

ПОДГОТОВКА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье представлены результаты исследования стойкости режущего инструмента, заточенного различными методами. Установлено, что инструменты заточенные комбинированным электроалмазным методом имеют наилучшие показатели по качеству, стойкости и коэффициенту вариации. Такой инструмент можно рекомендовать в автоматизированном производстве на станках с ЧПУ, автоматических и поточных линиях.

Ключевые слова: режущий инструмент, технология затачивания, автоматизированное производство, стойкость, дефектный слой, комбинированная обработка, качество инструмента.

Основное требование, предъявляемое к режущим инструментам, работающим в условиях гибких автоматизированных производств, состоит в высокой надежности их работы с низким коэффициентом вариации, что может быть обеспечено лишь при условии стабильности на определенном уровне группы параметров, определяющих качество инструмента [1].

Следует отметить, что до сих пор одной из технологий затачивания твердосплавного режущего инструмента является затачивание «КЗ» с последующей доводкой алмазными кругами на органической связке. Как показали экспериментальные данные качество такого инструмента весьма низкое. На режущей кромке преобладают дефекты механического происхождения, которые не могут быть исправлены даже финишными операциями. Поэтому нами предпринята попытка обеспечения качества режущего инструмента, отвечающего требованиям ГАП и других интегральных систем. Исследованы различные электрохимические методы в оптимальных режимах затачивания с целью получения высокой стойкости инструмента и надежной его эксплуатации.

В качестве исследуемых методов принят комбинированный электроалмазный метод (работа с непрерывной электрохимической правкой и одновременным разупрочнением поверхности срезаемого слоя) и его разновидности [2, 3].

- работа с непрерывной правкой круга;
- работа в электрохимическом режиме;
- работа по совмещенным схемам резания.

Комплексные исследования операции затачивания, выполненные по схеме, изображенной на рис.1, показали, что все исследованные варианты электрохимического алмазного шлифования выгодно отличаются друг от друга, причем каждый из них имеет свою специфику.

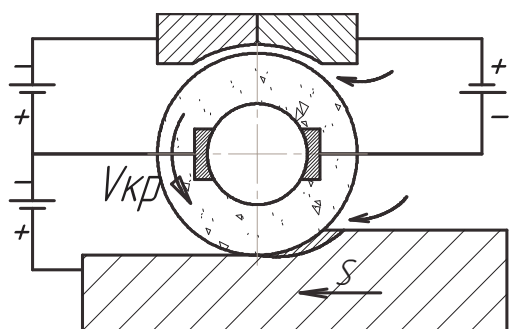


Рис.1. Принципиальная схема комбинированной обработки с дополнительным катодным осаждением химических элементов на поверхности шлифовального круга (патент РФ № 2239525)

Так, при работе с непрерывной правкой круга поверхностный слой алмазного круга находится в хорошем состоянии, однако, в силу чисто механического резания на инструменте преобладают дефекты механической природы, которые даже при незначительных размерах серьезно сказываются на стойкости заточенного инструмента и его коэффициенте вариации.

Наличие высоких режущих свойств алмазного слоя, а также присутствие электролита существенно улучшают обстановку, снижают размеры дефектного слоя (вырывы, сколы и т.д.). Здесь электролит и продукты его разложения экранируют (разделяют) контактирующие поверхности, снижая при этом и плотность энергии в граничных слоях. Тем не менее, чисто механическое резание и большое сопротивление срезу неразупрочненного твердого сплава отрицательно сказываются на результатах процесса затачивания. При этом наряду с механическими разрушениями наблюдаются и структурные превращения, проявляющиеся в росте зерен, вследствие локальной вторичной рекристаллизации. Заметна и роль адгезионно-диффузионных процессов, приводящих к переконцентрации углерода в приповерхностном слое обработанной поверхности [2]. Однако механизм этого явления отличается от аналогичного, наблюдаемого при затачивании всухую и требует дальнейших исследований. Характерный вид таких дефектов показан на рис. 2, а, б.

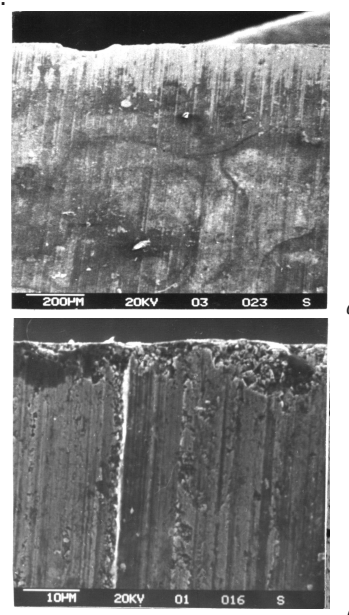


Рис. 2. Виды дефектов механической природы вблизи режущей кромки
а – микротрещины на заточенной поверхности;
б – сколы со стороны передней поверхности

* — автор, с которым следует вести переписку.

