

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭДС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Матвиенко А.В., Феник Л.Н. (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

The present work deals with estimate of cutting force by means of electromotive force (EMF) appearing between cutting tool and workpiece. The spectral analysis had been used for analysis of electromotive force (EMF) signals and cutting force. The results show that the EMF can be successfully used for monitoring cutting force.

Введение

В настоящее время современные металлорежущие станки должны удовлетворять не только технологическим требованиям, но и обладать информативностью, которые обеспечивают способность системы контролировать состояние процесса обработки. Основой информационной способности любой системы является сигнал, как правило, электрический аналоговый, который в той или иной мере отображает протекающие физические процессы в самой системе. Естественно, наличие в системе разнообразного количества процессов обуславливает необходимость контроля большого количества сигналов, что в ряде случаев является недопустимым и нецелесообразным. Источником сигнала в каждом конкретном случае является датчик, который реагирует на определенный параметр процесса и вырабатывает пропорциональный сигнал. Это могут быть сложные электромеханические устройства, требующие специальной подготовки и настройки для сопряжения с регистрирующей аппаратурой. В металлообработке в качестве сигналов используют сигналы силы, моментов, скорости, вибрации, акустическую эмиссию, электродвижущую силу (ЭДС) и др. [1-6]. Выбор того или иного сигнала обуславливается, в первую очередь, степенью корреляции с исследуемым или контролируемым параметром системы. В металлообработке такими параметрами являются износ инструмента, режимы обработки, качество обработанной поверхности и т.д. В частности износ инструмента является одним из основных параметров, который влияет как на качество обработки, так и на производительность самой системы. Поэтому при мониторинге износа инструмента для его оценки применяют различные способы, к числу которых относится контроль силы резания (например, для точения это, как правило, тангенциальная составляющая). Контроль силы резания осуществляется с помощью различных динамометрических преобразователей, которые должны быть максимально приближены к зоне резания, не сужая при этом технологических возможностей станка. В ряде случаев из-за громоздкости этих преобразователей осуществить «силовой» контроль невозможно.

В работе [7] показано, что ЭДС резания можно использовать для измерения силы резания, в частности, тангенциальной силы P_z . Проведенные исследования показывают хорошую корреляцию между сигналами ЭДС и силы P_z , но только в определенном диапазоне режимов резания, которые не обеспечивают наростообразование. Однако остается не выясненным вопрос об использовании ЭДС, как коррелирующего сигнала с P_z , в более широком диапазоне режимов резания. **Целью** работы является исследование соответствия сигналов ЭДС и силы P_z и степени их корреляции на различных режимах обработки при точении.

Основные результаты исследований

Для исследования степени взаимосвязи ЭДС и силы P_z проведены эксперименты при точении стали 45 резами с твердосплавными пластинами марки Т5К10, Т15К6. Режимы резания варьировались в следующих диапазонах: скорость резания $v=7-160$ м/мин, подача $s=0.0012-1.5$ мм/об, глубина $t=0.05-2$ мм. Записи осциллограмм ЭДС и

силы P_z осуществлялись по методике, описанной в работе [7]. Полученные данные подвергались корреляционному и спектральному анализу. На рис.1 показаны типовые осциллограммы ЭДС (EMF – electromotive force (англ.)) и P_z .

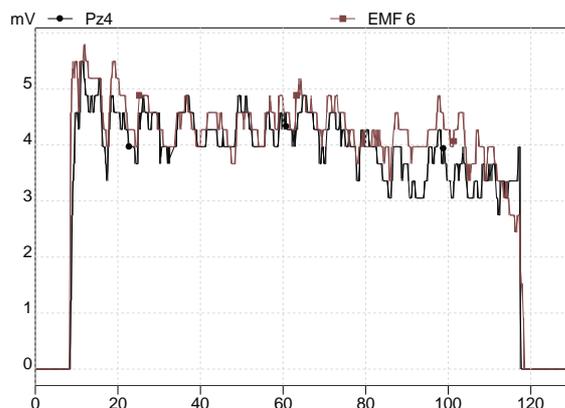


Рис.1 Типовые осциллограммы сигналов ЭДС и P_z , полученные при точении стали 45

На рис. 2 представлены графики зависимости статистических характеристик сигналов ЭДС и P_z (в милливольтгах) от скорости резания при $t=1$ мм и $s=0.8$ мм/об.

