

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ ЛЕЗВИЯ ИНСТРУМЕНТА НА РЕЗАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

The research of new methods of processing of wood and wood materials is conducted by change of character of the appendix of mechanical influence on a cutting layer. A significant place among the combined methods of processing of various materials is machining with the vibrations, combining borrows uniform movement of cutting with vibrating influence on a processing material. The dynamic character of the process of cutting and the waves of the pressure, extending from a zone of cutting to all part of elastic wood, representing system with borders of environments in which elastic oscillatory processes are always potentially possible, cutting as forces to consider process wave. Application of cutting on optimum modes allows to solve with vibrations successfully many actual problems facing to a metal-working industry. This fact gives the precondition to assume the successful decision of many problems by processing wood and wood materials.

Введение. Изыскание новых методов обработки древесины и древесных материалов резанием ведется путем:

а) изменения характера приложения механического воздействия на срезаемый слой (например, вибрационное, сверхскоростное взаимодействие);

б) использования качественно новых видов воздействия на материал срезаемого слоя (химического, электрического);

в) применения комбинированных методов обработки, построенных на совмещении монотонного механического воздействия с вибрационным, тепловым и другими видами энергии.

Сочетание каждого из этих процессов с другими, а также комбинации из трех или четырех элементов определяют известные к настоящему времени новые методы обработки материалов снятием стружки. Комбинированные методы обработки отличаются наибольшей эффективностью. Значительное место среди них занимает механическая обработка с вибрациями в специальных средах, совмещающая равномерное движение резания с вибрационным воздействием на материал срезаемого слоя.

Теоретические исследования. Применение резания с вибрациями (на оптимальных режимах) позволяет успешно решать многие актуальные проблемы, стоящие перед металлообрабатывающей промышленностью. В частности, резание с вибрациями обеспечивает надежное дробление стружки. Этот факт дает возможность предполагать об успешном решении многих проблем и в деревообработке.

Большинство исследований вибраций при резании изотропных материалов выполнено на основе упрощенных структурных схем. Чаще изучение вредных вибраций проводят на основе исследования влияния отдельных первичных параметров на интенсивность вибраций и результаты обработки. Так, А. И. Кашириным выполнены исследования интенсивности вредных вибраций с учетом влияния особенностей процесса трения только на контактных

поверхностях [1], Л. П. Соколовским – с учетом особенностей пластического деформирования при врезании и выходе инструмента [1], И. С. Штейнбергом – с учетом процесса наростообразования [1].

Надо отметить, что совершенно недостаточно изучен механизм влияния вредных вибраций, обусловленных процессом резания, на вторичные факторы, и прежде всего на стойкость и прочность инструмента. Исследования полезных вибраций, задаваемых специальными вибраторами, проведены, как правило, на основе рассмотрения прямой взаимосвязи первичных и вторичных факторов, без изучения физических закономерностей процесса резания, определяющих эту взаимосвязь.

При рассмотрении пары «инструмент – разрезаемый материал» следует обратить внимание на их полевое воздействие.

Влияние импульсного воздействия на металл было определено в лабораторных условиях [1], [2], [3].

Так, для исследования влияния вибрации на процесс резки арматурной стали профессором С. А. Волковым был использован вибратор направленного действия с частотой ~ 25 Гц ($N = 1 \text{ кВт}$, $n = 1540 \text{ мин}^{-1}$). Он провел 230 экспериментов, показав, что в режиме резонанса наблюдается существенное снижение сил резания (более чем в четыре раза была уменьшена сила резания) [1], [2], [3].

Изучение зоны среза показало, что при виброрезании повышается качество среза. Торец среза более ровный и в большой степени перпендикулярен к оси стержня по сравнению с торцом при резке без вибрации. При изучении микрошлифов установлено, что при воздействии вибрации уменьшается объем деформированного металла. Этим частично объясняется снижение энергоемкости при виброрезании. При действии вибрации наблюдалось изменение механических свойств и реологического поведения разрезаемого металла за счет виброактивации. Традиционное объяснение снижения

«статической» составляющей силы резки тем, что добавляется динамическая, дающая в сумме разрушающее воздействие, экспериментально не подтвердилось, но, вероятно, это суммирование имеет место на микроуровне – на дефектах строения древесного материала.

