

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТАКТОВ ИНСТРУМЕНТА С ИЗДЕЛИЕМ И СТРУЖКОЙ

В.И. Александров¹, Е.И. Глинкин², А.В. Егоров¹, Д.А. Руденко¹

*Кафедры: «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты», (1),
«Электрооборудование и автоматика» (2), ТГТУ*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: металлообработка резанием; моделирование электрических процессов резания; электрические процессы при металлообработке.

Аннотация: Рассматривается задача математического моделирования электрических процессов, сопутствующих металлообработке лезвийным токопроводящим режущим инструментом. Предложена электрофизическая модель определения электрических характеристик контактов инструмента с изделием и стружкой на микро- и макро- уровне локализации и интегрального контакта «инструмент – изделие».

Функционирование технологических систем металлообработки сопровождается многочисленными физическими явлениями и процессами, во многом определяющими их эффективность. Немаловажная роль среди них принадлежит электрическим явлениям и процессам, которые, с одной стороны, существенно влияют на износостойкость токопроводящего режущего инструмента и качество обработанного изделия и, с другой – до настоящего времени остаются малоизученными. Расширение существующих представлений и получение новой информации о природе и физической сущности электрических явлений и процессов возможно с помощью компьютерного моделирования.

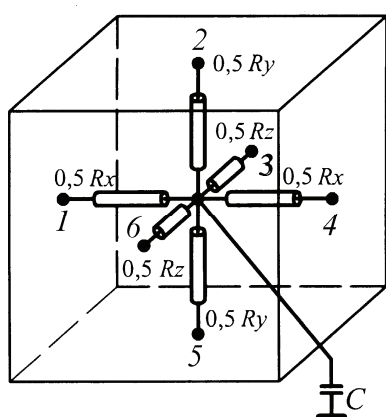


Рис. 1 Электрическая модель элементарного объема твердого тела

В основу моделирования положен принцип замены твердого тела с распределенными по объему характеристиками системой дискретных элементов – кубических ячеек [1], в которых эти характеристики приведены к некоторым узловым точкам. Замещающая объем тела ячейка (рис. 1) содержит шесть сопротивлений, соединяющих ее центр с центрами граней и имитирующих электрические свойства материалов инструмента, изделия и стружки по направлениям координатных осей, а также подключенную к узлу емкость, имитирующую динамику электрических процессов. В точках 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 сопротивления полуветвей одной ячейки соединяются с сопротивлениями полуветвей

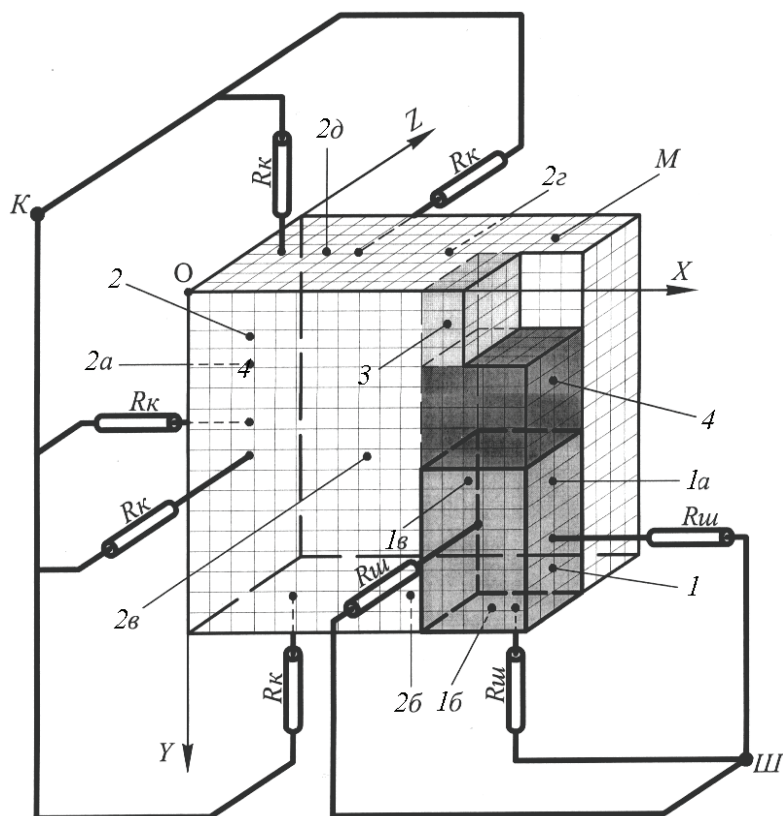


Рис. 2 Электрическая модель технологической системы металлообработки

смежных ячеек и таким образом создается «кристалл» – трехмерный массив M ячеек (рис. 2).

