

Виброакустическая диагностика при твердом точении

Vibroacoustic diagnostics of hard turning

Представлены результаты исследований изменения виброакустических сигналов от момента врезания до выхода режущей кромки из зоны резания при точении закаленных сталей. Анализируются вопросы распределения тепловых потоков при твердом точении, влияние на эти потоки материала подложки под режущей пластиной, вопросы диагностики состояния инструмента по виброакустическому сигналу.

We provide you with the research results of vibroacoustic signals' modifications from the moment of penetration to return of the cutting edge from the cutting area during the turning of hardened steels. We analyzed aspects of heat flow spread ability during the hard turning, influence of the support plate's material under the cutting plate to these flows, aspects of diagnostics of the tool condition according to vibroacoustic signal.

Ключевые слова: твердое точение, виброакустический сигнал, диагностика инструмента, тепловые потоки при резании.

Key words: hard turning, vibroacoustic signal, diagnostics of the tool, heat flows in-cut.

Твердая обработка, то есть обработка материалов с твердостью выше 47 HRC, уже перестала быть чем-то необычным. Технология твердой обработки уже включена в практику производства на ряде машиностроительных предприятий. Функциональный принцип твердого точения (ТТ) заключается в нагреве обрабатываемого материала в зоне контакта с режущей кромкой до температуры 1400-1600°C. Правильно подобранная геометрия инструмента и режимы резания позволяют нагревать обрабатываемый материал за счет тепла, выделяющегося в процессе пластической деформации, что приводит к его местному отпуску до твердости, как предполагают, около 25 HRC. Максимальные температуры возникают в зоне первичных пластических деформаций. Основное тепло отводится стружкой, а обрабатываемая поверхность и инструмент нагреваются незначительно. После отделения стружки происходит быстрое охлаждение материала, что приводит к уменьшению окончательной твердости не более чем на 2 единицы.

Перечисленные особенности ТТ определяют требования к геометрии режущего инструмента, к жесткости упругой системы станка и режимам резания и т. п. Однако более подробных описаний исследований ТТ в литературных источниках трудно найти. Наибольший интерес представляет развитие процесса отпуска обрабатываемого материала при врезании режущего инструмента. Ведь врезание происходит в закаленный материал, и от скорости отпуска зависит и целостность режущей кромки, и чистота поверхности. Данные об отпуске в зоне резания можно оценить только косвенными путями по средней температуре в зоне резания, которая меняется и во времени и в объеме деформируемого материала. Температура в зоне пластических деформаций может зависеть от обрабатываемого и инструментального материалов, от режимов резания, от геометрии режущей кромки, от материала подложки, от жесткости упругой системы станка, и от его виброакустической активности и ряда других факторов, влияние которых трудно оценить. В процессе проводимых исследований ТТ был применен контроль виброакустических (ВА) сигналов, сопровождающих процесс ТТ от момента врезания и до выхода из зоны резания. Как известно [1], ВА сигналы (особенно его высокочастотные составляющие) при резании и трении во многом определяются относительной скоростью в контакте и величиной наименьшей твердости в паре контакта. По отношению к ТТ это твердость поверхности заготовки. Опираясь на монотонный рост амплитуды ВА сигнала при увеличении твердости, можно наблюдать переходные процессы при врезании в заготовку и оценивать ход процесса отпуска поверхности. Для организации подобных наблюдений акселерометры располагались в различных точках упругой системы, включая и сам режущий инструмент. При этом варьировались и режимы резания, и износ инструмента, и материал подложки под режущими пластинами. На рис. 1 показана фотография зоны резания с трехкомпонентным акселерометром, установленным на резце.

Справа показан пример сигналов виброускорения, регистрируемых по каждой координатной оси. В таблице 1 показаны эффективные (СКЗ) и максимальные значения ВА сигнала в разных частотных диапазонах при разных скоростях резания, при врезании в заготовку и при самом резании. В работе [1] показывается, что амплитуда высокочастотных составляющих ВА сигнала при трении приблизительно пропорциональна относительной скорости в контакте и минимальной твердости в паре. Наибольший частотный диапазон, показанный в табл. 1, - выше 5.6 кГц. Скорость в контакте нам известна, но твердость материала заготовки меняется под влиянием температуры резания, которую можно оценить, приведя данные таблицы 1 к одной скорости.