Затачивание электрохимическим методом осуществляется в более благоприятных условиях, что связано с разупрочнением поверхностного слоя, существенно снижающем сопротивление резанию. Заметим, что, как отмечают авторы [3, 4, 5], при этом методе электрохимические процессы активно развиваются и на поверхности алмазонального слоя, ослабляя при этом связь алмазных зерен со связкой круга, что требует его дополнительной частичной правки.

Обработка в электрохимическом режиме не эффективна по ряду параметров. Прежде всего, из-за потери работоспособности круга в результате вырыва алмазных зерен и большой пластической деформации поверхностного слоя обрабатываемого инструмента. Стойкость инструмента заточенного этим методом весьма низкая. На контактных поверхностях инструмента присутствуют дефекты электрохимического происхождения в виде растравливания заточенной и прилегающих к ней поверхностей (рис. 3).

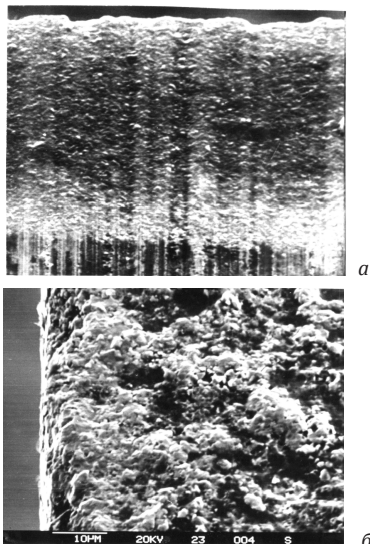


Рис. 3. Виды дефектов электрохимической природы вблизи режущей кромки
 а – со стороны передней поверхности
 б – со стороны задней заточенной поверхности

На этот факт, но по отношению только к заточенной поверхности, указывается в работах [5, 6], где отмечается растворение кобальта в тончайшем поверхностном слое, соизмеримом с размерами карбидных зерен.

Несомненно, весьма важным для формирования качества инструмента является растворение кобальта со стороны передней поверхности. Протяженность растравленного слоя, установленная многочисленными экспериментами, доходит до 2...3 мм и соизмерима с длиной контакта стружки при резании большинства обрабатываемых материалов, и сказывается на стойкости этого инструмента. Результатам спектрального и рентгеновского анализа установлены элементнофазовые и структурные изменения. В условиях анодного электрохимического травления наблюдаются и окислительные процессы [7], роль механических повреждений в которых существенно ниже, чем в предыдущих случаях (шлифование всухую и с правкой круга).

Перечисленные причины изменения исходного строения поверхностей инструментального материала и формируют дефектный слой.

Полученные данные позволяют более дифференцированно рассмотреть виды дефектов и на этой основе скорректировать и расширить ранее сформулированные показатели качества поверхностного слоя. Все возникающие в процессе шлифования дефекты можно разделить в соответствии с причинами, вызвавшими их появление, на четыре группы:

- механические повреждения;
- элементно-фазовые изменения, вызванные физико-химическими процессами и реакциями, не связанными с применением искусственной внешней среды (электролита) и пропусканием через зоны контакта электрического тока;
- растравливание поверхностей, обусловленное электрохимическими процессами;
- пластическая деформация.

Как показывают экспериментальные данные, к дефектам первой группы относятся разрушения режущей кромки и прилегающих к ней участков, видимые простым глазом. Сюда же относится сетка микротрещин и отдельные макротрещины. В целом эти повреждения столь значительны, что удаление их последующим выхаживанием а, тем более доводкой, связано с большими затратами или просто невозможно. Эти дефекты являются самыми опасными, несовместимыми с инструментом высокого качества. Поэтому при шлифовании следует избегать условий, при которых неизбежно появление макродефектов, или механических повреждений.

Дефекты второй группы практически неизбежны при затачивании любыми методами, поскольку неизбежен контакт круга с инструментом, при котором в граничном слое концентрируется энергия, достаточная для аномально быстрого протекания физико-химических процессов и реакций [7, 8]. Уровень, размеры и характер дефектов зависят от плотности энергии, следовательно, необходимо минимизировать основные источники образования энергии, а именно всемерно снижать работу резания, пластического деформирования, трения и т.д. В реальных, даже неблагоприятных условиях резания величина дефектных зон не превышает 100 мкм. Эта величина доступна для выхаживания или доводки. Но и в этом случае будет создан свой дефектный слой, но гораздо меньший.

Дефекты третьей группы (растравливание), несомненно, снижают качество режущего инструмента, поскольку они разупрочняют контактные поверхности и уменьшают износостойкость. Степень разупрочнения и размеры растравленных слоев зависят от механических и электрических режимов резания и, прежде всего, от последних. При рациональных условиях затачивания, несмотря на то, что длина растравленной зоны на передней поверхности весьма велика, глубина ее не превышает 10...12 мкм, а этот дефект легко поддается удалению притиркой или выхаживанием.

