

В. В. Постнов, Б. Ф. Усманов, А. Ю. Федоровцев

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

В данной работе представлены результаты исследований спектральных характеристик параметров термо-ЭДС и вибраций. Выявлены закономерности, позволяющие оценить состояние режущего инструмента в процессе обработки. *Диагностика; термо-ЭДС; вибрации; спектральные характеристики*

Требование времени – рост автоматизации производственных процессов в машиностроении, который предъявляет высокие требования к средствам диагностирования, служащим для оперативного контроля состояния оборудования, обнаружения и локализации неисправностей. Для металлообрабатывающего оборудования одним из актуальных вопросов повышения его надежности и улучшения качества выпускаемой продукции изделия является диагностирование состояния режущего инструмента и оперативное обнаружение начальной стадии критического износа, скола или поломки.

Несмотря на общий интерес к методам контроля процессов механической обработки существенной проблемой остается оценка наиболее широкого спектра физико-химических явлений и получение необходимых сведений в условиях ограниченной информации об исследуемом объекте и свойствах внешних воздействия в системе ЗИССО (заготовка – инструмент – стружка – среда охлаждения).

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ

Средства диагностики требуют постоянного развития и совершенствования с целью повышения их разрешающей способности, что невозможно без дальнейшего исследования процесса резания и установления взаимосвязи явлений с состоянием режущего инструмента. Поэтому исследование физических явлений, возникающих в процессе резания, разработка на этой основе новых эффективных методов диагностирования состояния режущего инструмента является актуальной задачей.

На предприятиях машиностроительного комплекса используют различные методы кон-

троля процессов механической обработки, служащие для оперативного контроля состояния оборудования, обрабатываемого материала, обнаружения неисправностей и т. д. Обеспечение качества поверхностей обрабатываемых изделий возможно при эффективном контроле, в процессе которого встает задача выявления дефектов, которые имеют место при промышленной поставке заготовок на механообрабатывающее производство.

Анализ работ, посвященных методам контроля процессов механической обработки, а также информационно-измерительным системам, показывает, что в них большое внимание уделяется вопросам обеспечения заданной или оптимальной достоверности контроля состояния режущего инструмента, а также точности измерения. Наиболее малочисленную группу составляют работы, в которых контролируется качество поверхностей обрабатываемых изделий, хотя данный параметр является одним из основных.

За последние годы получило развитие новое направление, и основу которого положено исследование и разработка методов контроля процессов механической обработки на основе анализа диффузионных процессов и газообразования в зоне обработки.

Исследование и описание основных закономерностей протекания всевозможных процессов при механической обработке позволяет подойти к объяснению массопереноса в условиях стружкообразования, сформулировать основные принципы интенсификации различных процессов при обработке металлов. Исследование процессов высокоскоростного деформирования и разрушения материалов, с одной стороны, позволяет судить о динамике изменения состояния веществ на субструктурном и атомарном уров-

нях по характеру протекания процессов, а с другой стороны, разработать качественно новые физические принципы интенсификации методов обработки материалом, контроля процесса обработки и диагностирования состояния режущего инструмента. На основе всестороннего изучения взаимосвязи деформационных, последеформационных процессов и процессов разрушения материалов, структурных изменений в условиях высоких скоростей обработки возможен научно обоснованный подход к использованию полученных результатов при создании новых методов контроля.

ПРИНЦИП ДИАГНОСТИКИ

Износ инструмента в значительной мере определяется температурой в зоне контакта инструмента с деталью. Для измерения температуры резания зачастую используют естественную термопару которая по величине термо-ЭДС (электро-движущая сила) позволяет судить о средней температуре в зоне резания. Также значительно влияние вибраций на износ инструмента, так как они увеличивают шероховатость обработанной поверхности, снижают производительность оборудования и срок его службы. Вибрации наряду с непосредственным влиянием на интенсивность износа инструмента, косвенно влияют через глубину и степень наклепа поверхностного слоя. Большое значение имеют также структурные превращения, происходящие в этих материалах в процессе высокотемпературной пластической деформации и сопровождающиеся выпадением карбидов. Все твердые включения совместно с высокими удельными нагрузками на контактных поверхностях приводят к интенсивному абразивному и диффузионному износу режущей части инструмента, к явлениям адгезии (схватывания). Поэтому коэффициенты трения жаропрочных и нержавеющей сталей по твердым сплавам во много раз больше, чем при трении обычной стали, а размерная стойкость инструмента гораздо ниже.

