

## К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЭДС РЕЗАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

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

*The present work deals with estimate of surface roughness 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. The results show that the EMF can be successfully used for monitoring surface roughness.*

### **Введение.**

Процессы трения и резания металлов сопровождаются рядом широко известных физических явлений. К одному из этих явлений относится возникновение электродвижущей силы (ЭДС) между контактируемыми телами. Природа электрических явлений, возникающих при трении и резании, достаточно не изучена, хотя этому вопросу посвящено большое количество научных работ как отечественных [1, 2], так и зарубежных ученых [3 - 5]. В общем можно выделить несколько направлений исследований: использование сигнала ЭДС для управления режимами резания и использование сигнала ЭДС для контроля износа инструмента или трущихся пар. В некоторых работах выполнены исследования о связи ЭДС и шероховатости обрабатываемой поверхности. При этом отмечалось, что, управляя величиной ЭДС путем ее компенсации или изоляцией инструмента, можно снизить шероховатость обработанной поверхности более значительно, чем это удастся сделать приращением скорости резания [2]. Большинство исследователей, обнаруживших влияние слабых электрических токов на шероховатость обработанной поверхности (как правило, при точении) считают, что причиной снижения микронеровностей при отсутствии тока (т.е. при компенсации или изоляции) является уменьшение интенсивности и изменение характера износа режущего инструмента. Другие исследователи не обнаружили заметного влияния токов на шероховатость, но обнаружили эффект от использования электроизолированного инструмента на снижение интенсивности его износа и шероховатости обработанной поверхности. Поэтому в работе [7] делается вывод о том, что снижение шероховатости связано с уменьшением износа инструмента. В то же время вопрос о непосредственном влиянии ЭДС на шероховатость обработанной поверхности является дискуссионным, и для изучения этого вопроса требуются дальнейшие исследования. Учитывая, что, как правило, большинство исследователей рассматривают постоянную составляющую ЭДС, представляет интерес исследовать переменную составляющую и определить степень ее взаимосвязи с шероховатостью обработанной поверхности.

### **Основные результаты исследований.**

Для исследования степени взаимосвязи ЭДС резания и шероховатости обработанной поверхности проведены экспериментальные исследования точения малоуглеродистой стали 20 резцами с твердосплавными пластинами марки Т5К10. Измерение ЭДС производилось по известным методикам [6], а запись переменной составляющей осуществлялась с помощью специального измерительного комплекса непосредственно на ЭВМ. В эксперименте использовалась обработка с электроизолированным инструментом и инструментом без изоляции. Проводились две основные серии экспериментов. Первая серия экспериментов выполнялась с переустановкой заготовок и инструмента. Вторая серия проводилась так, чтобы исключить влияние погрешностей установки инструмента и заготовки, а также влияния электроизоляционного материала на вибрации инструмента. Для этого применялся электроизолированный инструмент, который для работы в режиме «без изолирования»

соединялся с корпусом резцедержки посредством металлического шунта с экраном, устраняющим электрические помехи окружающей среды. Для устранения влияния погрешности установки применялась заготовка с чередующимися кольцевым канавками, разделяющими зоны обработки электроизолированным инструментом и инструментом не изолированным. Длина пути резания и режимы обработки выбирались, исходя из необходимости исключения существенного износа инструмента. В качестве варьируемого фактора была выбрана скорость резания, которая информативнее отображает зоны наростообразования при обработке пластичных сталей. Значение скорости резания изменялось в диапазоне 25-135 м/мин ( $v_1 < v_2 < v_3 < v_5 < v_6$ ). Величина подачи и глубина резания во всех опытах были постоянны ( $S=0.22$  об/мин,  $t=0.25$  мм). Оценка шероховатости осуществлялась путем измерения и профилографирования обработанной поверхности профилометром-профилографом мод.252.