В то время как дефекты первой и четвертой групп чаще всего представляют опасность с точки зрения поломок инструмента, дефекты второй и

третьей групп могут привести лишь к более интенсивному начальному изнашиванию.

По принятым оценочным параметрам инструмент самого низкого качества получается при шлифовании алмазными кругами на металлической связке всухую. Вызвано это тем, что при данном процессе складывается наиболее тяжелая контактная обстановка как по силовым, так и по температурным и деформационным условиям. В результате наблюдаются явно выраженные дефекты на всех уровнях (макро-, микро-, субмикро-) с преобладанием микродефектов. Здесь особо велика роль таких явлений, как образование развитой сети глубоких трещин, чисто механических повреждений (выкрашивание, сколы, вырывы, навалы), которые крайне опасны при последующей эксплуатации инструментов.

Установлено, что при комбинированной обработке дефекты заточенного инструмента носят двойственный характер и проявляются с одной стороны (когда преобладает механическое резание) в виде сколов, вырывов и микротрещин, с другой — в виде электрохимического разупрочнения. Однако в том и другом случаях дефектные слои резко минимизированы. При комбинированной обработке существует взаимосвязь величины разупрочненной зоны с величиной поперечной и продольной подач и плотностью тока травления. В настоящее время проводятся исследования с целью разработки условий, при которых, какая бы величина снимаемого слоя разупрочнялась также и срезалась, а далее оставался целостным (нетронутым) слой в исходном состоянии. Именно это условие в большей степени обеспечивает качество и стабильность работы инструмента.

В целом качество инструмента находится в полной зависимости от электрических и механических режимов резания (прежде всего плотности тока травления и величины поперечной и продольной подач). Эксперименты, выполненные в этом направлении, показывают, что поле варьирования как электрических, так и механических режимов весьма ограничено. Это связано с тем, что уменьшение плотности тока травления приводит к засаливанию поверхностного слоя круга и полной потере его режущих свойств. В этих условиях во избежание сильных механических повреждений инструмента необходимо работать с малой поперечной подачей, что неизбежно скажется на производительности операции затачивания.

Попытка увеличения плотности тока травления, хотя и способствует более интенсивному разупрочнению обрабатываемой поверхности и частичному восстановлению режущих свойств круга, в то же время приводит к повышенному износу алмазов. Одновременно значительная часть растравленного слоя остается дефектной, что существенно снижает прочность инструмента. Уменьшение глубины этого слоя за счет увеличения поперечной и продольной подач в данном случае не приводит к положительным результатам, так как при этом ухудшаются условия резания за счет большей доли работы засаленным слоем, появляются механические дефекты инструмента.

Изменение соотношения плотности тока в двух независимых электрических цепях позволяет легко переходить от одного метода обработки к другому. Не вызывает сомнений то обстоятельство, что в комбинированном методе сочетаются достоинства различных электрохимических методов затачивания, а недостатки сведены к минимуму. И, что на базе выполненных исследований можно установить такие режимы правки, травления и резания, при которых весь срезаемый слой можно предварительно растравить, а затем полностью срезать его, разумеется, в пределах определенного допуска. Таковыми режимами являются:

- $V = 35$ м/с;
- $S = 1,5$ м/мин;
- $t = 0.03 \dots 0,04$ мм/дв.ход;
- $i_{mp} = 15 \dots 20$ а/см²;
- $i_{np} = 0,2 \dots 0,3$ А/см².

Для проверки влияния методов затачивания на стойкость инструмента, проведены стойкостные испытания твердосплавных резцов Т15К6, заточенных при различных режимах резания:

- $V = 35$ м/с;
- $S = 1,5$ м/мин;
- $t = 0,03$ мм/дв.ход.

Затачивание с непрерывной правкой круга осуществлялось при:

- $i_{np} = 0,4$ А/см²;
- в электрохимическом режиме — $i_{mp} = 40$ А/см²;
- по совмещенной схеме резания — $i_{np} = 0,3$ А/см²;
- $i_{mp} = 15$ А/см².

Каждая экспериментальная точка получена при 6, ..., 8 повторных замерах. Исследования, выполненные при точении стали 65Г без СОЖ на режимах: $V = 4$ м/с; $S = 0,15$ мм/об; $t = 1,0$ мм, показали, что самую высокую стойкость имеют резцы, заточенные комбинированным методом, меньшую — в электрохимическом режиме и с непрерывной правкой круга (рис. 4).