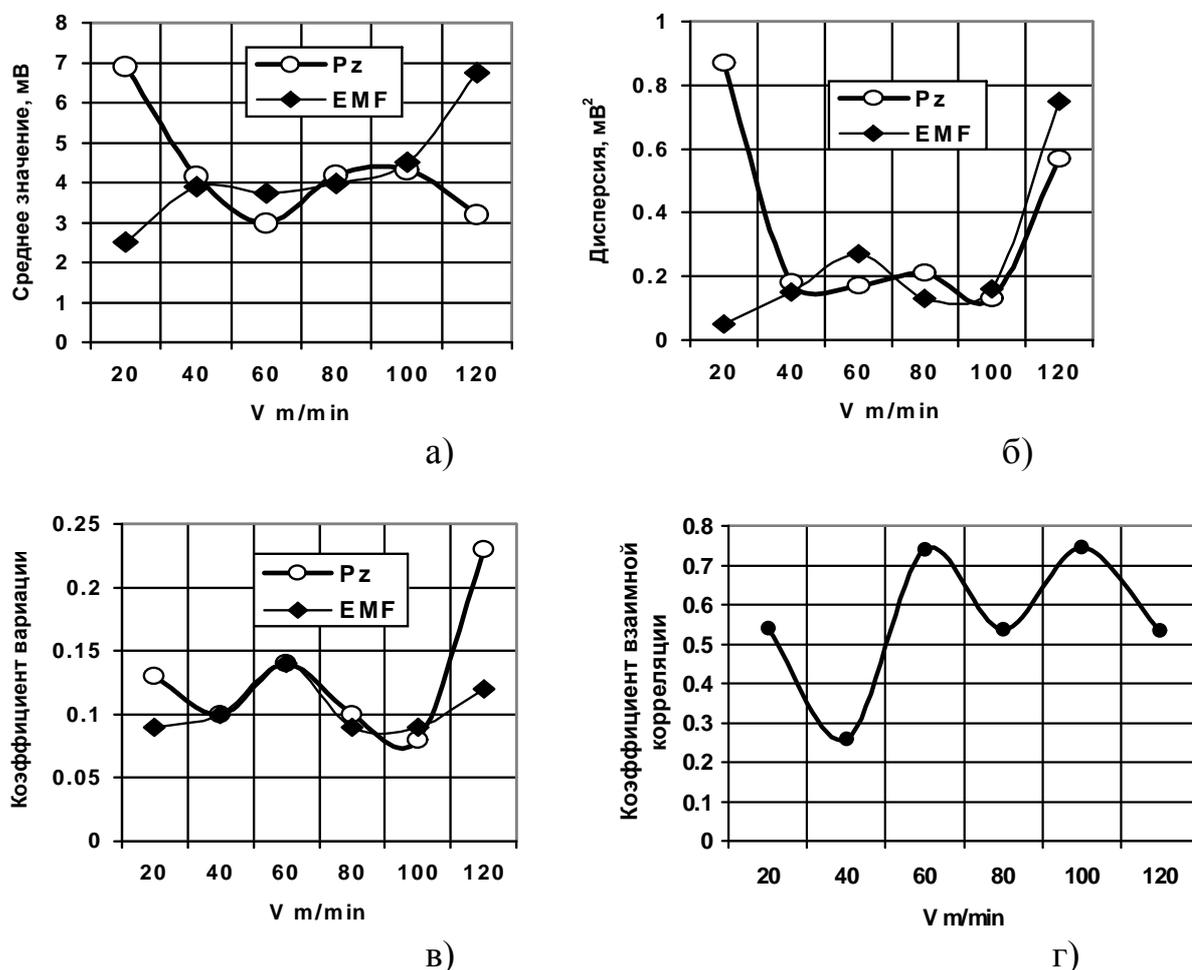


Рис.2 Графики зависимости статистических характеристик ЭДС и P_z от скорости резания

