

Оценка состояния заготовок виброакустическими методами

д.т.н. М. П. Козочкин, к.т.н. Ф. С. Сабиров

Одним из основных направлений развития станкостроения в настоящее время является повышение степени концентрации различных технологических операций на одном многоцелевом станке, связанное со стремлением получать готовую деталь за одну установку. Сочетание этого направления с повышением уровня автоматизации станков приводит к необходимости все большее внимание уделять вопросам автоматического контроля процесса резания в целях своевременного принятия решения по поводу состояния режущего инструмента (РИ) и обрабатываемой заготовки.

Если вопросам автоматического контроля состояния РИ уделялось и уделяется много внимания [1], то задачи автоматического контроля заготовок представлялись менее актуальными. Однако в ряде случаев важна информация о положении поверхности заготовки относительно РИ, о средней твердости партии заготовок и о наличии раковин и пор на поверхности заготовки, которые обнаруживаются после первого прохода.

В работе описаны результаты исследований, направленных на оценку возможностей решения указанных задач путем использования виброакустического (ВА) сигнала, получаемого с помощью акселерометра, встроенного в упругую систему станка и воспринимающего упругие колебания из зоны резания.

На рис. 1 показан пример изменения уровня ВА сигнала при сближении трущихся поверхностей.

Видно, что при “углублении” выступов одной поверхности в неровности другой на 1 мкм уровень ВА сигнала повышается на 10 дБ. Этот рост может быть еще большим при более высоких скоростях трения.

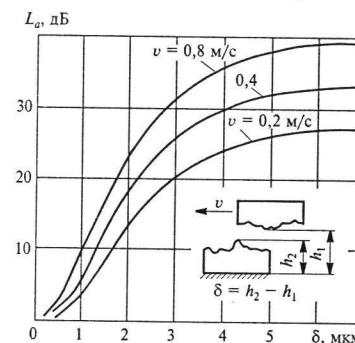


Рис. 1. Пример зависимости амплитуды L_a ВА сигнала от сближения δ контактирующих поверхностей при трении с различными скоростями v (октавная полоса 16 кГц; сплав Т15К6 — сталь 45)

Свойство ВА сигнала резко увеличивать свою амплитуду в момент соприкосновения трущихся поверхностей может широко использоваться, например, для задания припуска на шлифование в условиях некоторой неопределенности диаметра шлифовального круга (ШК) или для задания глубины его правки. При известных координатах вершины РИ информация о скачке ВА сигнала, по-

ступившая в УЧПУ станка, позволяет фиксировать момент касания РИ и заготовки, уточнять координаты ее поверхности (если они имеют значительный разброс) и относительно них осуществлять разбиение припуска.

При правке ШК контроль процесса необходим еще больше, поскольку тепловые деформации могут оказаться соизмеримыми с припуском на правку. В связи с этим важно контролировать не только координату касания ШК и правящего алмаза, но и время, затраченное на правку, чтобы убедиться, что правка проведена по всей ширине ШК. Если время присутствия ВА сигнала высокого уровня совпадает с расчетной длительностью правки, то можно утверждать, что геометрия всей рабочей поверхности круга восстановлена.

В работе [1] приведены данные о почти линейной связи между твердостью обрабатываемой поверхности и амплитудой ВА сигнала. При крупносерийном производстве часто наблюдается весьма существенное изменение средней твердости заготовок в разных партиях, что связано с технологией их получения.

Изменение твердости заготовок может привести к внезапным поломкам РИ и во избежание этого требует коррекции периодичности замены режущих пластин. Негативных последствий этого можно избежать, если, например, обрабатывая первые детали партии, отслеживать средний уровень ВА сигнала в соответствующем частотном диапазоне, где прослеживается связь амплитуды ВА сигнала с твердостью поверхности.

На рис. 2 показан пример спектра виброускорения ВА сигнала, фиксируемого на суппорте токарного станка при обработке заготовок из специального чугуна.

