

УДК 621.923

Р. М. СТРЕЛЬЧУК, канд. техн. наук, ст. преп., ХНЭУ;
С. В. ВЛАСЕНКО, інженер, ХНЭУ, Харків

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Предложен метод определения областей устойчивости при шлифовании, который позволяет на этапе проектирования станка, а также при разработке технологических процессов, расчете режимов резания механической обработки, прогнозировать и достаточно достоверно определять зону, в которой обработка будет вестись наилучшим образом. Увеличение скорости резания при шлифовании приводит к повышению производительности обработки и уменьшению расхода абразивных и эльборовых кругов, позволяет получить требуемое качество металла поверхностного слоя заготовок и заданную точность размеров.

Ключевые слова: динамическая система, амплитудно-фазовая частотная характеристика шпинделя станка, интенсификация процесса шлифования.

Введение. Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности операций шлифования и расширения его технологических возможностей является изменение скорости резания, задаваемой частотой вращения круга. Широкое внедрение высокоскоростного шлифования в производство сдерживается, главным образом, недостаточной изученностью технологии этого процесса и отсутствием обоснованных технологических рекомендаций по способу его ведения, выбору режима резания, характеристики инструмента и разработки рациональных рабочих циклов шлифования. Решить данную задачу можно на основе анализа физико-механических, теплофизических и динамических условий, сопровождающих процесс шлифования, на основе достоверного математического моделирования этого процесса и его выходных характеристик, а также путем применения современных методов оптимизации процесса шлифования.

Методика исследований. Проанализированы проблемы, связанные с динамическими исследованиями технологической системы плоскошлифовальных станков. В качестве основного объекта исследования выбрано шпиндельное устройство как сложная динамическая система [1, 2].

Основные особенности динамической системы станка заключаются в ее замкнутости и многоконтурности, рабочие процессы взаимосвязаны друг с другом через упругую систему, причем обратным влиянием упругой системы на рабочие процессы, как правило, пренебречь нельзя. Однако, в отдельных случаях, учитывая только наиболее существенные обратные связи, можно

перейти к представлению об эквивалентной динамической системе станка как об одноконтурной системе (см. рис. 1).

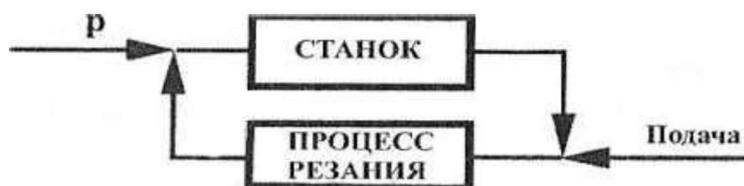


Рис. 1 – Станок и процесс резания, как замкнутый контур

Свойства элемента контура можно определить, если известны параметры его динамических характеристик. Для шпиндельного устройства шлифовальных станков это коэффициенты матриц A , B , C , где A – коэффициент квазиупругой системы, B – коэффициент диссипативной системы, C – коэффициент инерционной системы.

Процесс шлифования, как элемент динамической системы, представляет собой сложную систему, свойства которой зависят от характеристики абразивного инструмента, режимов резания, свойств обрабатываемого материала, применяемых СОТС и др. Метод исследования виброустойчивости станков с помощью частотного критерия устойчивости основан на определении *амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ)* шпиндельного устройства станка. Оценка виброустойчивости станка осуществляется путем построения областей устойчивости, а именно определяется зависимостью глубины шлифования или средней ширины стружки, снимаемой в процессе шлифования без вибраций (V_c), от скорости резания.