Как видно из рис.2, только в определенном диапазоне скоростей (~ 60-100 м/мин) наблюдается довольно высокая корреляция между сигналами ЭДС и P_z . Вид зависимости коэффициента взаимной корреляции (см. рис.2, г) имеет явно нелинейный характер, причем даже в зоне скоростей 60-100 м/мин, в котором исключалось наростообразование. Нелинейный характер коэффициента взаимной корреляции между сигналами ЭДС и P_z указывает на необходимость учета этого факта при использовании ЭДС для измерения силы P_z .

Наиболее низкий коэффициент корреляции наблюдается в области низких скоростей (высокая вероятность наростообразования) и при скоростях более 100 м/мин (наростообразование отсутствует). Это указывает на то, что механизмы возникновения ЭДС и P_z имеют различный характер. На рис. 3 представлены графики автокорреляционных функций и функций спектральных плотностей ЭДС и P_z для наиболее характерных скоростей резания: $v=20$ м/мин и $v=120$ м/мин.

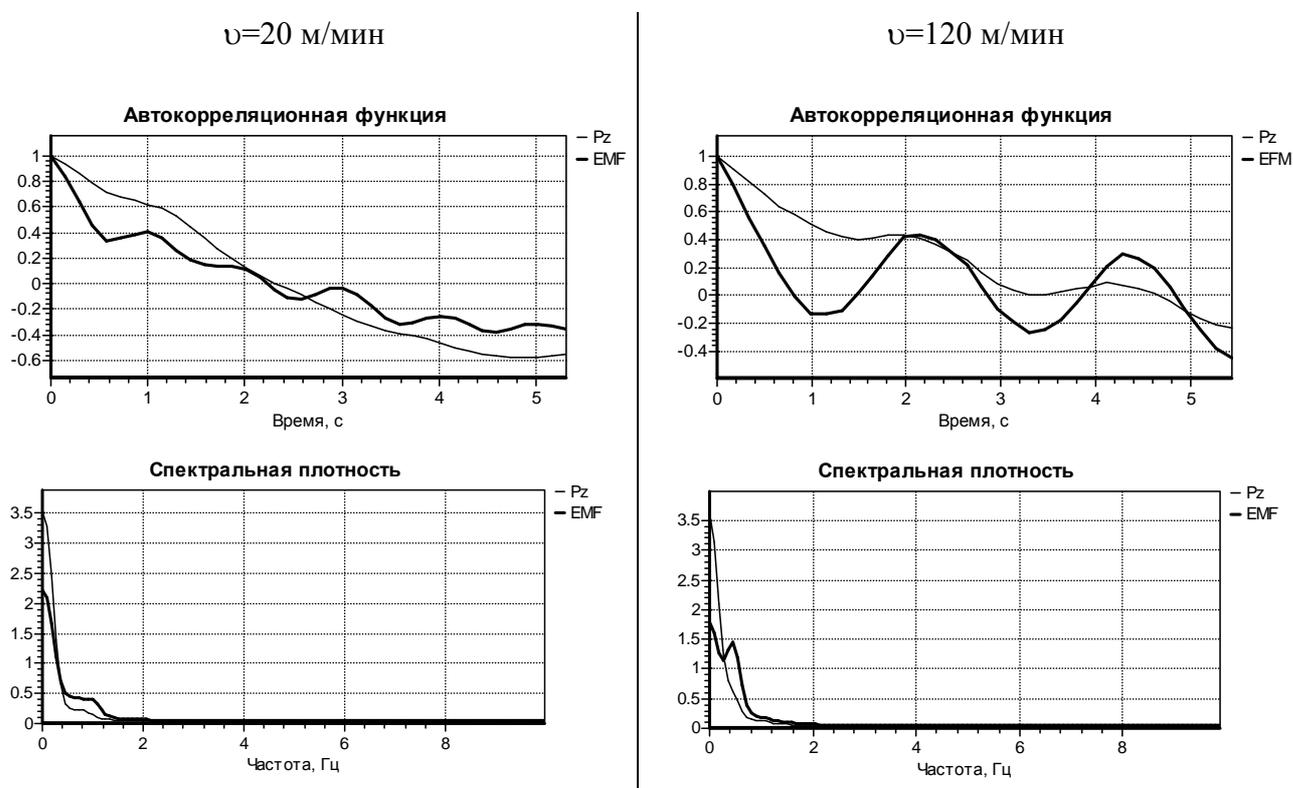


Рис.3 Автокорреляционные функции и функции спектральных плотностей ЭДС и P_z

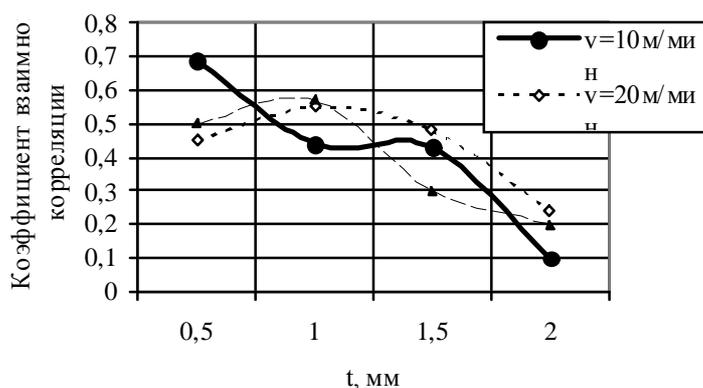
