

УДК 621.9.048.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Лысенко С.В. старший преподаватель

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко)*

В статье изложены основные кинематические зависимости, проведен анализ процесса и технологических особенностей вибрационного резания, рассмотрена конструкция режущего инструмента, обеспечивающего улучшения шероховатости при обработке материалов.

Актуальность проблемы. В современном машиностроении при обработке многих материалов, особенно таких, как высоколегированные стали и некоторые сплавы цветных металлов, существует ряд проблем связанных с отводом и транспортировкой стружки. Это связано с тем, что в процессе резания вышеперечисленных материалов образовывается длинная непрерывная стружка в виде ленты или спирали. Наличие такой стружки снижает качество и надежность обработки, затрудняет эксплуатацию автоматизированного оборудования, ведет к увеличению производственного травматизма, возникают проблемы с транспортировкой и хранением стружки, что в целом приводит к снижению производительности. Поэтому решение этих проблем является актуальной задачей металлообработки. Целесообразным является модернизация существующих или создание новых процессов резания, например, за счет усовершенствования конструкции режущих инструментов, применения новых инструментальных материалов, прогрессивных схем обработки и т.д.

Анализ последних исследований и публикаций. Современные исследования вибраций при резании металлов ведутся по двум направлениям. Первое из них (и наиболее изученное) связано с гашением вибраций неблагоприятных при механической обработке, ведущей к снижению качества поверхности, точности обработки и стойкости инструмента; второе – с освоением метода вибрационного резания, использующего положительное влияние вибраций. Применение вибрационного резания не противоречит широкому использованию средств гашения вибраций. При правильном выборе направления колебаний, их частоты и амплитуды использование вибрационного резания гарантирует периодический излом стружки. Помимо этого, в процессе исследований было установлено, что применение вибрационного резания не только обеспечивает гарантированное дробление стружки, но и улучшает ряд важнейших технологических показателей. В ряде случаев создаются предпосылки для улучшения обрабатываемости материалов (прежде всего,

корозійно-стійких і жаропрочних сталей), а також для підвищення стійкості інструмента. Виникаючі при цьому зусилля носять знакоперемінний характер, що приводить до появи субмікроскопічних тріщин, навколо яких концентруються внутрішні напруження. Цей факт є передумовою підвищення оброблюваності матеріалів. Особливо чутливі до концентрації напружень корозійно-стійкі і жаропрочні сталі.

Як показують дослідження проф. В.Н. Подураєва [1] зусилля при виборезанні зменшуються порівняно зі статичним різанням. Це сприяє підвищенню стійкості інструмента. Крім того, зростає ефективність впливу середовища шляхом більш надійного періодичного омивання режущого клина інструмента СОЖ. Це призводить до зниження температури в зоні різання і підвищення стійкості інструмента.

Цілью даної роботи є розгляд основних кінематических залежностей, проведення аналізу процесу і технологічних особливостей вібраційного різання, розробка конструкції режущого інструмента, що забезпечує покращення шорсткості при обробці матеріалів.

Основний матеріал досліджень. Використання вібраційних технологій обробки різанням є одним з можливих рішень отримання сегментної стружки [1,2]. Ідея використання вібрацій при різанні вперше була висунута російським дослідником В.Л. Татариним в 1910 г. [1]. Однак перші роботи по промисловому застосуванню методу були зроблені лише в 1950-х гг. Суть даного способу полягає в колибательному переміщенні інструмента (або деталі), супроводжуєму головним рухом різання (обертання деталі при точенні, обертання інструмента - при сверленні і фрезеруванні) і рухом подачі. Подібне колибательне переміщення призводить до перерозподілу температур в зоні різання, зниженню середніх значень сил різання і, як наслідок, до зниженню зносу інструмента. Іншим корисним наслідком вібрацій інструмента є виникнення преривистої стружки. Саме ця можливість вібраційного різання розглядається в даній роботі.

При обробці точенням виділяють три просторових напрямки допоміжних вібрацій: осевий, радіальний і тангенціальний [1,2]. Радіальне переміщення різця призводить до погіршення геометрії обробленої поверхні і тому практично не застосовується.