Формирование «кристалла» модели

На стадии формирования «кристалла» электрофизической модели задаются начальные условия и определяются исходные данные. Стартовые значения потенциалов ячеек «кристалла» принимаются равными нулю.

В «кристалле» выделяется рабочая часть инструмента I , изделие 2 , срезаемый слой 3 и стружка 4 (см. рис. 2). Номинальные площади локальных макроконтактов инструмента, объемы стружки и срезаемого слоя организуются размещением в объеме «кристалла» изолирующих ячеек, сопротивление полуветвей r'' которых задается равным 10^{30} Ом (рис. 3).

Для упрощения исходного кода программы «кристалл» по периферии покрывается слоем изолирующих ячеек.

В качестве исходных используются экспериментальные данные о величинах ЭДС E интегрального контакта «инструмент-изделие» и ЭДС E^i локальных макроконтактов инструмента с изделием и стружкой, полученные при сопротивлении внешней цепи $R = 1$ кОм, и данные о сопротивлениях интегрального и локальных макроконтактов r_k и r^i , соответственно, полученные при $R = 0,01$ Ом.

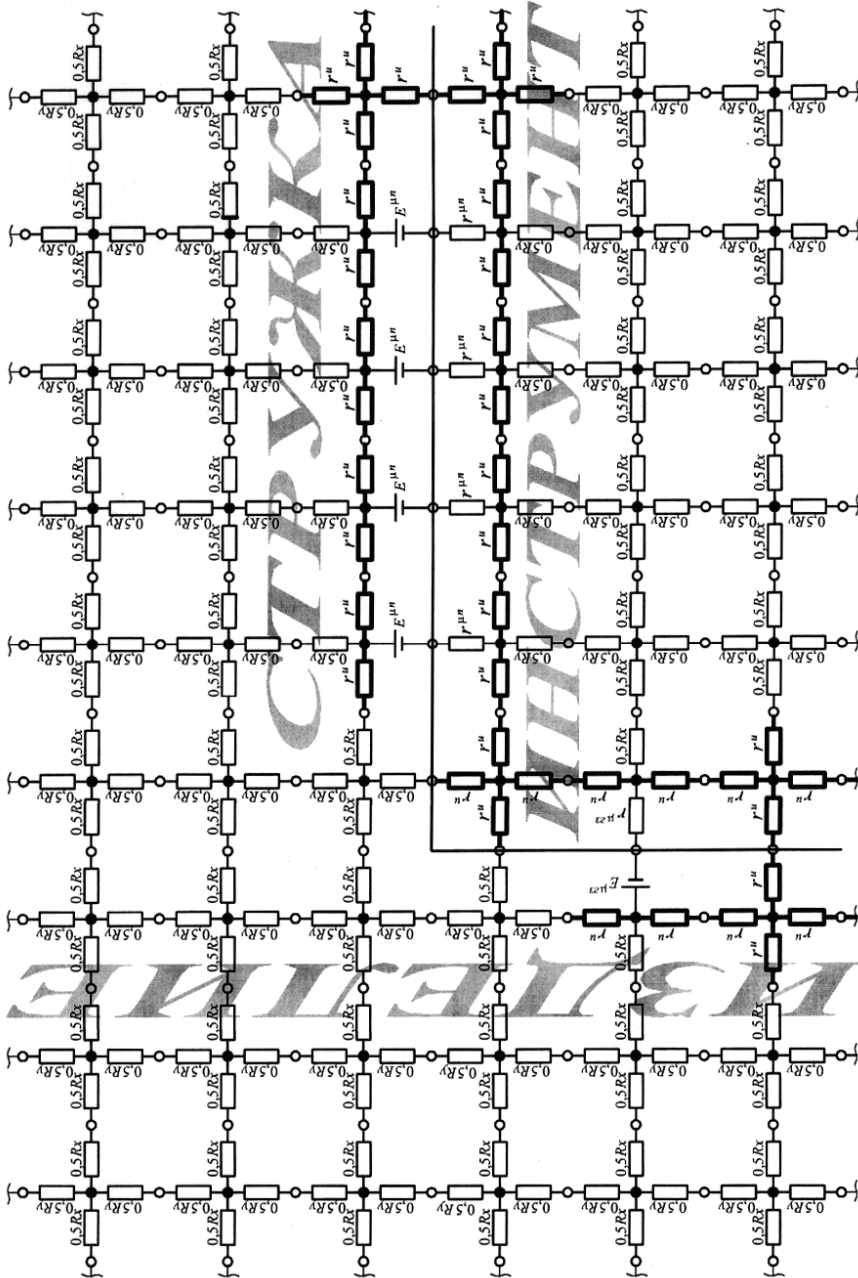


Рис. 3 Фрагмент трехмерного массива ячеек модели в сечении главной плоскостью

Экспериментальные исследования проводились при точении без применения СОЖ стали марки 40Х резцом, оснащенным модернизированной пластиной SNMM 150416 из твердого сплава марки MA1. Серийная пластина производства ОАО «SANDVIK-MKTС» имеет твердосплавную основу, на которую нанесено многослойное высокоомное износостойкое покрытие TiN – TiCN – Al₂O₃ общей толщиной 9 мкм. Модернизация серийной СМП состояла в том, что с одной из ее вершин покрытие было удалено. Геометрические параметры резца: $\alpha = 6^\circ$, $\gamma = -6^\circ$, $\varphi_1 = \varphi_2 = 45^\circ$, $\lambda = 0$, форма передней поверхности – плоская. Режим резания: глубина резания $t = 1 \cdot 10^{-3}$ м, подача $S = 0,125 \cdot 10^{-3}$ м/об, скорость резания $V = 1,77$ м/с.

