

УДК 620.179.14(088.8)

ПОВЕРХНЕВІ ЕЛЕКТРОРУШІЙНІ СИЛИ ТА СТРУМИ ПРИ КРУТНИХ
КОЛИВАННЯХ ДЕТАЛІ ТА ІНСТРУМЕНТА
(Частина 1)

Скицюк В. І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна

У роботі розглянуто теоретичні засади виникнення коливальних струмів та ЕРС у деталях та інструментах, що обертаються.

Одночасно з цим розглянуто вплив зовнішнього магнітного поля (Землі) як фактора впливу на величину ЕРС та струму. В основу цих теоретичних досліджень покладені дослідження Толмана та Стюарта (1922 р.) з врахуванням дрейфу електронів під дією відцентрових сил. Оскільки сучасні відчутники електромагнітного поля достатньо чутливі, то незважаючи на невеликі значення струмів та потенціалів, вони надають можливість досить якісного контролю процесу металообробки. Особливо це стосується випадків контролю металообробки у сучасних автоматизованих системах. В основі цих теоретичних досліджень покладено експериментальні роботи, які доводять що у зоні контакту різального інструменту і деталі протікають над короткі імпульсні струми потужністю у десятки ампер.

Ключові слова: інструмент, деталь, ЕРС, струм, крутні коливання.

Вступ

У авторській статті [1] було розглянуто поведінку електрона як елементарного носія електричного заряду. З цих досліджень дуже добре видно, що у приповерхневому шарі деталі або інструмента утворюється підвищена концентрація електронів. Як наслідок, це призводить до появи тимчасових ЕРС та струмів під дією сторонніх сил. Але діють вони здебільшого у статичному стані верстата, коли відсутня металообробка.

Перехід верстата до динамічного стану, тобто металообробки, призводить до появи нових явищ, пов'язаних з крутними коливаннями інструмента і деталі. У цьому випадку ми зустрічаємося з таким явищем, як розгін та гальмування приповерхневого шару електронів. Подібні дослідження при металообробці ніколи не робилися, а отже, нам необхідно спиратися на дослідження з класичної фізики стосовно інерційності електрона. В основу цих досліджень було покладено з'ясування співвідношення $\frac{m_e}{e}$ як основної величини гіромагнітного ефекту та фундаментальної фізичної константи [2].

Мета роботи полягає у створенні теоретичного підґрунтя утворення ЕРС та струмів на поверхні деталі або інструмента, що обертаються, і впливу на них орієнтації відносно магнітного поля Землі.

Постановка задачі

Серед усіх дослідів, проведених щодо дослідження інерційності електрона у приповерхневому шарі, розглянемо лише ті, які можуть мати безпосередній

ефект при металообробці, тому що вони мають посередній вплив на якість реестрації моменту торкання інструмента до деталі та створення зони присутності.

Перший найбільш простіший дослід – це балістичний експеримент Толмана та Стюарта [2], де розганялася та гальмувалася котушка одношарового дроту. У наслідок дослідів було з'ясовано, що ЕРС, яка може бути отримана подібним шляхом, має наступний опис:

$$E = -\left(\frac{m_e}{e}\right)l \frac{dv}{dt}, \quad (1)$$

де l – довжина одного витка дроту, v – миттєва швидкість руху.

Наступний дослід, проведений Толманом та іншими, є для нас більш цікавим з огляду на металообробку, оскільки стосується більш-менш реальної ситуації.

Сутність дослідів наступна: дослідження крутих коливань металевого циліндру відносно вектору напруженості магнітного поля Землі. Для дослідів використовувався мідний циліндр, оточений компенсаційною вимірювальною котушкою. Було проведено два типи експериментів. У першому циліндр орієнтувався вздовж магнітного поля Землі. У другому циліндр орієнтувався впоперек магнітного поля Землі. Ці дослідів для нас найбільш цікаві, оскільки реальний верстат знаходиться під дією цього поля.

Фізико-математичне підґрунтя виникнення поверхневих ЕРС у деталях та інструментах, що обертаються

В обох випадках циліндр піддавався крутним коливанням, а вимірювання ЕРС та відповідного струму проводилося коаксильною котушкою. Частота коливань $f = \frac{\omega}{2\pi} (H_z)$ та амплітуда були стабілізованими. Вочевидь, що розподіли щільності струму в обох випадках повинні бути однакові та повинні співпадати з розподілом електричного поля, оскільки лінії потоку електричного поля є коаксильними відносно осі котушки та циліндра.

Розсічемо циліндр радіуса R_d на низку кільцевих елементів з товщиною dr та середнім радіусом r .

