

УДК 621.9



Н.В. Лищенко,
к.т.н., доцент
Одесская национа-
льная академия пи-
щевых технологий
e-mail:
odmnv@rambler.ru



В.П. Ларшин,
д.т.н., профессор,
Одесский национа-
льный политехниче-
ский университет
e-mail: vplar-
shin@rambler.ru

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ НА ВОЛНИСТОСТЬ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин.
Влияние вибраций на волнистость обрабатываемой поверхности при фрезеровании. Установлена качественная (по внешнему виду) и количественная (между высотой неровности поверхности и амплитудой виброперемещения шпинделя) связь между участками профилограммы обработанной поверхности и виброграммы информационного сигнала виброперемещения.

N.V. Lishchenko, V.P. Larshin.
Influence of vibrations on the waviness of the surface being machined while milling. A quality (by appearance) and quantitative (between the height of the surface irregularities and the amplitude of spindle vibration displacement) connection between portions of machined surface profilogram and the displacement information signal vibrogram is set.

Введение. Проблема вибраций при механической обработке лезвийным и абразивным инструментом относится к числу актуальных проблем в технологии машиностроения. Важность исследований по этой проблеме возрастает по мере развития и внедрения современных станков с ЧПУ. Эти станки работают в автоматическом и автоматизированном режиме обработки при минимальном участии оператора, в том числе при высоких скоростях резания (High Speed Machining).

Для обеспечения надёжной высокопроизводительной работы современных высокоскоростных станков с ЧПУ система управления должна обеспечить не только прецизионное программируемое перемещение инструмента относительно заготовки, но также диагностику состояния технологической системы металлорежущего станка, например по стойкости режущего инструмента или по параметрам микро – и макрогеометрии обрабатываемой поверхности. К числу таких параметров относят шероховатость поверхности, волнистость и отклонения формы. К настоящему времени накоплен обширный материал по функциональным связям шероховатости обработанной поверхности с эксплуатационными показателями деталей и узлов машин. Волнистость по-

верхности изучена менее всего. Она занимает промежуточное положение между отклонениями формы и шероховатостью. Существующие в литературе определения волнистости основаны на геометрическом, технологическом и смешанном принципах [1].

Геометрический принцип основан на формальном разграничении неровностей. Волнистостью считают такие неровности, шаг которых составляет 0,8...10 мм. Технологический принцип предполагает, что волнистость – это неровности, вызванные недостаточной жесткостью технологической системы и возникающими вибрациями. В соответствии со смешанным принципом за волнистость принимают такие периодические неровности, которые образуются вследствие вибраций в технологической системе, и имеют шаг больший, чем шаг неровностей, образующих шероховатость. Получение профилограммы волнистости затруднено вследствие того, что волнистость и шероховатость находятся в состоянии суперпозиции и проблема разделения их до сих пор не решена [1].

При наличии большого количества работ, изучающих физику динамических колебаний в технологических системах резания, значительно меньшее влияние уделено вопросам взаимосвязи вибраций при резании с параметрами микро – и макрогеометрии обработанных поверхностей. Выявление такой взаимосвязи позволило бы по новому подойти к разработке встроенных систем технологической диагностики. Сложность этой задачи определяется необходимостью поиска взаимосвязи между виброграммами колебаний и профилограммами обработанных поверхностей. Задача дополнительно осложняется влиянием предыдущих технологических переходов на последующие, когда воозникающие вибрации сами зависят от предыдущего «геометрического следа» и при этом отражаются на текущей профилограмме поверхности.

Исследованиями Жаркова И.Г. установлено, что вибрации при лезвийной обработке имеют как положительное (при малых амплитудах колебаний), так и отрицательное (с увеличением амплитуды) влияние на стойкость режущего инструмента. С увеличением амплитуды колебаний высотные параметры шероховатости и волнистости обработанной поверхности увеличиваются [2].

Описанная выше общая проблема вибраций содержит в себе дополнительные задачи, связанные с расшифровкой физического смысла возникающих при резании колебаний. Первичные датчики виброколебаний выполнены, как правило, на основе физического пьезоэлектрического эффекта, в соответствии с которым электрический заряд на гранях пьезокристалла зависит от величины механической силы давления, которая действует на него. Величина силы в пьезоэлектрических датчиках зависит от величины виброускорения в соответствии со вторым законом Ньютона. Поэтому первичные сигналы виброколебаний характеризуют величину физического ускорения корпуса вибродатчика [3].

При использовании звукового датчика его выходной сигнал пропорционален плотности мощности звуковой волны (мощность на единицу площади), которая характеризует силу давления на мембрану микрофона [4], и которая, как показали наши исследования, часто идентична сигналу датчика виброускорения.