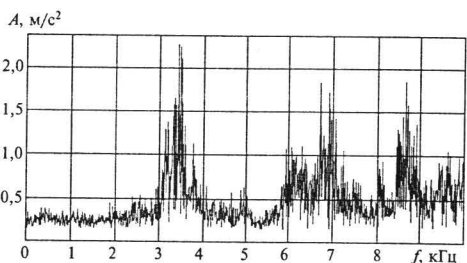


Рис. 2. Спектр ВА сигнала, получаемого на суппорте токарного станка при точении заготовок из специального чугуна: A — амплитуда виброускорения; f — частота составляющих

ного чугуна, содержащего 10 % никеля, что обеспечивает высокую коррозионную стойкость изделий.

Регистрация для двух партий таких заготовок ВА сигнала, выделенный в зоне частоты 8,5 кГц, показала, что средняя амплитуда для второй партии заготовок в 1,3 раза больше, чем для первой партии. Кроме того, при обработке второй партии был выявлен увеличенный (примерно на 30 %) расход РИ. Таким образом, контролируя амплитуду ВА сигнала при обработке острозаточенным РИ первых заготовок новой партии, можно оценить изменение твердости заготовок в партии и скорректировать период замены режущих пластин.

Раковины, обнаруживаемые после первого прохода, свидетельствуют о том, что в дальнейшем будет обрабатываться уже бракованная деталь, т. е. неизбежны дополнительные затраты, связанные с расходом дорогостоящего РИ, а также машинного и рабочего времени. В случаях, когда вскрывающиеся раковины — типовое явление, контроль их появления на поверхности становится экономически необходимым.

Естественно, что наличие раковин желательно определять в момент их возникновения на поверхности. При резании на участке с раковинами размером более 3 мм прохождение резцом области с раковинами сопровождается пиками ВА сигнала, повторяющимися на каждом обороте заготовки.

Пример ВА сигнала, сопровождающего процесс резания при наличии раковины, показан на рис. 3. Видно, что в момент точения участка с раковинной ВА сигнал изобилует всплесками, которые заметно выделяются по сравнению с уровнем фона.

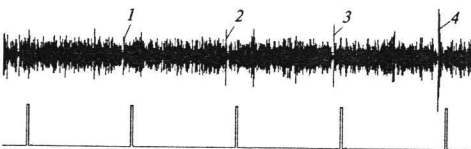


Рис. 3. Пример записи ВА сигнала, полученного при точении поверхности с раковинной размером 3 мм (на нижнем графике показаны отметки с датчика оборотов); 1—4 — моменты резания раковины

Уменьшение размеров раковин ведет к снижению амплитуды всплесков ВА сигнала, что увеличивает неопределенность при принятии решения о наличии брака на поверхности. Раковины размером менее 2 мм уже трудно выявить по пиковым значениям амплитуды на фоне аддитивной поме-

хи. Положение усугубляется при работе с большими подачами.

Ситуацию можно улучшить, если применить метод синхронного накопления [2]. Для этого ВА сигнал, снимаемый с акселерометра, фильтруют, сохраняя в нем только те частотные составляющие, которые определяются процессом резания (например, октавную полосу со среднегеометрической частотой 8 кГц). Далее сигнал детектируют, выделяя тем самым его огибающую.

Суть метода заключается в том, что при суммировании огибающей сигнала на периоде T , отмечаемом датчиком оборотов, результирующая сумма

$$Y(t) = \sum_{k=1}^n [A(t - kT) + Z(t - kT)], \text{ где } A(t) — \text{детер-}$$

минированная составляющая огибающей сигнала, создаваемая источником вынужденных колебаний (взаимодействием РИ и раковины) с основным периодом T ; $Z(t)$ — случайная составляющая с некоторой дисперсией; t — текущее время; n — число суммируемых периодов.