У другому випадку (досліді) коливання циліндра викликають появу ЕРС як $E = -d\psi/dt$, де $d\psi/dt$ – швидкість зміни магнітного потоку, заснованою на взаємодії з полем Землі. Внаслідок цього ми маємо можливість отримати наступне:

$$\left(E - L \frac{di}{dt} - Ri\right) \frac{e}{2\pi r} = m_e \frac{dv}{dt}, \quad (2)$$

де i – коловий струм,

L – індуктивність кільця,

R – електричний опір кільця.

Якщо n – кількість вільності електронів на одиницю об'єму, а s – площа перерізу, то кільцевий струм

$$i = nesv. \tag{3}$$

Якщо скористатися залежностями з [1], тобто:

$$E = \frac{m_e \omega^2}{e} \cdot \frac{R_D^2}{2} + E_0 R_D, \tag{4}$$

та

$$E = \frac{m_e \omega^2 R_D^2}{2e}, \tag{5}$$

то, зробивши відповідні підстановки у (2), отримуємо наступне:

$$E = Ri + \left(L + \frac{2\pi r m_e}{n e^2 s} \right) \frac{di}{dt}. \tag{6}$$

Проте, при досліді у першому випадку (коливання вздовж напрямку магнітного поля Землі) величина ЕРС $E = -\frac{d\phi}{dt}$ дорівнюватиме нулю. Отже, для того

ж самого струму i та $\frac{di}{dt}$ замість рівняння (2) отримуємо

$$\left(-L \frac{di}{dt} - Ri \right) \frac{e}{2\pi r} = m_e \frac{dv'}{dt}. \tag{7}$$

Оскільки електрон на поверхні об'єкту, який досліджується, має тангенціальну швидкість V_τ , то

$$i = n \cdot e \cdot s (v' - V_\tau). \tag{8}$$

Виключаючи v' з (8), отримуємо наступний вираз

$$-\frac{2\pi \cdot r \cdot m_e}{e} \frac{dV_\tau}{dt} = Ri \left(L + \frac{2\pi \cdot r \cdot m_e}{n \cdot e^2 s} \right) \frac{di}{dt}. \tag{9}$$

Внаслідок порівняльного аналізу цього рівняння (9) з (6) маємо можливість стверджувати, що прискорення кільцевого елемента викликає утворення ЕРС величиною

$$E = -\frac{2\pi \cdot r \cdot m_e}{e} \frac{dV}{dt}. \tag{10}$$

Якщо розглянути коливальні процеси стосовно першого та другого випадку, отримуємо наступне. У першому випадку, коли кутове зміщення $\theta = A \sin \omega t$, то отримуємо

$$E_1 = -\frac{2\pi \cdot r \cdot m_e}{e} \frac{dV}{dt} = \frac{2\pi \cdot r^2 \omega^2 m_e}{e} A \sin \omega t. \tag{11}$$

У другому випадку, коли кутове зміщення $\psi = B \sin(\omega t + \delta)$, а H – повна напруженість магнітного поля Землі, знаходимо, що

$$\psi = \pi r^2 H B \sin(\omega t + \delta) \tag{12}$$

та

$$E_2 = -\frac{d\psi}{dt} = -\pi r^2 H B \omega \cos(\omega t + \delta). \tag{13}$$

Отже, у деякий момент часу t для трубчастого елемента з радіусом r отримуємо співвідношення

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{2A m_e \omega}{B e H} \frac{\sin \omega t}{\sin(\omega t + \delta - 90^\circ)}. \quad (14)$$

Це рівняння визначає співвідношення амплітудних значень, як

$$\frac{E_1}{E_2} = 2 \frac{Am_e \omega}{BeH} = 2 \left(\frac{m_e}{e} \right) \frac{A\omega}{BH} \quad (15)$$

i є незалежним від радіусу r .

У всіх цих дослідках нас найбільше цікавить, який саме струм утворюється у процесі різання металу.

Оскільки достеменних досліджень цих явищ у зоні різання не проводилося, то ми маємо можливість лише підвести теоретичну базу. Для цього будемо вважати, що площина s перерізу в елементарних елементах співпадає з площиною різання різця. У такому випадку будемо вважати, що повний потік електронів, які знаходяться у приповерхневому шарі, проходить через площину s (рис. 1).