С целью расширения частотного диапазона С. А. Евтюковым [1] были выполнены эксперименты по выявлению влияния ультразвукового воздействия на зону резания металлов. Удалось снизить силу резания в 1,8–2,2 раза на частоте 7,9 кГц. Для этого исследования был применен оптимальный метод статистического планирования эксперимента.

Эффект снижения прочности материала наблюдался в экспериментах, проведенных в начале 60-х годов в СССР при снятии внутренних напряжений со сварных конструкций и с затвердевшего бетона при помощи ультразвукового воздействия, а также в экспериментах со стальными шариками и плитой. Если прочность шарика была выше прочности плиты, то под воздействием ультразвука шарик деформировался (при большей прочности) только от собственного веса.

Этот же эффект наблюдался болгарским профессором Ангеловым Г.С. [4] при растяжении монокристаллов цинка и алюминия.

Объяснение роли цикличности нагружения в разрушении материалов дают Ю. А. Никонов и В. А. Степанов [5]. Они считают, что одной из причин понижения напряжения разрушения при циклической нагрузке является взаимодействие поля микронапряжений от внешней нагрузки цикла с остаточными микронапряжениями, возникающими в теле после предыдущих циклов. Остаточные микронапряжения и микродефекты возникают при растяжении, а при сжатии происходит «отдых». Если сразу после растяжения в каждом цикле проводить мероприятия по снятию остаточных напряжений, то долговечность тела могла бы быть значительно повышена.

Существенный вклад в изменение прочностных свойств и реологического поведения твердых тел при воздействии динамических нагрузок вносят поверхности, как наружные, так и внутренние, например границы между волокнами и древесными частицами, выступающие в роли акустических границ и способствующие возникновению сложного спектра акустических, ультразвуковых и гиперзвуковых волн [1], [3]. При обработке древесины и древесных материалов в роли акустических границ смогут выступать как границы между волокнами и между частицами самой древесины (при обработке плитных материалов), так и сами дефекты обрабатываемого материала (сучка, трещины и т. д.). Предлагается гипотеза механизма воздействия на твердые тела ударных, импульсных и

вибрационных нагрузок в сочетании со статическими нагрузками. Фронт волны, доходя до любой акустической границы, частично отражается от нее. Отражения между границами, приводя к рассеянию волновой энергии, генерируют спектр затухающих колебаний с частотами, равными отношению скорости звука в распространяемой среде к длине волны.

$$f = \frac{c}{\lambda}, \quad (1)$$

где f – частота колебаний, Гц; c – скорость звука в среде, м/с; λ – длина волны, м.

Направления же волн определяются расположением границ и углами падения их фронтов, т. е. рассеяние волновой энергии и есть, по сути, генерирование гиперзвуковых частот, о чем говорит повышение температуры в зоне взаимодействия инструмента и материала.

Согласно [6], скорость распространения фазовой волны для изотропного материала рассчитывается по зависимости

$$c = \sqrt{\frac{1,35 \cdot E}{\rho}}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала, МПа; ρ – плотность материала, кг/м³

Для определения механических характеристик древесины, необходимо учитывать следующие особенности:

1) древесина является материалом анизотропным, поэтому для получения полной характеристики испытания должны проводиться по трем направлениям;

2) механические характеристики древесины определяются на образцах без пороков, поэтому для действительных образцов эти характеристики следует уточнять;

3) на прочность древесины сильно влияет влага, с увеличением которой она уменьшается.

Зависимость (2) дает возможность предполагать, что скорость распространения силовых волн в анизотропном материале будет различной как в образцах разных пород, так и в образцах с разной влажностью.

