

ТЕПЛОВІ ЯВИЩА ПРИ ЕЛЕКТРОФРИКЦІЙНІЙ РОЗРІЗЦІ ЗАГОТОВОК

© Микола Покінтелиця, Олена Левченко, 2013

Are ways electrical frictional cutting billets by friction circular saws. The features of thermal phenomena in the processing and developed a mathematical model for calculating the contact temperature in the cutting zone, which takes into account complex thermo-physical conditions and modes of processing, thereby allowing control of processes of heat generation and the quality of the machined surface.

Keywords - electrical frictional cutting, processing, temperature, heat, friction circular saw, blank.

Представлений спосіб електрофрикційної розрізки заготовок дисковими пилами тертя. Розглянуті особливості теплових явищ при обробці та розроблена математична модель з розрахунку контактної температури в зоні різання, в якій враховуються складні теплофізичні умови і режими обробки, що дозволить проводити управління процесами теплоутворення та якістю обробленої поверхні.

Ключові слова - електрофрикційна розрізка, обробка, температура, теплота, дискова пила тертя, заготовка.

Постановка проблеми

Аналіз методів обробки металів різанням з попереднім підігрівом показує, що застосування висококонцентрованого локального нагріву зрізуваного шару є найбільш перспективним у сучасному виробництві при обробці заготовок з різних матеріалів, в тому числі і важкооброблюваних. Це обумовлено тим, що даний метод дозволяє підвищити продуктивність праці в 2-4 рази, скоротити витрати на різальний інструмент у 1,5-2,5 рази, зменшити собівартість обробки і розширити область раціонального використання нових важкооброблюваних конструкційних матеріалів. Важливе місце в комплексі операцій механічної обробки належить розрізці заготовок. Одним з перспективних методів обробки металів з локалізованим нагрівом зрізуваного шару є електрофрикційна розрізка (ЕФР) заготовок дисковими пилами тертя [1].

Важливе місце серед процесів, властивих механічній обробці металів, належить тепловим явищам. Теплові процеси виникають в кожному елементі технологічної системи і роблять безпосередній вплив, як на показники якості обробленої поверхні, так і на особливості контактних процесів у зоні різання.

Як відомо, параметри якості поверхневого шару (глибина і ступінь наклепу, величина і знак залишкових напружень) значною мірою залежать від теплового фактора. Якщо режими різання та інші умови обробки зміняться таким чином, що кількість теплоти, що генерується в зоні різання, зросте, то слід очікувати зменшення ступеня і глибини наклепаного шару. Тому визначення температури в зоні різання при ЕФР становить науковий інтерес.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Вибраній темі та напряму досліджень присвячено чимало літературних джерел. Суцільний нагрів заготовки з подальшим встановленням її на верстаті для виконання процесу різання досліджений в роботах ряду вчених [3-6, 10, 12]. У промисловості часто використовують нагрів на попередніх операціях, наприклад, при термообробці або обробці металів тиском. У ряді робіт представлені результати досліджень способу обробки заготовок з використанням теплової дії сил високошвидкісного тертя у зоні контакту інструмента, який виконаний у виді сталевого диску різного діаметру та товщини, і заготовки [1, 2, 7]. Пропонувалося судження, що переважна частина теплоти

тертя поглинається диском, але останній розігрівається мало, так як теплота не проникає в глибину його і швидко відводиться внаслідок охолодження [3]. Було встановлено, що температура в зоні різання залежить від колової швидкості диска. При високих швидкостях (близько 100 м/с) метал доводиться до температури плавлення, а при низьких (13...15 м/с) – тільки до розм'якшення [2, 5]. Були опубліковані результати досліджень, які показали, що при фрикційній розрізці температурне поле на високих швидкостях подачі дуже стиснене і стабілізація його відбувається майже миттєво. Отже, процес розрізання здійснюється в умовах квазістаціонарного температурного поля. За останній час область застосування тертя при високих швидкостях ковзання для технологічних операцій значно розширилася. У ряді робіт [8, 9] стверджується, що зі збільшенням колової швидкості диска температура різання на поверхні контакту зростає, асимптотично наближаючись до точки плавлення оброблюваного матеріалу. Інші автори не поділяють цієї точки зору, вважаючи, що з підвищенням швидкості обертання диска температура різання спочатку підвищується, досягаючи максимуму, а потім спадає [10]. Все це свідчить про те, що дане питання вимагає подальшого вивчення.