В таблице 1 представлены результаты исследований ЭДС и шероховатости обработанной поверхности при точении электроизолированным инструментом и инструментом без электроизоляции (первая серия экспериментов). Из полученных данных следует, что при точении инструментом без электроизоляции с увеличением среднего значения потенциалов ЭДС шероховатость поверхности увеличивается. Так наименьшему значению шероховатости соответствует наименьшее значение среднего, дисперсии, среднего квадратичного и коэффициента вариации потенциалов ЭДС. Интересно отметить, что при скоростях  $v_3$  и  $v_5$  получены одинаковые значения шероховатости, а значения среднего, дисперсии и среднего квадратичного потенциалов ЭДС при  $v_3$  меньше, чем при  $v_5$ , но коэффициенты вариации имеют обратную взаимосвязь.

При обработке электроизолированным инструментом величина среднего значения потенциалов ЭДС возрастает почти в два раза по сравнению с потенциалами ЭДС при обработке не изолированным инструментом. Но с увеличением скорости резания это соотношение уменьшается.

Таблица 1 . Статистические характеристики потенциалов ЭДС и шероховатости обработанной поверхности при точении инструментом с электроизоляцией и без электроизоляции (первая серия экспериментов)

Статистич. характеристики	Инструмент без электроизоляции					Инструмент с электроизоляцией				
	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_5$	$v_6$	$v_1^*$	$v_2^*$	$v_3^*$	$v_5^*$	$v_6^*$
Среднее значение $R_a$ , мкм	1.15	0.72	0.17	1.16	1.15	0.62	0.60	0.38	0.55	0.59
Мат.ожидание ЭДС, мВ	1,70	2,16	2,65	2,86	3,55	3,14	4,01	4,63	4,77	5,58
Дисперсия ЭДС, мВ	0,062	0,324	0,406	0,359	0,616	0,033	0,030	0,052	0,316	0,078
Среднекв.откл. ЭДС, мВ	0,249	0,569	0,637	0,599	0,785	0,181	0,173	0,229	0,562	0,280
Коеф.вариации ЭДС	0,146	0,262	0,240	0,208	0,221	0,057	0,043	0,049	0,117	0,050

Изменение дисперсии и среднеквадратичного отклонения имеет обратную взаимосвязь. С увеличением скорости при обработке электроизолированным инструментом дисперсия и среднеквадратичное отклонение колебаний ЭДС уменьшается

почти в 10 раз. В то же время можно отметить незначительные изменения дисперсии и среднеквадратичного отклонения при точении на скорости  $v_5$  не изолированным и  $v_5^*$  изолированным инструментом, но при обработке изолированным инструментом коэффициент вариации уменьшается почти в 2 раза.

Измерение шероховатости обработанных поверхностей (5 параллельных опытов) в случае использования не изолированного и изолированного инструментов показали, что шероховатость поверхности в целом уменьшается в случае обработки электроизолированным инструментом.

Вторая серия опытов (без переустановки заготовок и инструмента) показала аналогичную взаимосвязь переменной составляющей ЭДС и шероховатости обработанной поверхности (табл.2). Так при обработке изолированным инструментом среднее значение потенциалов ЭДС выше, чем при обработке не изолированным инструментом, а значения дисперсии, среднеквадратического отношения и коэффициента вариации меньше.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показывают, что между колебаниями ЭДС и шероховатостью обработанной поверхности существует глубокая связь. Поэтому представляет интерес более детальное изучение полученных колебаний ЭДС при обработке изолированным и не изолированным инструментом на основе теории случайных функций.