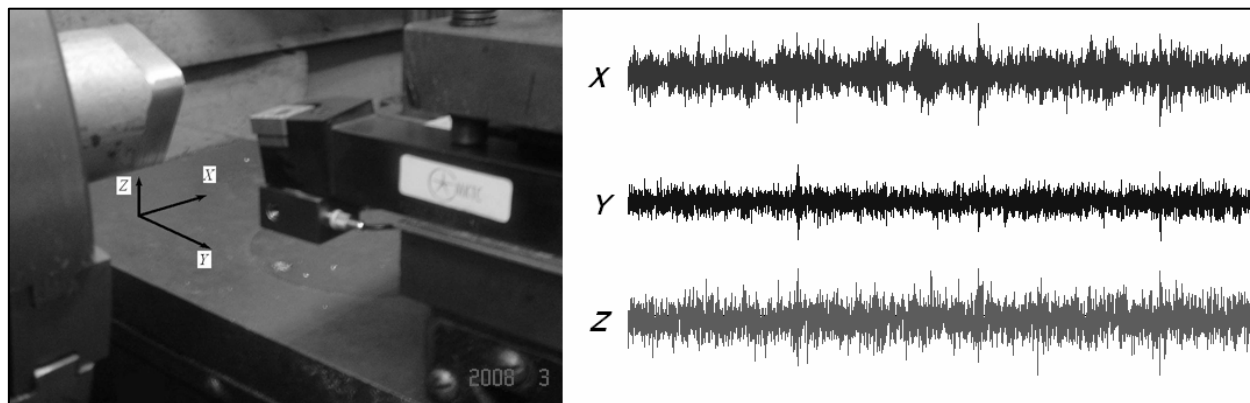


Рис. 1. Установка трехкомпонентного акселерометра на резце и пример получаемых сигналов при твердом точении.

Таблица 1

Максимальные и эффективные значения ВА сигнала при разных скоростях резания, в разных частотных диапазонах, м/с² (сталь 40Х – ВК 60, подача 0.24 мм/об, глубина резания 0.15 мм)

Частотный диапазон, кГц		Менее 1 кГц			1.0 – 1.4 кГц			1.4 – 2.8 кГц			2.8 – 5.6 кГц			Более 5.6 кГц		
Скорость резания, м/мин		125	250	500	125	250	500	125	250	500	125	250	500	125	250	500
При врезании	СКЗ	11.2	6.6	3.6	4.6	0.5	0.5	4.5	7.7	3.5	6.1	7.4	4.2	11.7	27.4	12.3
	Max	18	27.5	8.5	16.7	1.5	1.5	18	30	12	20	29	15			
При резании	СКЗ	7.3	7.2	8.6	1.6	0.5	0.5	1.3	1.6	3.9	1.8	1.5	3.1	3.8	5.2	6.8
	Max	10.2	15.7	22	10.7	1.2	2.2	8.8	15.8	22	12.5	16	17.2			

Для приведения к одной скорости, например к 250 м/мин, надо показания при большей скорости уменьшить во столько же раз, во сколько было превышение скорости по сравнению с 250 м/мин. Для меньших значений скорости надо наоборот увеличить полученные значения. После этой операции ускорение в диапазоне более 5.6 кГц будет для скорости 125 м/мин. – 7.6 м/с², для 250 м/мин. – 5.2 м/с², а для 500 м/мин. – 3.4 м/с². Это означает, что при скорости 500 м/мин твердость поверхности заготовки была на треть ниже по отношению к скорости 250 м/мин, а при 125 м/мин на 46 процентов выше по отношению к скорости 250 м/мин. При скорости 500 м/мин переходный процесс протекает значительно быстрее. Средняя твердость поверхности за период врезания здесь почти в 4 раза ниже, чем при врезании на скорости 250 м/мин. На рис. 2 показан спектр виброускорения по оси X при врезании в закаленную до 55 HRC заготовку инструментом с острой кромкой при скорости 250 м/мин. Пунктиром на рисунке показан контур спектра, возникающего после окончания переходного процесса и возникновения устойчивого резания. На верхней части рис. 2 показан вид ВА сигнала в процессе врезания в заготовку. Переходный процесс протекает в этом случае за 0,12 с, а заготовка успевает сделать более одного оборота. Этого может оказаться достаточно для выкрашивания режущей кромки и недопустимого снижения качества участка поверхности. Время переходного процесса и амплитуда сопровождающего его ВА сигнала существенно зависят от жесткости упругой системы станка, включая заготовку и инструмент [2]. Наблюдая ВА сигнал, можно оценивать качество оборудования, его приспособленность к ТТ. Это особенно важно при прерывистом резании, где за время обработки инструменту приходится многократно врезаться в закаленную поверхность, как, например, при фрезеровании. В этой связи и стойкостные испытания надо проводить с учетом частоты врезания в закаленную поверхность.