Формування цілі статті

Метою дослідження є визначення особливостей теплових явищ процесу ЕФР металів і розробка математичної моделі з визначення температури в зоні різання, в якій враховуються складні теплофізичні умови і режими обробки металів дисковими пилами тертя, що дозволить проводити управління процесами теплоутворення та якістю обробленої поверхні.

Виклад основного матеріалу

Для раціонального використання теплоти необхідно забезпечити її управління в процесі різання, так як вона може піти виключно на різке місцеве підвищення температури деформованого металу або поверхні різального інструменту. У завдання управління теплотою в процесі різання входить не тільки регулювання загальної кількості одержуваної теплоти, яка пропорційна затрачваній механічній роботі, але також рівномірний, по можливості, розподіл джерел теплоти по всьому об'єму деформованого при різанні металу. Необхідно створити умови, за яких об'єм пластично деформованого металу ставав би мінімальним на одиницю довжини різального леза. Тому, виходячи з цих міркувань, особливий інтерес представляє не тільки кількість теплоти, що перейшла в стружку, інструмент або оброблювану заготовку, а і характер температурних полів та їх напруженість у зоні відділення стружки і утворення нової (обробленої) поверхні.

Сутність процесу різання металів дисковими пилами тертя полягає в тому, що високошвидкісний, тонкий сталевий диск розплавляє або розм'якшує завдяки теплоті, що виділяється при терті, матеріал заготовки і викидає його з прорізу з великою швидкістю у вигляді снопа розпечених іскор. При цьому найбільш дрібні частки металу, з'єднуючись з киснем повітря, згорають на льоту, перетворюючись на окалину, а більші, спікаючись, застигають у формі сплесків, крапельок і кульок, утворюючи досить щільну і міцну масу сталагмітоподібної форми [1]. Ефект термофрикційного різання посилює підведення електричного струму в зону різання [2]. Електричний струм нагріває зрізуваний шар, що значно зменшує частку теплоти, створюваної металевим диском. У процесі обробки перед диском є шар металу, що нагрітий до стану високих температур і знаходиться в пластичному стані, який видавлюється під дією нормальних навантажень. Тому видалення металу здійснюється ще й пластичним різанням. Все це зменшує навантаження на підшипники шпинделя і діаметр диска та поліпшує технологічні умови використання даного способу обробки.

Джерелами теплоти при ЕФР є поверхні тертя оброблюваного металу і робочих поверхонь дискової пили. Отриману теплоту необхідно направляти так, щоб вона спільно з теплотою, отриманою в результаті внутрішнього тертя, рівномірно розподілялася в металі, що деформується. Це включало б різкі коливання температурного поля, що утворилося.

Особливість способу ЕФР розрізки полягає в тому, що до місця контакту пили тертя з двома оброблюваними заготовками підводиться електричний струм великої сили (до 1000 А) і низької напруги (1...2 В), внаслідок чого зона стружкоутворення піддається додатковому сильному нагріву і під дією зусилля притиску пили тертя, що швидко обертається, деформується і руйнується. При цьому досягається висока продуктивність розрізки важкооброблюваних матеріалів і економія дефі-

цитних інструментальних матеріалів, адже пили тертя виготовляються з конструкційної сталі та мають просту геометрію [1].

Як показали досліди і попередні теоретичні розрахунки, управління теплою при термофрикційному різанні можна здійснити за допомогою регулювання швидкостей обертання та подачі диска і геометричних параметрів інструменту.

При дослідженні закономірностей процесу ЕФР і вирішенні практичних завдань, пов'язаних з вибором технологічного режиму, слід враховувати закономірності процесів тертя при високих швидкостях ковзання. У процесі поєднуються такі явища, як тепловиділення при терті; високі швидкості ковзання контактуючих тіл; безперервне оновлення контактуючих поверхонь; виникнення і негайне руйнування зв'язків між контактуючими поверхнями при їх відносному русі; майже миттєвий нагрів і швидке охолодження малих об'ємів металу в умовах значних тисків; пружно-пластичні деформації в макрооб'ємі шарів металу, прилеглих до цих поверхонь; пластичне деформування розігрітого металу під дією нормальних зусиль з відділенням стружки.