Диагностирование износа режущего инструмента производилось на основе изменения величины постоянной составляющей термо-ЭДС, АЧХ (амплитудно-частотная характеристика) термо-ЭДС и АЧХ вибраций.

На рис. 1. представлен график изменения сигнала термо-ЭДС от начала обработки до критического износа резца.

На этом графике показано, что по мере увеличения износа инструмента, увеличивалась

и амплитуда изменения значений постоянной составляющей термо-ЭДС, а так же увеличивалось среднее значение термо-ЭДС. При приближении к критическому значению износа ($h_{зкр} = 0,4$ мм) увеличивалось отклонение постоянных значений термо-ЭДС от средней величины. Данное явление наблюдалось на каждой из исследуемых скоростей и на каждом исследуемом инструментальном материале. Это может служить основой для определения состояния и своевременной замены изношенного режущего инструмента в процессе резания.

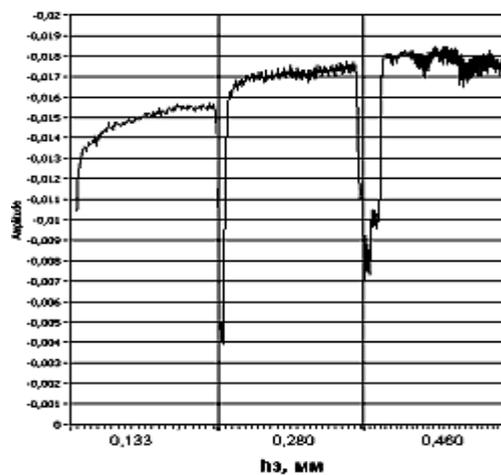


Рис. 1. График зависимости сигнала термо-ЭДС от износа инструмента (ХН73МБТЮ; $V = 20$ м/мин; $t = 0,5$ мм; $s = 0,1$ мм/об; Н13А)

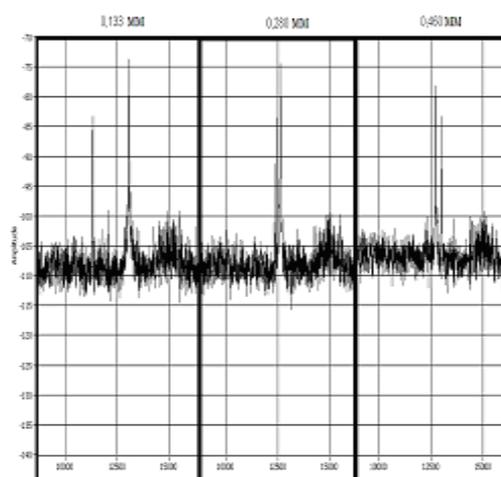


Рис. 2. График зависимости сигнала АЧХ термо-ЭДС от износа инструмента (ХН73МБТЮ; $V = 20$ м/мин; $t = 0,5$ мм; $s = 0,1$ мм/об; Н13А)

На АЧХ термо-ЭДС (рис. 2) наблюдались характерные пики в зоне высоких частот. Пик,

имеющий наибольшую амплитуду, находился на одной и той же частоте около 13000 Гц во время всего процесса резания. Также наблюдался пик меньшей амплитуды, у которого по мере износа инструмента менялось значение частоты. При приближении износа режущего инструмента к критическому значению, частота пика меньшей амплитуды совпала с пиком большей амплитуды, что тоже может служить сигналом к смене инструмента.

Также в процессе проведения экспериментов исследовались данные с датчика вибраций. АЧХ вибраций представлена на рис. 3.

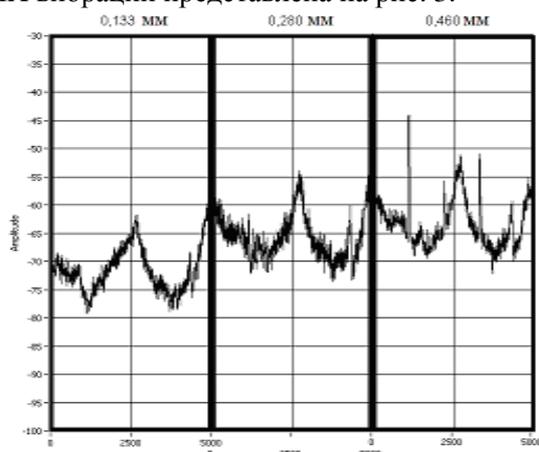


Рис. 3. График зависимости сигнала АЧХ вибраций от износа инструмента (ХН73МБТЮ; $V = 20$ м/мин; $t = 0,5$ мм; $s = 0,1$ мм/об; Н13А)

На частоте около 3000 Гц наблюдался резонансный пик, который соответствует собственной частоте вибраций режущего инструмента. Экспериментальные данные показали, что с увеличением износа возрастает амплитуда данного пика, а также при приближении к критическому износу появляются два пика с частотами выше и ниже частоты вибраций резца, которые равноудалены от этого пика.

