

По лезвийной обработке металлов накоплено большое количество экспериментальных и теоретических сведений. Этого нельзя сказать про обработку минералов, поскольку в основном в камнеобработке применяют алмазно-абразивный инструмент.

При изготовлении изделий из природного камня также как и в машиностроении требуется получении заданной точности, хотя значения допустимой шероховатости и волнистости на минералах и металлах отличаются. Поэтому актуален вопрос об изучении колебательных процессов, возникающих при обработке камня, а также выявлении общих закономерностей динамики лезвийной обработки для него.

Одной из важнейших проблем, влияющей на качество обработки поверхности и на стойкость режущего инструмента, являются автоколебания, сопровождающие резание материалов. Наиболее универсальный механизм возникновения автоколебаний при резании и трении основан на координатной связи [1].

Координатная связь проявляется в том, что в общем случае под действием приложенной силы вершина резца стремится сместиться не только в направлении вектора силы резания, но и в ортогональном направлении. Это происходит из-за того, что жесткость инструментального узла различна для

разных направлений, т. е. существуют главные оси жесткости (оси ξ_1 и ξ_2 на рис. 1), которые обычно не совпадают с координатными осями станка Z и Y.

Статические жесткости C_1 и C_2 , измеренные в направлении этих осей, различны ($C_2 > C_1$). Любой вектор силы, приложенный к инструменту, может быть разложен по главным осям. В результате составляющие перемещений по главным осям Δ_1 и Δ_2 будут обратно пропорциональны соответствующим жесткостям C_1 и C_2 и пропорциональны соответствующим составляющим силы. Это приводит к тому, что угол γ_1 , определяющий направление полного смещения вершины инструмента, не совпадает с углом γ , определяющим направление действия силы резания. Эти углы удовлетворяют выражению $C_2 \cdot \operatorname{tg} \gamma_1 = C_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma$. Если к вершине резца прикладывать единичную силу, варьируя угол γ от 0 до 360° и фиксируя результатирующую смещение, можно получить эллипс полного смещения. Вид этого эллипса определяется конструктивными особенностями упругой системы в окрестностях инструментального узла. Анизотропия свойств существует в пространстве всех трех осей. Вершина резца смещается не только в тангенциальном, но и в радиальном направлении. Если при этом резец стремится углубиться в заготовку, то это явление называется «самозатяги-

ванием», но чаще возникает ситуация отжатия резца от обрабатываемой поверхности.

При резании вершина резца находится в условиях всестороннего сжатия, где любые перемещения, кроме тангенциальных стеснены. Силы, препятствующие движению резца в ортогональных направлениях определяются силами реакции со стороны адгезионных мостиков, действующих в окрестности вершины инструмента, и силами реакции со стороны поверхности резания и образующейся стружки (если такая стружка образуется), сопротивляющейся отжиму и ортогональному перемещению инструмента.

При обработке минералов силы адгезии между материалом заготовки и инструментом относительно небольшие, и это особенность обработки минералов. Силы реакции со стороны адгезионных мостиков и со стороны образующейся стружки препятствуют ортогональному смещению инструмента при его нагружении в процессе обработки от поверхности резания. Таким образом, инструмент в процессе резания перед отделением частицы материала смещается преимущественно в тангенциальном направлении [2].

В процессе движения вершины резца по эллиптической траектории накапливаемая ее потенциальная энергия определяет амплитуду автоколебаний. Ее количество определяется силами, необходимыми для создания упругих и пластических деформаций стружки и материала заготовки, зависящими от режимов резания, износа инструмента, физических свойств обрабатываемого материала (временное сопротивление, величина упрочнения и т. п.). Важно, что эта энергия обратно пропорциональна жесткости упругой системы. Чем

больше энергия, запасенная упругой системой, тем больше размах траектории. Однако интенсивных автоколебаний может и не возникать, если, например, потенциальная энергия выходит (релаксирует) малыми порциями, но с высокой частотой. Так и происходит при образовании сливной стружки при резании пластичных металлов. Опасность возникновения автоколебаний с большой амплитудой заключается не только в самом количестве накопленной энергии, но и в процессе ее релаксации большими порциями, т. е. в кооперативном характере отделения частиц материала во время обработки.

Наиболее негативными последствиями грозят автоколебания с траекториями, ориентированными преимущественно в радиальном направлении. Тангенциальное направление меньше влияет на увеличение шероховатости обработанной поверхности, хотя при резании металлов адгезионное взаимодействие по задней грани в процессе такого движения не всегда обеспечивает желаемую чистоту поверхности.

