

УДК 536.42:621.922.34

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

*канд. техн. наук О.О. СМИЛОВЕНКО, Ю.С. ХОТЕЙКИНА*  
(Институт механики и надежности машин НАН Беларуси, Минск),  
*канд. техн. наук А.А. ШМАТОВ*  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

*Анализ изменений структуры и свойств поверхностного слоя показал, что «критические» изменения структурно-напряженного состояния предшествуют началу катастрофического износа. Возникает задача устранения подобных изменений еще до начала ускоренного износа. Дополнительная обработка инструмента в процессе эксплуатации приводит к снижению остаточных напряжений и восстановлению характеристик поверхностного слоя.*

**Введение.** Анализ основных изменений структуры и свойств поверхностного слоя, происходящих в период эксплуатации инструмента, показал, что «критические» изменения структурно-напряженного состояния предшествуют началу катастрофического износа. Таким образом, возникает задача устранения подобных изменений еще до начала ускоренного износа. Для этой цели может быть использована дополнительная обработка инструмента в процессе эксплуатации, приводящая к снижению остаточных напряжений и восстановлению некоторых характеристик поверхностного слоя.

Рассматривая практические аспекты проблемы, представляется актуальным проведение дополнительной обработки на определенной стадии эксплуатации (в конце периода «нормального» износа, т.е. перед началом интенсивного износа). Однако техническая обоснованность «термического вмешательства» в процессе эксплуатации инструмента еще не означает ее экономическую целесообразность (определяется сопоставлением затрат и полученных преимуществ). Эти преимущества кроются в повышении общей долговечности инструмента и в роли той ее слагаемой, которая появляется в результате введения дополнительной технологической операции. В связи с этим представляет интерес вопрос о стойкости инструмента после выполненной операции. Эксперименты показали, что вклад такой обработки в повышение долговечности инструмента составляет 20...80 %.

Таким образом, введение операции межэксплуатационной обработки может рассматриваться как средство воздействия на структуру и свойства поверхностного слоя, ответственного за износостойкость инструмента.

Цель работы - исследование кинетики износа упрочненной методом низкотемпературной химической обработки (НХО) поверхности алмазного инструмента; исследование влияния многократного упрочнения инструмента в процессе эксплуатации на состояние его поверхностного слоя; выбор критериев оценки предельного состояния поверхности для проведения межэксплуатационной обработки.

*Обработка алмазного инструмента методом НХО.* Упрочняющее пленочное покрытие наносится методом низкотемпературной химической обработки на уже готовый алмазно-гальванический инструмент с целью повышения его работоспособности. Обработка в водной суспензии металлов с добавлением поверхностно-активных веществ и последующая термообработка на воздухе позволяют получить на всей поверхности связки и на границе алмаз - связка покрытие толщиной около 5... 10 мкм и способствуют перераспределению внутренних напряжений, возникающих в алмазосодержащем слое в процессе изготовления инструмента. Образовавшаяся титаново-молибденовая пленка снижает трение между связкой, обрабатываемой деталью и стружкой, что облегчает резание, возникновения напряжений сжатия в связке повышают алмазоудержание, а снижение напряженного состояния алмазных зерен уменьшает вероятность их разрушения при работе инструмента [1]. Такую обработку алмазного инструмента методом НХО можно назвать предварительной или предэксплуатационной. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что по состоянию алмазосодержащего слоя после двух часов непрерывной работы алмазная шлифовальная головка, изготовленная методом гальваностегии и упрочненная методом НХО перед началом эксплуатации, является работоспособной. Пленочное антифрикционное покрытие изношено почти полностью, следовательно, возможно продолжать обработку твердого сплава этим инструментом, но условия резания станут более тяжелыми.

Для того чтобы избежать такой ситуации и увеличить ресурс инструмента, предложено использовать технологию многократного упрочнения, т.е. упрочнение (нанесение пленки) производится периодически в течение всего срока работы инструмента до полной потери работоспособности. Что касается частоты упрочняющих циклов, то для каждого вида инструмента она должна быть определена особо, в зависимости от типоразмера инструмента, серийности производства и других факторов. Важно точно устано-

вить момент времени, когда наступает износ предварительно нанесенного пленочного покрытия, но состояние алмазосодержащего слоя является удовлетворительным и годным к продолжению работы.

Методы исследований предельного состояния алмазосодержащего слоя для проведения повторного упрочнения. На рис. 1 представлен участок поверхности упрочненной методом НХО шлифовальной головки. Практически вся поверхность никелевой связки между алмазными зернами покрыта пленкой. Имеется напыление упрочняющей пленки на алмазные зерна, чаще всего на граничных участках «алмаз - связка».

