

УДК 62-932.4: 621.91

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ БИОИНЖЕНЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**В.Л. Хавин, проф., зав.каф. сопротивления материалов НТУ "ХПИ",
И.С. Лавриненко, аспирант каф. сопротивления материалов НТУ "ХПИ"**

Аннотация: Вибрационное резание представляет собой процесс лезвийной обработки, при котором осуществляется малоамплитудное высокочастотное колебание инструмента во время его движения вдоль поверхности резания. Необходимо задать наиболее эффективную комбинацию скорости резания, частоты и амплитуды колебаний инструмента для уменьшения основных параметров шероховатости и улучшения качества поверхности.

Ключевые слова: Вибрационное резание, инструмент, колебания, частота, амплитуда, качество поверхности

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО РІЗАННЯ ПРИ ЛЕЗОВІЙ ОБРОБЦІ БІОІНЖЕНЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

**В.Л. Хавін, проф., Зав.каф. опору матеріалів НТУ "ХПІ",
І.С. Лавриненко, аспірант каф. опору матеріалів НТУ "ХПІ"**

Анотація: Вібраційне різання являє собою процес лезової обробки, при якому здійснюється малоамплітудне високочастотне коливання інструмента під час його руху вздовж поверхні різання. Необхідно задати найбільш ефективну комбінацію швидкості різання, частоти та амплітуди коливань інструмента для зменшення основних параметрів шорсткості та покращення якості поверхні.

Ключові слова: Вібраційне різання, інструмент, коливання, частота, амплітуда, якість поверхні

FEATURES OF VIBRATION CUTTING BY SINGLE-POINT MACHINING OF BIOENGINEERING MATERIALS

**V.L. Havin, prof., Head of materials strength Dept. NTU "KPI",
I.S. Lavrynenko, PhD student of materials strength Dept. NTU "KPI"**

Abstract: Vibratory cutting is a single-point cutting process in which low amplitude high-frequency vibration of tool are realizing in the time of its movements along surface of cutting. It is necessary to assign the most effective combination of cutting speed, frequencies and amplitude vibration of tool for decreasing of roughness main parameters and improvement of surface quality.

Keywords: vibrating cutting, tool, oscillation, frequency, amplitude, quality of surface

Введение

Под вибрационным резанием (ВР) подразумевается процесс лезвийной обработки, при котором вибрации, дополнительно вводимые

в зону обработки, объединяют динамические параметры разрушения срезаемого слоя припуска на макроуровне с малоамплитудными вибрациями инструмента, что облегчает процесс разрушения и улучшает качество фор-

мируемого поверхностного слоя. Это применимо практически для всех процессов лезвийной обработки – точения, фрезерования и сверления.

Анализ публикаций

Одномерное ВР впервые было применено в конце 60-х годов для традиционной обработки металлов [1–3]. Особый интерес к вибрационному резанию проявили в начале нынешнего века, когда появилась проблема обработки *концевыми* инструментами. Проводились эксперименты по обработке таких материалов, как *сталь, стекло и хрупкая керамика*. Результаты этих исследований показали, что при использовании ВР появляется возможность увеличить стойкость инструмента и улучшить экономические показатели обработки. Было продемонстрировано преимущество ВР при чистовой обработке поверхностей по сравнению с традиционной механической обработкой [4, 5].

Цель и постановка задачи

В данной работе рассматривается вибрационное резание биоматериалов и, в частности, применение ВР при решении сложных прикладных задач – сверлении хрупких биоматериалов (включая живую костную ткань) и при создании заданной микроструктуры поверхностей со сложной геометрией для таких изделий как имплантаты и оптические элементы. Особое внимание уделено особенностям процесса эффективного формообразования высококачественного поверхностного слоя. Важной задачей является определение влияния высокочастотных вибраций на особенности механики процесса обработки и, в частности, на его кинематику.

Одномерная модель вибрационного резания

Основные кинематические зависимости представлены для одномерной модели вибрационного резания, т.е. ВР при внешнем воздействии, вызывающем только осевую вибрацию инструмента.

На рис.1 показана модель процесса обработки при вибрационном резании. Инструмент поступательно движется вдоль линии направления вектора продольной подачи, т.е. вдоль обрабатываемой поверхности. Для за-

данной частоты вибрации f_v существует критическое значение величины скорости резания, при которой главная режущая кромка инструмента будет периодически терять контакт с поверхностью резания и обрабатываемым материалом.

