

**II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОБРОБКА**

Гах В. М.

Донбасская  
государственная  
машиностроительная  
академия

УДК 621.9.048.6

**ВИБРОАБРАЗИВНАЯ  
ОБРАБОТКА  
ТВЕРДОСПЛАВНОГО  
ИНСТРУМЕНТА**

У статті представлена розгорнута анотація монографії [1] яка присвячена фундаментальним дослідженням процесу віброабразивної обробки твердосплавного різального інструменту.

In the article the expanded abstract of the monograph [1] is presented. The monograph is devoted to basic process research of vibroabrasive processing of carbide cutting tools.

Автоматизация технологических процессов в машиностроении, широкое применение станков с ЧПУ и ГПС, необходимость повышения качества продукции и рентабельности производства выдвигают повышенные требования к прочности, износостойкости и надёжности режущего инструмента. Одним из наиболее эффективных способов повышения прочности износостойкости и надёжности сборных резцов и торцовых фрез является виброабразивная обработка сменных многогранных твердосплавных пластин.

Монография посвящена исследованиям технологии виброабразивной обработки твердосплавного инструмента, отличающейся соотношением параметров ударного взаимодействия абразивного наполнителя и обрабатываемых изделий, обеспечивающим отсутствие микроразрушений режущих кромок, заданное изменение формы и микрорельефа поверхностей и кромок лезвия, а также повышенный наклеп поверхностного слоя твердого сплава. Перечисленные изменения повышают прочность и износостойкость лезвия, и через них улучшают количественные показатели безотказности и долговечности твердосплавного режущего инструмента.

При заданных условиях виброабразивной обработки твердых сплавов риски-царапины, а также следы макропластических деформаций не обнаружены; обработочные следы представляют собой кратеры, разрушение карбидных зерен выражено слабо и лишь при большой длительности обработки, а основным механизмом съема материала является

хрупкое межзеренное разрушение, которому сопутствуют микропластические деформации.

Высотные параметры шероховатости в процессе виброабразивной обработки уменьшаются, а шаговые – увеличиваются, относительная опорная длина профиля повышается, анизотропия рельефа исчезает. Если исходная высота неровностей незначительно превышает предельную, являющуюся показателем виброабразивной обрабатываемости плоскостей, то рельеф полностью формируется виброобработкой и шероховатость не зависит от исходной. При грубой исходной шероховатости рельеф выступов формируется виброобработкой, а впадин – предшествующей операцией; шероховатость линейно зависит от исходной.

При виброабразивной обработке твёрдых сплавов режущие кромки и вершины округляются, анизотропия рельефа и мелкие выкрашивания устраняются, крупные приобретают благоприятный рельеф со сглаженными переходными поверхностями. Определённым подбором режимов обработки и размера гранул абразивного наполнителя можно достигнуть увеличенного в 1,3...1,6 раза радиуса округления на радиусном участке режущей кромки. Это дополнительно упрочняет вершину лезвия – его наименее прочный и наиболее нагруженный участок.

При виброабразивной обработке пластически деформируются все структурные составляющие твёрдых сплавов, возникают сжимающие остаточные макронапряжения, распространяющиеся на глубину до 30 мкм. Получено аналитическое описание плотности дислокаций  $\Lambda$  от глубины  $h$  и



продолжительности обработки  $\tau$  с учетом одновременного нелинейного изнашивания и

деформирования поверхности, а также влияния предшествующей операции:

$$\Lambda_{ht} = \Lambda_{\infty} + \left[ (\Lambda_{00} - \Lambda_{\infty}) \exp(-b h_0) - (\Lambda_{om} - \Lambda_{\infty}) \exp\left(\frac{g v_0}{p} - g h_0\right) - \frac{1}{(p-m)p} \right] \times \\ \times \exp(-m \tau) + \frac{m(\Lambda_{om} - \Lambda_{\infty}) \exp\left(\frac{g v_0}{p} - g h_0\right) g v_0}{(p-m)p} \exp(-p \tau), \quad (1)$$

где  $\Lambda_{\infty}$  – неизменная во времени плотность дислокаций на значительном удалении от поверхности;  $\Lambda_{00}$  –  $\Lambda$  на поверхности в исходный момент времени;  $\Lambda_{om}$  – предельно большая  $\Lambda$  от обработки на поверхности;  $b$  – показатель градиента  $\Lambda$  в исходном состоянии;  $g$  – показатель градиента  $\Lambda$  от обработки;  $v_0$  – начальная скорость изнашивания;  $p$  – показатель затухания процесса изнашивания;  $m$  – показатель затухания процесса деформирования.

