

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Дитиненко С.А., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

Дана характеристика разработанной эффективной технологии финишной обработки твердосплавных изделий

Изделия из твердых сплавов цилиндрической формы широко применяются в машиностроении. Это втулки, инструменты для обработки материалов давлением и резанием (рейберы и т.д.). Широко используются специальные твердосплавные режущие инструменты, в особенности в авиационном производстве при изготовлении ответственных агрегатов и деталей из труднообрабатываемых материалов. Они отличаются от обычных (ГОСТовских) инструментов как конструктивным, так и технологическим исполнением. Как правило, имеют более сложную геометрическую форму рабочей (режущей) части, а требования к точности и шероховатости обработки рабочих поверхностей значительно выше. Например, шероховатость обработки наружных цилиндрических поверхностей специальных твердосплавных инструментов находится на уровне $R_a = 0,1$ мкм, тогда как согласно действующим технологическим процессам обработки обычных многолезвийных твердосплавных инструментов шероховатость обработки больше 0,3 мкм.

Высокие требования к качеству обработки специальных твердосплавных инструментов усложняют технологический процесс их изготовления. В особой мере это относится к операциям круглого наружного шлифования, где стоит задача съема достаточно больших припусков (например, при обработке последней ступени многоступенчатого твердосплавного зенкера – до 10 мм) и одновременно обеспечения высоких требований по шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей.

Как показывает опыт, решить данную задачу в рамках выполнения одной технологической операции – круглого наружного шлифования – не удастся. Для обеспечения высоких требований по качеству обработки приходится вводить дополнительные операции доводки свободным абразивом, которые характеризуются большой длительностью обработки и снижают эффективность технологических процессов изготовления указанных инструментов. Так, продолжительность операций круглого наружного шлифования составляет 1...5 мин при съеме припуска до 2 мм, а продолжительность операции доводки цилиндрических поверхностей твердосплавных режущих инструментов (с использованием алмазных паст) при съеме припуска 0,02 мм – от 3 до 12 мин и более. Операции доводки цилиндрических поверхностей инструментов осуществляются на доводочных бабках.

Поскольку операции доводки достаточно продолжительны, чрезвычайно актуальны задачи снижения трудоемкости этих операций, а в лучшем случае – исключение их из технологических процессов обработки инструментов. Однако в этом случае необходимо обеспечить высокие требования по качеству обработки на операциях круглого наружного шлифования, что, к сожалению, явля-

ется трудноразрешимой задачей. Учитывая важность и актуальность данной задачи, рассмотрим наиболее перспективные пути ее решения.

Традиционно операции предварительного круглого наружного шлифования твердосплавных многолезвийных инструментов выполняются с применением абразивных кругов и, как правило, с высокой производительностью обработки. Стремление форсировать режимы шлифования при съеме больших припусков приводит к снижению качества обработки – появлению на обрабатываемых поверхностях трещин, сколов и других дефектов шлифования. Удалить эти дефекты на последующих операциях чистового шлифования и доводки весьма сложно, поскольку требуется удалить относительно большие припуски, не свойственные для этих операций, что в целом снижает производительность обработки.

С целью повышения эффективности технологических операций предварительного круглого наружного шлифования на практике взамен обычных абразивных кругов используются алмазные круги. В силу высокой остроты режущих кромок алмазных зерен, эти круги позволяют уменьшить силу и температуру резания, практически исключают образование шлифовальных дефектов на обработанных поверхностях, улучшают показатели точности и шероховатости обработки. Несомненно, это повышает эффективность обработки, позволяет уменьшить припуски, оставляемые на последующие операции доводки, и снижает трудоемкость самих операций доводки.

Нами проводились предварительные экспериментальные исследования с целью обеспечения требований по шероховатости обработки при сохранении достаточно высокой производительности на операции круглого наружного шлифования специальных многолезвийных инструментов (с использованием алмазных кругов) за счет оптимизации режимов шлифования и характеристик алмазных кругов. Однако положительных результатов получить не удалось. При высокопроизводительном шлифовании алмазными кругами на металлических связках параметр шероховатости обработки R_a уменьшался лишь до уровня 0,5 мкм, чего естественно не достаточно для решения задачи. Снижение зернистости алмазного круга также не решает задачи, т.к. при этом происходит снижение производительности обработки. Следовательно, решение данной задачи требует новых подходов.

Важным резервом в этом направлении следует рассматривать управление параметрами режущего рельефа алмазного круга на металлической связке (с использованием эффективных методов его электроэрозионной и электрохимической правки), создание на рабочей поверхности алмазного круга оптимального режущего рельефа и т.д.