С учетом экспериментально найденных величин E^i – ЭДС, генерируемых локальными макроконтактами, методика определения которых приведена в работе [2], и известного [3 – 7] закона распределения ЭДС по контактным площадкам инструмента, определяются и вводятся в модель величины $E_{x,y,z}^{\mu i}$ – ЭДС, генерируемых локальными микроконтактами (см. рис. 3).

Стартовое для модели внутреннее сопротивление $r_{x,y,z}^{\mu i}$ микроконтактов, принадлежащих i -му локальному макроконтакту, определяется по формуле

$$r_{x,y,z}^{\mu i} = n^i r^i, \quad (1)$$

где n^i – количество микроконтактов в локальном макроконтакте инструмента с изделием или стружкой.

Для создания внешней цепи в кристалле выделяются все внешние токопроводящие поверхности (см. рис.2), принадлежащие инструменту 1 ($1a, 1б, 1в$) и изделию 2 ($2a, 2б, 2в, 2г, 2д$). Обозначим суммарное число параллельно включенных во внешнюю цепь ячеек, лежащих на внешних поверхностях инструмента, через p , а на внешних поверхностях изделия, через q . Поскольку $p \neq q$, внешняя цепь сопротивлением R в модели организуется по отдельности для инструмента и изделия. Для этого узлы ячеек, лежащих на внешних поверхностях $1a, 1б, 1в$ инструмента, через сопротивления

$$R_{и} = pR \quad (2)$$

соединяются с точкой III , которой после каждой итерации присваивается среднее значение потенциала $\bar{\varphi}_{и}$ узлов ячеек, лежащих на внешних поверхностях изделия. Соответственно, узлы ячеек, лежащих на внешних поверхностях ($2a, 2б, 2в, 2г$ и $2д$) изделия, через сопротивления

$$R_{к} = qR \quad (3)$$

соединяются с точкой K , которой присваивается среднее значение потенциала $\bar{\varphi}_k$ узлов ячеек, лежащих на внешних поверхностях инструмента.