Здесь и далее под термином «временной сигнал» будем понимать изменение сигнала во временной области в отличие от изменения сигнала в частотной области. В предыдущей статье «Формирование информационных сигналов при исследовании вибраций на станках с ЧПУ» был разработан метод формирования информационных сигналов для диагностики состояния технологической системы. Показано как на основе первичного временного сигнала виброускорения можно сформировать не только временные сигналы виброускорения и виброперемещения, но также их оценочные функции, которые сами по себе являются новыми информационными сигналами, характеризующими состояние технологической системы. Примером такой оценочной функции является, сигнал, характеризующий площадь под амплитудной спектрограммой сигналов виброускорения, виброускорения и виброперемещения.

Целью настоящей статьи является установление и характеристика взаимосвязи между информационными сигналами виброколебаний при фрезеровании и параметрами микро – и макрогеометрии обрабатываемой поверхности.

Материал и результаты исследований. Для достижения поставленной цели проведены экспериментальные исследования процесса плоского фрезерования на станке мод. 500V/5 (обрабатывающий центр), оснащенный измерительной системой сбора данных фирмы National Instruments, выполненной на основе аппаратной части (hardware) NI-DAQmax и программной части (software) NI-LabVIEW.

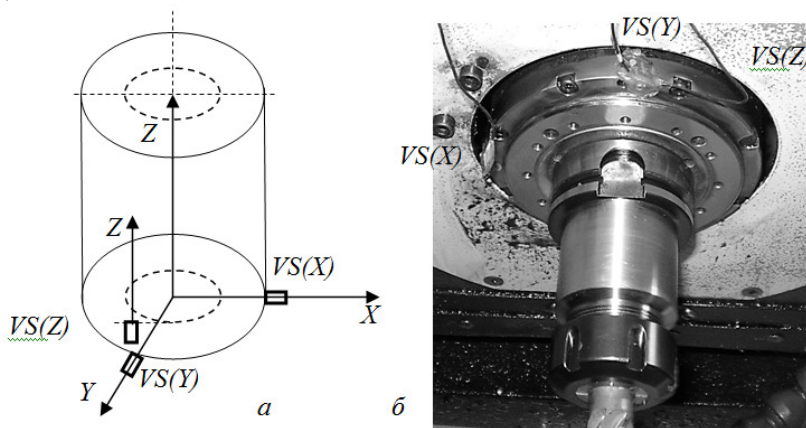


Рис. 1. Схема установки датчиков виброускорения AP2019 на неподвижном торце шпиндельного узла и её реализация на обрабатывающем центре мод. 500V/5.

При проведенні віброакустических досліджень використані датчики віброускорення типу AP2019. Указанні датчики віброускорення – $VS(X)$, $VS(Y)$ і $VS(Z)$ – можна розположити в підсистемі шпинделя, наприклад, на неподвижному торці шпиндельного узла (рис.1) або в підсистемі заготовки на її гранях (рис.2,а).

Измерительная система для проведения эксперимента выполнена на основе программно-аппаратного измерительного комплекса фирмы National Instruments: NI-DAQ max (аппаратная часть) и NI-LabVIEW (программная часть). В качестве образцов для фрезерования использованы призматические заготовки 65 x 50 x 30 мм из стали Ст.3. Противоположные боковые плоские грани этих образцов последовательно фрезеровали концевой фрезой $\varnothing 18$ мм (с числом зубьев 4) из быстрорежущей стали P6M5. Образцы закрепляли в станочных тисках таким образом, чтобы была возможность установить датчик AP2019 на заготовку по оси X станка (рис.2).

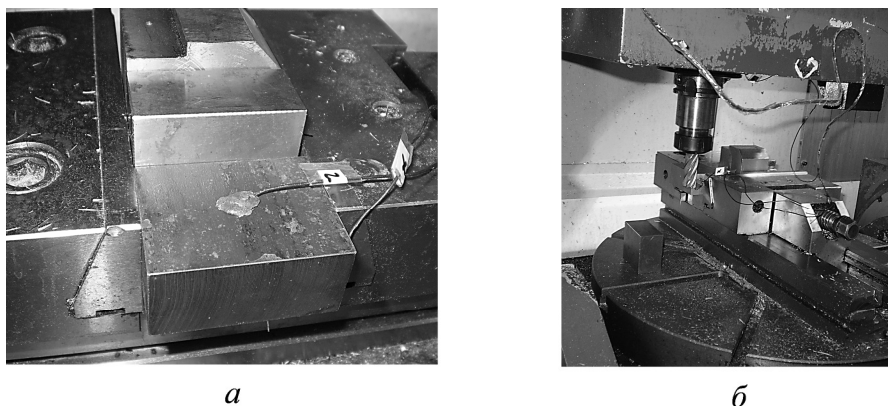


Рис. 2. Установка призматического образца в тисках с закрепленными на нём датчиками виброускорення AP 2019 (а) и технологическая наладка для станка мод. 500V/5 (б).