У процесі тертя енергія, витрачена на подолання сил тертя (молекулярно-механічної взаємодії поверхонь), виділяється у формі теплоти, і в першу чергу, на елементарних площадках фізичного контакту. У цих точках при терті можуть з'явитися короточасні температурні спалахи, які швидко підвищують температуру мікроступів. Їх температура може також швидко спадати завдяки інтенсивному відведенню теплоти в глибину диска, заготовки і навколишнє середовище, але середня температура поверхні контакту в початковий період процесу тертя буде зростати.

Тепловиділення при терті має місце не тільки на поверхнях точок фізичного контакту. Деформування мікроступів, на яке витрачається деяка частка енергії при терті, також є причиною теплогенерування. Розподіл теплоти між стружкою, інструментом і заготовкою залежить від частоти обертання і швидкості подачі дискової пили тертя. Із збільшенням коллоїдної швидкості пили значна кількість теплоти переходить у заготовки, а температура в зоні різання збільшує тепловий ефект деформації. При високих температурах підігріву можуть виникати небажані процеси, пов'язані зі зміною властивостей матеріалів, такі як: окислення, вигорання елементів хімічного складу, розпушення поверхневих шарів, структурні зміни і тріщини. У більшості випадків такі зміни є неприпустимими у зв'язку з технічними вимогами, встановленими не тільки на метал, а й на відходи процесу різання – металеву стружку. Таким чином, для використання позитивного ефекту різкого підвищення продуктивності різання при високотемпературному підігріві матеріалів із змінними властивостями необхідно так локалізувати подачу додаткової кількості теплоти в оброблюваний метал, щоб необхідне зменшення міцності матеріалу під дією високих температур було зосереджене в тонкому шарі зони зсуву.

ЕФР заготовок пилами тертя супроводжується великим виділенням теплоти, яка робить істотний вплив як на продуктивність процесу, так і на якість обробленої поверхні. Особливо важливе значення це має при розрізці заготовок з важкооброблюваних матеріалів, для яких цей спосіб обробки в ряді випадків є єдино можливим.

Як показали дослідження, температура різання при ЕФР може досягати 1200...1400 °С. Висока температура розігріває метал в зоні різання і може змінювати в значній мірі умови і режими обробки. Особливо важливим є те, що з досягненням визначеної для кожної марки сталі температури її межі міцності і пружності починають різко знижуватися, що дозволяє підвищити продуктивність розрізки за рахунок збільшення швидкості подачі.

Принципова кінематична схема ЕФР складається з двох поєднаних рухів: головного обертового руху дискової пили тертя D_r , який провадить зняття припуску на обробку та забезпечує нагрів зони різання, і руху подачі пили D_s (рис. 1). Пила тертя діаметром D і товщиною b обертається зі швидкістю V_d в напрямку головного руху D_r . Здійснюючи обертовий рух пила тертя отримує подачу на заготовки діаметром d зі швидкістю $V_{п}$ (рух подачі D_s). При переміщенні інструменту відбувається процес пластичного деформування розігрітого електрострумом і силами тертя зрізаного шару з утворенням стружки, яка містить в собі частинки різної форми типу стружки надлому, частинки кулястої форми, які утворилися при охолодженні розплавленого металу, частинки фрезерної

зливної стружки або стружки сколювання і частинки наросту. Для здійснення процесу ЕФР розроблена конструкція дискової пили тертя і затискних фланців для кріплення на шпинделі верстата. З метою забезпечення замикання електричного ланцюга по контуру перша заготовка-пила тертя-друга заготовка, і для виконання вимог правил безпечної роботи на металорізальних верстатах пила тертя ізолювана від затискних фланців і елементів кріплення спеціальними діелектричними прокладками і втулками [1, 2].

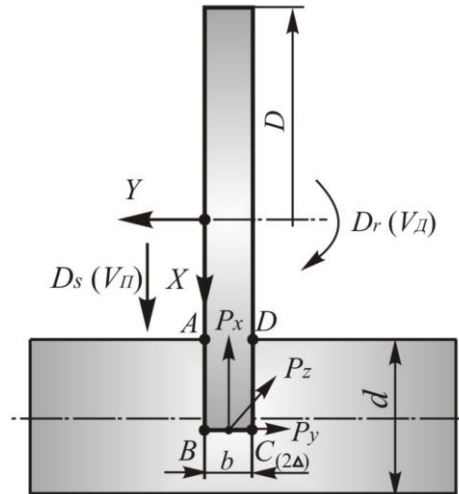


Рис. 1. Схема зони контакту дискової пили тертя і заготовки при ЕФР

Концентрований нагрів контактних поверхонь пили тертя і заготовки є основним техніко-економічним фактором способу ЕФР.