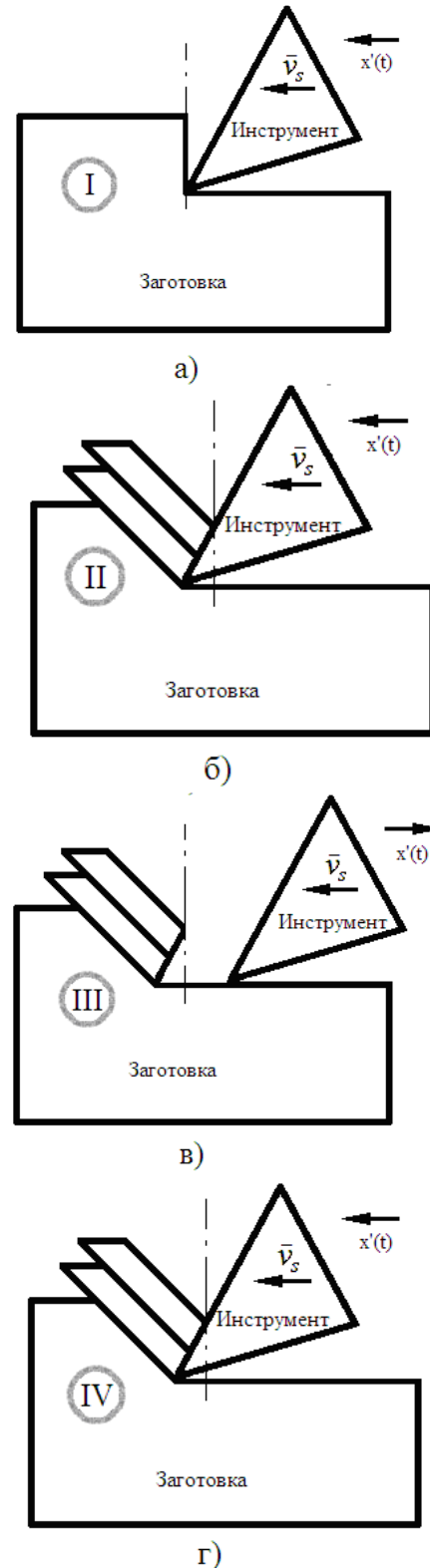


Рис. 1. Одномерная модель вибрационной системы

Относительно направления движения главной режущей кромки вдоль направления продольной подачи и вектора скорости резания, координату положения инструмента и скорость получаем по следующим формулам:

$$x(t) = A \sin(\omega t) + V_s t; \quad (1)$$

$$x'(t) = \omega A \cos(\omega t) + V_s, \quad (2)$$

где $x(t)$ – координата положения инструмента;

A – амплитуда вибрации инструмента;

ω – угловая частота, связанная с частотой вибраций формулой $\omega = 2\pi f$;

V_s – скорость продольной подачи.

Скорость продольной подачи имеет положительное значение в уравнениях (1) и (2), так как V_s – это относительная скорость движения инструмента относительно обрабатываемой заготовки. Жесткая фиксация обрабатываемой заготовки и движение инструмента в положительном направлении оси x будет определять относительное смещение инструмента.

На этапе I (рис. 1а) скорость инструмента относительно заготовки равняется нулю. Передняя поверхность инструмента только коснулась обрабатываемого материала и начался процесс резания. Время начального контакта инструмента с поверхностью обозначаем t_1 .

На этапе II (рис. 1б) вершина инструмента находится в предельном значении амплитуды линейной вибрации с $x'(t) = 0$ перед изменением направления колебательного движения. Время, когда инструмент теряет контакт с необработанным материалом в конце движения резания, обозначается t_2 . На этапе III (рис. 1в), $x'(t)$ изменяется таким образом, что вершина инструмента вышла из зоны резания. На этапе IV (рис. 1г) значение $x'(t)$ снова положительное, инструмент вновь вступает в контакт с обрабатываемым материалом и начинается новый цикл обработки, t_1' – время начального контакта инструмента с необработанным материалом в его новом положении. Длительность полного цикла – T равняется $1/f$, а часть цикла, во время которого осуществляется резание, равняется $t_1 - t_2$.

Уравнение 3 определяет критический уровень скорости подачи $V_{s,crit}$, выше которого передняя поверхность инструмента никогда

не выйдет из контакта с необработанным материалом:

$$V_{s,crit} = 2\pi f A. \quad (3)$$

Если $V_s < V_{s,crit}$, то осуществляется прерывистое резание с частотой f . Если $V_s \geq V_{s,crit}$ тогда резание непрерывно, но относительная скорость между инструментом и обрабатываемым материалом изменяется гармонично. В общем случае, прерывистое резание, когда $V_s < V_{s,crit}$ является предпочтительным, т.к. при этом возникает периодическое отделение режущей кромки инструмента от обрабатываемого материала и реализуется большинство преимуществ, которые обеспечивает использование ВР.