Благодаря тому, что детерминированная составляющая при прохождении участка с раковинной всегда присутствует в определенной фазе оборота заготовки, а случайная составляющая имеет разброс, соотношение между амплитудами обеих составляющих растет линейно по отношению к числу n суммируемых периодов, т. е. тех оборотов заготовки, на которых вершина резца проходит через раковину.

На рис. 4 показаны типичные примеры проявления форм накопленного сигнала при прохождении РИ через раковину размером 2 мм. Видно, что в результате накопления сигнал, возникающий при прохождении раковины, в 2 раза превысил фоновый уровень. С уменьшением размера раковин снижается амплитуда всплесков ВА сигнала. Дополнительно уменьшается число оборотов, на которых раковина влияет на генерируемый сигнал.

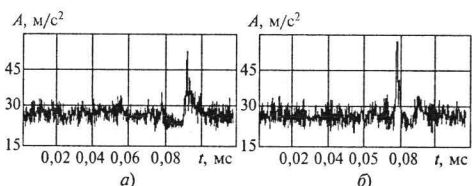


Рис. 4. Формирование результирующего пика сигнала у дальнего (а) и ближнего (б) края раковины: A — амплитуда виброускорения; t — текущее время

Это ведет к тому, что раковины величиной менее 1 мм трудно выявить при резании на фоне помех даже методом синхронного накопления.

Однако выявить на поверхности мелкие раковины и поры до 0,1 мм (например, перед началом финишной обработки) возможно, но с некоторыми дополнительными потерями времени. На позицию РИ может быть установлен заостренный подпружиненный шуп, занимающий устойчивое положение по отношению к вращающейся поверхности заготовки.

Вершина шупа входит в соприкосновение с поверхностью заготовки и сканирует ее по программе, управляющей движением РИ с возможными изменениями скорости резания или подачи. Для уменьшения затрат времени сканировать можно не всю поверхность, а только те участки, где появление раковин и пор наиболее вероятно. На рис. 5 показана реакция ВА сигнала на контакт с мелкой раковинкой на поверхности цилиндрического валика при движении шупа.

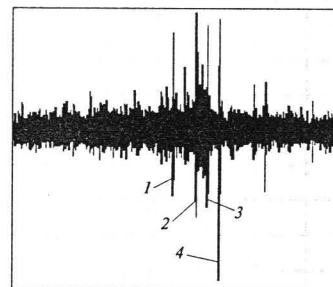


Рис. 5. Изменение ВА сигнала при прохождении шупа через мелкую раковину в процессе трения его вершины о поверхность цилиндрического валика; 1—4 — моменты контакта шупа с раковинной

Параллельно с описанными проблемами на станке, оснащенном системой ВА контроля, можно решать целый ряд других задач, включая и контроль состояния РИ [1 и 3].

Преимуществом метода контроля с помощью ВА сигналов является то, что его реализация не требует особых затрат, связанных со встройкой акселерометра в упругую систему станка. Достаточно закрепить его на поверхности какой-либо детали, проводящей вибрации из зоны резания.

Необходимо только, чтобы датчик и подводящий к нему кабель были надежно защищены от по-

вреждений, связанных с процессом резания и перемещением рабочих органов станка. В связи с этим можно предположить, что более широкое применение методов ВА диагностики на технологическом оборудовании ожидается после появления дешевых акселерометров, оснащенных системами беспроводной передачи результатов измерений в систему управления станком.

Список литературы

1. Козочкин М. П. Виброакустическая диагностика технологических процессов. — М.: ИКФ "Каталог", 2005. — 196 с.
2. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф. Я. Балицкий, М. А. Иванова, А. Г. Соколова, Е. И. Хомяков. — М.: Наука, 1984. — 120 с.
3. Козочкин М. П., Кочинев Н. А., Сабиров Ф. С. Диагностика и мониторинг сложных технологических процессов с помощью измерения виброакустических сигналов // Измерительная техника. — 2006. — № 7. — С. 30—34.