Из механизма возникновения автоколебаний при резании следует, что важнейшую роль играют такие факторы, как прочность адгезионных связей, реакция на инструмент со стороны снимаемой стружки, дискретность отделяемых частиц и кооперативный характер отделения этих частиц.

При обработке минералов слабые адгезионные связи и отсутствие выраженной в явном виде стружки ведут к тому, что режущая кромка инструмента может удерживаться на тангенциальном направлении очень недолго. При резании хрупких материалов отделяемые частицы (пыль) могут иметь очень небольшие размеры, которые значительно меньше сечения снимаемого слоя материала. Отделение этих

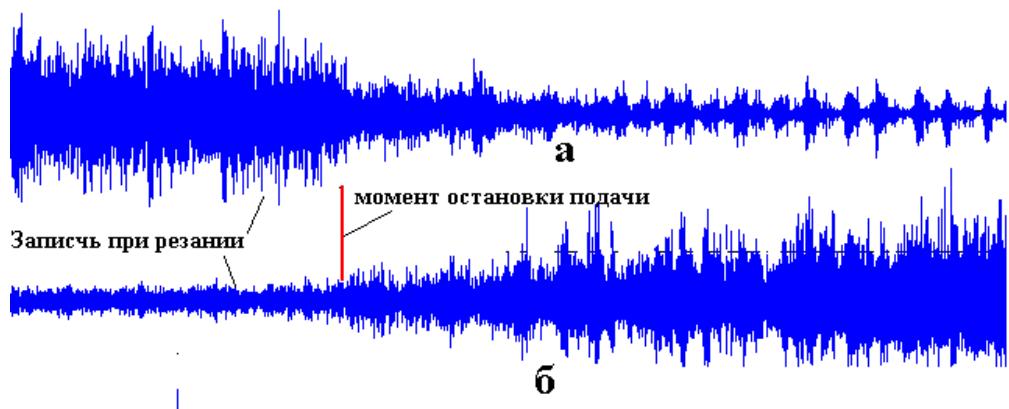


Рис. 1. Запись виброакустического сигнала при точении и выстой при обработке стали 45 (длина записи 1.5 с.): а – резец острый; б – резец предельно затупленный

частиц, в отличие от металла, не но- сит кооперативного характера (до некоторого сечения снимаемого слоя). Таким образом, релаксация напряжений происходит, но с высокой по сравнению с металлами частотой за счет отделения мелких частиц. Как показали эксперименты, возникновение интенсивных автоколебаний при точении, например, мрамора маловероятно.

Однако в этих свойствах минералов есть и отрицательная сторона. Стружка, возникающая при обработке металлов, может стабилизировать положение режущей кромки на тангенциальном направлении даже при заметном отличии направления вектора смещения Δ от тангенциального. При обработке хрупких минералов этого не происходит. Существенное отклонение будет неизбежно влиять на форму поверхности после обработки. В случае жестких требований к форме поверхности необходимо, чтобы конструкция упругой системы станка обеспечивала максимальное совпадение главных осей жесткости с координатными осями станка. Другой вариант заключается в переходе на режимы резания, создающие неболь-

шую нагрузку на инструмент, что ведет к снижению производительности обработки.

На рис. 1 показаны записи сигналов виброускорения при выстой во время точения стали 45.

На рис. 1 видно, что при острым резце после остановки подачи виброакустический сигнал быстро уменьшается. При точении тупым резцом (на рис. 1, б уменьшен масштаб по амплитуде) картина меняется: после остановки подачи сигнал быстро нарастает, процесс выстоя сопровождается тональным шумом, на поверхности детали хорошо видны следы вибраций. Это происходит, потому что с отсутствием стружки исчезает стабилизирующий фактор, препятствующий развитию интенсивных автоколебаний в радиальном направлении.

Картина меняется, когда на тех же режимах и тем же инструментом обрабатывается заготовка из мрамора (см. рис. 3).

