DOI: 10.17117/na.2017.01.03.044

<http://ucom.ru/doc/na.2017.01.03.044.pdf>

Поступила (Received): 23.01.2017

Герасимов Р.В., Сидоренко С.А., Мелихова М.С. Анализ влияния статической характеристики процесса резания при шлифовании на виброустойчивость станка

Gerasimov R.V., Sidorenko S.A., Melikhova M.S.
Analysis of the influence of the static characteristics of the
process of cutting the vibration during grinding machine

В статье рассмотрена проблема улучшения качества и точности при внутреннем шлифовании поверхности путем уменьшения относительных колебаний шлифовального круга и детали за счет оптимизации режимов обработки через прогнозирование характеристики процесса резания с использованием модели искусственной нейронной сети (ИНС)

Ключевые слова: внутреннее шлифование, характеристик процесса резания, виброустойчивости динамической системы станка

In the article the problem of improving the quality and accuracy in the inner surface grinding by reducing the relative vibration of the grinding wheel and parts due to the optimization of processing conditions by predicting the characteristics of cutting process using an artificial neural network model (ANN)

Key words: internal grinding, characteristics of the cutting process, the dynamic vibration resistance of the machine system

Герасимов Роман Валерьевич

Ассистент

Северо-Кавказский федеральный университет
г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Gerasimov Roman Valerievich

Assistant

North-Caucasus federal university
Stavropol, Pushkin st., 1

Сидоренко Сергей Александрович

Кандидат технических наук, доцент

Северо-Кавказский федеральный университет
г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Sidorenko Sergey Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

North-Caucasus federal university
Stavropol, Pushkin st., 1

Мелихова Маргарита Сергеевна

Старший преподаватель

Северо-Кавказский федеральный университет
г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Melikhova Margarita Sergeevna

Senior Lecturer

North-Caucasus federal university
Stavropol, Pushkin st., 1

Качество обрабатываемой поверхности и производительность процесса шлифования в значительной мере зависят от виброустойчивости динамической системы станка. Оценка динамического качества внутришлифовальных станков производится на основе общих теоретических положений, разработанных д.т.н. Кудиновым В.А. [1]. Устойчивость динамической системы станка оценивается с помощью критерия Найквиста по динамическим характеристикам эквивалентной упругой системы (ЭУС) и процесса резания, при этом динамические

характеристики ЭУС рассчитываются теоретически или определяются экспериментально [2]. Характеристика процесса резания для качественной оценки устойчивости динамической системы станка принимается, как правило, в статической форме. Это обусловлено тем, что граничные условия процесса резания при шлифовании характеризуются максимальным значением статической характеристики.

Статическая характеристика процесса резания K_{III} определяет обрабатываемость материала с учетом геометрических параметров контакта абразивного круга и детали, механических свойств материала детали и круга и режимов резания.

Характеристика K_{III} , определяется как отношение радиальной силы, действующей между кругом и деталью, к фактической толщине снимаемого слоя за один оборот детали и является характеристикой «жесткости» процесса резания как элемента динамической системы станка. Таким образом, для оценки устойчивости динамической системы станка необходимо знать величину характеристики K_{III} .

Обычно при оценке устойчивости внутришлифовальных станков используются численные значения $K_{III} = 3-5$ даН/мкм, полученные для плоского и круглого шлифования [3, 4] без учета режимов обработки. Однако, при использовании указанных значений для оценки устойчивости станка при внутреннем шлифовании наблюдаются отклонения реального состояния системы от расчетного.

При теоретическом определении характеристики K_{III} процесс резания при внутреннем шлифовании можно представить, в первом приближении, состоящим из двух основных физических процессов: упруго-пластического деформирования и трения. Тогда общая статическая характеристика резания будет равна сумме статических коэффициентов упруго-пластического деформирования K_p и трения K_T :

$$K_{III} = K_p + K_T. \quad (1)$$

Коэффициенты K_p и K_T определяются как отношение части радиальной составляющей силы резания, обусловленной упруго-пластическим деформированием срезаемого слоя и трением задней поверхности зерен круга, к фактической глубине резания. Тогда выражение для определения характеристики процесса резания K_{III} с учетом указанных коэффициентов можно представить в виде:

$$K_{III} = Y(\xi - 1)b \frac{V_o}{V_{кр}} \left[\frac{1}{3N_s} \left(1 \pm \frac{V_o}{V_{кр}} \right) \sqrt{\frac{Dda}{d-D}} + 1 \right], \quad (2)$$

где E – модуль упругости первого рода, даН/мм²; ξ – среднее значение усадки стружки; b – ширина шлифовального круга, мм; V_o – скорость детали, м/мин; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; N_s – зернистость круга, мм; D – диаметр шлифовального круга, мм; d – диаметр шлифуемого отверстия, мм; a – толщина срезаемого слоя, мм.

При расчете характеристики K_{III} полученная зависимость позволяет учитывать режимы резания, механические свойства обрабатываемого материала. Однако сложность процессов, протекающих при резании, большое количество факторов и их взаимное влияние затрудняют строгое математическое описание физических явлений, возникающих при внутреннем шлифовании. Поэтому, несмотря на наличие методики аналитического расчета статических характеристик, наиболее достоверные результаты получаются при их экспериментальном определении и последующей обработке полученных данных моделями искусственных нейронных сетей.