Загальна теплова потужність Q_0 процесу ЕФР визначається [1]

$$Q_0 = Q + Q_E,$$

де Q – потужність перетворення в тепло механічної роботи; Q_E – потужність підігріву зони обробки електричним струмом.

Між механічною потужністю процесу і її тепловим еквівалентом теоретично немає повної кількісної ідентичності, так як частина механічної енергії переходить в поглинену енергію деформації кристалічної решітки оброблюваного матеріалу. Проте ряд досліджень показав, що при великих ступенях деформації поглинена енергія незначна, і з достатньою для практики точністю можна вважати, що вся робота переходить в тепло, тобто

$$Q = P_X V_D \mu,$$

де μ – коефіцієнт тертя при ЕФР ($\mu = P_z / P_x$); P_z , P_x – відповідно тангенціальна та радіальна складові сили різання.

Залежно від умов роботи пили тертя величина $\mu = 0,28 \dots 0,36$.

Таким чином тепловий баланс ЕФР може бути представлений

$$Q_0 = Q + Q_E = P_X V_D \mu + I^2 R t,$$

де V_D – швидкість обертання диска, м/с; I – сила електричного струму у вторинному колі, А; R – опір вторинного кола, Ом; t – час дії джерела теплоти, с; ($t = t_p / V_{II}$); t_p – середня довжина умовної площини зсуву, м.

З цього рівняння видно, що регулювання процесу нагріву при ЕФР залежить від параметрів режиму різання, квадрату сили електричного струму, опору та часу протікання струму.

Слід зазначити, що безпосереднє застосування закону Джоуля-Ленца для визначення кількості теплоти, необхідної для здійснення розрізки, не дає рішення внаслідок ряду особливостей, власних процесу контактного нагріву. Так, опір R не є постійним по довжині провідника. Повний опір $R = R_z + R_k$, де R_z – омичний опір заготовки; R_k – перехідний опір в місцях контакту заготовок з пи-

лою тертя. Виникнення значного перехідного опору в місцях контакту пояснюється тим, що дотик заготовок з пилою тертя відбувається не по всій площі, а тільки в окремих точках.

Нагрів при ЕФР протікає нерівномірно. Найбільша кількість теплоти виділяється в місці контакту і поширюється шляхом теплопровідності в масу пили тертя і заготовок. При цьому теплота виділяється в зоні деформації і переходить до сусідніх областей металу. Процес наближається до ізотермічного; в металі знижується межа міцності і посилюється адіабатичний нагрів. Наявність мідних затискачів електродів сприяє збільшенню тепловідведення. Крім того, спостерігаються втрати теплоти шляхом конвекції і випромінювання. Загальна картина явищ, що відбуваються при нагріванні струмом, ускладнюється ще й тим, що величини температурних коефіцієнтів і коефіцієнтів теплопровідності, конвекції і випромінювання змінюються залежно від температури.

Режим нагріву при ЕФР визначається потужністю струму і часом його протікання через пилу тертя і заготовки. Зазвичай прагнуть до отримання інтенсивного нагріву в можливо малий проміжок часу. Такий режим забезпечує підвищення продуктивності та ККД обладнання, економію електроенергії, зменшення окислення заготовок і величини зони термічного впливу та можливість різання металів з високою теплопровідністю і спеціальних легованих сталей.

За результатами досліджень встановлено, що при загальній температурі ЕФР 1200 °С складова частина нагріву від електричного струму в середньому становить 50 %. Таким чином, якщо для отримання температури різання 1100...1250 °С при термофрикційній розрізці потрібна швидкість різання 45...50 м/с, то при ЕФР її можна знизити до 15...20 м/с.

Тертя металевого диска і заготовки на великій швидкості виконує основну теплотворну функцію в зоні контакту при ЕФР. При зміні режимів різання змінюються умови тертя між інструментом, стружкою і заготівкою внаслідок зміни швидкості ковзання і температури поверхонь, що труться, що призводить до зміни механічних властивостей металу зрізаного шару. Ступінь нагріву залежить від фізико-механічних властивостей металів. Чим більше твердість і чим менше теплопровідність, тим нижче абсолютні значення швидкостей початку адіабатичного процесу. Тому ЕФР жароміцних металів, які мають низьку теплопровідність і високу твердість, відбувається в найбільш вигідних умовах.