Согласно табличным данным, модуль упругости при растяжении и сжатии поперек волокон у древесины составляет 0,5–1,5 ГПа (в зависимости от направления и породы). Плотность же древесины при влажности 12% меняется от 370 до 800 кг/м³.

Следовательно, согласно (2), скорость распространения фазовой волны для древесины меняется от:

$$c = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 500\,000\,000}{800}} = 918 \text{ м/с}$$

до

$$c = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 1\,500\,000\,000}{370}} = 2339 \text{ м/с.}$$

Как видим, скорость волны по зависимости для изотропного материала, для анизотропного материала – древесины – в различных направлениях и для разных пород отличается более чем в 2,5 раза.

Процесс воздействия вибраций от инструмента на материал напоминает лазерную накачку, но по сравнению с лазером имеет значительно большее рассеяние энергии и меньший коэффициент полезного действия [1], [2], [5], [6].

С возрастанием частоты отражения длины проходящих через границы волн становятся значительно меньше размеров объекта воздействия, возникает нелинейность и нарушается принцип суперпозиции, что объясняется разностью скоростей звука в сжатых и растянутых зонах [4]. Это приводит к возникновению ударных волн и локализованному резонансу. И хотя из-за рассеяния доля резонансной энергии крайне мала, может произойти нарушение связей на дефектах в микрizonaх пересечения волновых фронтов, что, в свою очередь, может привести к самофокусировке ударных волн и концентрации их энергии на дефектах с повышенным волновым сопротивлением [1], [2].

При значительных локальных пластических деформациях, возникающих у зоны резания древесины и древесных материалов, могут иметь место три механизма самофокусировки. Однако при обработке древесины и древесных материалов наиболее вероятный первый механизм, а именно отражательный от границ деформированных древесных частиц (макроскопический уровень);

При местной пластической деформации механизм самофокусировки локализован в зоне контакта обрабатываемого материала с инструментом, например при виброрезании. Гиперчастотные ударные волны увеличивают амплитуду колебаний древесных частиц или волокон у древесины. Проходя по связям, они разрушают наиболее напряженные участки, и процесс разделения материала происходит с меньшими затратами энергии.

Процесс распространения колебательных движений частиц в древесине и древесных материалах похож на затухающие колебания, поскольку энергия свободных колебаний уменьшается с течением времени. Затухание свободных колебаний механической системы обусловлено диссипацией ее энергии вследствие действия на систему консервативных сил сопротивления (трения).

Согласно [7], сила внутреннего трения в изотропном материале зависит от фазовой ско-

рости волны в материале, с возрастанием которой консервативные силы сопротивления растут (в отличие от поверхностной силы трения, которая не зависит от скорости).

Вышерассмотренный факт позволяет утверждать, что в направлении, где скорость максимальна, происходит большая концентрация колебательной энергии на разрушение связей.

Изыскание рациональных условий механической обработки должно производиться комплексно на основе выяснения физического механизма процесса резания, и прежде всего основных явлений, его определяющих, – кинематики процесса и динамических свойств системы станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД), напряженного состояния, пластических деформаций и разрушения в зоне резания, трения, тепловых процессов, химических и электрических явлений на контактных поверхностях и других факторов. Эти факторы определяют структурную схему основных элементов, составляющих операцию механической обработки, т. е. взаимосвязь между исходными – первичными параметрами, задаваемыми конструктором (обрабатываемый материал, размеры детали) и технологом (тип станка и приспособлений, схема настройки операций, конструкция и геометрия заточки инструмента, режимы резания), и вторичными параметрами, определяющими результаты выполнения механической обработки (эксплуатационные характеристики детали, в том числе точность обработки и качество поверхности, стойкость инструмента, производительность и экономичность обработки).