Повышение скорости резания для получения дополнительного снижения твердости поверхности заготовки может быть оправдано только, если стойкость режущих пластин и твердость поверхности после обработки сохраняются на допустимом уровне.

Износ и выкрашивания режущей пластины при ТТ немаловажная проблема, поскольку меняющаяся геометрия режущей кромки влияет на температуру зоны пластической деформации, а последняя меняет твердость обрабатываемой поверхности.

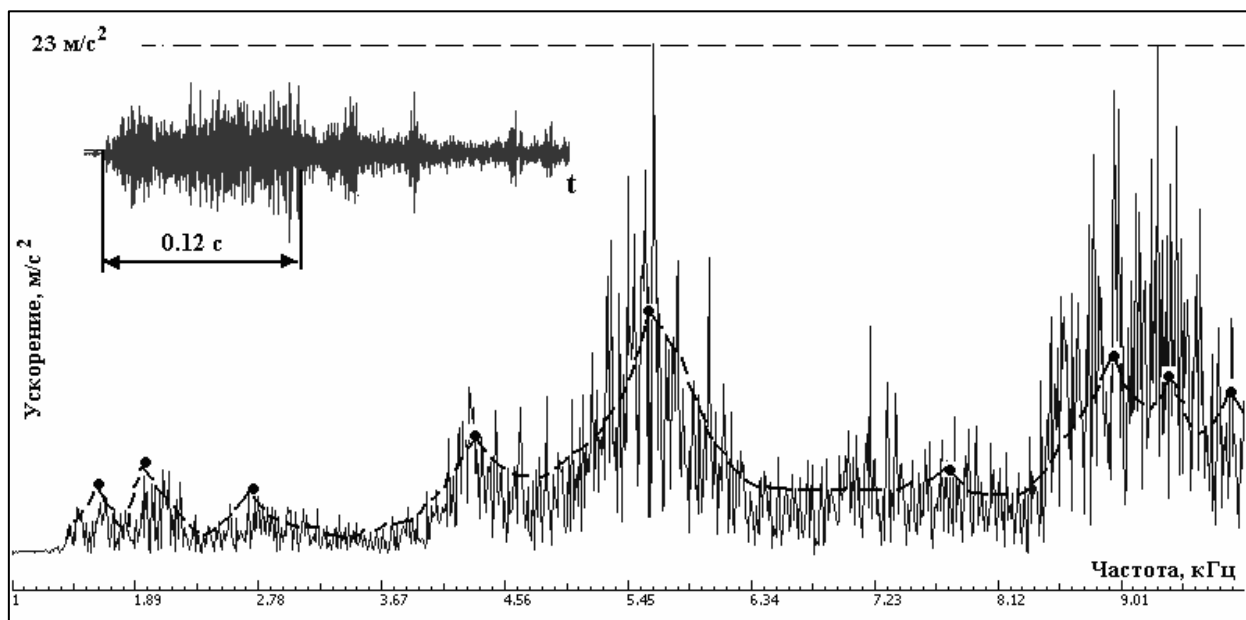
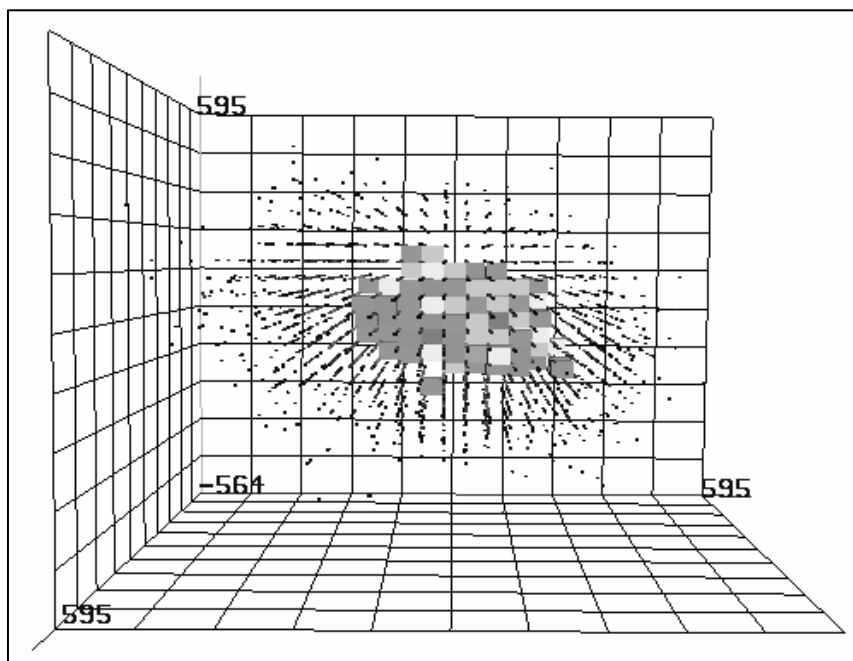


Рис. 2. Спектр ВА сигнала при врезании острого резца в закаленную поверхность. Пунктиром показаны контуры того же спектра, но после окончания переходного процесса. В верхней части показана запись ВА сигнала по оси X при врезании.

