или крупнозернистыми алмазными кругами;
- чистовая операция, осуществляется алмазными кругами средней зернистости;
- доводочная операция, осуществляется мелкозернистыми алмазными кругами или алмазными пастами.

В производственных условиях затачиванием крупнозернистыми кругами на заводах получают шероховатость передней и задней поверхностей режущего клина $R_a = 2,5–0,63$ мкм, в лабораторных условиях на точных станках с хорошо подготовленными кругами и при длительном выхаживании достигается $R_a = 0,32–0,08$ мкм. Можно использовать для затачивания инструмента мелкозернистые шлифовальные круги при малых глубинах шлифования и малых продольных подачах, но это не избавит от наличия образования сколов и трещин. При этом скоростной режим большинства заточных станков находится в одном диапазоне ($V_{кр} = 15–35$ м/с).

Также для получения высококачественного лезвия металлорежущего инструмента используют доводку пастами, что позволяет получить точность размеров и геометрической формы детали в пределах 3–5 мкм и шероховатость обработанной поверхности $R_a = 0,32–0,08$ мкм, но этот процесс не производителен и полностью зависит от навыка рабочего.

Для оптимизации режимов резания по производительности и удельному расходу алмазов целесообразно разделить процесс шлифования на два периода – период врезания и установившийся период. Кроме того, для определения оптимальных условий эксплуатации алмазных кругов необходимо знать механизм их износа, который меняется в зависимости от доминирования того или иного фактора. Анализ и исследование факторов при алмазном затачивании СТП показал, что выявление закономерности изменения среднего контактного давления позволяет принимать обоснованные решения по выбору схемы и режимов обработки [1, 2].

При установившемся периоде среднее контактное давление и производительность шлифования тесно связаны с мощностью привода станка. В период врезания, вследствие уменьшения площади контакта, среднее контактное давление практически всегда значительно выше

оптимальных значений, что приводит к появлению зоны интенсивного износа рабочей поверхности алмазного круга в результате разрушения связки.

Таким образом, возникла необходимость в разработке специализированного оборудования, предназначенного для алмазного затачивания СТП с высокой производительностью при минимальном расходе алмазного шлифовального инструмента.

Большая эффективность от применения алмазных кругов достигается только при выполнении требований их рациональной эксплуатации. Алмазное затачивание сменных твердосплавных пластин (СТП) должно осуществляться на станках, характеризующихся достаточной точностью, жесткостью и виброустойчивостью. Станки должны отвечать следующим техническим требованиям.

- Радиальное биение шпинделя не должно превышать 6–8 мкм, а осевое – 5–6 мкм.
- Станки должны быть виброустойчивыми и иметь жесткость в пределах 800–900 кг/мм.
- Диапазон чисел оборотов шпинделя должен обеспечить скорость резания при шлифовании в пределах 20–40 м/с.
- Механизм поперечной подачи должен обеспечить подачи до 0,005–0,05 мм/об.
- Станки должны иметь систему охлаждения, особенно необходимую при глубинном шлифовании.

Таким требованиям отвечают практически все круглошлифовальные станки.

Схема для глубинного шлифования сменных твердосплавных пластин может быть реализована по схеме ротационного затачивания поверхности (рис. 3).

Данная схема позволяет осуществлять процесс шлифования без вывода сменной твердосплавной пластины за пределы рабочей поверхности алмазного круга, тем самым исключая пульсацию среднего контактного давления, возникающего в период врезания.

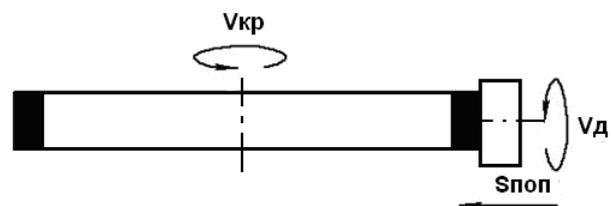


Рис. 3. Схема ротационной заточки поверхности

Вращательное движение сменной твердосплавной пластины позволяет производить равномерное охлаждение обрабатываемой поверхности, исключая появление прижогов.

