

Д. А. Расторгуев, А. А. Севастьянов

**ДИАГНОСТИКА ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
С ПОМОЩЬЮ БЕСКОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
И ВИБРАЦИОННОГО МЕТОДОВ**

Тольяттинский государственный университет

E-mail: alex-119977@yandex.ru

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований диагностики износа режущего инструмента с помощью датчика на основе автогенератора с трансформаторной обратной связью и акселерометра.

Ключевые слова: диагностика процесса резания; износ режущего инструмента; бесконтактная электромагнитная диагностика; вибрации

D. A. Rastorguev, A. A. Sevastyanov

**CUTTING TOOL WEAR DIAGNOSTICS USING CONTACTLESS
ELECTROMAGNETIC AND VIBRATION METHODS**

Togliatty State University

The article presents the results of experimental studies on the diagnostics of cutting tool wear using a sensor based on an autogenerator with transformer feedback and an accelerometer.

Keywords: cutting process diagnostics; cutting tool wear; contactless electromagnetic diagnostics; vibrations

Одним из перспективных направлений повышения эффективности современного машиностроительного производства является разработка систем диагностики и адаптивного управления процессом резания. Целью диагностики является контроль выходных параметров процесса обработки. К ним можно отнести точность размеров, расположения и формы поверхностей, шероховатость. Большинство современных систем диагностики решают задачу мониторинга износа режущего инструмента, поскольку его оперативный контроль необходим для обеспечения высокой точности и качества обработки ответственных деталей в усло-

виях автоматизированного производства [1]. Для автоматизированного производства полезным также является контроль процесса стружкообразования. Система диагностики процесса резания состоит из датчиков, установленных на станке, а также вычислительного устройства и программного обеспечения, способного по сигналам с датчиков поставить диагноз о текущем состоянии процесса обработки [2].

Среди подходов к диагностике процесса резания, связанных с использованием электрических процессов, стоит отметить заслуживающий внимания, но малоизученный метод, основанный на бесконтактной электромагнитной

диагностике процесса резания при помощи устройств на основе трансформаторов. Данный подход предложен д.т.н. Г. Г. Палагнюком в 1980-е годы [3–5]. Однако в то время отсутствовали цифровые средства сбора и анализа данных с датчиков. Поэтому стоит ожидать, что в настоящее время данный подход к диагностике окажется более эффективным за счет анализа большего количества информации, содержащейся в сигнале датчика.

Данный метод основан на использовании зондирующего электрического сигнала высокой частоты. Основным элементом бесконтактной измерительной системы является ферромагнитное кольцо с отдельными генерирующей и измерительной обмотками, каждой с определенным количеством витков. Внутри этого кольца может проходить как инструмент, так и заготовка. Станок, заготовка, инструмент и зона резания образуют электрический контур. Он является элементом автоколебательного конту-

ра, частью которого является ферромагнитное кольцо. Так как такая высокочастотная автоколебательная система является чувствительной к изменению своих параметров, изменения в зоне резания будут модулировать сигнал, наводимый в диагностической обмотке. Зону резания можно представить как параллельно связанные контуры с источниками термоЭДС по передней и задней поверхностям, а также переменные сопротивления контактных поверхностей.

С целью получения информативных сигналов для диагностики износа режущего инструмента проведен эксперимент на токарном станке с ЧПУ модели 16A20. В ходе эксперимента проводилась токарная обработка заготовок из нержавеющей стали марки 10X17H13M2T. Использованы режущие пластины DNMG 150604-43 CT25M. План эксперимента представлен в таблице. Режимы резания: скорость вращения шпинделя $n = 1500$ об/мин, подача $s = 200$ мм/мин, глубина резания $t = 0,5$ мм.

План эксперимента

$N_{пр}$	N_z	d, мм	$N_{пр}$	N_z	d, мм	$N_{пр}$	N_z	d, мм	$N_{пр}$	N_z	d, мм
1	1	40	9	1	32	17	1	24	25	2	27
2	1	39	10	1	31	18	1	23	26	2	26
3	1	38	11	1	30	19	1	22	27	2	25
4	1	37	12	1	29	20	1	21	28	2	24
5	1	36	13	1	28	21	1	20	29	2	23
6	1	35	14	1	27	22	2	30	30	2	22
7	1	34	15	1	26	23	2	29	31	2	21
8	1	33	16	1	25	24	2	28	32	2	20

$N_{пр}$ – номер прохода; N_z – номер заготовки; d – диаметр заготовки до прохода, мм.