На рис. 2 хорошо видно, что переходные процессы, возникающие после остановки подачи у тупого и остrego резцов, мало отличаются между собой. Однако визуально можно заметить на поверхности заготовки в

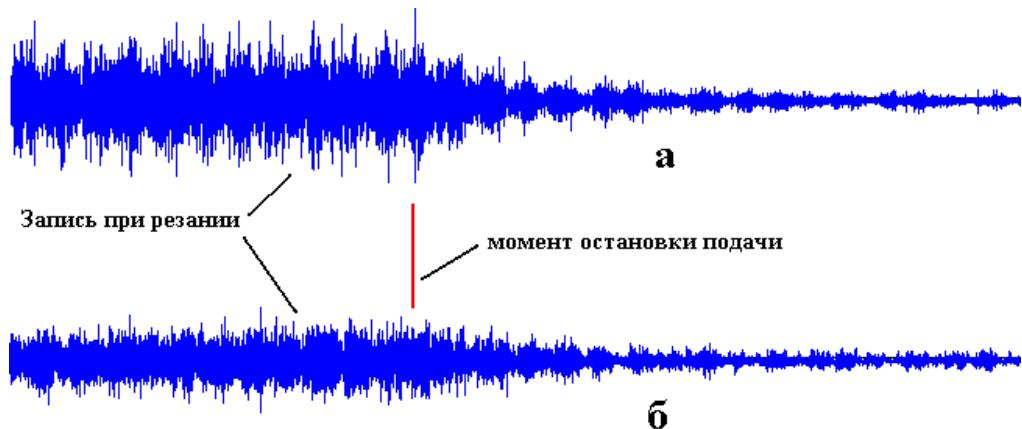


Рис. 2. Запись виброакустического сигнала при резании и выстое во время обработки белого мрамора (длина записи 1.5 с.): а – резец острый; б – резец предельно затупленный

месте остановки подачи обилие выкрашиваний, выходящих на свободную поверхность (рис. 2). Это говорит, что хотя отделение частиц минералов и возможно с помощью его раздавливания, но процесс опасен возникновением трещин и сколов.

Отсутствие интенсивных автоколебаний при обработке минералов позволяет осуществлять более надежный мониторинг состояния режущих инструментов по амплитуде виброакустического сигнала, замеряемого на упругой системе станка. Акселерометр может быть установлен на достаточном удалении от зоны резания, в защищенном от повреждений месте [3].

На рис. 3 показан пример спектра ускорения, зарегистрированного на державке для крепления резца при точении мрамора. На рис. 4 показан пример спектра, полученного в полном соответствии с условиями рис. 3, но при точении тупым резцем. Из сравнения спектров видно, что износ не только изменил амплитуды на разных частотах, но поменял их соотношение: амплитуды на высоких частотах уменьшились, а на низких частотах выросли.

Если для острого резца отношение амплитуды на частоте около 10 Гц к амплитуде на частоте, близкой к 10 кГц, было около 0,12, то для тупого резца это отношение стало 0,94, т.е. увеличилось почти в 8 раз. Изменение этого отношения во многом зависит от динамических характеристик упругой системы применяемого станка. При высокой динамической жесткости станка и инструмента это отношение может меняться не столь существенно, однако эксперименты показали, что уменьшение амплитуды высокочастотной составляющей виброакустического сигнала по мере износа режущей кромки при обработке мрамора проявляется стабильно. Именно рост амплитуд на низких частотах дает увеличение виброперемещений, а следовательно, ухудшает качество получаемой при обработке поверхности (повышая ее шероховатость и волнистость).

Методика оценки состояния (износа) режущего инструмента при обработке минералов имеет отличия от диагностики в металлобработке, вытекающие из особенностей процесса резания хрупких материалов и обра-