Интервалы режимов фрезерования при двухфакторном планировании эксперимента были выбраны следующие: глубина резания 0,5...1,0 мм, частота вращения шпинделя 950...3800 мин⁻¹. Каждый опыт дублировали два раза для оценки погрешности эксперимента.

Измерение профиля обработанной поверхности производили на модернизированном профилометре–профилографе мод.201, оснащённом компьютерной измерительной системой (разработка кафедры приборостроения Луцкого национального технического университета). Отличи-

тельной особенностью модернизированного профилометра–профилографа является возможность вывода профилограммы на экран монитора с использованием программного обеспечения «PowerGraph», которое предназначено для регистрации, визуализации, обработки и хранения аналоговых сигналов и позволяет использовать персональный компьютер в качестве стандартного измерительного и регистрирующего прибора [5].

Для установления взаимосвязи между виброграммой информационного сигнала и профилограммой обработанной поверхности эту профилограмму предварительно сравнивали с различными типами информационных сигналов, которые характеризовали один и тот же участок обработанной поверхности. В качестве примера показана связь между профилограммой образцов №5 и №7 и виброграммой информационного сигнала, характеризующего виброперемещение (рис.3). Эти образцы были обработаны при одной и той же частоте вращения фрезы (3800 мин^{-1}), одинаковой подаче на зуб ($0,15 \text{ мм}$), но с разной глубиной фрезерования: $0,5 \text{ мм}$ (образец № 5) и $1,0 \text{ мм}$ (образец №7).

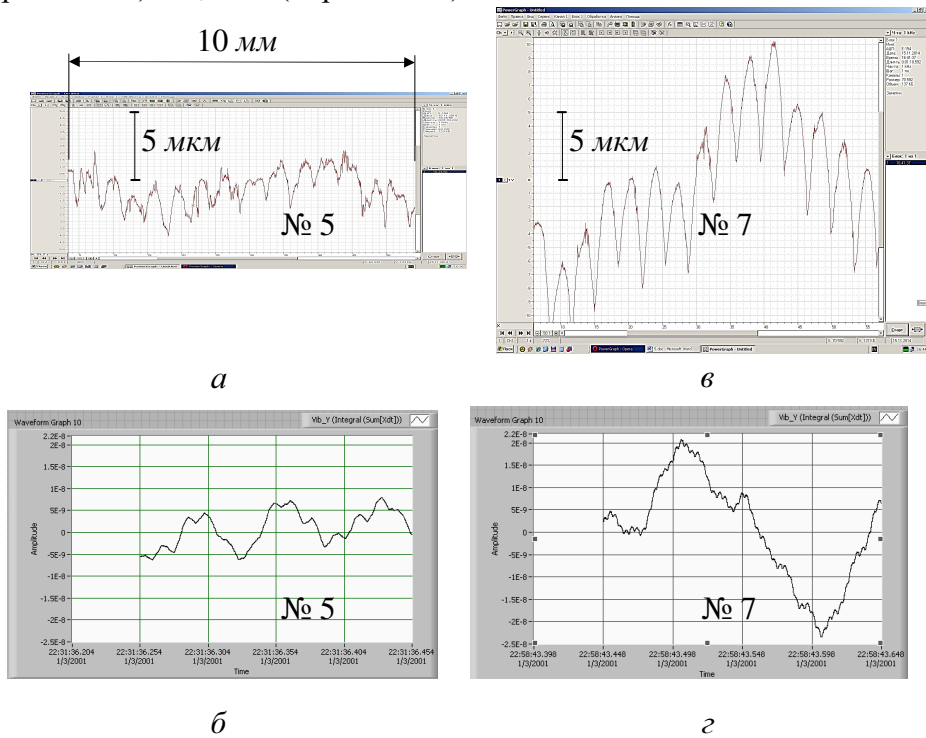


Рис. 3. Профилограмма поверхности образцов № 5 (а) и № 7 (в) и виброграмма–виброперемещение при фрезеровании образцов № 5 (б) и № 7 (г) при расположении вибродатчика на шпиндельном узле по оси X станка.