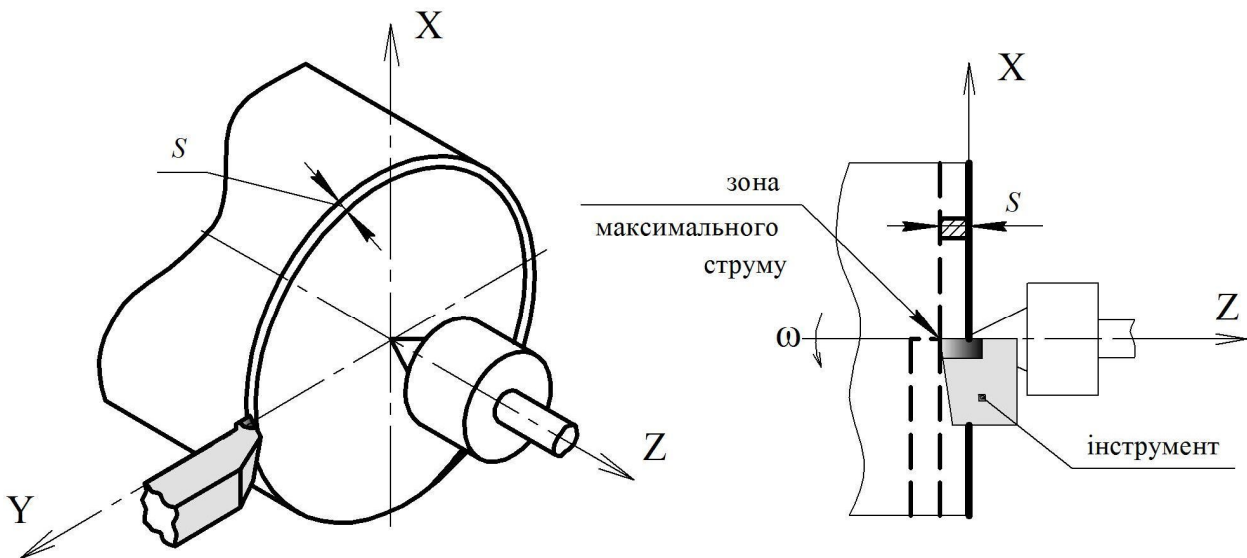


Рис. 1. Моделювання фізичного процесу зрізання кільця із заготовки

Якщо будемо (для спрощення) вважати, що ця площинка s є непорушною у просторі, то через цю уявну поверхню повинно протікати два струми, а саме постійна стала i_{\approx} та змінна i_{\sim} , а отже

$$i_{\Sigma} = i_{\approx} + i_{\sim} \quad (16)$$

Звертаючи увагу на все вищесказане, змінну складову для обох випадків та після підстановки значення амплітуди $A = r \cdot \theta$ можемо визначити як

$$i_1 = \left(\frac{m_e}{e} \right) \frac{2\pi \cdot r^3 \omega^2 \theta}{R} \sin \omega t, \quad (17)$$

$$i_2 = -\frac{\pi \cdot r^3 H \cdot \theta \cdot \omega}{R} \cos(\omega t + \delta). \quad (18)$$

Постійну складову в обох випадках маємо можливість визначити як:

$$i = n \cdot e \cdot s \cdot V_{\tau}. \quad (19)$$

Окрім того, необхідно визначитися з опором електричного контакту в зоні різання.

Загальні тези щодо цього питання доводять, що ця функція є лінійно залежною від тиску, але деякі дослідження доводять, що стосовно металообробки ми маємо нелінійну залежність [3]. Але задля спрощення приймемо залежність у вигляді $y = kx$.

Висновки

У наведеній частині статті розглянуто засади виникнення струмів та ЕРС деталі та інструмента під час металообробки. Показано вплив зовнішнього магнітного поля на величини струму та ЕРС. Таким чином можна констатувати той факт, що розташування осі обробляючого інструмента або деталі на фрезерних та токарних верстатах ЕРС, що індукується, є вельми залежною від їх орієнтування відносно повного вектора напруженості магнітного поля Землі.

У подальшому необхідно дослідити можливі значення струму та ЕРС, які циркулюють у масі деталі або інструмента.

У другій частині статті буде наведено розрахунки згідно отриманих фізико-математичних досліджень та відповідні висновки.

Література

1. Скицюк В. І. Дрейф вільного електрона у технологічних об'єктах, що обертаються / В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2009. – Вип. 38. – С. 85 – 92.
2. Барнетт С. Гиромангнитные эффекты и эффекты инерции электронов / С. Барнетт // Успехи современной физики, 1937. – С. 393 – 453.
3. Васильев С. В. Использование электрических явлений при резании для коррекции режимов обработки: метод. рекоменд. / С. В. Васильев. – М.: ЭНИМС, 1981. – 76 с.

*Надійшла до редакції
15 лютого 2012 року*

© Скицюк В. І., 2012