Електроконтактний підігрів, а так само тертя інструменту і заготовок на великій швидкості призводить до утворення високої температури Θ в зоні різання. Максимальна температура концентрується попереду інструменту. Зрізуваний шар нагрівається раніше початку процесу різання. Змінюючи силу і напругу електричного струму, а так само частоту обертання пили і швидкість її подачі можна регулювати інтенсивність нагріву зони різання. При цьому теплота виділяється в зоні деформації і переходить до сусідніх областей металу. Процес наближається до ізотермічного; в металі знижується межа міцності і посилюється адіабатичний нагрів.

Відомо, що процес теплопередачі в нерухомому твердому середовищі здійснюється за рахунок теплопровідності і описується рівнянням [12]

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{\lambda}{C\gamma} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right). \quad (1)$$

Однак при проведенні технологічної операції ЕФР доводиться мати справу з рухомих джерелом теплоти. У даному випадку перенесення теплоти буде здійснюватися не тільки за рахунок теплопровідності, але і за рахунок відносного руху самої нагрітої заготовки.

За наявності руху теплового джерела необхідно систему координат пов'язати з рухомих джерелом. При суміщенні осі X з напрямком руху теплового джерела диференціальне рівняння теплопровідності (1) запишеться у вигляді [12]

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{\lambda}{C\gamma} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right) + V_{II} \frac{\partial \Theta}{\partial x},$$

де V_{II} – швидкість переміщення теплового джерела, м/с; C – питома теплоємність, Дж/кг·К; γ – щільність, кг/м³; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К).

Для вирішення теплофізичних задач у процесі ЕФР металів застосовано метод джерел (метод Гріна), суть якого полягає в тому, що якщо відомий закон зміни температури у точці теплопровідного простору від джерела теплоти, поміщеного в іншу точку, що виділив кількість теплоти Q в поточний момент часу t , то температура в заданій точці з координатами (x, y, z) від системи розподілених в просторі джерел визначається суперпозицією з температурних полів. Рішення задачі зводиться до визначення функції $\Theta(x, y, z)$ від джерела теплоти Q (функція Гріна). Розподіл теплових джерел у просторі, час їх дії і руху враховуються інтегруванням.

При ЕФР джерело теплоти представлено у формі неповного прямокутника ABCD і рухається у напрямі осі OX зі швидкістю V_{II} .

Температурне поле є суперпозиція трьох полів, створюваних відрізками AB, CD і BC. Нехай $\Theta_1(x, y)$ – поле від відрізка AB, тоді

$$d\Theta_1 = \frac{q dx' dt'}{C\gamma 4\pi a_1(t-t')} \cdot \exp\left\{-\frac{[(x-x') + V_{II}(t-t')]^2 + y^2}{4a_1(t-t')}\right\},$$

де $q = (P_z \cdot V_{II})/F$ – щільність теплового потоку, що надходить у заготовку (F – площа контакту диска з поверхнею заготовки); a_1 – коефіцієнт температуропровідності; $x, x'; y, y'; t, t'$ – відповідно поточні та початкові значення координат x та y і часу t .

$\Theta_2(x, y)$ – поле від відрізка CD.

$$d\Theta_2 = \frac{q dx' dt'}{C\gamma 4\pi a_1(t-t')} \cdot \exp\left\{-\frac{[(x-x') + V_{II}(t-t')]^2 + (y+2\Delta)^2}{4a_1(t-t')}\right\}.$$

$\Theta_3(x, y)$ – поле від відрізка BC.

$$d\Theta_3 = \frac{q dy' dt'}{C\gamma 4\pi a_1(t-t')} \cdot \exp\left\{-\frac{[x + V_{II}(t-t')]^2 + (y-y')^2}{4a_1(t-t')}\right\}.$$