В ходе эксперимента производилась запись сигналов с двух датчиков. Первый представлял собой автогенератор с трансформаторной обратной связью.

В качестве прототипа данной электронной схемы была выбрана схема из [6, рис. 4.1]. Обмотки датчика, содержащие по 50 витков каждая, намотаны на кольцевой ферритовый сердечник марки M1000NH размерами: наружный диаметр 100 мм, внутренний диаметр 60 мм, толщина 15 мм. Запись сигнала с одной из обмоток трансформатора производилась при помощи платы сбора данных lcard E-440 на частоте 100 кГц. Второй датчик представлял собой акселерометр BC 111 компании ZETLAB. Сигнал акселерометра записан при помощи платы ZET017U2 компании ZETLAB на частоте 50 кГц. По резкому ухудшению качества поверхности

судили о начале катастрофического износа инструмента.

В результате анализа сигналов датчиков выявлены информативные признаки для диагностики износа режущего инструмента. Основными информативными признаками сигнала с автогенератора являются амплитудно-частотные признаки, поскольку автоколебательные системы очень чувствительны к изменению своих параметров и реакция проявляется в виде изменения собственных частот колебаний и расширения спектра. Выявлена зависимость трех частот колебаний напряжения на измерительной обмотке автогенератора от изменения условий обработки. Обработка сигналов проводилась в среде MATLAB. По изменению значений собственных частот колебаний можно проводить диагностику износа резца (рис. 1).

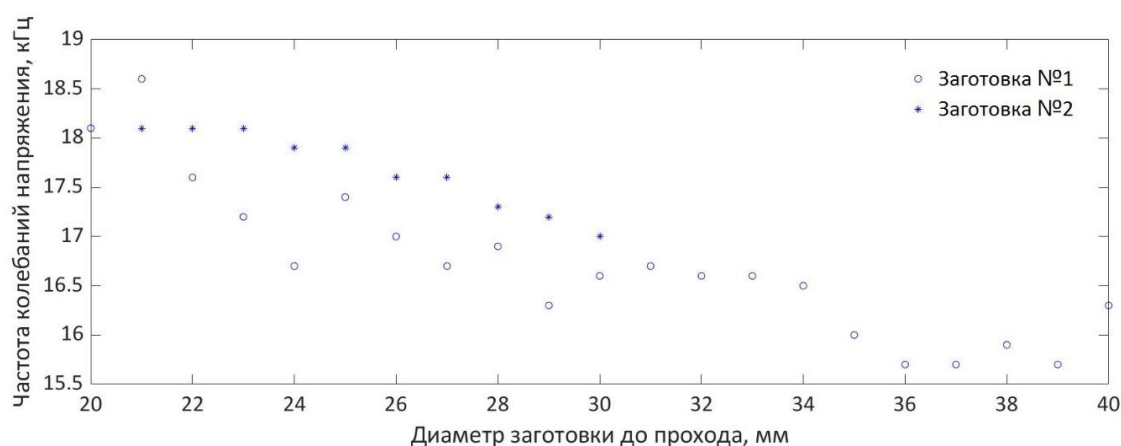


Рис. 1. Значения первой собственной частоты колебаний напряжения

Так, из рисунка 1 видно, что по мере роста износа инструмента растет значение первой собственной частоты колебаний напряжения на измерительной обмотке автогенератора. При обработке заготовок одного и того же диаметра резец более изношен к точению заготовки № 2, что видно по увеличенным значениям частоты. Также по сигналу датчика возможно установить порог отсечения по качеству обработанной поверхности заготовки. Так, в данном эксперименте порогом служит значение сигнала при

проходе № 27 (диаметр 25 мм), которому соответствует значение частоты сигнала около 18 кГц, в то время как для предыдущего прохода получено значение частоты в 17,5 кГц. Таким образом, при достижении первой собственной частотой автоколебаний значения около 17,5 кГц резец необходимо менять. Подобные пороги можно также установить для других собственных частот автогенератора. Аналогичный результат можно получить по сигналу акселерометра (рис. 2).