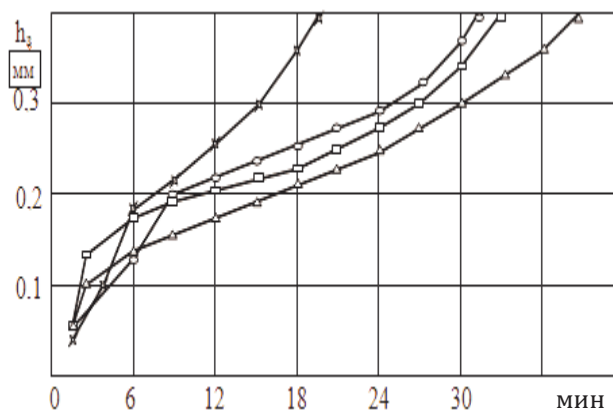


Рис. 4. Изнашивание резцов Т15К6, заточенных различными методами: —x— без СОЖ; —o— с непрерывной правкой круга; —□— электрохимическим методом; —△— комбинированным методом; точение стали 65Г: $V = 4$ м/с; $S = 0,15$ мм/об; $t = 1$ мм

Стойкость резцов, заточенных комбинированным методом, по отношению к заточенным без СОЖ, выше примерно в 2 раза. Наблюдаемое увеличение средней стойкости резцов, заточенных комбинированным методом, объясняется меньшим дефектным слоем и как следствие более высоким качеством резцов. Вид режущей кромки, заточенной этим методом, показан на рис. 5.



Рис. 4. Вид режущей кромки, заточенной комбинированным электроалмазным методом

Важно отметить, что характер изнашивания резцов, заточенных разными методами, весьма специфичен. Типичным для всех электрохимических методов является то, что резцы, заточенные в этих условиях, в начальный период работы изнашиваются более интенсивно, чем заточенные всухую. Однако затем (при $h_3 = 0,2$ мм) интенсивность изнашивания резцов, заточенных электроалмазными методами, заметно падает. После затачивания всухую, а иногда и с непрерывной правкой круга наблюдалось неожиданное разрушение резцов.

Расчеты среднего значения стойкости T резцов, заточенных комбинированным методом представлены, из 8 опытов:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} = \frac{296}{8} = 37 \text{ мин.}$$

Величина ее среднеквадратичного отклонения:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (T_i - \bar{T})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{296}{7}} \approx 6,5 \text{ мин.}$$

Коэффициент вариации равен:

$$V = \frac{S}{\bar{T}} = \frac{6,5}{37} = 0,18 \cdot$$

Коэффициент вариации стойкости резцов, заточенных в электрохимическом режиме и методом с непрерывной правкой круга, оказались примерно одинаковыми и равными $V = 0,25$. Таким образом, резцы, заточенные комбинированным методом, имеют стабильность и надежность в работе твердосплавного инструмента в 1,5 раза выше в сравнении с другими методами. Поэтому его можно рекомендовать для затачивания режущего инструмента, используемого на автоматических линиях и других гибких автоматизированных системах безлюдных производств [9].

Литература

1. Янюшкин, А. С. Технология комбинированного электроалмазного затачивания твердосплавных инструментов / А. С. Янюшкин. – М. : Машиностроение-1, 2003. – 242 с.
2. Янюшкин, А. С. Контактные процессы при электроалмазном шлифовании / А. С. Янюшкин, В. С. Шоркин. — М. : Машиностроение-1.- 2004. – 230 с.
3. Гордон, М. Б. Янюшкин А.С. Высокоэффективная электрохимическая обработка твердых сплавов в режиме самозатачивания алмазного круга и одновременного травления поверхности изделий / М. Б. Гордон, А. С. Янюшкин // Вестн. Машиностроения. — 1984. – № 3. – 78 с.
4. Гостев, В. В. Алмазно-электрохимическое шлифование твердых сплавов / В. В. Гостев. – Киев : Вища школа, 1974. – 124 с.
5. Попов, С. А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / С. А. Попов, Н. П. Малевский, Л. М. Терещенко. – М. : Машиностроение, 1977. – 263 с.
6. Электроалмазное шлифование инструментальных материалов / М. Ф. Семко [и др.]. – Киев : Вища школа, 1974. – 120 с.
7. Седыкин, Ф. В. Исследование химических и физических явлений, возникающих при алмазно-электрохимическом шлифовании / Ф. В. Седыкин, М. Я. Чмир // Сверхтвердые материалы. — 1983. – Вып. 4. – С. 40 — 44.
8. Гордон, М. Б. Роль физико-химических процессов при резании материалов / М. Б. Гордон // Теория трения, смазки и обрабатываемости металлов : сб. науч. тр. Чув. гос. ун-та. – Чебоксары, 1981. – С. 3-11.
9. Устройство для комбинированной электроалмазной обработки с непрерывной правкой круга : пат. 2239525 Рос. Федерация / А. С. Янюшкин [и др.] ; заявитель Брат. гос. тех. ун-т. — 2004. – 4 с. — Бюл. № 31.