$$\Theta_1(x, y) + \Theta_2(x, y) = \int_0^a \int_0^t d(\Theta_1 + \Theta_2).$$

$$\Theta_3(x, y) = \int_{-2\Delta 0}^0 \int_0^t d\Theta_3.$$

Проведемо розрахунок інтегралу

$$\begin{aligned} & \int_0^t \frac{q}{C\gamma 4\pi a_1(t-t')} \exp\left\{-\frac{[(x-x') + V_{II}(t-t')]^2 + y^2}{4a_1(t-t')}\right\} dt' = \\ & = \frac{q}{C\gamma 4\pi a_1(t-t')} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-x')V_{II}}{2a_1}\right\} \times \\ & \times \int_0^t \exp\left\{-\frac{(x-x')^2 + V_{II}^2(t-t')^2 + y^2}{4a_1(t-t')}\right\} dt' = \frac{q[y^2 + (x-x')^2]}{8C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-x')V_{II}}{2a_1}\right\} \times \\ & \times \int_{\frac{\sqrt{y^2+(x-x')^2}}{4a_1 t}}^{\infty} \frac{\exp\left\{-u^2 - \frac{V_{II}^2}{16a_1^2} \cdot \frac{y^2 + (x-x')^2}{u^2}\right\}}{u \frac{y^2 + (x-x')^2}{4a_1}} du = \frac{q}{2C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-x')V_{II}}{2a_1}\right\} \times \end{aligned}$$

$$\times \int_0^{\infty} \frac{\exp\left\{-u^2 - \frac{V^2}{16a_1^2} \cdot \frac{y^2 + (x-x')^2}{u^2}\right\}}{u} du.$$

Знайдемо стаціонарне розподілення $t \rightarrow +\infty$. Маємо

$$\int_0^{\infty} \frac{\exp\left\{-u^2 + \frac{V_{II}^2}{16a_1^2} \cdot \frac{[y^2 + (x-x')^2]}{u^2}\right\}}{u} du = K_0 \left[\frac{V_{II}}{2a_1} \sqrt{y^2 + (x-x')^2} \right],$$

$$\text{де } K_0(z) = \int_0^{\infty} \exp\left(-u^2 - \frac{z^2}{4u^2}\right) \frac{du}{u}.$$

Далі

$$\begin{aligned} \Theta_1(x, y) + \Theta_2(x, y) &= \frac{q}{2C\gamma\pi a_1} \int_0^a \exp\left[-\frac{(x-x')V_{II}}{2a_1}\right] \cdot \left[K_0\left(\frac{V_{II}}{2a_1} \sqrt{y^2 + (x-x')^2}\right) + \right. \\ &\quad \left. + K_0\left(\frac{V_{II}}{2a_1} \sqrt{(y+2\Delta)^2 + (x-x')^2}\right) \right] dx'. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\int_0^t \frac{q}{4C\gamma\pi a_1(t-t')} \cdot \exp\left\{-\frac{[(x+V_{II}(t-t'))^2 + (y-y')^2]}{4a_1(t-t')}\right\} dt' = \frac{q}{4C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{xV_{II}}{2a_1}\right\} \times \\ &\quad \times \int_0^t \exp\left\{-\frac{x^2 + V_{II}^2(t-t')^2 + (y-y')^2}{4a_1(t-t')}\right\} dt' = \frac{q}{8C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-x \frac{V_{II}}{2a_1}\right\} \times \\ &\quad \times \int_0^{\infty} \frac{\exp\left\{-u^2 - \frac{V_{II}^2}{16a_1^2} \cdot \frac{(y-y')^2 + x^2}{u^2}\right\}}{u} du. \end{aligned}$$

При $t \rightarrow +\infty \Rightarrow$

$$\begin{aligned} &\int_0^t \frac{q}{4C\gamma\pi a_1(t-t')} \cdot \exp\left\{-\frac{[(x-V_{II}(t-t'))^2 + (y-y')^2]}{4a_1(t-t')}\right\} dt' = \\ &= \frac{q}{8C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-x \frac{V_{II}}{2a_1}\right\} \cdot K_0\left[\frac{V_{II}}{2a_1} \sqrt{x^2 + (y-y')^2}\right]. \end{aligned}$$

Остаточно маємо

$$\Theta_3(x, y) = \frac{qe^{-\frac{xV_{II}}{2a_1}}}{8C\gamma\pi a_1} \int_{-2\Delta}^0 K_0\left[\frac{V_{II}}{2a_1} \sqrt{x^2 + (y-y')^2}\right] dy'.$$

З використанням отриманих залежностей проведений розрахунок температурного поля в зрізаному шарі та заготовці. Результати розрахунку наведені у табл. 1. У таблиці наводяться дані: верхній рядок – заготовки зі сталі 45; нижній – зі сталі 12X13.