Алгоритм построения АФЧХ:

- находится коэффициент A_1 ;
- подсчитываются линеаризованные коэффициенты вязкого трения B_j ;
- определяются коэффициенты матрицы демпфирования V_{ij} ;
- вычисляются коэффициенты h_k ;
- находится A_k ;
- определяется АФЧХ.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследование основано на алгоритме вычисления свободных колебаний. Элементы упругой системы, колебания которых превалируют в относительных колебаниях на той или иной частоте, выявляются путем построения форм колебаний на основании данных о величине абсолютных смещений элементов станка в определенный момент времени [3, 4]. Расчет показал, что основная доля статической податливости станка модели 3Г71М приходится на шпиндель (44%), подшипник шпинделя

(21%), консоль шпиндельной бабки (14%) и механизм вертикальной подачи (15%).

На частоте 125 Гц преобладают вертикальные колебания шлифовальной бабки, обусловленные податливостью механизма вертикальной подачи. Относительные колебания с частотой 290 Гц определяются главным образом податливостью шпинделя и подшипников. Этой частоте соответствует первая форма известных колебаний шпинделя. Частота 480 Гц характеризуется значительными угловыми колебаниями планшайбы с кругом; они почти целиком обусловлены податливостью шпинделя и контакта его с планшайбой круга и соответствует второй форме изгибных колебаний.

Для проверки результатов расчета динамические характеристики станка модели 3Г71М определены экспериментально. При сравнении результатов расчета и эксперимента для более высоких частот следует иметь в виду, что параметры опор шпинделя определяем по формулам для гидродинамического подшипника, тогда как в экспериментах демпфирование было иным, поскольку шпиндель не вращался [5].

Рассчитаны также относительные колебания станка при силовых возмущениях от электродвигателя привода круга и при колебаниях фундамента. Колебания станка от действия дисбаланса шлифовального круга фактически определены при расчете АФЧХ относительных колебаний станка (рис.2), поскольку влияние стола на относительные вертикальные колебания незначительны (менее 10%).

При расчете реакции станка на возмущения от электродвигателя привода круга учитывались частоты этих возмущений, которые обычно соответствуют частоте вращения ротора (влияние дисбаланса), двойной оборотной частоте (влияние овальности опорных шеек якоря и несимметричности его обмоток), двойной частоте сети (влияние неравномерности магнитного зазора между якорем и статором) и др.

Известно, что установившееся резание может протекать в трех режимах:

- спокойное, при отсутствии колебаний;
- спокойное, с небольшими колебаниями, образующими на обработанной поверхности некоторую волнистость;
- с недопустимыми вибрациями.

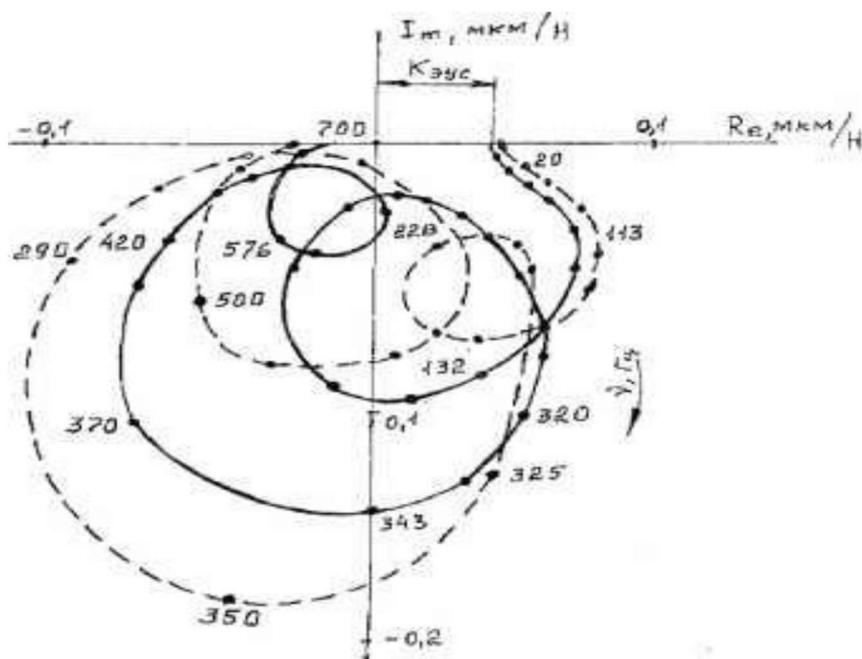


Рис.2 – АФЧХ ЭУС станка 3Г71М: сплошная линия – расчетная, штриховая – эксперимент
 Статическая податливость станка $K_{зус} = 0,049$ мкм/Н, резонансные частоты 132 Гц, 346 Гц, 576 Гц