Таблица 2. Статистические характеристики потенциалов ЭДС и шероховатости обработанной поверхности при точении инструментом с электроизоляцией и без электроизоляции (вторая серия экспериментов)

Статистич. характеристики	Инструмент без электроизоляции			Инструмент с электроизоляцией		
	$v_1$	$v_3$	$v_6$	$v_1^*$	$v_3^*$	$v_6^*$
Среднее значение $R_a$ , мкм	1.15	0.17	1.15	0.62	0.38	0.59
Мат.ожидание ЭДС, мВ	1,70	2,65	3,55	3,14	4,63	5,58
Дисперсия ЭДС, мВ	0,062	0,406	0,616	0,033	0,052	0,078
Среднекв.откл. ЭДС, мВ	0,249	0,637	0,785	0,181	0,229	0,280
Коэф.вариации	0,146	0,240	0,221	0,057	0,049	0,050

В работе [2] установлено, что характер колебаний потенциалов ЭДС (при постоянных условиях) не меняется со временем и по одной достаточно длинной записи можно определить статистические характеристики процесса. Тогда колебания ЭДС являются стационарным эргодическим случайным процессом и для характеристики колебаний мгновенных значений ЭДС можно использовать корреляционный и спектральный анализы.

На рис. 1 представлены графики нормированных автокорреляционных функций  $K(\tau)$  и нормированных спектральных плотностей  $S(\omega)$  потенциалов ЭДС при точении электроизолированным и не электроизолированным инструментами на скоростях  $v_1$ ,  $v_3$  и  $v_6$  (причем  $v_1 < v_3 < v_6$ , и  $v_1 = v_1^*$ ,  $v_3 = v_3^*$ ,  $v_6 = v_6^*$ ).

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшие изменения спектров ЭДС наблюдаются в низкочастотной области. С увеличением скорости резания энергия спектра ЭДС в низкочастотной области при обработке изолированным инструментом уменьшается в большей степени, чем при обработке неизолированным инструментом. Поэтому эффект уменьшения шероховатости обработанной поверхности будет в большей степени проявляться на режимах чистовой обработки. Кроме того, вычисленные коэффициенты взаимной корреляции  $r_{(v_1, v_1^*)} = -0,099$ ,  $r_{(v_3, v_3^*)} = -0,292$  и  $r_{(v_6, v_6^*)} = 0,284$  показывают, что колебания ЭДС при обработке электроизолированным и не электроизолированным инструментами носят различный характер.