Потенциалы $\bar{\varphi}_k$ и $\bar{\varphi}_{и}$ являются средними значениями, соответственно, потенциалов ячеек, лежащих на поверхностях $1a, 1б$ и $1в$ инструмента 1, и ячеек, лежащих на поверхностях $2a, 2б, 2в, 2г$ и $2д$ изделия 2. Тогда, падение напряжения во внешней цепи в модели будет равно напряжению между узловыми точками III и K

$$U = \bar{\varphi}_{и} - \bar{\varphi}_k. \quad (4)$$

Математическое обеспечение итерационного расчета электрических характеристик контактов инструмента с изделием и стружкой

Для определения электрических характеристик контактов инструмента с изделием и стружкой определяются равновесные значения потенциалов в ячейках кристалла.

Потенциалы ячеек, размещенных в объеме материалов изделия, стружки и инструмента, определяются на основании первого закона Кирхгофа [7, 8]

$$\varphi_{x,y,z} = \frac{\varphi_{x+1,y,z} Y_{x+1,y,z} + \varphi_{x-1,y,z} Y_{x-1,y,z} + \varphi_{x,y+1,z} Y_{x,y+1,z} + \dots}{Y_{x-1,y,z} + Y_{x+1,y,z} + Y_{x,y-1,z} + Y_{x,y+1,z} + Y_{x,y,z-1} + Y_{x,y,z+1} + \dots} \dots \quad (5)$$

где $\varphi_{x+1,y,z}$, $\varphi_{x-1,y,z}$, $\varphi_{x,y+1,z}$, $\varphi_{x,y-1,z}$, $\varphi_{x,y,z+1}$, $\varphi_{x,y,z-1}$ – потенциалы узлов ячеек, окружающих ячейку с координатами x, y, z ; $Y_{x+1,y,z}$, $Y_{x-1,y,z}$, $Y_{x,y+1,z}$, $Y_{x,y-1,z}$, $Y_{x,y,z+1}$, $Y_{x,y,z-1}$ – проводимости ветвей, соединяющих узлы смежных ячеек с ячейкой, имеющей координаты x, y, z .

При определении потенциалов ячеек инструмента, изделия и стружки, образующих контактные слои, принимаем, что их потенциалы равны между собой по абсолютной величине, но отличаются по знаку, т.е.

$$\varphi_{x,y,z}^{\mu n} = -\varphi_{x,y+1,z}^{\mu n}, \quad (6)$$

$$\varphi_{x,y,z}^{\mu z3} = -\varphi_{x+1,y,z}^{\mu z3}, \quad (7)$$

$$\varphi_{x,y,z}^{\mu \theta3} = -\varphi_{x,y,z-1}^{\mu \theta3}. \quad (8)$$

Тогда, поскольку напряжение на микроконтакте равно разности потенциалов ячеек, его образующих, величины потенциалов этих ячеек численно равны половине падения напряжения во внешней цепи микроконтакта

$$\varphi_{x,y,z}^{\mu i} = \frac{U_{x,y,z}^{\mu i}}{2}. \quad (9)$$

Падение напряжения во внешней цепи локальных микроконтактов, образуемых парой ячеек, расположенных в инструменте и изделии или инструменте и стружке, определяется по формуле

$$U_{x,y,z}^{\mu i} = E_{x,y,z}^{\mu i} - u_{x,y,z}^{\mu i}, \quad (10)$$

где $E_{x,y,z}^{\mu i}$ – величина ЭДС микроисточника с координатами x, y, z i -го локального макроконтакта; $u_{x,y,z}^{\mu i}$ – падение напряжения в микроконтакте с координатами x, y, z i -го локального макроконтакта

$$u_{x,y,z}^{\mu i} = I_{x,y,z}^{\mu i} \cdot r_{x,y,z}^{\mu i}; \quad (11)$$

$r_{x,y,z}^{\mu i}$ – внутреннее сопротивление микроисточника ЭДС с координатами x, y, z ;

$I_{x,y,z}^{\mu i}$ – ток, проходящий через микроконтакт с координатами x, y, z i -го макроконтакта.