В определении взаимосвязи между первичными и вторичными параметрами, т. е. в установлении силовой сущности процесса резания, важное значение имеют жесткость упругой системы СПИД и вибрации. Вибрации при резании могут задаваться извне специальным вибратором или возникать в результате определенных особенностей процесса резания. В первом случае они относятся к первичным параметрам, во втором являются одним из явлений, определяющих физический механизм процесса резания при заданных условиях. Вибрации первого вида всегда задаются с определенным направлением, частотой, амплитудой и формой колебаний, улучшающими процесс резания, т. е. являются целенаправленными, полезными. Вибрации второго вида возникают в результате непредусмотренных при проектировании операции особенностей процесса резания, т. е. при выборе первичных параметров. В этом случае их направление, частота, амплитуда, форма при обработке древесины и древесных материалов остаются неизвестными, что не позволяет оценить их роль в процессе обработки различных материалов (древесины в том числе).

В большинстве случаев вторичные параметры снижают стойкость и прочность инструмента, точность и качество поверхности. Однако, возможно, это является следствием неправильной установки первичных параметров.

Вибрации, обусловленные процессом резания с оптимальным направлением, частотой и амплитудой, позволяют использовать их для улучшения механической обработки – вторичных параметров, т. е. превратить вредные вибрации в полезные.

В последние годы были выполнены исследования вибраций, обусловленных запаздыванием сил стружкообразования и трения относительно вибрационного перемещения и особенностями стружкообразования, связанными с упругими деформациями системы СПИД, имеющей несколько степеней свободы.

В [7] приведена методика нахождения характеристик колебательного процесса второго рода при обработке изотропного материала – металла. Однако расчетная методика очень сложна для применения ее к древесине (как анизотропного материала).

В качестве исследования влияния вторичных параметров на качество обработки древесных материалов предлагается использование инструмента, имеющего по сравнению с существующими конструкциями однотипного инструмента, еще одну степень свободы (вращение вокруг оси, проходящую через режущую кромку). Данный инструмент обладает возможностью совершать колебательные движения под действием периодических сил резания, возникающих при взаимодействии резца с обрабатываемым материалом.

Динамический характер процесса резания и существование волн напряжения, распространяющихся от зоны резания по всей среде упругой древесины, представляющей собой систему с границами сред, в которых всегда потенциально возможны упругие колебательные процессы, заставляет рассматривать резание как процесс волновой. Это приводит ко многим выводам, направленным на улучшение технологических систем (станок – инструмент – материал) с целью осуществления более качествен-

ного и менее энергоемкого процесса обработки древесины и древесных материалов.

Выводы. 1. Изучение вибрационного воздействия на процесс обработки древесины и древесных материалов – актуальная задача для деревообработчиков, т. к. появляется возможность снизить энергетические затраты и повысить стойкость инструмента.

2. Возможными недостатками обработки древесины и древесных материалов с использованием вибраций могут быть увеличение трудоемкости изготовления инструмента и использование неправильных режимов обработки, что приведет к ухудшению характеристик процесса резания.

Литература

1. Волков, С. А. Влияние динамических нагрузок на прочность и реологическое поведение твердых тел (о механизмах самоорганизации структур дефектов кристаллической решетки в зонах деформаций) / С. А. Волков // Синергетика и методы науки. – СПб.: Наука, 1998. – 155 с.

2. Волков, С. А. Влияние скорости резания и вибрации на величину усилий в зоне среза / С. А. Волков // Строительные и дорожные машины: докл. к XXIV науч. конф. ЛИСИ. – Л.; 1966. – С. 34–36.

3. Волков, С. А. Физические основы рабочих процессов машин для изготовления арматуры железобетонных конструкций / С. А. Волков. С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб., 2001. – 125 с.

4. Применение ультразвука в промышленности / под ред. А. И. Маркова. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1975. – 240 с.

5. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Л. Б. Зельдович [и др.]. – М.: Наука, 1966. – 686 с.

6. Роль цикличности нагружения в разрушении материалов / Никонов Ю. А. [и др.] // ФТТ. – 1974. – Вып. 16, № 9. – С. 2750–2752.

7. Механика волны при резании (Исследование предельно упругой поверхности технологической системы станок – инструмент – деталь) / В. В. Каллиоппин. – Минск: Наука и техника, 1969. – 176 с.