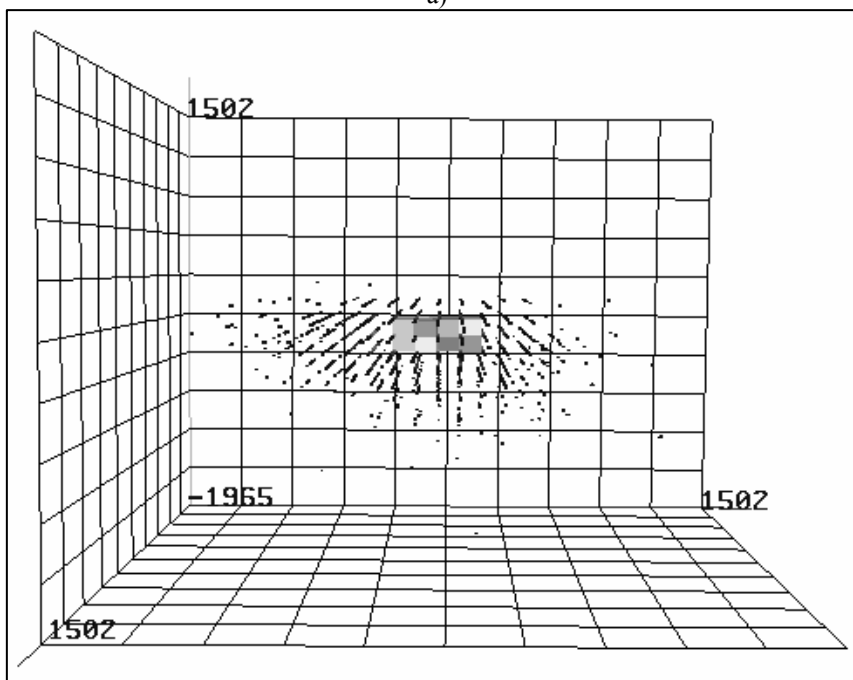
Количество выделяемого тепла при износе режущей кромки увеличивается, но его распределение по растущей площади контакта на передней и задней поверхностях инструмента может меняться неравномерно. В этом случае на контактных площадках могут возникать участки с повышенной по сравнению с острым инструментом твердостью. В первую очередь, это относится к задней поверхности инструмента, где скорость контакта выше, а глубина прогреваемого поверхностного слоя не велика по сравнению со стружкой. Затупление режущей кромки ведет к увеличению глубины внедрения вершины инструмента в обработанную поверхность и дополнительному расширению площади контакта. Рост объема деформируемого задней поверхностью материала и его отдаленность от зоны первичных пластических деформаций могут привести к тому, что с износом инструмента возрастает твердость на периферийных участках контактной площадки по задней поверхности.

На рис. 3 показаны пространственные диаграммы распределения времени присутствия колеблющейся вершины инструмента в различных точках (вид на плоскость XOY) зоны резания. Темными квадратами выделены участки (ядро распределения), где время присутствия составляет не менее 60 % от максимума распределения. Мелкими точками показаны прочие участки. На рис. 3а диаграмма дана для острого инструмента, а на рис. 3б показана диаграмма для тех же условий, но для притупленного инструмента. Цифрами показаны в условных единицах диапазоны разброса положений вершины инструмента. Видно, что на обеих диаграммах разброс по оси X значительно превышает разброс по оси Y. С ростом износа разброс растет, в основном по оси X, а ядро распределения приближается к поверхности заготовки. Это говорит о том, что колебательные перемещения вглубь заготовки с ростом износа более затруднены. Возможно, это связано с уменьшением глубины пиропластичного слоя. Контакт становится большим по площади, но для прогрева на достаточную глубину по всей площади тепловых потоков не хватает. Это находит соответствующее отображение и в спектрах виброускорения по оси X, показанных на рис. 4. На рисунке показан спектр в диапазоне выше 1 кГц для резания притупленным резцом, а пунктиром показан контур спектра при резании острым резцом. Видно, что амплитуды практически всех спектральных составляющих выросли.