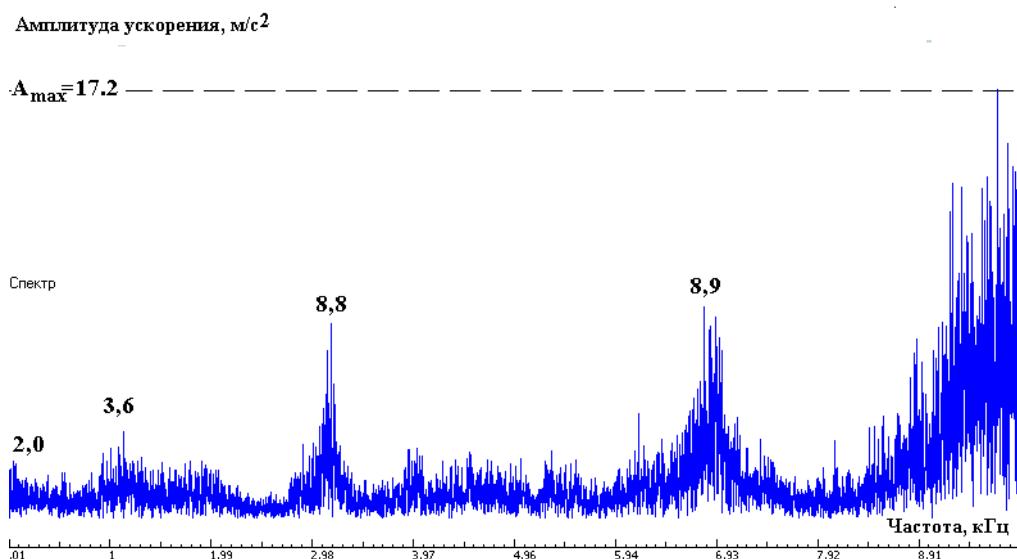


Рис. 3. Спектр виброускорения при точении мрамора острым резцом

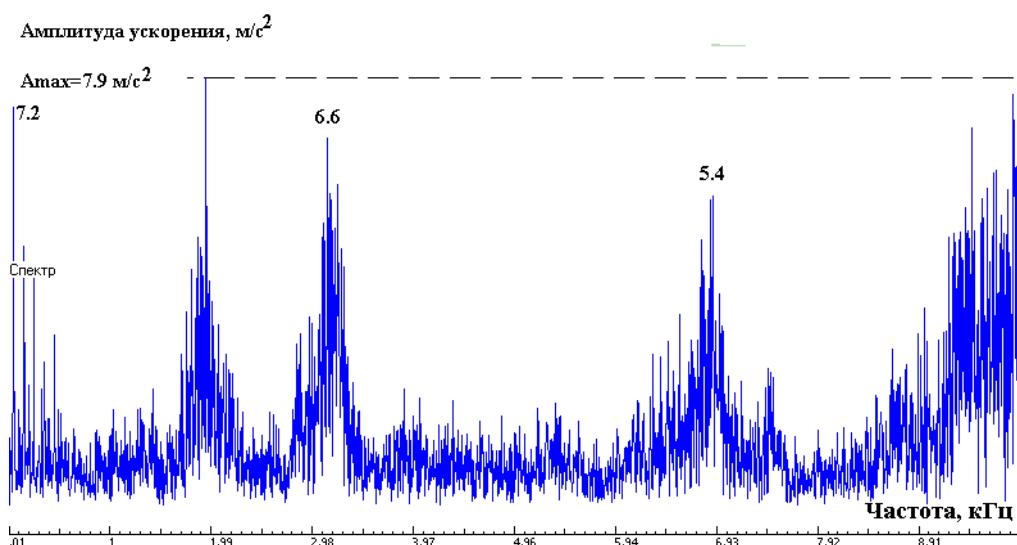


Рис. 4. Спектр виброускорения при точении мрамора тупым резцом

зования стружки скола. В частности, датчики виброускорения возможно размещать на упругой системе станка в удалении от зоны резания. ВА сигнал при затуплении инструмента асимметрично изменяется: в области

низких частот наблюдается его рост, а в области высоких частот падение. Другим источником информации о состоянии режущего инструмента могут быть безразмерные статистические характеристики сигнала, такие как

асимметрия (A) и эксцесс (E). Например, при работе острым резцом вибраакустический сигнал в октавной полосе 4 кГц имел A=0, 0006, E=0,2,

при работе тупым резцом A=0,026, E=0,38. В дальнейшем необходимо уточнить стабильность изменения этих безразмерных показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудинов В.А. Динамика станков. – М: Машиностроение, 1967, 359 с.
2. Козочкин М.П. Вибраакустическая диагностика технологических процессов. – М.: ИКФ «Каталог», 2005. – 196 с.
3. Козочкин М.П., Осипова Л.П., Миков И.Н. Повышение качества контурного резания путем вибраакустической диагностики износа и поломки инструмента. – Горный информационно-аналитический бюллетень № 7, 2007. – С. 299-305. ГИАБ

Коротко об авторах –

Козочкин М.П. – доктор технических наук, гл. научный сотрудник ОАО ЭНИМС, Миков И.Н. – доктор технических наук, профессор каф. ТХОМ, Ильева Л.П. – аспирант, ассистент каф. ТХОМ, Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 21 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.И. Морозов.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
СИНИЦА Игорь Владимирович	Разработка и исследование параметров способа закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ	25.00.36	к.т.н.