Участок поверхности шлифовальной головки, упрочненной методом НХО, отработавшей 120 минут на обработке твердого сплава ВК15 представлен на рис. 2. Видно, что на никелевой связке и на самих алмазных зернах сохранились только небольшие участки упрочняющей пленки, также различаются изношенные (с различной формой износа) алмазные зерна, хотя инструмент остался работоспособным, износа связки не наблюдается и режущих кромок еще достаточно для работы.

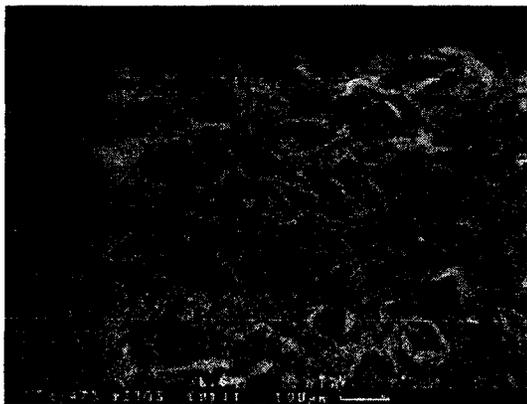


Рис. 1. Покрытие на поверхности алмазного гальванического инструмента  $\times 100$



Рис. 2. Микрорельеф поверхности упрочненной алмазной шлифовальной головки, изношенной при обработке твердого сплава  $\times 300$

Более детальный просмотр поверхности изношенной при обработке упрочненной шлифовальной головки позволил обнаружить области с различной степенью износа пленки. Практически не наблюдается вырывов алмазных зерен, отмечается наличие пленки как на металлической связке, так и остаточные напыления на кристаллах алмазов, которые, по всей видимости, не участвовали в процессе резания (кромка зерна ниже других и не достигала поверхности обрабатываемого образца твердого сплава).

Выявлено также определенное число затупившихся алмазных зерен с плоской площадкой износа. Увеличение числа таких зерен на поверхности предварительно упрочненной, а затем работавшей шлифовальной головки свидетельствует об увеличении сил алмазоудержания после упрочнения методом НХО [2]. На поверхности неупрочненной головки удельный вес таких зерен на единицу поверхности меньше, в то же время присутствует значительное количество лунок от вырванных алмазов. Целесообразно проводить повторное межэксплуатационное упрочнение алмазного инструмента при наличии в алмазосодержащем слое достаточного количества зерен с работоспособными режущими кромками.

*Исследование режущей способности алмазосодержащего слоя шлифголовок.* Предложена лабораторная методика определения работоспособности отработавших часть ресурса алмазных шлифовальных головок по суммарной площадке затупления на единицу площади алмазосодержащего слоя. Через равные промежутки времени обработки (30, 60, 90, 120, 150 мин и т.д.) работающая по твердому сплаву алмазная шлифовальная головка снималась со станка и помещалась под микроскоп. При увеличении отчетливо видно титано-молибденовое покрытие на связке, а также состояние отдельных алмазных зерен. Может быть подсчитано относительное количество работоспособных и изношенных или вырванных зерен на единицу поверхности алмазосодержащего слоя. Если количество годных зерен составляет 75...80 %, то инструмент подлежит повторному упрочнению методом низкотемпературной химической обработки. Такая процедура может быть повторена несколько раз в течение «жизни» шлифовальной головки, если контрольная операция дает положительный результат, т.е. имеется еще достаточное количество работоспособных алмазных зерен. Большое значение имеет в этом случае визуальный метод. Для опытной партии при контрольной операции может быть использован подсчет годных и потерявших режущие свойства (разрушенных, истертых, вырванных) алмазных зерен. Однако определение годности каждого зерна также представляет собой отдельную задачу. Однозначно неработоспособными признаются только вырванные и разрушенные до мелких осколков зерна. Сколотые зерна могут вступить в резание в следую-

щем периоде после нанесения пленки. Зерна, имеющие плоские площадки износа, должны также признаваться работоспособными.

Для более точного определения работоспособности алмазного инструмента, израсходовавшего часть ресурса, предложен интегральный показатель режущей способности алмазного слоя. Он определяется как суммарная площадка затупления всех алмазных зерен на ограниченной  $S_{огр}$  части поверхности алмазосодержащего слоя и рассчитывается по формуле  $R_u = \sum S_i / S_{огр}$ , где  $S_i$  – площадка износа каждого зерна, имеющего плоскую площадку затупления. Число зерен  $i = 1, 2, \dots, n$ . Для шлифовальной головки диаметром 5 мм с зернистостью 100/80 АС32, если значение  $R_u$  составляет от 0,01 до 0,08, инструмент подлежит межэксплуатационной обработке. Если  $R_u > 0,08$ , повторное упрочнение становится экономически невыгодным, и инструмент продолжают эксплуатировать в прежнем состоянии до полной выработки ресурса.