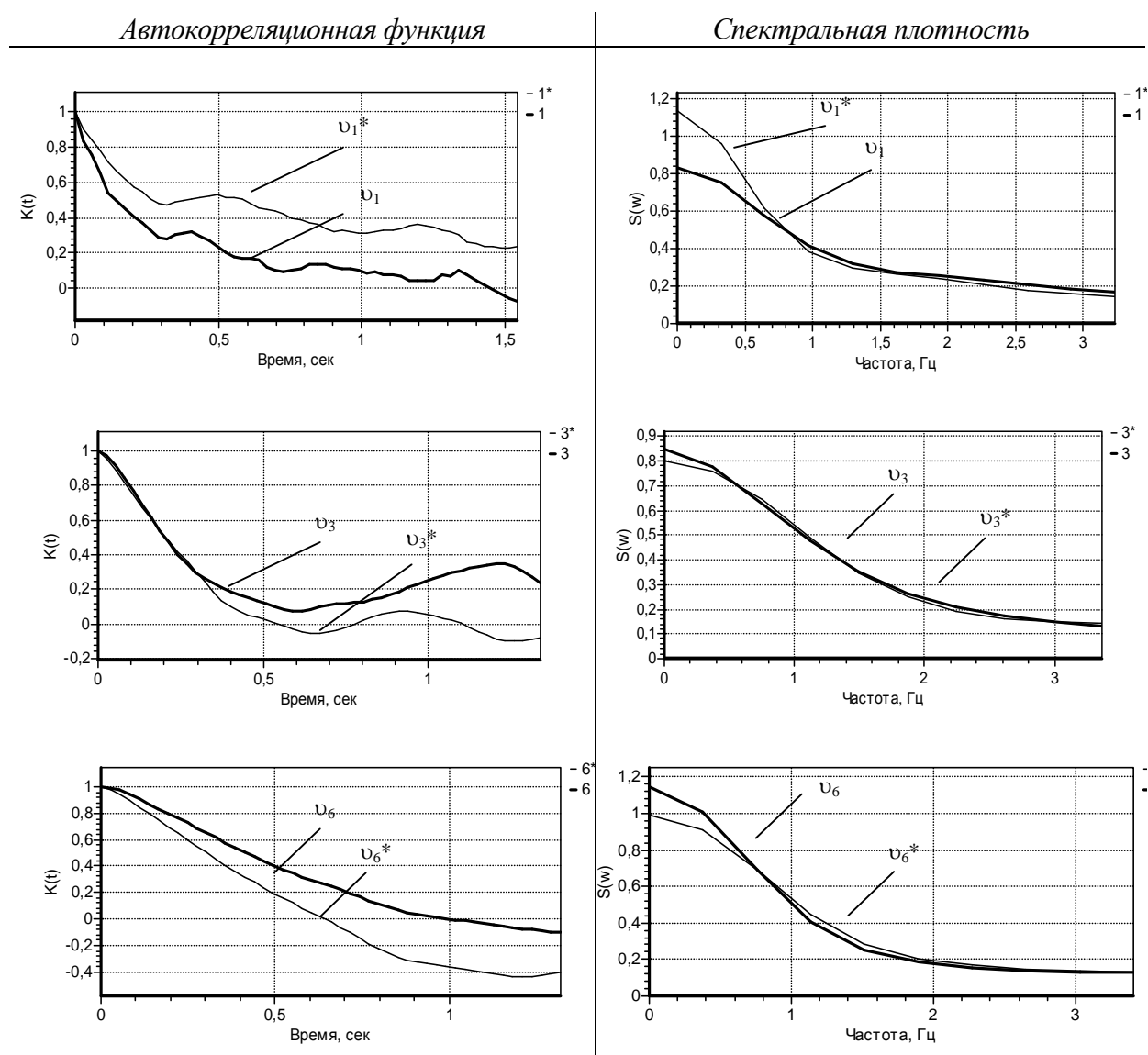


Рис.1 Автокорреляционные функции и спектральные плотности потенциалов ЭДС :  
 (\* - обработка электроизолированным инструментом, 1 -  $v_1$ , 1\* -  $v_1^*$ , 3 -  $v_3$ , 3\* -  $v_3^*$ , 6 -  $v_6$ ,  
 6\* -  $v_6^*$ )

Таким образом, колебания ЭДС отражают импульсный характер процесса резания и несут важную информацию о сложных физико-химических процессах при резании металлов. Различный характер колебаний ЭДС при обработке электроизолированными и не электроизолированным инструментами показывает, что в зоне контакта «инструмент-

деталь» присутствуют несколько отличные механизмы разрушения и физико-химических процессов. Если исходить из гипотезы, что шероховатость обработанной поверхности уменьшается вследствие уменьшения износа инструмента, то в нашем случае имело бы место восстановление геометрии инструмента каждый раз после предыдущей обработки без изоляции инструмента, как только он «переводился» в состояние электроизолированности. Совершенно очевидно, что такое утверждение является не совсем корректным. По-видимому, такая гипотеза может существовать в случае обработки большой партии заготовок, когда износ инструмента со временем ощутим, и это отображается на шероховатости обработанной поверхности.

В настоящее время существует несколько теорий, объясняющих механизм влияния электрических импульсов на процесс трения и резания. Нам представляется наиболее перспективной теория дислокаций, которая впервые была использована в работах Б.И.Костецкого. Так, согласно этой теории, в тончайших контактных поверхностных микрообъемах происходят движение и взаимодействие дислокаций. Выход последних на поверхность приводит к образованию своеобразного субмикрорельефа в виде ступенек сдвига, оказывающего влияние на силы внешнего трения. Как показано в работе [8], между коэффициентом трения и высотой образующегося микрорельефа существует следующая связь:

$$f = 6,28(1 - \nu) \frac{\sigma_m}{G} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho}} \sin \alpha , \quad (1)$$

где  $f$  - коэффициент трения;

$\nu$  - коэффициент Пуассона;

$G$  - модуль сдвига;

$\sigma_m$  - предел текучести;

$\rho_1$  - конечная плотность дислокаций;

$\rho$  - исходная плотность дислокаций;

$\alpha$  - угол наклона плоскости скольжения.