Різання з вібраціями полягає в тому, що на загальноприйнятій кінематическій схемі різання накладається додаткове синусоїдальне колибательне рух інструмента відносно заготовки (рис. 1).

Якщо при звичайному різанні режуща кромка інструмента проходить по заготовці шлях у вигляді винтової лінії, то при вібраційному цей шлях буде мати більш складну криволінійну форму, що отримується при накладенні на винтову лінію синусоїди. При цьому слід зазначити, що на довжині розвертки окружності оброблюваної поверхні не повинно укладатися ціле число довжин хвиль колибань.

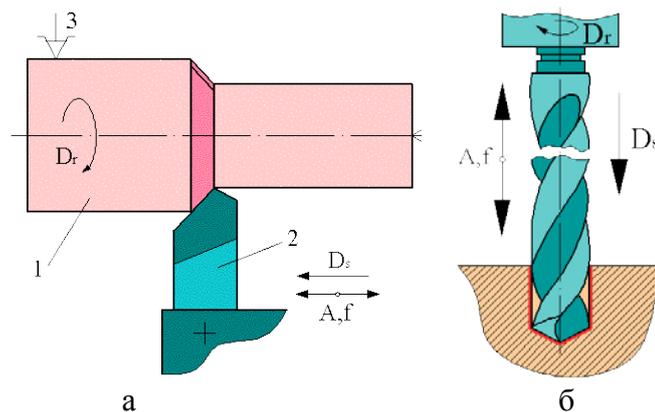


Рисунок 1 - Принципиальные схемы вибрационного точения (а) и сверления (б). А - амплитуда колебаний, f - частота колебаний (до 50 Гц)

В противном случае дробления стружки не будет, несмотря ни на какие вариации режимов резания и параметров вибраций (амплитуды колебаний A и частоты f). Следовательно, применение вибрационного резания будет неэффективным. В общем случае, если под условием эффективности применения вибраций понимать надежное дробление стружки, его можно записать в виде следующего равенства:

$$\pi D = \lambda_B (k + i), \quad (1)$$

где D - диаметр обработанной поверхности, мм;

λ_B - длина волны колебаний, мм;

k - число целых волн колебаний, уложившихся на длине окружности обработанной поверхности;

i - сдвиг фаз на смежных оборотах, $i = c/d$; c и d - целые числа, причем $c < d$.

При вибрационном резании кинематика процесса является первичным фактором, отличающим его от обычного резания. Поэтому все изменения физических параметров (сила и температура резания, усадка стружки и т. д.) и технологических показателей (стойкость режущего инструмента, шероховатость обработанной поверхности, точность и т. д.) обуславливаются изменениями кинематических параметров процесса резания: толщины и длины элемента срезаемого слоя и стружки, законов формирования элемента срезаемого слоя, времени работы и времени отдыха режущего инструмента.

Под непрерывным резанием с вибрациями понимают такое резание, в процессе которого режущая кромка инструмента не выходит из зоны резания. При прерывистом вибрационном резании режущая кромка периодически выходит из обрабатываемого материала. Следовательно, если минимальная толщина срезаемого слоя $t > 0$, то резание непрерывное, в противном случае - прерывистое.

Наибольший эффект, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов, достигается именно при прерывистом резании. Следует отметить, что только прерывистое резание с вибрациями позволяет обеспечить надежное

разделение стружки на отдельные части, а также повысит эффективность действия СОЖ и всей обработки в целом.

При вибрационном резании подача - величина переменная. В связи с тем, что колебания инструмента совершаются по синусоидальному закону:

$$x = A \sin \omega t \quad (2)$$

где $\omega = 2\pi f$ - круговая частота, рад/с;

τ - время, с;

f - частота колебаний, Гц, подача будет также изменяться в соответствии с функцией \sin :

$$S_{\text{вibr}} = S_0 + A \sin \omega t \quad (3)$$

При обычной обработке сечение срезаемого слоя представляет собой прямоугольник, ширина которого равна его толщине, а высота - глубине резания. При этом оно на протяжении всего пути резания остается постоянным (рис. 2, а). При резании с вибрациями сечение срезаемого слоя постоянно изменяется (рис. 2, б) как в поперечном сечении (перпендикулярно поверхности резания), так и в продольном (вдоль направления резания).