Температурне поле в заготовці при ЕФР

Координата X, мм	Координата Y, мм									
	1,0	0	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0	-6,0	-7,0	-8,0
0,5	560	600							600	560
	530	570							570	530
1,0	605	880							880	605
	655	940							940	655
1,5	700	1220	1200	1190	1180	1180	1190	1200	1220	700
	725	1250	1230	1220	1200	1200	1220	1230	1250	725
2,0	590	810	895	980	1020	1020	980	895	810	590
	565	780	865	950	990	990	950	865	780	565
2,5	460	590	650	720	790	790	720	650	590	460
	430	560	620	690	760	760	690	620	560	430
3,0	420	510	540	560	610	610	560	540	510	420
	390	480	510	530	580	580	530	510	480	390

За даними розрахунків побудоване температурне поле для заготовок зі сталі 45 (рис. 2).

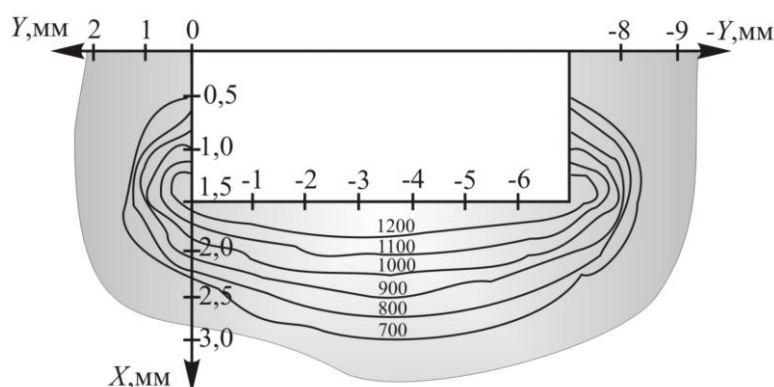


Рис. 2. Температурне поле в заготовці при ЕФР:
заготовка – сталь 45; $V = 15$ м/с; $V_3 = 6,7 \cdot 10^{-4}$ м/с

Висновки

Вивчення температурних полів при обробці сталей 45 і 12Х13 показує, що внаслідок низької теплопровідності легованих сталей в зоні різання і стружці спостерігається локалізація теплоти, що призводить до збільшення ступеня розм'якшення і зменшення міцності металу зрізаного шару.

Зниження швидкості різання за рахунок додаткового розігріву зрізаного шару електричним струмом створює сприятливі умови провадження технологічного процесу розрізання заготовок, підвищує працездатність вузлів і деталей металорізального обладнання та інструменту, знижує шум в роботі і, в результаті, підвищує ефективність процесу розрізки заготовок.

1. Зарубицький Є.У. Розробка й дослідження процесу ефективності термофрикційної обробки матеріалів / Є.У. Зарубицький. – Київ: 1993. – 76 с. 2. Зарубицький Е.У. Тепловые нагрузки и разгрузки элементов режущего клина при термофрикционном резании / Е.У. Зарубицький, Т.П. Костина, В.А. Плахотник // Конструирование и производство транспортных машин. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1987. – С. 95-99. 3. Борисов Б.Я. Высокоскоростное резание металлов пилами / Б.Я. Борисов. – К.: Высшая школа, 1970. – 91 с. 4. Балакин В.А. Трение и износ при высоких скоростях скольжения / В.А. Балакин. – М.: Машиностроение, 1980. – 136 с. 5. Вольф В.Ф. Пилы для резания горячего металла / В.Ф. Вольф. – Свердловск: Изд-во УПИ, 1970. – 118 с. 6. Серегин С.А., Люленков

В.И. Температура контактной поверхности при трении металлов / С.А. Серегин, В.И. Люленков // Тепловая динамика трения. –М.: Наука, 1970. –С. 122-126. 7. Сизый Ю.А. Теория и практика фрикционной резки / Ю.А. Сизый; ХПИ. –Харьков, 1995.– 333 с. – Деп. в ГНТБ Украины 15.04.95, №2501–УК95. 8. Гаркунов Д.Н. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин / Д.Н. Гаркунов, П.И. Корник. –М.: Изд-во МСХА, 2003. – 344 с. 9. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия / И.Г. Горячева. – М.: Наука, 2001.– 478 с. 10. Васин С.А. Резание материалов: термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании / С.А. Васин, А.С. Верещака, В.С. Кушнер.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с. 11. Сорокин Г. М. Трибология сталей и сплавов / Г.М. Сорокин.– М.: Недра, 2000. – 317 с. 12. Якимов А.В. Основы теории тепловых явлений при шлифовании деталей машин / А.В. Якимов, Б.О. Ткаченко, С.Г. Зимин, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 272 с.