Из рис.3 следует, что при малых скоростях резания ЭДС является периодическим сигналом с периодом ~ 1 с и амплитудой ~ 0.1-0.15 мВ, в то время, как сигнал P_z имеет более длительный период (~ 2-2.5 с) и амплитуду до 1 мВ. Такой характер сигналов обусловлен, прежде всего, процессом наростообразования при резании. При этом ЭДС отображает частоту образования нароста, а P_z – частоту его «разрушения».

На больших скоростях резания ($v=120$ м/мин и более) характер сигналов ЭДС и P_z изменяется. Период и амплитуда сигнала ЭДС возрастают почти в 2-3 раза, а период и амплитуда P_z уменьшаются по сравнению с сигналом, полученным на скорости резания $v=20$ м/мин. На графике спектральной плотности функция от ЭДС имеет характерный пик - наблюдается возрастание спектральной плотности в диапазоне частот 0.8-1 Гц.

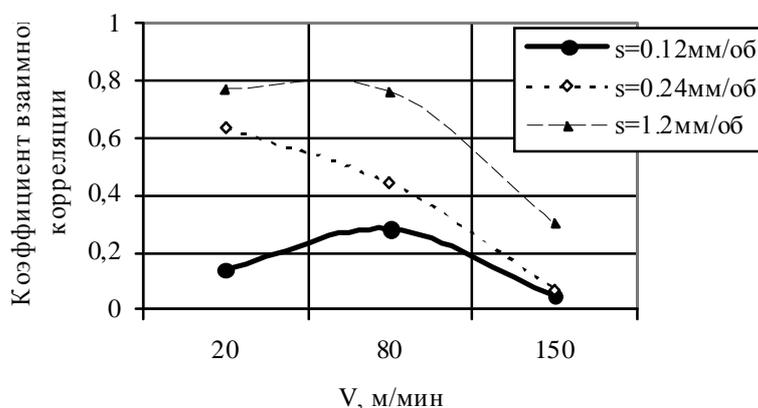
Таким образом, в зависимости от условий обработки меняется степень корреляции между сигналами ЭДС и P_z . Учитывая сложный механизм контактного

взаимодействия «инструмент-заготовка» вероятно нахождение таких условий обработки, когда степень корреляции между указанными сигналами будет высокая и только в этом случае можно использовать ЭДС для определения силы резания P_z . Это также подтверждает сложную многофакторную структуру сигнала ЭДС, в котором при различных условиях обработки могут преобладать те или иные механизмы его формирования.