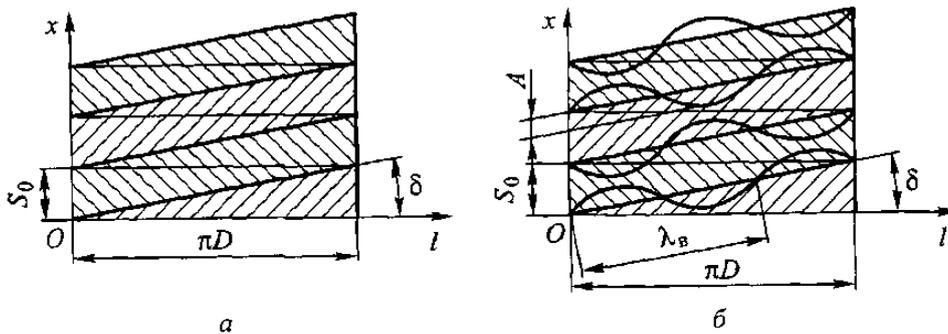


Рисунок 2 - Развертки следов вершины резца при обычном (а) и вибрационном (б) резании

В производственных условиях гораздо важнее решить обратную задачу: не определить длину стружки, а обеспечить требуемый ее размер путем выбора режима обработки. В отличие от других методов дробления стружки резание с вибрациями позволяет получить элемент стружки любой заданной длины без потери производительности. Желаемый эффект достигается подбором параметров колебаний.

Предположим, что требуется получить стружку определенной длины $L_{\text{стр.}}$. При этом известны режимы резания: подача режущего инструмента S_0 , число оборотов инструмента (заготовки) n , диаметр обрабатываемой заготовки $d_{\text{заг}}$, а также коэффициент усадки стружки η .

Следует отметить, что элемент срезаемого слоя и соответственно элемент стружки заданной длины можно получить для заданных условий при различных законах его формирования, т. е. для каждого закона формирования элемента срезаемого слоя можно подобрать такие значения амплитуды и частоты вибраций, которые обеспечили бы получение стружки заданной длины.

Параметры вибраций, обеспечивающие получение стружки заданной длины в момент перехода непрерывного резания в прерывистое (т. е. для условий, при которых $\tau_{\text{раб}} = T$, а $\Delta\theta = 360^\circ$), определяют по формулам

$$f = \frac{16.7v}{L_{\text{cmp}}}; \quad A = \frac{S_0}{2(60f|n-k)\pi} \quad (4)$$

Если же данные значения амплитуды и частоты вибраций не удовлетворяют условиям обработки, то можно подобрать другие параметры колебаний для условий, когда элемент срезаемого слоя будет формироваться тремя смежными витками. Но в этом случае будет необходимо задаться одним из параметров вибраций, например частотой f . Тогда

$$A = \frac{S_0}{\cos\left(\pi - \frac{10/8L_{\text{cmp}} \cdot f \eta}{v}\right) \sin\left(\frac{60f}{n} - k\right)\pi}. \quad (5)$$

Аналогичным образом выбирают параметры вибраций для обеспечения заданного соотношения между временем работы и отдыха режущего инструмента. Возможность задать априорно это соотношение очень важна для повышения эффективности действия СОЖ, особенно суспензий, в состав которых входят твердые частицы, обладающие улучшенными смазочными свойствами при повышенных давлениях и температурах (частицы суспензий имеют размеры до 100 мкм). Последнее особенно ценно при прерывистой вибрационной обработке материалов с особыми физико-механическими свойствами.

Характер изменения сечения среза при вибрационном резании, как и вся кинематика процесса, определяется двумя важнейшими безразмерными параметрами, которые зависят от режима резания и параметров вибраций:

$$q = A/S_x; \quad (6)$$

$$i = c/d = 60f/n - k, \quad (7)$$

где S_x - перемещение режущей кромки за время одного оборота, мм (причем S_x численно равна S_0);

n - в мин⁻¹;

k - число полных периодов колебаний.