Для условий серийного производства при плановой смене инструмента периодичность нанесения пленочного покрытия может быть определена повременно, т.е. инструмент подвергают упрочнению методом НХО через определенный промежуток времени. При мелкосерийном или единичном типе организации производства, когда достаточно трудно проводить хронометрирование непрерывной работы каждой единицы инструмента, необходимо предложить методы, позволяющие по совокупности признаков определять, что инструмент нуждается в повторном упрочнении. Таким диагностическим признаком может служить повышение момента резания. Так как пленочное упрочняющее покрытие обладает антифрикционными свойствами, то при его истирании и затуплении части алмазных зерен момент резания будет изменяться в сторону увеличения.

*Определение периода межэксплуатационной обработки при сверлении алмазными трубчатými сверлами.* Как было показано ранее, упрочнение алмазного инструмента методом НХО позволяет создать на поверхности связки модифицированный слой, в состав которого входят титан и молибден. В отношении способности модифицированных поверхностей повышать сопротивление износу можно предположить следующую гипотезу. Благодаря тому, что разрушение микроконтактов при трении модифицированных поверхностей происходит легко, не получая распространения и не переходя в задир, достигается снижение интенсивности износа. При небольшом количестве микроконтактов, приходящихся на единицу площади, превалирует то, что малая прочность участка сцепления предотвращает более значительный износ прилегающей поверхности. Можно полагать, что механизм действия модифицирования металлических поверхностей заключается в том, что у поверхностей, обогащенных химическими соединениями, не происходит такого увеличения сил трения на участках контакта, которое может привести к достижению критического коэффициента трения.

Контактирование микронеровностей модифицированных поверхностей и разрушение отдельных микроконтактов не сопровождается деформированием прилегающих участков и не переходит в глубинное вырывание металла. Благодаря этому рост сил трения задерживается, и они не достигают тех предельных значений, при которых происходит изменение характера трения. Микрозадиры не переходят в макрозадиры. Эти же свойства локализации микрозадиров и предотвращения их распространения на прилегающие участки определяют и повышение износостойкости модифицированных поверхностей в условиях установившегося режима трения в зоне, когда коэффициент трения меньше критического [3].

Таким образом, снижается коэффициент трения между связкой и обрабатываемым материалом, следовательно, снижается крутящий момент (при обработке цилиндрическим или дисковым инструментом).

*Определение момента резания при сверлении алмазными сверлами.* Эффект изменения величины момента резания предложено использовать для определения готовности алмазного инструмента к межэксплуатационной обработке.

Разработано и изготовлено устройство для измерения момента резания при сверлении алмазными гальваническими трубчатыми сверлами. Принцип действия устройства основан на использовании тензометрической балки, которую деформирует флажок, жестко закрепленный на корпусе, в котором находится образец технического стекла (рис. 3). Тарировка измерительного устройства выполнена с использованием специального нагружающего приспособления. Тарировочный график имеет линейный характер. Значения измеренных величин при статической тарировке обладают достаточной повторяемостью, и ошибка регистрирующей системы составляет менее 3 %.

Результаты и их обсуждение. На рис. 4 приведена полученная экспериментальным путем зависимость момента



Рис. 3. Определение момента резания при сверлении от общей глубины сверления. Сверление при обработке стекла алмазным сверлом

ление производилось упрочненным методом НХО алмазным гальваническим трубчатым сверлом диаметром 10 мм, марка алмазного порошка 125/100 АС32. Общая глубина сверления получена за счет высверливания определенного количества отверстий в образце технического сверла толщиной 4,0 мм. Высокочастотные всплески на графике связаны с изменением момента резания при врезании и выходе сверла из отверстия.