Неустойчивый контакт между инструментом и обрабатываемой поверхностью, показанный на рис. 2, может быть определен двумя переменными: t_1 , когда инструмент начинает внедряться в необработанный материал и t_2 , когда происходит обработка.

$$A \sin(2\pi f t_1) = A \sin\left(\arccos\left(\frac{-V_s}{2\pi f A}\right)\right) - V \left(t_1 - \frac{\arccos(-V_s / 2\pi f A)}{2\pi f} \right); \quad (4)$$

$$t_2 = \frac{\arccos(-V_s / 2\pi f A)}{2\pi f}; \quad (5)$$

Уравнение 4 должно быть решено алгебраически.

Величина дополнительного увеличения значения подачи s_d и величина соотношения рабочей скорости движения инструмента (скорость продольной подачи) и скорости горизонтального смещения инструмента за счет вибрации H_s определяются как

$$s_d = \frac{V_s}{f}; \quad (6)$$

$$H_s = \frac{V_s}{2\pi f A}, \quad (7)$$

где s_d – расстояние между эквивалентными точками на вибрирующей части инструмента для последовательных циклов (равно рассто-

янию, проделанному инструментом при одном вибрационном цикле относительно обрабатываемого материала);
 H_S – соотношение между рабочей скоростью подачи и пиковой горизонтальной вибрационной скоростью инструмента.

Непрерывное резание происходит когда $H_S \geq 1$. Параметры s_d и H_S являются важными характеристиками механики рабочего цикла ВР.

Периодическое прерывание контакта режущей кромки инструмента с обрабатываемым материалом приводит к уменьшению силы резания при механической обработке и уменьшению сечения стружки, что уменьшает тепловыделение и травматическое воздействие на биоматериалы, а также улучшает качественные показатели обработанной поверхности для биоинженерных материалов.

Таким образом, вибрационное резание представляет собой процесс лезвийной обработки, при котором происходит малоамплитудное высокочастотное колебание инструмента во время его движения вдоль поверхности резания.

Главная режущая кромка инструмента движется возвратно-поступательно или эллиптически и эти колебания сконцентрированы в направлении вектора скорости главного движения резания. При этом необходимо задать наиболее эффективную комбинацию скорости резания, частоты и амплитуды колебаний инструмента.

Инструмент в процессе своего поступательного движения в направлении продольной подачи (s_{np}) периодически теряет контакт с поверхностью резания в результате чего уменьшается сила резания и сечение формируемой стружки, что приводит к уменьшению основных параметров шероховатости и улучшению качества поверхности, а также обеспечивает более высокую точность формы и отсутствие задиров и сколов на обработанной поверхности по сравнению с обычной обработкой.

Выводы

1. Стойкость лезвийного инструмента, который обрабатывает биополимерные материа-

лы, при использовании ВР значительно увеличивается. При резании хрупких материалов с помощью ВР можно также увеличить глубину резания за счет снижения прилагаемых сил.

2. Экспериментальные результаты, полученные при исследовании динамики процесса механической лезвийной обработки при условии использования дополнительного вибрационного воздействия в зоне резания показали следующие преимущества ВР – снижение нагрева в зоне резания, предотвращение искажение формы обрабатываемого изделия, улучшение качества поверхности, возможность гибкого варьирования параметрами режима резания и уменьшение краевого эффекта и эффектов расслоения биокomпозитных материалов.

3. Кинематические взаимосвязи и ключевые параметры, описывающие циклы механической обработки для одномерной и двухмерной модели ВР, должны быть описаны при помощи математических и физических моделей с учетом особенностей аппаратного обеспечения технологической системы, обеспечивающей вибрационное резание.

Список литературы

1. Tlustý T, Poláček M. The stability of the machine tool against self-excited vibration in machining. *Int. Res. Prod. Eng. ASME*, 1963, 4. – P. 65-74.
2. Merrit H.E. Theory of self-excited machine tool chatter. *Trans. ASME*, 1965, 87(B-4), 4. – P. 47-54.
3. Das M.K., Tobias S.A. The relation between the static and dynamic cutting of metals. *Int. J Machine Tool Des. Res.* 1967, 7. – P. 63-89.
4. Hoshi T. Cutting dynamics associated with vibration normal to cut surface. *Ann CIRP* 1972;21(1). – P. 101-102.
5. Edhi E., Hoshi T. Stabilization of high frequency chatter vibration in fine boring by friction damper. *J. Int. Soc. Precision Eng. Nanotechnol.* 2001, 25(3). – P. 224-234.
6. Edhi E., Hoshi T. A new mechanism explaining high frequency chatter vibration involving X-Y looping in fine boring transactions of the ASME. *J Dyn Syst Meas Control* 2001,123. – P. 370-376.