Уравнение (1) адекватно описывает экспериментальные данные для различных твердых сплавов, предшествующих операций и режимов виброабразивной обработки. Оно позволяет прогнозировать степень наклепа и остаточные напряжения во времени и по глубине поверхностного слоя, причём коэффициенты этого уравнения отражают совокупное влияние процессов релаксации напряжений, изнашивания поверхности, деформирования и фазовых превращений кобальта. Величина напряжений монотонно убывает по глубине, во времени же может изменяться монотонно и с экстремумом. Это связано с величиной и глубиной залегания напряжений до обработки, с её режимами, а также соотношением скоростей изнашивания и деформирования поверхности.

При виброабразивной обработке твердых сплавов коэрцитивная сила и твердость имеют максимум, однако изменения их невелики и лишь у сплавов высокой твердости. Предел прочности при поперечном изгибе растет незначительно, а усталостная прочность – существенно, особенно при невысоком уровне нагрузки.

Предложенная технология обеспечивает получение любого заданного радиуса округления кромок и вершин в диапазоне от 20 до 200 мкм. Округление имеет геометрически правильную форму – по дуге окружности с плавным сопряжением с передней и задней поверхностями лезвия. Шероховатость кромки и коэффициент вариации радиуса округления уменьшаются в 5...10 раз по сравнению с

неупрочненными пластинами. Мелкие выкрашивания режущих кромок до 40...60 мкм, образовавшиеся на предшествующих операциях, полностью нивелируются, а более крупные – приобретают благоприятный рельеф с уменьшенной глубиной и плавными переходами.

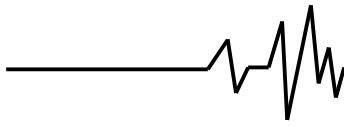
В начальной стадии виброабразивной обработки преобладает макрохрупкое разрушение кромок с нелинейной кинетикой – отделение агрегатов карбидных зерен, соизмеримых с радиусом округления, в конечной – микрохрупкое с линейной кинетикой – отделение единичных зерен, соизмеримых с высотой неровностей. В конечной стадии имеет место также частичное разрушений наиболее крупных и неудачно ориентированных зерен. Момент перехода определяется величиной округления, критической по макропрочности. Получена зависимость радиуса округления  $\rho$  от продолжительности обработки  $\tau$ :

$$\rho = \rho_0 + \rho_n \cdot [1 - \exp(-n\tau)] + \alpha \tau, \quad (2)$$

где  $\rho_0$  – исходный радиус округления;  $\rho_n$  – предельное приращение  $\rho$  в результате нелинейного округления;  $n$  – показатель скорости нелинейного округления;  $\alpha$  – скорость линейного округления.

Экспоненциальное уравнение (2), учитывая как нелинейный, так и линейный участки кривой изнашивания, позволяет рассчитать продолжительность обработки, исходя из её условий и требуемого округления. Кинетика других микрогеометрических параметров лезвия описывается той же моделью, но с завершающим затуханием вместо линейного участка.

Экспериментально определены оптимальные характеристики обрабатываемой среды: электрокорунд или карбид кремния зернистостью 16...40, связка керамическая СТ и Т, гранулы размером 10...20 мм, объёмное соотношение инструмента и наполнителя 1:10, трёхпроцентный водный раствор кальцинированной соды. Рекомендуются



формованые абразивные тела ПТ 15×15, выпускаемые абразивной промышленностью.