Рост амплитуд на самых высоких частотах говорит в пользу гипотезы о повышении твердости обрабатываемой поверхности при увеличении износа. Можно добавить, что сигнал, сопровождающий точение изношенным резцом, характеризуется неравномерностью во времени, в нем присутствуют многочисленные всплески, которые не характерны для острого инструмента. Уровень этих всплесков не уступает амплитудам во время врезания в заготовку. Качество поверхности при работе изношенным резцом может значительно ухудшаться, что становится заметно даже простым осязанием. В таблице 2 для примера показано, как эволюционировали законы распределения, показанные линиями равного уровня, вероятности присутствия вершины режущего инструмента в пространстве трех координатных плоскостей (частотный диапазон – октавная полоса со средним геометрическим значением 4 кГц) при переходе от острой режущей кромки к затупленной при твердом точении стали с твердостью 55 HRC (сталь 40X – ВОР 60, скорость резания 400 м/мин, подача 0.06 мм/об, глубина 0.25 мм).



а)



б)

Рис. 3. Пространственные диаграммы распределения времени присутствия вершины резца в разных точках зоны резания: а – для острого инструмента, б – для тупого инструмента.

Видно, что наибольшая эволюция идет по осям X (рост в 2.6 раза) и Z (рост в 2.2 раза). По оси Y рост сравнительно небольшой, только на 35 процентов. Таким образом, для установки акселерометра наибольший интерес представляют те позиции на упругой системе станка, где реакция в окрестностях 4 кГц на вибрации вершины инструмента в направлении XZ будет наибольшая.