Следует отметить, что по производительности обработки в большинстве случаев алмазные круги уступают абразивным кругам, главным образом, в связи с высоким расходом алмаза и соответственно высокой технологической себестоимостью обработки (расходы на приобретение необходимого количества алмазных кругов для обработки партии инструментов превышают расходы на приобретение абразивных кругов). Это относится как к алмазным кругам на органических связках, так и к алмазным кругам на более прочных металлических

связках. Последние характеризуются более высокой износостойкостью, однако при шлифовании быстро теряют режущую способность по причине затупления и засаливания и требуют практически постоянной правки, в особенности при высокопроизводительном шлифовании.

Опытами установлено, что в процессе шлифования, в частности, при съеме относительно больших припусков (до 2-х мм и более) возникают значительные упругие деформации в технологической системе в связи с недостаточно жестким креплением обрабатываемых твердосплавных инструментов на станке. Это увеличивает время, затрачиваемое на выхаживание (шлифование с отключенной поперечной подачей станка), и соответственно время на выполнение операции круглого наружного шлифования. Причем, время, затрачиваемое на выхаживание, может в несколько раз превышать время шлифования. Это требует, во-первых, разработки более эффективных конструкций крепления обрабатываемых инструментов на круглошлифовальном станке, во-вторых, разработки и применения оптимальных циклов шлифования с целью снижения отрицательной роли упругих перемещений в технологической системе в формировании параметров шлифования.

На основе проведенного анализа можно заключить, что задачи повышения эффективности технологических операций круглого наружного алмазного шлифования специальных твердосплавных инструментов весьма актуальны в связи с высокой трудоемкостью обеспечения требований по точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей в условиях съема больших припусков и низкой жесткости крепления обрабатываемых инструментов на станке. Как отмечалось выше, эффективным решением может быть обеспечение требований по точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей (заданных чертежом) уже на операции круглого наружного алмазного шлифования. Тогда отпадет необходимость применения трудоемких операций доводки или в худшем случае – снизится их трудоемкость, что позволит в целом повысить эффективность технологического процесса обработки инструмента.

Исходя из этого, нами создан эффективный технологический процесс финишной обработки цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий, базирующийся на следующих новых научных результатах [1–4]:

1. Разработаны аналитические модели производительности и основного времени переходов операции круглого наружного продольного алмазного шлифования, включающей черновое шлифование и выхаживание, и аналитическая модель величины упругого перемещения в технологической системе, возникающего на каждом переходе операции шлифования. На их основе проведена оптимизация структуры и параметров рассматриваемой операции шлифования по критерию наибольшей производительности обработки с учетом ограничения по точности обработки, позволившая установить оптимальное соотношение припусков, удаляемых на каждом переходе операции шлифования. Теоретически доказано, что оптимальной по структуре является операция шлифования, включающая лишь переход выхаживания. Для ее реализации необходимо в начале обработки создать натяг в технологической системе, равный величине снимаемого припуска. Наиболее эффективной областью применения данного

технического решения являются технологические операции круглого наружного продольного шлифования с недостаточно жестким креплением обрабатываемого изделия на станке.

2. Теоретически установлено, что для осуществления оптимальной по структуре операции шлифования требуется обеспечить высокую режущую способность круга. Это достигается применением алмазных кругов на металлических связках с их электроэрозионной правкой. В процессе электроэрозионной правки необходимо обеспечить высокую остроту режущих зерен и их увеличенное выступание над уровнем связки алмазного круга, что позволит увеличить толщины срезов отдельными зернами и соответственно производительность обработки. Теоретически и экспериментально установлено, что при невыполнении данных условий производительность обработки уменьшается, и операция шлифования должна включать как переход выхаживания, так и переход черного шлифования. Чем ниже режущая способность алмазного круга, тем больше длительность черного шлифования и больше удаляемый при этом припуск.

3. Разработаны новые инженерные методики расчета оптимальных параметров операций круглого наружного продольного алмазного многопроходного и глубинного шлифования: длительности операций и их переходов; величин припусков, снимаемых на каждом переходе в зависимости от требований по точности обработки (определяемой величиной упругого перемещения в технологической системе) и параметров, определяющих режущую способность алмазного круга.

4. Разработана аналитическая модель силы резания при круглом наружном продольном алмазном шлифовании по жесткой и упругой схемам с фиксированным радиальным и тангенциальным усилием. Теоретически обоснованы условия, при которых затупление режущих зерен в меньшей мере влияет на увеличение силы резания при заданной производительности обработки. Показана эффективность применения в этом направлении упругой схемы круглого наружного шлифования с фиксированным тангенциальным усилием.