На рис. 1.3, б видно, что характер изменения толщины срезаемого слоя в каждом периоде колебаний одинаковый. Это следует из периодичности функции $\sin \omega t$. Закономерность изменения толщины срезаемого слоя во времени можно определить, записав уравнения движения режущей кромки сверла на 0-, 1-, 2- и n -м витках:

Технологические особенности вибрационного резания объясняются его кинематическими особенностями. Так, при точении с вибрациями обработанная поверхность имеет специфический внешний вид с характерными следами режущего инструмента. Если при обычном точении следы обработки представляют собой параллельные линии, то при вибрационном - сходящиеся и расходящиеся. Это отражается и на шероховатости обработанной поверхности, которая становится существенно хуже. Для улучшения шероховатости на

вершине резцов для вібраційного точення заточивають фаску шириною $f = 1...2$ мм под углом $\varphi'_1 = 30'...1^\circ30'$ (рис. 3). Заточка фаски дозволяє при вібраційном точенні отримувати поверхності з шерохватістю $R_z = 20...40$ мкм.

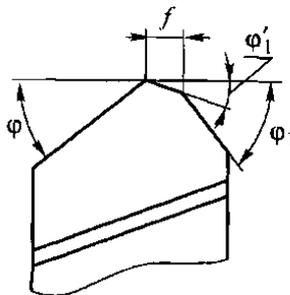


Рисунок 3 - Заточка вершини токарного резца для вібраційного точення

Силу резання при вібраційном резанні можна вирахувати з допомогою емпіричних силових залежностей для звичайного резання, замінив в них подачу S_0 текучим значенням товщини срезаемого слоя a_t типа

$$P = C_p t^{x_p} a_t^{y_p} v^{z_p} k_i. \quad (8)$$

Стойкість резцов при точенні з вібраціями при використанні оптимальних режимів обробки і без застосування СОЖ залишається приблизно такою ж, як і при звичайному точенні, незважаючи на зниження сили і температури резання. Використання СОЖ (СДМУ-2, Аквол-6, МР-3 і т. п.) при вібраційном точенні підвищує стойкість режущего інструмента на 40... 60 %.

В цілому застосування точення з вібраціями є ефективним способом чергової і полувисхідної обробки матеріалів резанням, забезпечуючим надійне стружкодроблення і підвищення стойкости режущего інструмента при використанні СОЖ. При цьому точність обробки зберігається такою ж, як і при звичайному точенні.

При вібраційном сверленні додаткове колибательное рух інструмента дозволяє отримати мелкодробленую стружку, зручну для видалення з зони обробки. Це суттєво покращує шерохватість обробленої поверхності (до $R_a = 0,63... 1,25$ мкм) і підвищує точність обробки (до 8...9-го квалітета точності) порівняно з звичайним сверленням. Крім того, ефективне видалення стружки дозволяє автоматизувати процес отримання мелкогабаритних отворів з одночасним збільшенням стойкости в 7 і більше раз. Особливо яскраво ефективність вібраційного сверлення проявляється при виконанні глибоких отворів.

Приклад конструкції вібропатрона [3] приведений на рис 4. Він складається з пружного елемента, держателя і корпусу. При певних співвідношеннях між константами резання, жорсткістю пружного елемента, власною частотою патрона з інструментом і частотою проходження режущих кромок в системі виникають автоколибання, при зростанні амплітуд яких інструмент починає виходити з матеріалу і стружка дробиться.

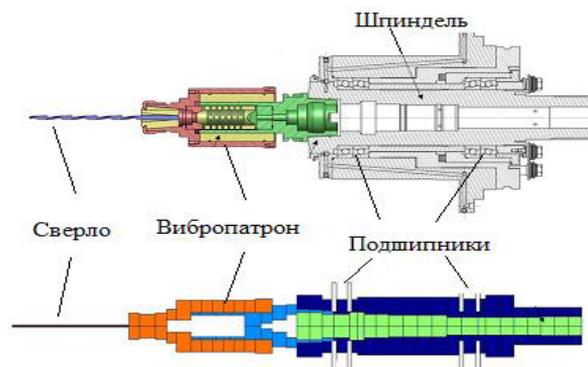


Рисунок 4 - Пример конструкции вибропатрона.