Для реализации данной схемы была разработана принципиальная кинематическая схема специального шлифовального станка, которая включает в себя все необходимые движения формообразования и установочные движения. Сущность конструкции поясняется на рис. 4, где показана кинематическая схема станка.

На станине 1 установлена шлифовальная бабка 2 и нижний стол 3 с возможностью продольного перемещения по направляющим станины на длину, соответствующую установочной длине шлифования. На нижнем столе 3 установлен поворотный стол 4, к верхним поверхностям которого крепится с возможностью переустановки установочное приспособление 5, причем станок снабжен винтовым механизмом 6 регулировки положения поворотного стола.

Установочное приспособление имеет универсальную делительную головку 7, соединенную с помощью клиноременной передачи 8 с асинхронным электродвигателем переменного тока 9. В универсальную делительную головку 7 установлена пиноль 10, применяемая для закрепления оправки 11, предназначенной для установки обрабатываемой детали 12.

Для обеспечения интенсивного подвода СОЖ в зону резания, необходимой для снижения теплонапряженности процесса глубинного алмазного шлифования, корпус шлифовальной бабки 2 снабжен системой кожухов 13, герметично закрывающих зону шлифования.

Механизм продольных подач 14 имеет ручное управление, исполнительные элементы 15, 16 и 17 представляют собой реечную передачу.

Механизм поперечных подач 18 имеет ручное управление, исполнительные элементы 19, 20 и 21 представляют собой винтовую передачу.

Кинематическая схема была реализована на базе круглошлифовального станка модели 3А110. Данный станок был выбран исходя из следующих соображений: обеспечивает кинематические движения, необходимые для осуществления процесса шлифования; конструкция станка предусматривает использование смазочно-охлаждающей жидкости; имеется возможность установки специального приспособления для закрепления обрабатываемой сменной твердосплавной пластины.

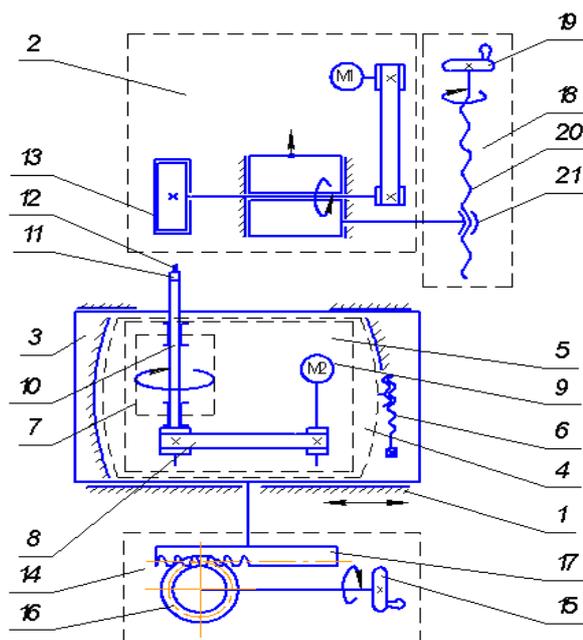


Рис. 4. Принципиальная кинематическая схема специального шлифовального станка

Модернизация заключалась в увеличении жесткости узла шпинделя, модернизации системы подачи и отвода СОЖ из зоны обработки, изменения конфигурации рабочей поверхности стола и проектирования бабки изделия.

С целью обеспечения необходимого крутящего момента на конце шпинделя станка мощность электродвигателя привода главного движения повышена с 2 до 4 кВт и заменены шкивы под ремни профиля «В».