Полученные данные можно объединить в систему факторов, по которым можно точно отслеживать состояние режущего инструмента в процессе резания.

При рассмотрении изменения АЧХ термо-ЭДС и АЧХ вибраций была найдена определенная закономерность поведения этих характеристик в процессе изнашивания резца. В диапазоне частот от 0 до 4 кГц наблюдается повышение средней величины амплитуды вибраций. По мере увеличения частоты на спектрограмме вибраций можно отметить монотонное убывание вплоть до 25 кГц. На диапазоне частот от 4 до 25 кГц на спектр вибраций накладываются ре-

зонансные частоты, зависящие от собственных частот станка, инструмента и процесса резания. На спектрограмме термо-ЭДС можно отметить аналогичный характер изменения амплитуды.

Для термо-ЭДС: на частотной характеристике имеется «пик», у которого по мере износа резца меняется частота, также на частотной характеристике наблюдается пик с постоянной частотой, который вызван собственными частотами резца, причем катастрофический износ режущей пластинки наступает, когда по частотной характеристике этот «пик» проходит собственные резонансные частоты резца.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ НА ИССЛЕДУЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Известно, что материал инструмента при точении различных обрабатываемых материалов оказывает неоднозначное влияние на температуру резания, что связано со сложным характером их влияния в первую очередь на процессы фрикционного взаимодействия, во многом определяющие температуру в зоне резания [6]. Совокупность явлений, происходящих в зоне контакта инструмента с деталью, также оказывает значительное влияние на параметры обработки. Основная структура большинства жаропрочных представляет собой обычно твердый раствор аустенитного класса с гранцентрированной кубической решеткой. При этом большая часть деформируемых жаропрочных сплавов принадлежит к типу дисперсионно твердеющих, т. е. в этих сплавах происходит выделение из твердого раствора структурной составляющей – второй фазы, отличной от его основы и рассеянной по всему объему сплава в тонкодисперсной форме. Высокая дисперсность структуры препятствует возникновению и развитию процессов скольжения, при этом сопротивление ползучести сплава повышается. Сравнение значений механических характеристик жаропрочных сталей и сплавов и стали 45 показывает, что значения истинного предела прочности при растяжении S_k , предела прочности σ и твердости НВ при обычной температуре и отсутствии деформации (упрочнения), примерно равны. Поэтому худшая обрабатываемость жаропрочных сплавов определяется другими физико-механическими и химическими свойствами и, прежде всего, структурой, механическими характеристиками, определяющими их свойства не только в исходном, но и в упрочненном состоянии и при нагреве, а также теплофизиче-

скими показателями (температура плавления, энергия активации, теплопроводность), определяющими свойства материала при повышенных температурах. Малая теплопроводность обрабатываемого материала, приводящая к повышенной температуре в зоне контакта, а следовательно, к активации явлений адгезии и диффузии, интенсивному схватыванию контактных поверхностей и разрушению режущей части инструмента. Эти явления не позволяют в ряде случаев использовать при обработке жаропрочных материалов недостаточно прочные инструментальные материалы, в первую очередь, твердые сплавы. Вместе с тем при использовании быстрорежущего инструмента по тем же причинам приходится принимать весьма малые скорости резания. Способность сохранять исходную прочность и твердость при повышенных температурах, что приводит к высоким удельным нагрузкам на контактные поверхности инструмента в процессе резания. Усугубляет действие этого фактора низкая теплопроводность этих материалов, благодаря чему высокая температура на контактных поверхностях не позволяет заметно снизить механические свойства по всему сечению срезаемого слоя. Большая истирающая способность жаропрочных сплавов, обусловленная наличием в них кроме фазы твердого раствора еще так называемой второй фазы, образующей интерметаллидные или карбидные включения. Эти частицы действуют на рабочие поверхности инструмента подобно абразиву, приводя к увеличенному износу. Большое значение имеют также структурные превращения, происходящие в этих материалах в процессе пластической деформации и сопровождающиеся выпадением карбидов. Все описанные выше твердые включения совместно с высокими температурами на контактных поверхностях приводят к интенсивному абразивному и диффузионному износу режущей части инструмента, к явлениям адгезии (схватывания). Пониженная виброустойчивость движения резания, обусловленная высокой упрочняемостью жаропрочных и нержавеющей материалов при неравномерности протекания процесса их пластического деформирования. Возникновение вибраций приводит к переменным силовым и тепловым нагрузкам на рабочие поверхности инструмента, следовательно, к микро- и макрорывкрашиванию режущих кромок. При наличии вибраций особенно неблагоприятное влияние на износ инструмента оказывают явления схватывания стружки с передней поверхностью инст-