Для реализации процесса вибрационного резания на практике используют электрогидравлические устройства с обратной связью (рис. 5) [4]. Принцип работы таких устройств основан на том, что от двигателя постоянного тока через червячный редуктор и эксцентриковую втулку колебательное движение по синусоидальному закону $x = A \sin \omega t$ сообщается золотнику 1 (см. рис. 5), расположенному в корпусе вибратора. В зависимости от положения золотника рабочая жидкость (масло) подается либо в штоковую, либо в бесштоковую полость гидроцилиндра 2, расположенного в том же корпусе.

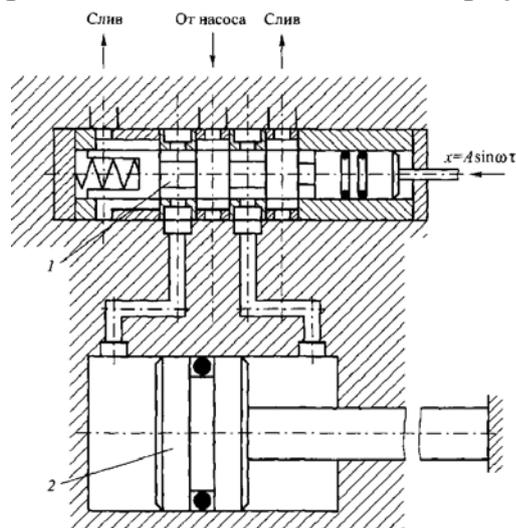


Рисунок 5 - Принципиальная схема обратной связи в электрогидравлическом вибраторе: 1 - золотник; 2 - гидроцилиндр

Перемещение закончится, как только рабочие кромки золотника переключат доступ жидкости в штоковую полость.

Выводы

1. Применение вибрационного резания позволяет привести к снижению динамической ударной вязкости, повышению хрупкости разрушения при резании, снижению работы трения и температуры резания.

2. Использование способа вибрационного резания и устройства для интенсификации процесса резания позволяет повысить производительность

обработки минимум в 2 и более раз в зависимости от диапазона чисел оборотов шпинделя токарного станка:

3. В процессе вибрационного резания происходит надежное дробление стружки, тем самым улучшаются условия труда рабочего. Применение указанного способа вибрационного резания является одним из новых технических средств, обеспечивающий повышение эффективности автоматизации производства.

4. Способ вибрационного резания и устройство для интенсификации процесса резания не содержит дополнительного привода энергии, следовательно, используется мощность электродвигателя токарного станка. Производительность процесса обработки резанием увеличивается минимум в 2 раза, частота колебаний от 0 до 100 Гц, амплитуда колебаний max 0,3 мм. При малой глубине резания, если это необходимо, устройство для интенсификации процесса резания может работать в обычном режиме.

Список литературы:

1. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. М.: Машиностроение, 1970. 350 с.
2. Кумабэ Д. Вибрационное резание: пер. с япон. М.: Машиностроение, 1985. 424 с.
3. Paris H., Tichkiewitch S., Peigne G. Modelling the vibratory drilling process to foresee cutting parameters // CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2005. Vol. 54, is. 1. P. 367-370. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60124-3.
4. Кутультинов С.Д., Ковальчук А.К., Портнов И.И. Технология обработки конструкционных материалов. М. 2006. 670 с.

Анотація

Використання вібраційних технологій для поліпшення показників оброблюваності матеріалів

Лисенко С.В.

У статті викладено основні кінематичні залежності, проведено аналіз процесу і технологічних особливостей вібраційного різання, розглянута конструкція ріжучого інструменту, що забезпечує поліпшення шорсткості при обробці матеріалів.

Abstract

The use of vibration technology to improve machinability of materials

Lysenko, S.V.

The article describes the basic kinematical dependence, the analysis of the process and the technological features of the vibration cutting, the design of the cutting tool, providing the improvement of roughness in the machining of materials.