

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).

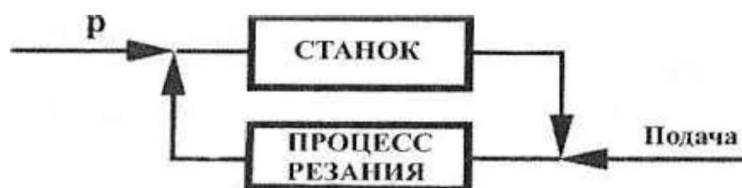


Рис. 1 – Станок и процесс резания, как замкнутый контур

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.

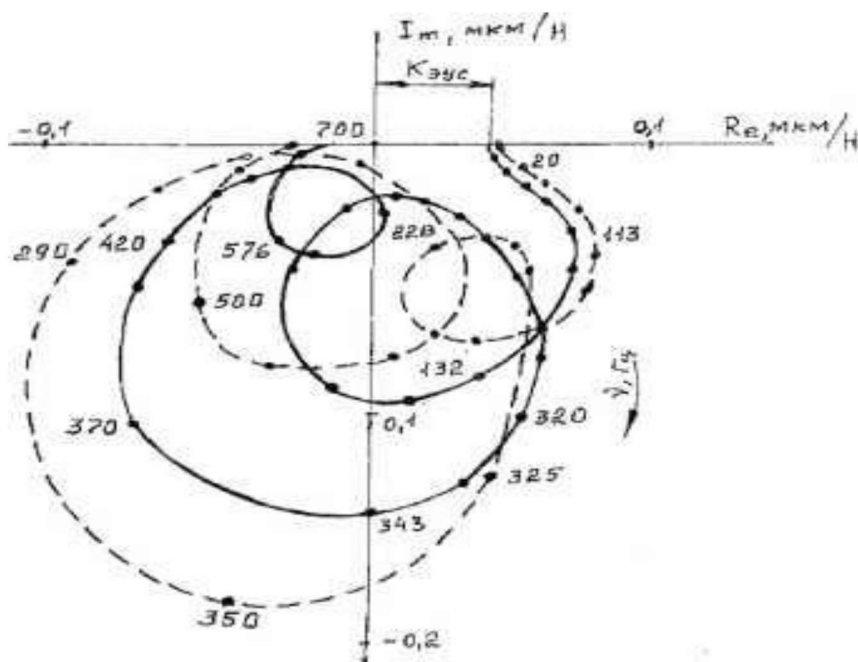


Рис.2 – АФЧХ ЭУС станка 3Г71М: сплошная линия – расчетная, штриховая – эксперимент
 Статическая податливость станка $K_{зус} = 0,049$ мкм/Н, резонансные частоты 132 Гц, 346 Гц, 576 Гц

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.

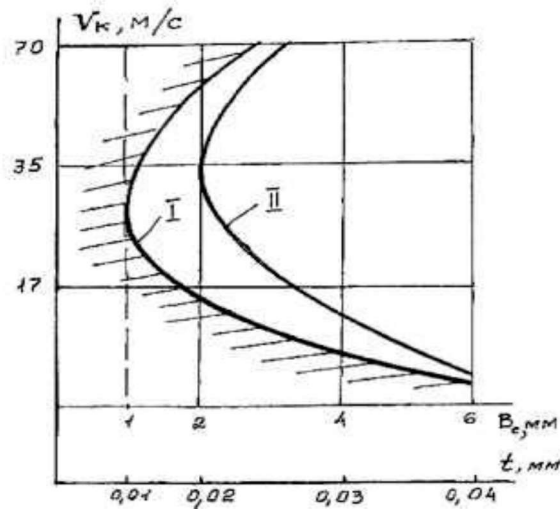


Рис.3 – Кривая границ устойчивого шлифования: I – станок 3Г71М, II – станок 3Е711ІВ

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.