При частоте вращения шпинделя 3800 мин^{-1} путь, проходимый фрезой за время $0,2$ секунды, равен произведению минутной подачи на это время, т.е. $(3800 \cdot 0,15 \cdot 4 \cdot 0,2) / 60 = 7,6 \text{ мм}$. Здесь $0,15 \text{ мм}$ – подача на зуб; 4 – число зубьев. Таким образом, профилограмма имеет базу длину 10 мм , а временной отрезок виброграммы сигнала виброперемещения соответствует длине обработанного участка $7,6 \text{ мм}$. Следовательно, интервалы сравнения профилограмм сопоставимы.

Видно, что профилограммы поверхности образца № 5 (рис.3, а) и образца № 7 (рис.3, в) на одной и той же базовой длине 10 мм существенно отличаются и содержат две явно выраженные гармоник – медленно изменяющуюся низкочастотную и наложенную на неё высокочастотную. Аналогичную картину можно наблюдать на виброграмме информационного сигнала – временного сигнала виброперемещения, полученного путём двойного интегрирования первичного временного сигнала виброускорения для образца № 5 (рис.3, б) и для образца № 7 (рис.3, г). При этом следует учитывать, что профилограмма показывает изменение высоты неровностей профиля по длине фрезеруемого участка (10 мм), а виброграмма информационного сигнала виброперемещения – изменение величины перемещения шпинделя в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности в зависимости от времени обработки на интервале времени $0,2$ секунды.

По описанной в предыдущей статье методике формирования информационных сигналов на основе их частотного представления построена зависимость площади под амплитудной спектрограммой временного сигнала виброперемещения от времени технологического перехода фрезерования при расположении вибродатчика на шпиндельном узле (рис.4, а) и на заготовке (рис.4, б) по оси X станка. Данные на рис.4, а и рис.4, б приведены в одном и том же масштабе для сравниваемых вариантов размещения вибродатчика.

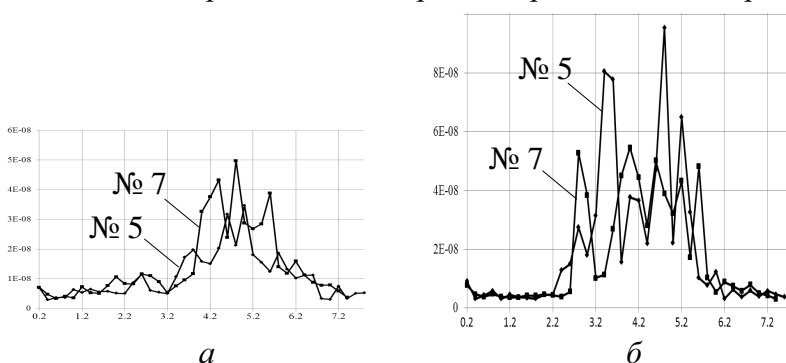


Рис. 4 . Изменение площади под спектрограммой виброперемещения в зависимости от времени фрезерования образцов № 5 и № 7.

Эта зависимость показывает характер изменения виброперемещения шпинделя (в направлении перпендикулярном обрабатываемой поверхности) по мере формирования фрезеруемой поверхности. Характер этого изменения соответствует низкочастотной составляющей изменения высоты неровностей. Видно, что место расположения вибродатчика оказывает существенное влияние и на чувствительность выходного информационного сигнала и на характер его изменения в зависимости от времени фрезерования (длительности технологического перехода).

Выводы. 1. Установлена качественная (по внешнему виду) и количественная (между высотой неровности поверхности и амплитудой виброперемещения шпинделя) связь между участками профилограммы обработанной поверхности и виброграммы информационного сигнала виброперемещения. 2. Для дальнейших исследований по определению волнистости в соответствии с технологическим и смешанным принципами её определения целесообразно строить частотный спектр профилограммы обработанной поверхности.

Литература

1. Лоповок, Т.С. Волнистость поверхности и её измерение / Т.С. Лоповок. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 184 с.
2. Жарков, И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И.Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1986. – 186 с.
3. Larshin, V.P. A vibration sensor and a cutting system mathematical description / V.P. Larshin, N.V. Lishchenko, R.R. Basharov // Перспективні технології та прилади: збірник наукових праць. – Луцьк, 2014. – Вип. 5 (листопад 2014) . – С.75-81.
4. Larshin, V.P. Cutting system dianostics on the basis of sound sensor / V.P. Larshin, N.V. Lishchenko // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо – и энергосбережении: мат. научн.-техн. конф, 22-24 сентября 2014, г. Одесса. – Киев: АТМ України, 2014. – С.79-83.
5. Описание ПО «PowerGraph» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <http://www.powergraph.ru/soft/pgview.asp> (дата: 09.01.2015).