румента. Учитывая рассмотренные особенности, процесс резания жаропрочных сплавов протекает таким образом: вначале рабочие поверхности инструмента соприкасаются с относительно мягким, неупрочненным металлом и под их воздействием происходит пластическая деформация срезаемого слоя, сопровождаемая значительным поглощением прикладываемой извне (инструментом) энергии. При этом срезаемый слой получает большое упрочнение и приобретает свойства наклепанного металла, т. е. становится хрупким. Запас пластичности при этом в значительной мере исчерпывается и происходит сдвиг – разрушение, образование элемента стружки. Малая теплопроводность этих материалов приводит к резкому снижению отвода тепла в стружку и обрабатываемую заготовку, а следовательно, повышению температуры в зоне контакта режущей части инструмента и заготовки с активизацией процессов адгезии и диффузии. В результате этого значительно увеличиваются износ инструмента и явления налипания (схватывания), вызывающие разрушение режущих кромок. Интенсификации этих процессов способствуют повышенные механические характеристики обрабатываемого материала при высокой температуре, большая истирающая способность материалов, а также переменное воздействие этих факторов, обусловленное вибрациями.

ВЫВОДЫ

Исследованные спектральные характеристики термоэлектрических и вибрационных сигналов можно использовать в качестве диагностических признаков состояния режущего инструмента.

Разработан способ диагностики состояния режущего инструмента на основе закономерностей динамики износа, проявляющихся на спектральных характеристиках термо-ЭДС и вибраций. Использование подобных систем диагностики состояния режущего инструмента по сигналу термо-ЭДС в автоматизированном производстве позволяет:

- увеличить производительность и снизить себестоимость обработки за счет повышения надежности обработки на повышенных режимах резания, своевременной сменой некондиционного инструмента, сокращения брака изделий и расхода инструмента;
- повысить надежность работы обрабатывающих систем за счет своевременной замены

предельно изношенного или поломанного инструмента на инструмент-дублер;

- повысить точность обработки благодаря вводу коррекции положения исполнительного органа станка на износ инструмента;
- предохранить механизмы и узлы станка от поломки и преждевременной потери точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макаров А. Д.** Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 275 с.
2. Термоэлектродвижущая сила металлов / под ред. Д. К. Белашенко. М.: Металлургия, 1980. 248 с.
3. **Лившиц Б. Г., Крапошин В. С., Линецкий Я. Л.** Физические свойства металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980. 320 с.
4. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов / под ред. Н. И. Резникова. М.: Машиностроение, 1972. 200 с.

5. Обработка резанием высокопрочных, коррозионностойких и жаропрочных сталей / под ред. П. Г. Петрухи. М.: Машиностроение, 1980. 167 с.

6. Роль сил трения в износе режущих инструментов: сб. научн. тр. Уфа: УАИ, 1974. 104 с.

ОБ АВТОРАХ

Постнов Владимир Валентинович, зав. каф. мехатронных станочн. систем. Дипл. инженер-механик (УАИ, 1972). Д-р техн. наук по технологии и оборудованию мех. и физ.-техн. обработки (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. физ. оптимизации нестац. процессов резания жаропрочн. сталей и сплавов.

Усманов Булат Фаритович, асп. той же каф. Дипл. инженер по мехатронике (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. резания сталей и сплавов.

Федоровцев Александр Юрьевич, асс. той же каф. Дипл. инженер по мехатронике (УГАТУ, 2007). Иссл. вибрационной составляющей процесса резания.