Для корректного определения токов в микроконтактах их направления ограничиваются одной из координат. Например (см. рис. 2 и 3), для расчета токов в микроконтакте главной задней поверхности инструмента с поверхностью резания изделия такой координатой будет X , а при расчете токов в микроконтакте передней поверхности со стружкой – Y . Указанное направление токов в микроконтактах достигается путем размещения изолирующих сопротивлений r^{μ} в ветвях, лежащих параллельно поверхностям соответствующих макроконтактов и принадлежащих контактному, со стороны инструмента, изделия и стружки, ячейкам.

Токи $I_{x,y,z}^{\mu n}$ в микроконтактах, с текущими координатами x, y, z , передней поверхности инструмента со стружкой, $I_{x,y,z}^{\mu 23}$ и $I_{x,y,z}^{\mu 63}$, соответственно, главной и вспомогательной задних поверхностей инструмента с изделием, определяются по формулам

$$I_{x,y,z}^{\mu n} = \frac{\varphi_{x,y,z} - \varphi_{x,y-1,z}}{R_{x,y,z} + R_{x,y-1,z}}, \quad (12)$$

$$I_{x,y,z}^{\mu 23} = \frac{\varphi_{x,y,z} - \varphi_{x-1,y,z}}{R_{x,y,z} + R_{x-1,y,z}} \text{ и} \quad (13)$$

$$I_{x,y,z}^{\mu 63} = \frac{\varphi_{x,y,z} - \varphi_{x,y,z+1}}{R_{x,y,z} + R_{x,y,z+1}}, \quad (14)$$

где $\varphi_{x,y,z}, \varphi_{x,y-1,z}$ – потенциалы ячеек, принадлежащих стружке и близлежащих в направлении координатной оси Y к ее контактной ячейке, определяемые по формуле (5); $(R_{x,y,z} + R_{x,y-1,z})$ – сопротивление ветви между узлами ячеек, принадлежащих стружке с координатами x, y, z и $x, y-1, z$; $\varphi_{x,y,z}, \varphi_{x-1,y,z}$ – потенциалы ячеек, принадлежащих поверхности резания изделия и близлежащих в направлении координатной оси X к ее контактной ячейке, определяемые по формуле (5); $(R_{x,y,z} + R_{x-1,y,z})$ – сопротивление ветви между узлами ячеек с координатами x, y, z и $x-1, y, z$; $\varphi_{x,y,z}, \varphi_{x,y,z+1}$ – потенциалы ячеек, принадлежащих обработанной поверхности изделия и близлежащих в направлении координатной оси Z к ее контактной ячейке, определяемые по формуле (5); $(R_{x,y,z} + R_{x,y,z+1})$ – сопротивление ветви между узлами ячеек с координатами x, y, z и $x, y, z+1$.

В первой итерации падение напряжения в микроконтактах и во внешней цепи микроконтактов, а также потенциалы узлов ячеек, образующих контактные слои, определяются с учетом сопротивлений $r_{x,y,z}^{\mu i}$, найденных по формуле (1).

В конце первой и в ходе последующих итераций сопротивления микроконтактов пересчитываются по формуле, учитывающей нелинейность их вольтамперной характеристики

$$r_{x,y,z}^{\mu i} = \frac{u_{x,y,z}^{\mu i}}{I_0^{\mu i} \left(e^{\frac{u_{x,y,z}^{\mu i}}{U_0^{\mu i}}} - 1 \right)}, \quad (15)$$

и программно уточняются.

Параметры $U_0^{\mu i}$ и $I_0^{\mu i}$ микроконтактов, принадлежащих передней поверхности инструмента со стружкой и задних поверхностей инструмента с изделием, определяются моделированием, используя экспериментальные данные о сопротивлениях r^i локальных макроконтактов, полученные при $R = 0,01$ Ом.