Первый режим соответствует области устойчивого равновесного состояния, а остальные – предельным циклам двух видов. Выявление параметров системы, позволяющих реализовать устойчивые предельные циклы с заданной амплитудой, не только имеет теоретическое значение, но и дает возможность повысить расчетную производительность станков в области спокойного резания при допустимой волнистости обрабатываемой поверхности.

Для того чтобы построить граничную кривую в плоскости параметров t или B_c (глубина шлифования или средняя ширина срезаемой стружки) и V_k (скорость резания), достаточно воспользоваться известным в теории регулирования методом Д-разбиения и выяснить границу областей устойчивости системы, обеспечивая некоторое ее удаление от этой границы [1, 2]. Полученная кривая (рис. 3) и будет границей области устойчивого шлифования.

Предложенный метод определения областей устойчивости при шлифовании позволяет еще на этапе проектирования станка, а также при разработке технологических процессов (расчете режимов резания) механической обработки, прогнозировать и достаточно достоверно определять зону, в которой обработка будет вестись наилучшим образом.

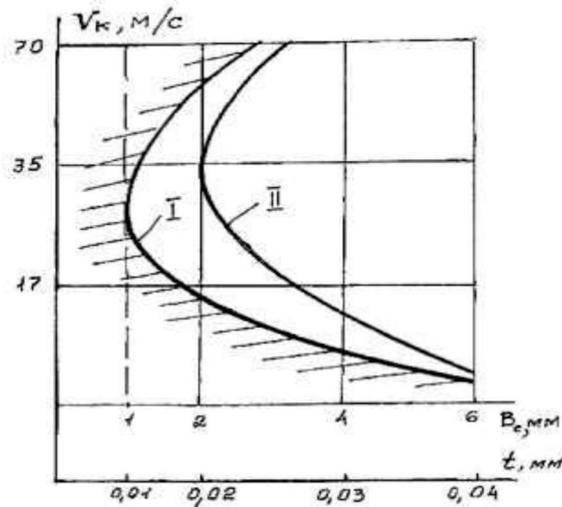


Рис.3 – Кривая границ устойчивого шлифования: I – станок 3Г71М, II – станок 3Е711ІВ

Выявление параметров системы, позволяющих реализовать устойчивые предельные циклы с заданной амплитудой, не только имеет теоретическое значение, но и дает возможность повысить расчетную производительность станков в области «спокойного» резания при допустимой волнистости обрабатываемой поверхности.

Выводы. Интенсификация процесса шлифования возможна лишь при условии выбора рациональных соотношений между скоростью резания и другими параметрами обработки, которые при наибольшей эффективности позволяют получить требуемое качество металла поверхностного слоя заготовок и заданную точность размеров.

Увеличение скорости резания при шлифовании производится с целью повышения производительности обработки и уменьшения расхода абразивных и эльборовых кругов.

Производительность процесса шлифования можно оценить величиной $Q_{уд}$ – скорость съема металла на единицу высоты круга.

Увеличение скорости с 25...30 до 70 м/с позволяет в 2...3 раза увеличить скорость съема металла и тем самым значительно повысить производительность процесса обработки.

Повышение скорости круга с 30...35 м/с до 70 м/с обеспечивает уменьшение основного времени на обработку партии заготовок в среднем в 3...3,5 раза. Если принять, что составляющие штучно-калькуляционного времени остаются неизменными или изменяются незначительно можно утверждать, что увеличение скорости круга при шлифовании обеспечивает повышение производительности труда не менее чем в 2 раза. Таким образом, высокоскоростное шлифование сталей и сплавов кругами из эльбора и

электрокорунда можно рассматривать главным образом как средство повышения производительности обработки.