Производительность округления не зависит от механических свойств обрабатываемых твердых сплавов, повышается с увеличением размера карбидных зерен твердого сплава и угла заострения лезвия, твердости и зернистости абразива, уменьшением твердости связки и износостойкости наполнителя. Определенным подбором характеристик абразивного наполнителя и элементов режима виброабразивной обработки обеспечивается одновременное достижение требуемой величины округления кромок и минимальной шероховатости плоскостей и кромок лезвия с учетом марки твердого сплава и угла заострения. Экспериментальным путем установлены области режима обработки, обеспечивающие отсутствие микровыкрашивания кромок, требуемую шероховатость поверхностей и кромок лезвия, максимальную производительность и приемлемый расход наполнителя для различных марок твердых сплавов и углов заострения.

Оптимизация характеристик обрабатываемой среды, объемного соотношения обрабатываемых изделий и наполнителя, амплитуды и частоты колебаний рабочей камеры значительно повысили производительность и качество обработки, снизили энергоёмкость процесса и расход наполнителя.

Для нормирования операций виброабразивной обработки твердосплавного инструмента получены зависимости типа:

$$\rho = C_{\rho} \cdot \tau^{0,38} \cdot A^{0,69} \cdot f^{1,94} \cdot \beta^{1,02}; \quad (3)$$

$$\tau = C_{\tau} \rho^{2,63} \cdot A^{-1,81} \cdot f^{-5,10} \cdot \beta^{-2,68}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – радиус округления режущих кромок, мкм;  $C_{\rho}$  и  $C_{\tau}$  – коэффициенты, зависящие от типа наполнителя;  $\tau$  – продолжительность обработки, мин;  $A$  – амплитуда колебаний рабочей камеры, мм;  $f$  – частота колебаний, Гц.

По уравнениям (3) и (4) были построены удобные для практического применения номограммы.

Установлено комплексное влияние виброабразивной обработки на прочность и износостойкость твердосплавного инструмента. За счет округления режущих кромок, увеличенного округления вершин, уменьшенной шероховатости и сжимающих

остаточных напряжений разрушающая подача виброобработанного инструмента увеличивается до 4 раз по сравнению с неупрочненным. Около 80 % эффекта виброобработки обеспечивает округление кромок, а 20 % – увеличенное округление вершин, улучшение микрорельефа кромок и поверхностей, остаточные напряжения сжатия. Большой эффект соответствует фрезерованию и менее прочным инструментальным материалам.

Зависимость прочности (разрушающей подачи  $S_p$ ) от радиуса округления  $\rho$  имеет максимум и в области максимума достаточно хорошо описывается параболой:

$$S_p(\rho) = S_{po} + 2(S_{pm} - S_{po}) \frac{\rho}{\rho_p} - (S_{pm} - S_{po}) \frac{\rho^2}{\rho_p^2}, \quad (5)$$

где  $S_{po}$  – исходное значение  $S_p$ ;  $S_{pm}$  – максимальное значение  $S_p$ ;  $\rho_p$  – оптимальное значение  $\rho$  по критерию прочности.

Виброабразивная обработка меняет форму кривой изнашивания: микровыкрашивания подавляются, за счёт чего приработка исчезает, а при оптимальных параметрах становится отрицательной. Таким образом, изнашивание виброобработанного инструмента имеет инкубационный период, что не было замечено ранее. Ликвидация приработки заметно повышает надёжность упрочнённого инструмента, смещая распределение стойкости в сторону больших значений. Путем устранения микровыкрашиваний кромок, подавления приработки и повышения величины износа, принятой за критерий затупления, износостойкость виброобработанного инструмента повышается до 2,5 раз по сравнению с неупрочненным. Эффект растёт при фрезеровании и при увеличении подачи.

Зависимость стойкости  $T_u$  от радиуса округления  $\rho$  аналогична (5):

$$T_u(\rho) = T_{uo} + \frac{2(T_{um} - T_{uo})}{\rho_u} \rho + \frac{T_{uo} - T_{um}}{\rho_u^2} \rho^2 \quad (6)$$

где  $T_{uo}$ ,  $T_{um}$  – исходное и максимальное значение стойкости инструмента  $T_u$ ;  $\rho_u$  – оптимальное с точки зрения износостойкости значение  $\rho$ .

Оптимальная величина радиуса округления по критерию износостойкости меньше, чем по критерию прочности, при фрезеровании – больше, чем при точении. Оптимальный радиус округления больше для



малопрочных твердых сплавов и прерывистого резания.