Расчет модели проводится итерационно, с последовательным перебором ячеек «кристалла» – массива в ходе каждой итерации. После каждой итерации рассчитываются потенциалы в узлах *III* и *K*. Поскольку сопротивления $R_{и}$, также как и сопротивления R_k (см. рис. 2), определяемые по формулам (2) и (3), равны между собой, то при отсутствии повторного замыкания стружки на корпус станка потенциалы точек *III* и *K* будут равны среднеарифметической величине потенциалов узлов соответствующих ячеек, включенных во внешнюю цепь и определяются по формулам:

$$\bar{\varphi}_k = \frac{1}{p} \sum_1^p \varphi'_{x,y,z}, \quad (16)$$

$$\bar{\varphi}_{и} = \frac{1}{q} \sum_1^q \varphi''_{x,y,z}, \quad (17)$$

где $\varphi'_{x,y,z}$ и $\varphi''_{x,y,z}$ – соответственно, потенциалы узлов ячеек с текущими координатами x, y, z , лежащих на поверхностях *1a*, *1б* и *1в* инструмента *1* и поверхностях *2a*, *2б*, *2в*, *2г* и *2д* изделия *2*.

При расчете потенциалов узлов ячеек, лежащих на внешних поверхностях инструмента *1*, учитывается потенциал узловой точки *III* и сопротивление $R_{и}$ ветви, связывающей эту точку с узлами рассматриваемых ячеек на внешних поверхностях инструмента. Потенциалы ячеек, лежащих на внешних поверхностях изделия *2*, определяются с учетом потенциала точки *K* и сопротивления R_k ветви, связывающей точку *K* с рассматриваемой ячейкой на внешних поверхностях изделия.

Поскольку внешние поверхности «кристалла» покрыты слоем изолирующих ячеек, то потенциалы $\varphi'_{x,y,z}$ внешних поверхностей *1a*, *1б* и *1в* инструмента *1* и потенциалы $\varphi''_{x,y,z}$ внешних поверхностей *2a*, *2б*, *2в*, *2г* и *2д* изделия *2* рассчитываются по формулам [8]:

$$\varphi'_{x,y,z} = \frac{\varphi_{x+1,y,z} Y_{x+1,y,z} + \varphi_{x-1,y,z} Y_{x-1,y,z} + \varphi_{x,y+1,z} Y_{x,y+1,z} + \varphi_{x,y-1,z} Y_{x,y-1,z} + \dots}{Y_{x+1,y,z} + Y_{x-1,y,z} + Y_{x,y+1,z} + Y_{x,y-1,z} + Y_{x,y,z+1} + Y_{x,y,z-1} + Y_{и}} \dots$$

$$\dots \frac{\varphi_{x,y,z+1} Y_{x,y,z+1} + \varphi_{x,y,z-1} Y_{x,y,z-1} + \bar{\varphi}_{и} Y_{и}}{\dots} \quad (18)$$

и

$$\varphi''_{x,y,z} = \frac{\varphi_{x+1,y,z} Y_{x+1,y,z} + \varphi_{x-1,y,z} Y_{x-1,y,z} + \varphi_{x,y+1,z} Y_{x,y+1,z} + \varphi_{x,y-1,z} Y_{x,y-1,z} + \dots}{Y_{x+1,y,z} + Y_{x-1,y,z} + Y_{x,y+1,z} + Y_{x,y-1,z} + Y_{x,y,z+1} + Y_{x,y,z-1} + Y_k} \dots$$

$$\dots \frac{\varphi_{x,y,z+1} Y_{x,y,z+1} + \varphi_{x,y,z-1} Y_{x,y,z-1} + \bar{\varphi}_k Y_k}{\dots}, \quad (19)$$

где $Y_{и} = 1/R_{и}$ и $Y_k = 1/R_k$ – соответственно проводимости ветвей, связывающих узловые точки *III* и *K* с узлами ячеек на внешних поверхностях инструмента и изделия.

Итерационный расчет модели ведется до наступления равновесного состояния, признаком которого является отсутствие приращения потенциалов в узлах ячеек «кристалла» или, для снижения времени расчета, до тех пор, пока это приращение не станет меньше наперед заданной нормы ξ .