Список литературы: 1 *Эльясберг М. Е.* Автоколебания металлорежущих станков / *М. Е. Эльясберг.* – Издание ОКБС. – С.-Петербург, 1993. – 180 с. 2. *Зубарев Ю.М.* Расчет шпиндельных устройств станка на устойчивость резания / *Зубарев Ю.М., Агаркова Н.Н., Сикалова М.А.* // Физические процессы при резании металлов. – Сб. н.р. Волгоград – Ижевск. Изд ВолгГТУ, Волгоград, 1997. – С. 114–119. 3. *Афонина Н.А.* Повышение виброустойчивости процесса токарной обработки на основе управляемых колебаний скорости резания: автореф. дис. . канд. техн. наук (05.03.01) / *Афонина Наталья Александровна*; Тул. гос. ун-т. Тула, 2004. – 18 с. 4. *Тлустый И. М.* Автоколебания в металлорежущих станках / *И. М. Тлустый.* М.: Машиностроение, 1956. – 234 с. 5. *Zhang H., Ni Jun, Shi H.* Machining Chatter Suppression by Means of Spindle Speed Variation, Part 1, Numerical Simulation; Part 2, Experimental Investigation. /Proceedings of the First S. M. Wu Symposium on Manufacturing Science, 1994, pp. 161–175.

Bibliography (transliterated): 1 *Elyasberg M. Ye.* Avtokolebaniya metallorezhushchikh stankov *M. Ye. Elyasberg.* – Izdaniye OKBS. – S.-Peterburg, 1993. – 180 p. 2. *Zubarev Yu.M.* Raschet shpindelnykh ustroystv stanka na ustoychivost rezaniya *Zubarev Yu.M., Agarkova N.N., Sikalova M.A.* Fizicheskiye protsessy pri rezanii metallov. – Sb. n.r. Volgograd – Izhevsk. Izd VolgGTU, Volgograd, 1997. – P. 114 – 119. 3. *Afonina N.A.* Povysheniye vibroustoychivosti protsessa tokarnoy obrabotki na osnove upravlyayemykh kolebaniy skorosti rezaniya: avtoref. dis. . kand. tekhn. nauk (05.03.01) *Afonina Natalya Aleksandrovna*; Tul. gos. un-t. Tula, 2004. – 18 p. 4. *Tlustyy I. M.* Avtokolebaniya v metallorezhushchikh stankakh *I. M. Tlustyy.* Moscow: Mashinostroyeniye, 1956. – 234 p. 5. *Zhang H., Ni Jun, Shi H.* Machining Chatter Suppression by Means of Spindle Speed Variation, Part 1, Numerical Simulation; Part 2, Experimental Investigation. Proceedings of the First S. M. Wu Symposium on Manufacturing Science, 1994, pp. 161–175.

Поступила (received) 29.10.2014

УДК 620.179.14

Г. М. СУЧКОВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
Ю. В. ХОМЯК, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
С. Н. ГЛОБА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
А. Ю. СЛОБОДЧУК, аспирант, НТУ «ХПИ»

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ОБРАЗЦЕ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ПОЛЕМ ЛИНЕЙНОГО ТОКА

Проведен анализ распространенных методов и средств неразрушающего контроля металлоизделий. Изучены особенности вихретокового контроля. Показаны соотношения для векторного потенциала магнитного поля созданного переменным током линейного проводника. Проведен расчет плотности вихревых токов в листовом образце из ферромагнитного и неферромагнитного металлов. Показан сложный характер распределения потока вихревых токов, который зависит от свойств контролируемого металла.

Ключевые слова: вихретоковая дефектоскопия, вихретоковый преобразователь, объект контроля, плотность тока, векторный потенциал.