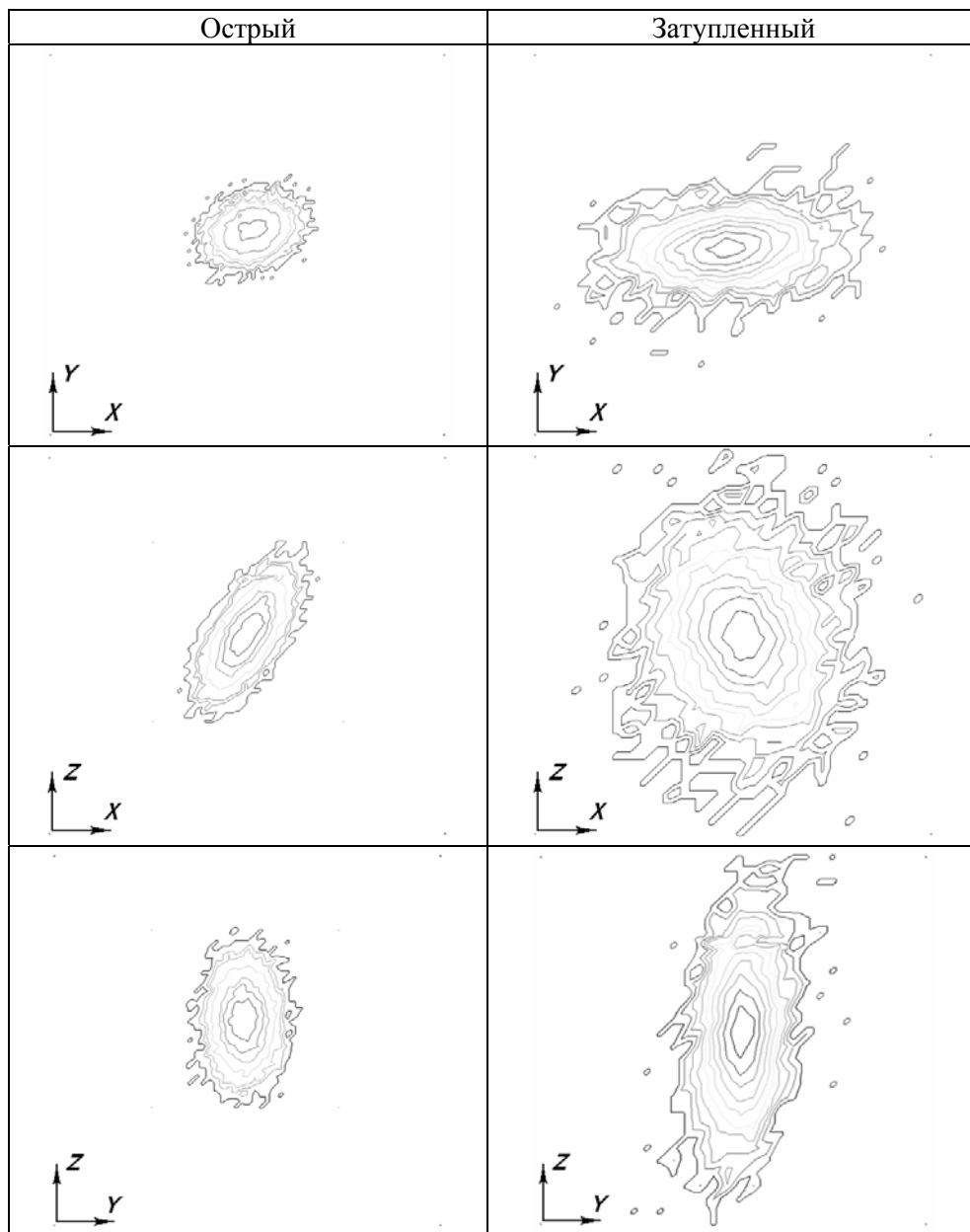


Таблица 2 Влияние износа РИ на эволюцию двумерных законов распределения вероятности присутствия вершины РИ в точках координатного пространства: твердое точение стали 55 HRC, октава 4 кГц.

Поскольку тепловые потоки определяют твердость поверхностного слоя обрабатываемой заготовки, то, меняя эти потоки, можно в какой-то мере управлять изменением твердости. Управлять можно изменением скорости резания, изменением геометрии режущей кромки [3], а также изменением теплопроводности материала подложки, на которой базируется режущая пластина. В процессе проведения исследований варьировался материал подложек. Помимо стандартных подложек испытывались подложки из гранита, из хлоритового сланца, из полимиктового песчаника и из композиции стали с синтеграном. Эксперименты показали, что в одинаковых условиях обработки поверхностей с твердостью 55 HRC шероховатость поверхности при использовании стандартной подложки получалась $Ra=0,6$ мкм. Применение подложек с минеральной составляющей позволило получать поверхности с $Ra=0,3$ мкм. На рис. 5 показан пример спектра в диапазоне 1-10 кГц по оси X , возникающий при устойчивом резании поверхности с твердостью 55 HRC при использовании

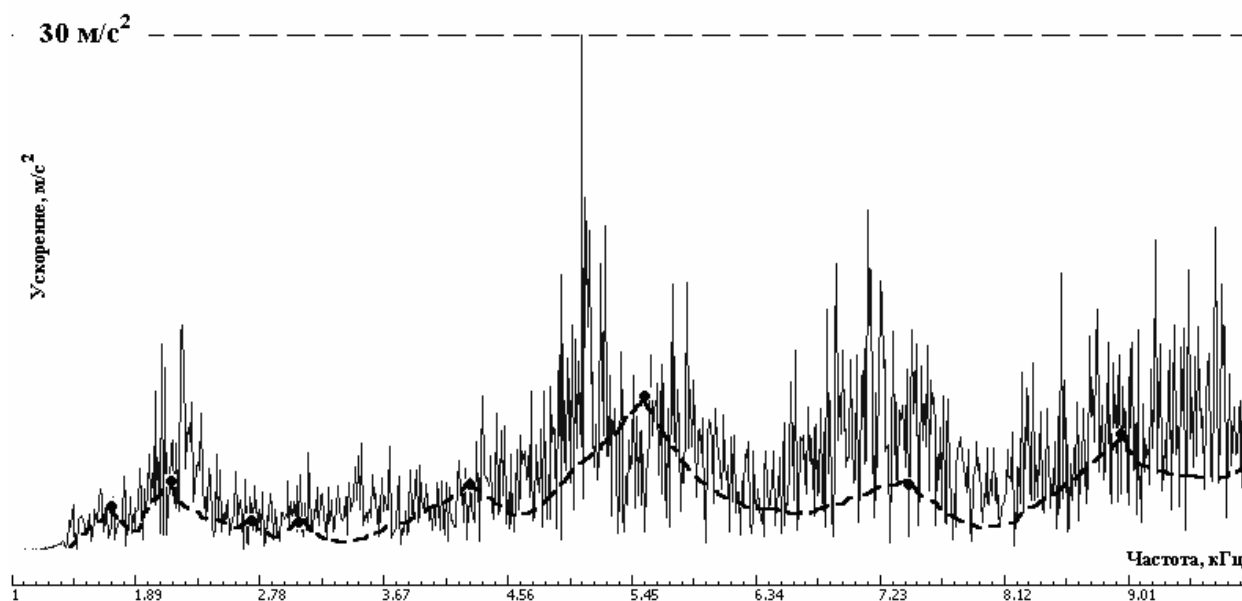


Рис. 4 Спектр ВА сигнала при твердом точении затупленным резцом. Пунктиром показаны контуры спектра при точении в аналогичных условиях, но острым резцом.