Значения сопротивлений внутренних ветвей контактных ячеек и потенциалов узлов ячеек «кристалла» в равновесном состоянии модели определяют искомые величины сопротивлений микроконтактов $r_{x,y,z}^{\mu i p}$, падения напряжения на них

$u_{x,y,z}^{\mu i p}$ и падение напряжения U во внешней цепи интегрального контакта «инструмент-изделие».

Падения напряжения $u_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p}$ в микроконтактах главной задней поверхности инструмента с изделием, образуемых ячейками с координатами x, y, z и $x+1, y, z$, напряжения $u_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p}$ в микроконтактах вспомогательной задней поверхности инструмента с изделием, образуемых ячейками с координатами x, y, z и $x, y, z-1$ и напряжения $u_{x,y,z}^{\mu n p}$ в микроконтактах передней поверхности инструмента со стружкой, образуемых ячейками x, y, z и $x, y+1, z$, определяются по формулам:

$$u_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} = E_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} - \left(\varphi_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} - \varphi_{x+1,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} \right); \quad (20)$$

$$u_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} = E_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} - \left(\varphi_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} - \varphi_{x,y,z-1}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} \right); \quad (21)$$

$$u_{x,y,z}^{\mu n p} = E_{x,y,z}^{\mu n p} - \left(\varphi_{x,y,z}^{\mu n p} - \varphi_{x,y+1,z}^{\mu n p} \right). \quad (22)$$

Токи $I_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p}$, $I_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p}$ и $I_{x,y,z}^{\mu n p}$ в микроконтактах с вышеуказанными координатами, соответственно, передней поверхности инструмента со стружкой, главной задней и вспомогательной задней поверхностями инструмента с изделием, определяются по формулам (12), (13), (14), либо для повышения точности расчета, по формулам:

$$I_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} = \frac{u_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p}}{r_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p}}; \quad (23)$$

$$I_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} = \frac{u_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p}}{r_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p}}; \quad (24)$$

$$I_{x,y,z}^{\mu n p} = \frac{u_{x,y,z}^{\mu n p}}{r_{x,y,z}^{\mu n p}}. \quad (25)$$

Падения напряжения в i -х локальных макроконтактах инструмента с изделием и стружкой определяются по формуле

$$\bar{u}^{ip} = E^i - \bar{U}^{ip}, \quad (26)$$

где

$$\bar{U}^{ip} = \frac{1}{n^i} \sum_1^{n^i} U_{x,y,z}^{\mu i p} \quad (27)$$

– падение напряжения во внешней цепи локальных макроконтактов.

Равновесное напряжение $U_{x,y,z}^{\mu i p}$ во внешней цепи микроконтакта, принадлежащего локальному макроконтакту инструмента с изделием и стружкой, определяется разностью потенциалов ячеек, его образующих.

Таким образом, напряжение во внешней цепи микроконтакта главной задней поверхности инструмента с изделием, образуемого ячейками «кристалла» с координатами x, y, z и $x+1, y, z$

$$U_{x,y,z}^{\mu \varepsilon \varepsilon p} = \varphi_{x,y,z}^p - \varphi_{x+1,y,z}^p, \quad (28)$$

– напряжение во внешней цепи микроконтакта вспомогательной задней поверхности инструмента с изделием, образуемого ячейками «кристалла» с координатами x, y, z и $x, y, z-1$

$$U_{x,y,z}^{\mu \nu \beta p} = \varphi_{x,y,z}^p - \varphi_{x,y,z-1}^p \quad (29)$$

и напряжение микроконтакта передней поверхности инструмента со стружкой, образуемого ячейками «кристалла» с координатами x, y, z и $x, y+1, z$

$$U_{x,y,z}^{\mu n p} = \varphi_{x,y,z}^p - \varphi_{x,y+1,z}^p \quad (30)$$

Результирующий ток, проходящий через i -й локальный макроконтакт, равен сумме токов, проходящих через каждый из его микроконтактов

$$I^{i p} = \sum_1^{n^i} I_{x,y,z}^{\mu i p} \quad (31)$$

Проводимость $y^{i p}$ i -го локального макроконтакта, состоящего из n^i числа микроконтактов с проводимостью $y_{x,y,z}^{\mu i p}$ рассчитывается по формуле

$$y^{i p} = \frac{1}{r^{i p}} = \sum_1^{n^i} y_{x,y,z}^{\mu i p} \quad (32)$$

Ток, протекающий через интегральный контакт «инструмент-изделие», определяется по формуле закона Ома для участка цепи

$$I^p = \frac{U^p}{R} = \frac{\bar{\varphi}_{iu}^p - \bar{\varphi}_{\kappa}^p}{R} \quad (33)$$