Для установки и закрепления затачиваемого инструмента обычно используют приспособления, входящие в комплект универсально-заточных станков. На базе универсальной делительной головки (УДГ) было разработано установочное приспособление, более отвечающее конкретным производственным условиям и требованиям затачивания и доводки режущего инструмента алмазными кругами. Оно состоит из УДГ, электродвигателя переменного тока (для обеспечения вращения вала УДГ), набором шкивов (для обеспечения заданной частоты вращения), двух конусов закрепленных в УДГ (для направления и фиксации оправки) и оправки для установки и закрепления детали. Конструкция оправки предусматривает возможность смены насадок, тем самым обеспечивая затачивание СТП различного типоразмера по передней и задней поверхностям.

Для установки и крепления алмазных кругов применяются оправки, фланцы и удлинители.

В данном станке алмазные круги устанавливаются на оправках по скользящей посадке 2-го класса точности. Поверхность контакта конического отверстия фланца со шпинделем шлифовальной головки должна составлять не менее 80 %.

Данную схему шлифования целесообразнее использовать для получения поверхности СТП преимущественно коноидальной формы. Для получения плоской поверхности с минимальными затратами на шлифовальный инструмент и обеспечения достаточной производительностью, необходимо изменить форму рабочей поверхности круга – заменить алмазный круг прямого профиля на алмазный круг чашечный или тарельчатый, алмазоносный слой, у которого находится на торце круга.

Испытания модернизированного станка показали, что производительность алмазного шлифования СТП повысилась в 5 раз (интенсивность съема до 5 г/мин), а расход алмазоносного слоя сократился в 5 раз (удельный расход алмазов – до 0,16 мг/г).

Средний расход круга и производительность на операциях затачивания и шлифования СТП для базового и предлагаемого технологических процессов приведены в таблице.

Затраты на алмазные круги можно определить по расходу алмазоносного слоя на шлифование определенного объема твердого сплава. Зная израсходованный объем алмазоносного слоя круга, можно определить удельный расход алмазов. Именно этот показатель принят как основной. Количество твердого сплава, которое срезается со СТП на операции, можно определить по объему, или удельному весу твердого сплава (определяется по справочным данным в зависимости от марки твердого сплава). Для усредненных расчетов удельный вес твердого сплава можно принять 14,5 г/см³.

Удельный расход алмазов на различных операциях шлифования и затачивания СТП показан на рис. 5. Зависимости получены в результате обработки данных при затачивании более 6000 штук СТП. Расход алмазоносного слоя определялся по полному износу нескольких кругов на операции при обработке крупной партии пластин (от 500 до 2000 шт.), а вес сошлифованной части – взвешиванием нескольких десятков или сотен пластин до операции и после. Кроме того, для исключения существенной погрешности при взвешивании производился расчет объема и веса снимаемого припуска на операции.

| Операция | Базовый технологический процесс | | Предлагаемый технологический процесс | |
|---|---------------------------------|-------------|--------------------------------------|---------|
| | Q, шт/смен | q, мг/г (≤) | Q, шт/смен | q, мг/г |
| Доводка опорной поверхности | 600 | 6 | 600 | 6 |
| Шлифование передней поверхности предварительное | 50 | 20 | 180 | 0,16 |
| Шлифование передней поверхности окончательное | 200 | 20 | 500 | 0,3 |
| Шлифование главной задней поверхности предварительное | 90 | 20 | 320 | 0,16 |
| Шлифование главной задней поверхности окончательное | 200 | 20 | 600 | 0,3 |
| Шлифование вспомогательной задней поверхности | 20 | 20 | 70 | 0,16 |
| Шлифование фасок | 60 | 30 | 60 | до 30 |
| Затачивание радиуса | 360 | 15 | 360 | до 15 |
| Затачивание отрицательной фаски | 600 | 20 | 600 | 20 |

Стоимость израсходованного на операции алмазоносного слоя инструмента определяется по таблице с учетом предварительной оценки величины износа партии пластин и геометрических параметров режущей части, а также текущей стоимости алмазных кругов и потерь алмазоносного слоя на необходимую в некоторых случаях подготовительную правку с целью придания кругу нужной формы. Необходимость правки возникает обычно при использовании имеющихся в наличии кругов с неподходящей на операцию формой.