В производственных условиях виброабразивная обработка твёрдосплавного инструмента снижает долю выкрашиваний режущих кромок практически до нуля, уменьшает количество сколов и поломок в 1,5 раза, устраняет повреждения неработающих режущих кромок сходящей стружкой. За счёт этого улучшаются все характеристики безотказности и долговечности инструмента: средний период и среднее число периодов стойкости повышаются в 1,5...2 раза, коэффициент вариации стойкости снижается в 1,5...2,5 раза, полный средний период стойкости повышается в 2,0...3,0 раза, а гамма-процентный период стойкости  $T_{90}$  повышается до 8,0 раз.

Доказана эффективность виброабразивной обработки при подготовке твёрдосплавных пластин под осаждение износостойких покрытий. Сочетание виброабразивной обработки и износостойких покрытий за счёт обеспечения благоприятного микрорельефа и физического состояния подложки, подавления разупрочняющего влияния покрытий обеспечивает существенное улучшение количественных характеристик безотказности и долговечности инструмента: при неизменной структуре отказов средний период стойкости увеличивается в 1,9...2,4 раза по сравнению с неупрочнённым инструментом, а средний полный период стойкости повышается в 2,5...3,5 раза. Таким образом, виброабразивная обработка значительно расширяет область эффективного применения износостойких покрытий, распространяя их на получистовые и даже на черновые операции.

Виброабразивная обработка рекомендуется для сборного и напайного инструмента из твёрдых сплавов групп P и M по ИСО, для сменных многогранных пластин перед осаждением износостойких покрытий, для непрерывной и прерывистой черновой и получистовой обработки углеродистых и легированных конструкционных сталей. Эксплуатационными испытаниями установлено, что основным критерием целесообразности применения виброабразивной обработки является значительная доля выкрашиваний режущих кромок при работе неупрочнённым инструментом. Эффективность применения виброабразивной обработки повышается в жёстких условиях нагружения – прерывистое резание, средние и большие подачи, неравномерный припуск. Для сборного

инструмента виброабразивная обработка оказывается более экономичной, так как трудоёмкость виброабразивной обработки сменных многогранных пластин в 5...10 раз ниже, чем напайных резцов.

Преимущества упрочнённого инструмента (улучшение количественных характеристик надёжности) проявляются не только при неизменных режимах резания, но и при работе на более высоких подачах или скоростях резания (последнее для пластин с износостойкими покрытиями) по сравнению с неупрочнёнными пластинами. При увеличении режимов резания на 10...20 % сохраняется прежний уровень надёжности инструмента (или повышается). Аналогичное увеличение подачи или скорости резания для неупрочнённого инструмента, как правило, приводит к снижению уровня надёжности, что во многих случаях неприемлемо, особенно в автоматизированном производстве. Разработанные рекомендации по повышению режимов резания для упрочнённого инструмента включены в общемашиностроительные нормы режимов резания.

Для реализации технологии виброабразивной обработки сменных многогранных твёрдосплавных пластин, напайных резцов и ножей фрез разработана гамма специальных вибрационных машин. Оптимизация формы и размеров их рабочей камеры обеспечила наиболее рациональную кинематику обработки. Ряд конструктивных усовершенствований вибрационных машин повысил их надёжность, производительность и качество обработки, снизил уровень шума и пылевыделения.

Разработанное технологическое оборудование имеет ряд преимуществ перед лучшими отечественными и зарубежными конструкциями, вписывается в существующую технологию обработки твёрдосплавного инструмента, удовлетворяет самым жёстким эргономическим и экологическим требованиям.

Разработаны проект участка по комплексной отделочно-упрочняющей обработке сменных многогранных твёрдосплавных пластин и соответствующие техпроцессы. Технология включает алмазное шлифование и доводку, виброабразивную обработку, ультразвуковую мойку, сушку и нанесение износостойкого покрытия.

### Литература

1. Гах, В. М. Виброабразивная обработка твёрдосплавного инструмента : монография / В. М. Гах. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 220 с. ISBN 978-966-379-331-3. E-mail: [msi@dgma.donetsk.ua](mailto:msi@dgma.donetsk.ua)