Падение напряжения u^p в интегральном контакте «инструмент-изделие» и сопротивление r_k^p этого контакта, соответствующие сопротивлению R внешней цепи, определяются из формулы закона Ома для полной цепи:

$$u^p = E - U^p = E - (\bar{\varphi}_{iu}^p - \bar{\varphi}_{\kappa}^p); \quad (34)$$

$$r_k^p = \frac{u^p}{I^p} = \frac{u^p R}{\bar{\varphi}_{iu}^p - \bar{\varphi}_{\kappa}^p} \quad (35)$$

Задавая значения сопротивлений R внешней цепи в диапазоне от долей миллиома до тысячи Ом, определяются соответствующие этим сопротивлениям падения напряжения, токи и сопротивления в локальных микро- и макроконтактах, а также в интегральном контакте инструмента с изделием и стружкой.

Таким образом, разработан алгоритм и синтезирована электрофизическая модель кинетики интегрального и локальных микро- и макроконтактов инструмента с изделием и стружкой, отражающая зависимость сопротивления названных контактов от тока, проходящего через соответствующий контакт.

Список литературы

1. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
2. Александров В.И. Динамика электрических характеристик контакта «инструмент-изделие» // VII научн. конф. ТГТУ: Пленарные доклады и тезисы стендовых докладов. Ч.1. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2002. С. 18 – 31.

3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
 4. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
 5. Лоладзе Т.Н. Износ режущего инструмента. – М.: МАШГИЗ, 1958. – 356 с.
 6. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
 7. Глинкин Е.И. Схемотехника аналоговых интегральных схем. – Тамбов: ТГТУ, 2000. – 120 с.
 8. Схемотехника измерительно-вычислительных систем / Под ред. Е.И. Глинкина. – Тамбов: ТГТУ, 2000. – 80 с.
 9. Митрофанов О.В., Симонов Б.М., Колецов Л.А. Физические основы функционирования изделий микроэлектроники. – М.: Высш. шк., 1987. – 168 с.
-

Electro-physical Model for Instrument Contacts with Product and Chip

V.I. Alexandrov¹, E.I. Glinkin², A.V. Egorov¹, D.A. Rudenko¹

*Departments: «Technology of Engineering,
Metal Cutting Machines and Instruments» (1),
«Electric Equipment and Automation» (2), TSTU*

Key words and phrases: electrical processes under metal processing; metal cutting processing; modeling of cutting electrical processes.

Abstract: The problem of mathematical modeling of electrical processes, going with metal processing by blade current passing cutting instrument is considered. Electro-physical model of determining electrical characteristics of instrument contacts with product and chip on macro- and micro-level of localization and integral contact “instrument – product” is suggested.

Elektrophysikalisches Modell der Kontakte des Werkzeuges mit dem Erzeugnis und dem Span

Zusammenfassung: Es wird die Aufgabe der mathematischen Modellierung der Metallverarbeitung vom klingenden stromleitenden Schneidwerkzeug begleitenden elektrischen Prozesse betrachtet. Es ist das elektrophysikalische Modell der Bestimmung der elektrischen Charakteristiken der Kontakte des Werkzeuges mit dem Erzeugnis und dem Span auf Mikro- und Makroniveau der Lokalisation und des Integralkontaktes "Werkzeug - Erzeugnis" angeboten.

Modèle électrophysique des contacts de l'outil avec le produit et le copeau

Résumé: Est examiné le problème du modélage mathématique des processus électrophysiques qui accompagnent le traitement des métaux par un outil coupant à lame conduisant le courant électrique. On a proposé le modèle électrophysique de la définition des caractéristiques électriques des contacts de l'outil avec le produit et le copeau sur le niveau micro et macro de la localisation et du contact intégral “outil – produit”.