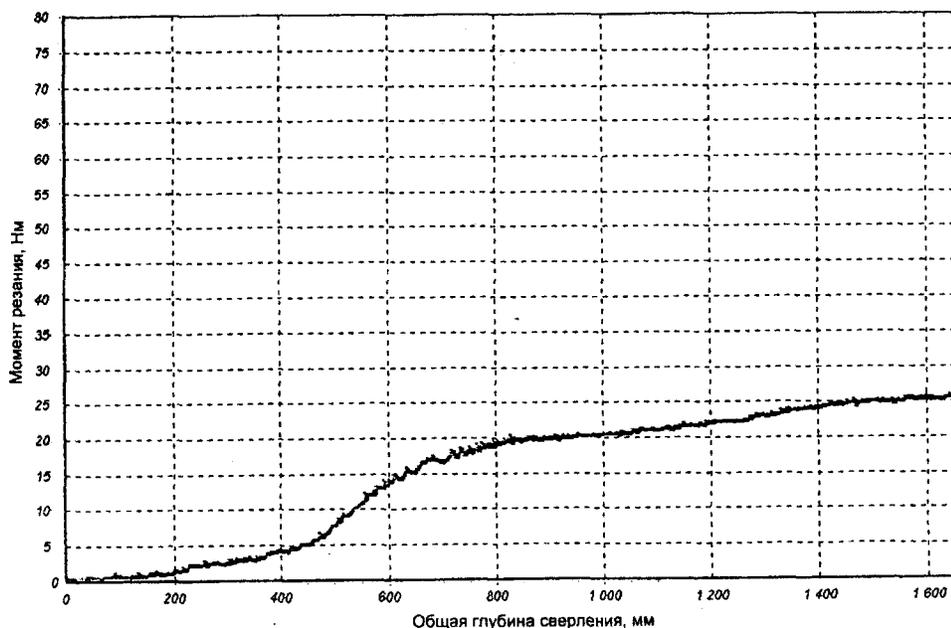


Рис. 4. Зависимость момента резания от общей глубины сверления

Следует отметить, что условно весь график можно разделить на три зоны. До достижения почти 400 мм общей глубины сверления момент резания составляет 0,5...4,0 Нм и его увеличение происходит плавно. В диапазоне 500...800 мм угол наклона кривой по отношению к оси абсцисс увеличивается. Это объясняется интенсификацией процесса затупления зерен и истиранием антифрикционного покрытия, осажденного на связке инструмента в процессе предэксплуатационной низкотемпературной химической обработки. После достижения общей глубины сверления 1000 мм момент резания изменяется мало, однако ухудшается качество обработанной поверхности, появляются сколы на поверхности стекла при врезании. Таким образом, межэксплуатационная обработка сверла с наибольшей эффективностью может быть проведена после достижения общей глубины сверления в 500 мм. Такая рекомендация справедлива, конечно, только для испытанного сверла диаметром 10 мм. Для сверл других диаметров, изготовленных с применением порошков других марок и зернистости, общая глубина сверления, при которой будет проводиться повторное упрочнение, может быть определена экспериментально. Однако выявлена общая тенденция к увеличению момента резания при достижении приблизительно 30...35 % от общей глубины сверления. При параллельном исследовании состояния поверхности установлено, что при такой наработке количество неработоспособных алмазных зерен не превышает 10... 15 %.

Проведено повторное упрочнение образцов трубчатых алмазных сверл диаметром 6 мм после того, как ими было просверлено 35 % предполагаемой общей глубины сверления. По ранее полученным данным, общая глубина сверления предварительно упрочненным методом НХО сверл такого диаметра составляет около 1000 мм. После обработки 88 отверстий (352 мм) сверла были подвергнуты повторной низкотемпературной обработке. Покрытие, осажденное на поверхности инструмента повторной НХО, практически идентично получаемому на новом, неработавшем инструменте. Затем повторно упрочненные сверла эксплуатировались до полной потери работоспособности. Стойкость двукратно обработанных методом НХО сверл по отношению к обработанным только до начала эксплуатации повысилась примерно на 27 %.

### Выводы

Анализ основных изменений структуры и свойств поверхностного слоя, происходящих в период эксплуатации инструмента, показал, что «критические» изменения структурно-напряженного состояния предшествуют началу катастрофического износа. Таким образом, возникает задача устранения подобных

изменений еще до начала ускоренного износа. Для этой цели может быть использована дополнительная обработка инструмента методом НХО в процессе эксплуатации, приводящая к снижению остаточных напряжений и восстановлению некоторых характеристик поверхностного слоя.

Исследована работоспособность отработавших часть ресурса алмазных шлифовальных головок. Предложено оценивать состояние ее поверхности по суммарной площадке затупления на единицу площади алмазосодержащего слоя, по соотношению годных и потерявших режущую способность алмазных зерен. В качестве критерия оценки работоспособности алмазосодержащего слоя сверл предложено использовать момент резания. Выявлена общая тенденция к увеличению момента резания при достижении приблизительно 30...35 % от общей глубины сверления. При параллельном исследовании состояния поверхности установлено, что при такой наработке количество неработоспособных алмазных зерен не превышает 5... 10 %.

Испытания двукратно упрочненных (предварительная и межэксплуатационная обработка методом НХО) алмазных сверл показали, что по сравнению с однократно обработанными сверлами, их стойкость увеличилась на 27 %.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бельский С.Е., Тофпенек Р.Л. Структурные факторы эксплуатационной стойкости режущего инструмента / Под ред. С.А. Астапчика. - Мн.: Наука и техника, 1984. - 128 с.
2. Смиловенко О.О., Шматов А.А. Повышение работоспособности алмазного инструмента методом низкотемпературной химической обработки // TOOLS 2004: Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф., Косовец (Словакия), 2004 г. - Косовец, 2004.
3. Модель смазочного действия растворов ПАВ при резании / В.А. Годлевский, А.В. Волков, В.Н. Латышев, Л.Н. Маурин //Трение и износ. - 1996. - Т. 17, № 3. - С. 345 - 351.