Для экспериментального определения характеристики K_{III} и построения репрезентативной обучающей выборки для работы модели нейронной сети была создана специальная установка, позволяющая количественно оценить зависимость характеристики K_{III} от параметров обработки. Установка, схема которой представлена на рисунке 1, содержит внутришлифовальный шпиндель и комплект приборов в виде тензорезисторов Tokyo Sokki Kenkyuio Co., Ltd. SFA-285-11, цифрового осциллографа NI PXI-5154 и портативного комплекса NI PMA-1115 в программной среде LabView предназначена для оценки скорости круга, детали, радиальной составляющей силы резания, толщины срезаемого слоя.

Рис. 1. Схема установки для экспериментального определения статической характеристики процесса резания при шлифовании K_{III}

Численное значение статической характеристики K_{III} определялось как отношение нормальной составляющей силы резания, возникающей при шлифовании, к фактической толщине слоя, срезаемого за один оборот заготовки при

определенных режимах обработки и ширине шлифования. Заготовка типа втулки, на обрабатываемой поверхности которой предварительно вышлифовывалась выемка, отмечающая один оборот детали, устанавливалась в патроне круглошлифовального универсального станка модели 3У12В. Величина нормальной составляющей силы резания контролировалась по отклонению от горизонтальной оси координат на графике в программной среде LabView на портативном комплексе NI PMA-1115, вызванного изгибом оправки внутришлифовального шпинделя. Фактическая толщина снимаемого слоя определялась по осциллограмме, в программной среде LabView, построенной за счет увеличения зазора между контролируемой поверхностью и измерительной поверхностью датчика.

Результаты экспериментального определения величины статической характеристики $K_{ш}$, полученные при обработке стали 45 (HRC 45...50) и ширине шлифования $b = 15$ мм позволили построить обучающую выборку для модели искусственной нейронной сети (ИНС), результатом работы которой является график зависимости, представленной на рисунке 2.

Рис. 2. Зависимость статической характеристики $K_{ш}$ процесса резания при шлифовании от радиальной нагрузки P_r

Анализ результатов прогнозирования, полученных при помощи модели ИНС, показал, что статическая характеристика $K_{ш}$ зависит от скорости резания и радиальной нагрузки. При увеличении скорости резания с 35 м/с до 60 м/с и фиксированном значении нагрузки величина характеристики $K_{ш}$ уменьшается в 2 – 2,5 раза. Вместе с тем, увеличение радиальной нагрузки P_r при неизменной скорости резания привело к непропорциональному возрастанию характеристики $K_{ш}$. Так, например, при $P_r = 10$ даН значение $K_{ш} = 3$ даН/мкм, а при $P_r = 80$ даН – $K_{ш} = 10$ даН/мкм, причем приращение $K_{ш}$, тем больше, чем больше радиальная нагрузка P_r , т.е. эта зависимость нелинейна.

Типовые профилограммы обработанной поверхности (шлифование производилось при скорости $V_{кр} = 60$ м/с, ширине шлифования $b = 15$ и различных

значениях K_{III}) показывают, что волнистость обработанной поверхности возрастает с 1...2 мкм до 4...6 мкм при увеличении значения K_{III} от 3...4 даН/мкм до 6...8 даН/мкм. Следовательно, по величине характеристики K_{III} можно судить о запасе устойчивости динамической системы станка, а значит, и о качестве обработанной поверхности.

Кроме того, для проверки отсутствия признаков переобучения модели ИНС были проведены контрольные изменения при параметрах обработки, отличных от представленных в обучающей выборке значений, которые доказали адекватность прогнозируемых значений, а, следовательно, настроенную модель сети можно использовать для определения оптимальных режимов резания и настройки параметров работы станков.

Выводы:

1. Запас устойчивости замкнутой динамической системы станка пропорционально зависит от величины статической характеристики процесса резания K_{III} .

2. Характеристика K_{III} находится в обратной зависимости от скорости резания, т.е. при увеличении скорости круга поперечная подача может быть увеличена без ухудшения качества обрабатываемой поверхности.

3. Характеристика K_{III} нелинейно зависит от радиальной нагрузки, причем степень нелинейности возрастает с ее увеличением, что повышает вероятность потери устойчивости обрабатываемой поверхности.

4. Построенная модель ИНС позволяет производить прогнозирование значений характеристики K_{III} для различных входных условий обработки внутренним шлифованием, а, следовательно, и подбирать наиболее оптимальные режимы резания с целью обеспечения максимальной производительности при определенном качестве обрабатываемой поверхности.

Список используемых источников:

1. Кудинов В.А. Динамика станков. М., «Машиностроение», 1967, 359 с.
2. Ханов А.М., Кобитянский А.Е., Шафранов А.В. Исследование динамики шпиндельных узлов станков на основе математического моделирования // Известия Самарского научного центра российской академии наук №1-2, том 14, 2012 г..
3. Хусаинов Р. М., Шарафутдинов И. Ф. Оценка динамической устойчивости металлорежущих станков при резании путем моделирования // Инновации в науке: сб. ст. по матер. XLVIII междунар. науч.-практ. конф. № 8(45). Новосибирск: СибАК, 2015.
4. Palacek M., Pluhar L. Serbsterregte Schwingungen beim Schleifen/ «Maschinenmarkt», мжд. 70, №11, 1964.

© 2017, Герасимов Р.В., Сидоренко С.А., Мелихова М.С.

Анализ влияния статической характеристики процесса резания при шлифовании на виброустойчивость станка

© 2017, Gerasimov R.V., Sidorenko S.A., Melihova M.S.
Analysis of the influence of the static characteristics of the process of cutting the vibration during grinding machine