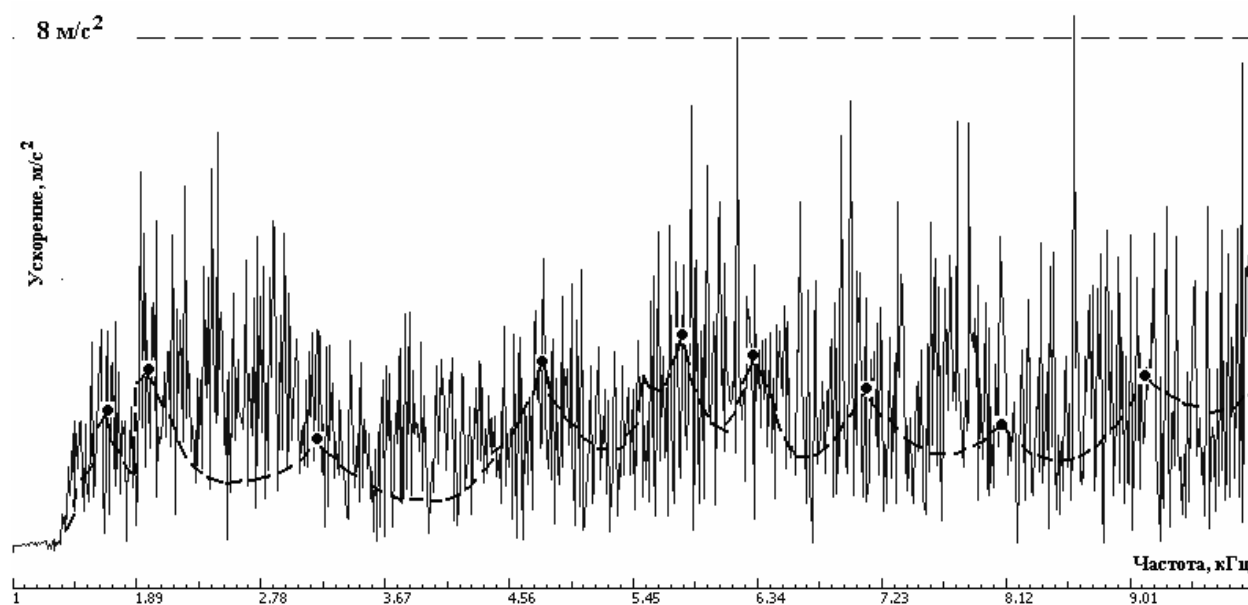


Рис. 5 Спектр Ва сигнала при твердом точении со стандартной подложкой. Пунктиром показаны контуры спектра при точении в аналогичных условиях, но с подложкой из хлоритового сланца.

стандартной подложки. На фоне графика пунктиром показаны контуры спектра, возникающего при аналогичных условиях, но при использовании подложки из хлоритового сланца. Видно, что спектральные составляющие, особенно в диапазоне от 5 до 10 кГц, значительно больше при работе стандартной подложкой. Это говорит в пользу гипотезы о влиянии теплопроводности подложки на изменение теплового потока и направлении его в сторону поверхностного слоя, что и усиливает отпуск последней.

Выводы

1. Контроль высокочастотных составляющих виброакустического сигнала позволяет вести мониторинг скорости отпуска поверхностного слоя при твердом точении. Это дает возможность обоснованно выбирать режимы резания и оценивать степень пригодности оборудования для реализации стабильного процесса твердого точения.

2. Износ режущего инструмента при твердом точении ведет к увеличению площади контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, для прогрева которой на достаточную глубину выделяющегося тепла может не хватать. Это ведет к росту твердости поверхностного слоя в зоне контакта и росту высокочастотной составляющей виброакустического сигнала.

3. Потоками тепла при твердом точении можно управлять не только подбором режимов резания и геометрии режущей кромки, но подбором теплопроводности материала подложки под режущей пластиной в инструменте.

Библиографический список

1. **Козочкин М. П.** Виброакустическая диагностика технологических процессов. – М.: ИКФ «Каталог», 2005. – 196 с.

2. **Козочкин М.П., Сабиров Ф.С.** Оперативная диагностика в металлообработке// ИТО, 2008, № 8, с. 48-50.

3. **Лобанов А. Н.** Обработка закаленной стали// Журнал по металлообработке «Стружка», 2007, № 3, с. 31 – 33.