Например, на рис. 4 представлены графики зависимостей коэффициента корреляции сигналов ЭДС и силы P_z от глубины резания и подачи при различных скоростях резания.



а)



б)

Рис.4. Графики зависимости коэффициента корреляции между сигналами ЭДС и P_z

Из рис. 3 и 4 следует, что значительное влияние на степень корреляции оказывают режимы обработки. Даже в области режимов резания, которые исключают наростообразование, наблюдается колебание степени корреляции сигналов, что говорит об особенностях их формирования. Поэтому использование сигнала эдс для оценки силы P_z может быть только в первом приближении. Проявление «деформационных» или «температурных» свойств ЭДС вносит существенные изменения в характере сигналов, что может приводить к ошибочным выводам.

В работе [7] отмечается, что информацию о силе резания можно получить посредством измерения электрической проводимости контакта резец-заготовка, используя соотношение

$$I/R_k = \frac{I_{\text{Э}}}{E - U_{\text{Э}}},$$

где R_k - переходное сопротивление в контакте резец-заготовка, E - квазиэдс резания; $U_{\text{Э}}$ - падение напряжения на контакте при пропускании через него с постоянной амплитудой тока $I_{\text{Э}}$.

Квазиэдс E представляет собой падение напряжения на нелинейном сопротивлении R_k , что обуславливает связь эдс с усилием P_z . Тогда измерение P_z по ЭДС может осуществляться в условиях, когда фактическая площадь контакта резец-заготовка (по сути R_k) существенно изменяется, что накладывает некоторые ограничения при выполнении таких измерений. Во-первых, такой способ измерения может быть использован в первом приближении только при выполнении черновых операций, когда происходит существенное изменение площади контакта инструмент-заготовка, во-вторых, измеряемая аппаратура должна иметь достаточную чувствительность к изменению ЭДС. С повышением чувствительности измеряемой аппаратуры усложняется задача очистки сигнала от помех.

Выводы.

Анализ проведенных экспериментальных и статистических исследований соответствия сигналов ЭДС и силы резания P_z , возникающих при точении стали, показал, что использование ЭДС для оценки силы резания P_z может быть только в первом приближении. При этом необходимо учитывать характер контактирования пары инструмент-заготовка, зависящий от условий обработки, и чувствительность применяемой аппаратуры для измерения ЭДС.

Список литературы: 1. S. Liang, R. Hecker, R. Landers. Machining process monitoring and control: the state-of-the-art. / Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol.126, 2004, - pp. 297-310. 2. Nowicki, B., and Jarkiewicz, A. The in-process surface roughness measurement using fringe capacitive method / Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 38, 1998. - pp. 725-732. 3. O'Donnell, G., Young, P., Kelly, K., and Byrne, G. Towards the improvement of tool condition monitoring systems in manufacturing environment. / J. Mater. Process. Technol., vol.119, 2001. - pp. 133-139. 4. Sanjanwala, A., Choudhury, S. K., and Jain, V. K., 1990, "On-line Tool Wear Sensing and Compensation during Turning Operation," *Precis. Eng.*, **12**, No. 2, pp. 81-84. 5. Lim, G. H., 1995, "Tool Wear Monitoring in Machine Turning," *J. Mater. Process. Technol.*, **51**, pp. 25-36. 6. Плотников А.Л., Таубе А.О. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ. – Монография, Волгоград, Изд-во Волгоград. гос. техн. ун-та, 2003. – 184 с. 7. С.В. Васильев. Измерение силы резания без динамометрических преобразователей. // Станки и инструмент, №6, 1987. – с. 23-24.

Сдано в редакцию 31.01.07