Использование данной технологии позволяет осуществлять процесс алмазного шлифования сменных твердосплавных пластин с высокой производительностью (интенсивность съема до 5 г/мин), и минимальным расходом алмазоносного слоя (удельный расход алмазов до 0,16 мг/г).

Установлен интервал среднего контактного давления (1,5–3,0 МПа) при алмазном шлифо-

вании кругами на органической связке, при котором обеспечивается максимальная производительность и минимальный удельный расход алмазов.

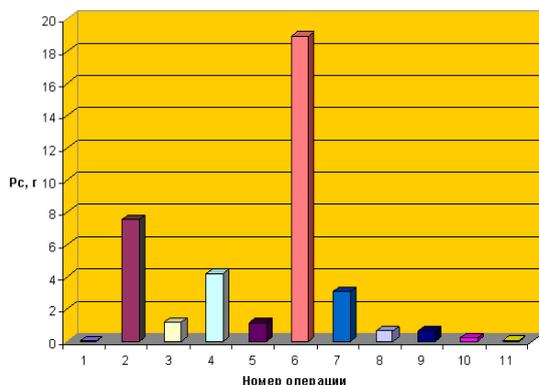


Рис. 5. Масса твердого сплава (P_c), снимаемого на операциях шлифования СТП типа LNUX301940: 1 – доводка опорной поверхности; 2 – шлифование передней поверхности предварительное; 3 – шлифование передней поверхности окончательное; 4 – шлифование главной задней поверхности предварительное; 5 – шлифование главной задней поверхности окончательное; 6 – шлифование вспомогательной поверхности; 7, 8 и 9 – шлифование фасок; 10 – затачивание радиуса; 11 – затачивание отрицательной фаски

Получены патенты: Конструкция шлифовального станка [пат. 55665 РФ, МПК В24Д 17 / 00 – № 2006111080 / 22], приспособления для наружного шлифования [пат. 58062 РФ, МПК В23Q 11 / 00 – № 2006120970 / 22] и способ шлифования плоских поверхностей [пат. 2359804 РФ, МПК В24В 7 / 00 – № 2007119523 / 02].

Таким образом, экономический эффект от внедрения в технологический процесс специального шлифовального станка позволяет повысить экономическую эффективность алмазного шлифования сменных твердосплавных пластин практически в три раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маслов В. Н.** Теория шлифования материалов / В. Н. Маслов. М.: 1974. 320 с.
2. **Комиссаржевская В. Н., Лурье М. З.** Высокпроизводительное шлифование. М., 1976. 32 с.
3. **Палей М. М.** Технология шлифования и заточки режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1988. 288 с.
4. **Розно Н. А.** Синтетические алмазы в обработке металлов и стекла. М.: Машиностроение, 1968. 256 с.

ОБ АВТОРАХ

Попов Андрей Юрьевич, проф., зав. каф. металло-режущих станков и инструментов Омск. гос. техн. ун-та. Д-р техн. наук. Иссл. в обл. реновации твердосплавных инструментов.

Реченко Денис Сергеевич, ст. преп. той же каф., канд. техн. наук. Иссл. в обл. сверхскоростного алмазного шлифования твердосплавных изделий.

Васильев Евгений Владимирович, доц. той же каф., канд. техн. наук. Иссл. в обл. алмазного шлифования твердосплавных изделий.

Сергеев Владимир Сергеевич, доц. той же каф., канд. техн. наук. Иссл. в обл. динамических процессов в станках.

Кольцов Александр Германович, доц. той же каф., канд. техн. наук. Иссл. в обл. динамики и точности технологического оборудования.