5. Теоретически показано существование трех принципиальных схем формирования шероховатости поверхности при шлифовании, обусловленных кинематикой движения обрабатываемой поверхности по отношению к рабочей поверхности шлифовального круга: в радиальном, тангенциальном и продольном (со стороны торцевой поверхности круга) направлениях. Теоретически установлено, что наибольшее число зерен участвует в формировании шероховатости обрабатываемой поверхности при шлифовании по третьей схеме, а наименьшее – при шлифовании по первой схеме. В результате наименьшая шероховатость поверхности достигается при шлифовании по третьей схеме, а наибольшее – при шлифовании по первой схеме. Вторая схема (включающая плоское, круглое наружное и внутреннее шлифование) занимает промежуточное положение.

6. Разработана новая аналитическая модель формирования шероховатости цилиндрических поверхностей при круглом наружном алмазном шлифовании с учетом разновысотного выступания режущих зерен над уровнем связки круга и

вероятностного характера участия зерен в резании. Установлено, что учет разновысотного выступания режущих зерен над уровнем связки круга приводит к заниженным (в пределах 20%), а учет вероятностного характера участия зерен в резании – к завышенным (в пределах 27%) значениям шероховатости (по отношению к экспериментальным данным).

7. Теоретически и экспериментально обосновано основное направление уменьшения шероховатости цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий при круглом наружном алмазном шлифовании, состоящее в обеспечении примерно разновысотного выступания режущих зерен над уровнем связки круга и образовании на них значительных площадок износа путем выполнения технологических операций электроэрозионной правки алмазного круга на металлической связке и его обтачивания алмазным правящим карандашом. Экспериментально установлено, что при этом параметр шероховатости R_a уменьшается с 2,0 до 0,1-0,2 мкм, т.е. в 10-20 раз. Это открывает новые технологические возможности прецизионной алмазной обработки цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий.

8. Экспериментально установлено, что алмазные круги на металлических связках М1-01 и М1-10 после их электроэрозионной правки и обтачивания алмазным правящим карандашом обладают достаточно высокой режущей способностью и могут длительное время работать в режиме самозатачивания. При этом, с течением времени шлифования шероховатость обработанной поверхности несколько увеличивается – в большей степени при шлифовании алмазным кругом на металлической связке М1-01 и в меньшей степени при шлифовании алмазным кругом на более прочной металлической связке М1-10.

9. Проведено сравнение технологических параметров операций круглого наружного алмазного шлифования алмазным кругом на металлической связке после его электроэрозионной правки и после его обтачивания алмазным правящим карандашом. Установлено, что во втором случае производительность обработки в 2 раза, а шероховатость обработки в 10-20 раз меньше, чем в первом случае при заданной точности обработки. Мощность шлифования при этом увеличилась всего в 2 раза. Это позволяет эффективно совместить предварительное и окончательное шлифование в одну операцию с обеспечением высоких показателей шероховатости, точности и производительности обработки, не требующим применения последующей трудоемкой операции доводки.

10. Показано, что по критериям наибольшей производительности и наименьшей технологической себестоимости обработки более эффективным является вариант технологического процесса, включающий лишь операцию круглого наружного шлифования алмазным кругом на металлической связке после его электроэрозионной правки и обтачивания алмазным правящим карандашом, обеспечивающий выполнение высоких требований по шероховатости и точности обработки.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан эффективный технологический процесс финишной обработки цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий, который обеспечивает повышение производительности и снижение технологической себестоимости

при выполнении высоких требований по качеству обработки (параметр шероховатости $R_a = 0,1$ мкм) на операции круглого наружного продольного шлифования алмазным кругом на металлической связке. Это позволяет в ряде случаев исключить последующую трудоемкую операцию доводки свободным абразивом (алмазной пастой) из технологического процесса, а в ряде случаев снизить ее трудоемкость, что в целом в несколько раз повышает производительность технологического процесса обработки. Разработанный эффективный технологический процесс финишной обработки цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий алмазными кругами на металлических связках внедрен на Харьковском машиностроительном заводе “ФЭД” с экономическим эффектом 87,0 тыс. гривен в год.

Литература: 1. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Оптимизация структуры и параметров операции круглого наружного алмазного шлифования твердосплавных поверхностей // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – Вип. 2(9). С. 155-160. 2. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Повышение качества обработки при круглом наружном алмазном шлифовании специальных твердосплавных инструментов // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2004. – Вып. 67. С. 74-85. 3. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Технология и теория прецизионной обработки твердосплавных инструментов алмазными кругами на металлических связках // Труды 8-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. – С. 34-39. 4. Дитиненко С.А., Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии прецизионной обработки твердосплавных цилиндрических поверхностей // Труды 9-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2004. – С. 7-11.