Отношение  $\frac{\rho_1}{\rho}$  в выражении (1) характеризует деформационную составляющую коэффициента трения, а конечная плотность дислокаций  $\rho_1$  характеризует адгезионную составляющую. Тогда, воздействуя на  $\frac{\rho_1}{\rho}$  и  $\rho_1$  можно изменять коэффициент трения.

Одним из таких воздействий являются электрические импульсы, которые, воздействуя на дислокации, влияют и на пластическую деформацию металла. Таким образом, можно предположить, что при обработке электроизолированным инструментом, возникающие электрические импульсы в зоне контакта с заготовкой, облегчают пластическую деформацию металла и тем самым способствуют уменьшению шероховатости обработанной поверхности по сравнению с обработкой неизолированным инструментом. Сравнивая спектры ЭДС и их статистические характеристики при обработке электроизолированным и не электроизолированным инструментами, можно увидеть существенные различия. Так уменьшение шероховатости обработанной поверхности связано с увеличением среднеарифметического значения ЭДС и уменьшением дисперсии и среднеквадратичного отклонения. По-видимому, такой вид спектра ЭДС способствует облегчению пластической деформации, что может быть связано с несколькими механизмами: большей электризацией поверхностного слоя, уменьшением скорости окислительных процессов на ювенильных поверхностях заготовки и инструмента, упорядочиванием теплового движения электронов и др.

**Выводы.** Анализ проведенных экспериментальных и статистических исследований потенциалов ЭДС, возникающих при тчении стали электроизолированным и не электроизолированным инструментами, показал следующее:

- 1) при обработке электроизолированным инструментом шероховатость обработанной поверхности уменьшается по сравнению с обработкой не электроизолированным инструментом;
- 2) уменьшение шероховатости обработанной поверхности взаимосвязано с увеличением среднеарифметического значения ЭДС и уменьшением дисперсии и среднеквадратичного отклонения, что присуще обработке электроизолированным инструментом;
- 3) при обработке электроизолированным инструментом зона наростообразования смещается в область низких скоростей;
- 4) на основании теории дислокаций можно предположить, что изоляция инструмента изменяет характер колебаний ЭДС таким образом, что это способствует облегчению пластической деформации металла, т.е. проявляется электропластический эффект, и, тем самым, уменьшается шероховатость обработанной поверхности;

**Список литературы:** 1. 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. 2. Коробов Ю.М., Прейс Г.А. Электромеханический износ при трении и резании металлов. – К.: Техника, 1976. – 200 с. 3. 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. 4. 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. 5. 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. 6. Вульф А.М. Резание металлов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 496 с. 7. Аветов А.А., Афанасьев Ф.З., Бобровский В.А. О влиянии термотоков, возникающих при резани металлов, на шероховатость обработанной поверхности // Вестник машиностроения, №3, 1973. – с. 4-7. 8. Назаренко П.В. Расчет силы и коэффициента трения кристаллических тел на основе дислокационной модели внешнего трения // Проблемы трения и изнашивания, №3, - К.: Техника, 1973.

Сдано в редакцию 20.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Калафатова Л.П.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ.**

**Павлыш В.Н., Перинская Е.В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина.)**

*The mathematical model of dependence of the size of the units of usefull product, based on the criterion formulas, is considered.*

Ряд неметаллических материалов, используемых в технике (в частности, ферриты), получают путем осаждения твердой фазы из суспензии [1]. Математические модели процессов получения суспензии в аппаратах с конвективными