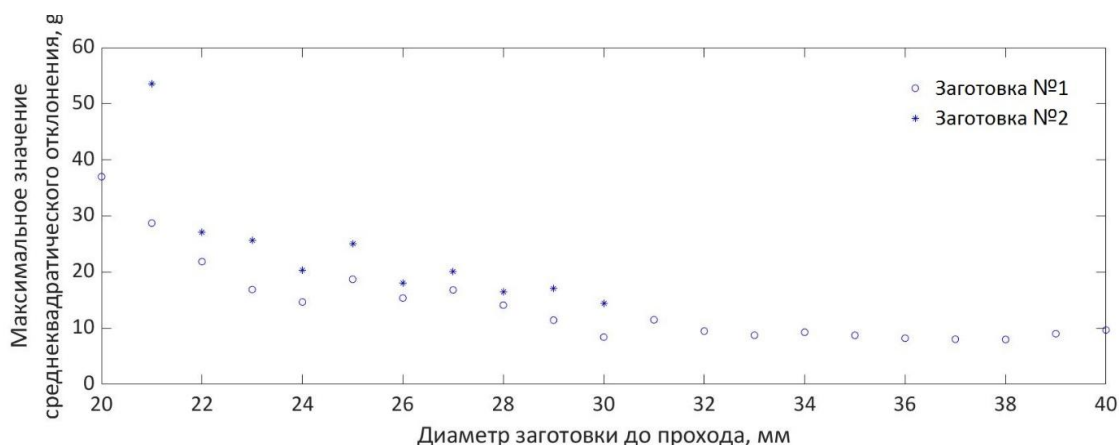


Рис. 2. Максимальное среднеквадратичное отклонение виброускорения

Таким образом, новый прибор на основе автогенератора с трансформаторной обратной связью способен диагностировать износ режущего инструмента. Дальнейшие исследования могут быть посвящены извлечению большего числа информативных признаков сигнала с автогенератора для повышения эффективности диагностики. Также для повышения эффективности диагностики можно записывать сигнал с обеих обмоток автогенератора и использовать фазовые сдвиги напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кабалдин, Ю. Г. Разработка цифрового двойника режущего инструмента для механообрабатывающего производства / Ю. Г. Кабалдин, Д. А. Шатагин, А. М. Кузьмишина // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 45–8. – С. 50–57.
2. Кабалдин, Ю. Г. Разработка «цифрового двойника» токарного станка с ЧПУ / Ю. Г. Кабалдин, Д. А. Шатагин, П. В. Колчин // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 45–8. – С. 44–50.
3. Авторское свидетельство № 648349 А1 СССР, МПК В23В 49/00, В23Q 15/00. Устройство для измерения износа режущего инструмента: № 2356669 : заявл. 03.05.1976: опубл. 25.02.1979 / В. Л. Заковоротный, Г. Г. Па-

лагнюк ; заявитель Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения.

4. Авторское свидетельство № 1122476 А1 СССР, МПК В23Q 15/00. Устройство для диагностики состояния процесса резания: № 3644402 : заявл. 19.09.1983: опубл. 07.11.1984 / Г. Г. Палагнюк, В. Д. Савельев, А. И. Накашидзе, Г. А. Козик ; заявитель Ростовский-на-Дону ордена Трудового Красного Знамени институт сельскохозяйственного машиностроения.

5. Авторское свидетельство № 1249393 А1 СССР, МПК G01N 3/58. Устройство для исследования процесса резания: № 3659892: заявл. 10.11.1983: опубл. 07.08.1986 / Г. Г. Палагнюк, Г. А. Козик, А. И. Накашидзе, В. Д. Савельев ; заявитель Ростовский-на-Дону ордена Трудового Красного Знамени институт сельскохозяйственного машиностроения.

6. *Матью Мэндл*. 200 избранных схем электроники / Матью Мэндл. – М. : Мир, 1985. – 350 с., ил.