References

1. **Kozochkin M P** Vibroakustic diagnostics technological processes. - M.: IKF "Catalogue", 2005. - 196 p.

2. **Kozochkin M P, Sabirov F S** The Operative diagnostics in metal working// TTE, 2008, №8, p. 48-50.

3. **Lobanov A N** Processing hardened become// Journal on metalworking "Chips", 2007, № 3, p. 31 - 33.

*Козочкин Михаил Павлович - профессор кафедры станков МГТУ «СТАНКИН» доктор технических наук
тел.: 330-59-21*

*Сабиров Фан Сагирович - доцент кафедры станков МГТУ «СТАНКИН» кандидат технических наук
тел.: 172-73-96, 8-916-629-15-34*

*Попиков Андрей Николаевич- аспирант кафедры "Технология машиностроения"
тел. 8(49644) 173-664*

*Kozochkin M P - the professor of chair of machine tools of MSTU "STANKIN" a Dr.Sci.Tech.
tel : 330-59-21*

*Sabirov F S - senior lecturer of chair of machine tools of MSTU "STANKIN" cand.Tech.Sci.
tel.: 172-73-96, mob. 8-916-629-15-34*

*Popikov A N - post-graduate student of chair "Technology of mechanical engineering"
tel. 8(49644) 173-664*

Моделирование работы единичного алмазного зерна

Modelling of a job of an individual diamond kernel

Данная статья описывает проделанную работу, направленную на моделирование работы единичного алмазного зерна. В результате были созданы модели, которые составляют основу нового, принципиально отличного от существующего, подхода к математическому описанию процесса алмазного сверления неметаллических материалов с целью получения не только оптимальных параметров процесса обработки, но и новых прогрессивных конструкций инструмента и оборудования.

Given clause describes the done job routed on modeling of a job of an individual diamond kernel. Patterns who make a bottom new, essentially distinct from existing, the approach to the mathematical description of process of diamond drilling non-metallic stuffs with the purpose of a receiving not only optimum parameters of process of a treatment, but also new progressive constructions of an instrument and a furniture have been as a result framed.

Ключевые слова: моделирование, работа, единичный, алмазный, зерно.

Key words: modeling, job, individual, diamond, kernel.

В машиностроении, приборостроении, строительной индустрии и быту, в радиоэлектронике и, особенно, в изделиях функциональной микроэлектроники широко используются в качестве конструкционных материалов хрупкие твердые неметаллические материалы (ХТНМ), такие как стекло, ситалл, поликор, феррит, кварц, керамика и др.

Одним из наиболее эффективных методов обработки отверстий является алмазное сверление. Анализ опубликованных данных в отечественной и зарубежной литературе показал что, несмотря на многолетний опыт работы, в данной области, до сих пор отсутствуют обобщенные научно-обоснованные рекомендации по технологическим схемам и наладкам, применяемой оснастке и оборудованию, классификации и выбору конструкций алмазного инструмента, их характеристикам и режимам работы.

Исследованиями подтверждено, что основным действующим фактором, обеспечивающим диспергирование поверхности при алмазном сверлении является осевая сила резания P_y .

Очевидным является то, что сила резания, возникающая в зоне контакта алмазного зерна с обрабатываемым материалом, создает напряжения в материале, зерне и связке.

Одновременно учитывается, что алмазные зерна на режущей поверхности сверла расположены случайно (беспорядочно), а процесс сверления представляет множество мгновенных случайных контактов алмазных зерен с обрабатываемым материалом.

В зависимости от физико-механических свойств системы зерно–связка–обрабатываемый материал могут иметь место процессы: вырывание целых зерен из связки, откалывание от алмазных зерен отдельных частиц с образованием новых острых режущих кромок, сглаживание вершин алмазных зерен в результате износа или графитизации.

Вывод абразивного шлама производится с помощью СОЖ, что создает условия для износа связки и, благодаря этому, происходит образование новых острых режущих кромок на алмазных зернах, что способствует эффекту самозатачивания сверла.

При создании модели процесса алмазного сверления использовались следующие положения:

1. Величины напряжений резания, создаваемые единичным алмазным зерном в обрабатываемом материале, должны быть больше его предела прочности при хрупком разрушении.
2. Величины напряжений, создаваемые единичным алмазным зерном в связке, должны быть ниже предела прочности разрушения связки.
3. Величина фактической силы резания, действующей на алмазное зерно, должна быть меньше статической прочности алмазного зерна по ГОСТ 2609-80.

Перейдем теперь к описанию работы единичного алмазного зерна. В процессе работы сверло находится в сложном напряженном состоянии под действием суммарной динамической нагрузки,