

УДК 621.791.92

**ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЗНОСОСТІЙКОГО ШАРУ ДЕТАЛІ
ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПРИ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНІЙ НАПЛАВЦІ**

**Аулін В.В., д.т.н., проф.,
Лисенко С.В., к.т.н., доц.,
Жилова І.В., асп.,
Вербицький асп.,
Постовалов С.І., ст.,
Півняк Є.А., ст.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

Abstract

Mathematical modeling of local and integral indicators of the thermostressed rational state of the wear-resistant layer during electrocontact surfacing is carried out. The calculated schemes of partition along the length and for the section at the entrance in the region and in the thermodynamic source are offered. The distribution of wire heating temperature and double the coefficient of deformation resistance along the length of the thermodeformation source and normal contact stresses along the length and width of the thermodynamic source at the electrocontact direction is obtained. Schemes of restoration of worn necks of shafts are offered.

Key words: thermal stress, surfacing, recovery, calculation scheme, temperature and stress distribution, shaft necks.

Вступ

Для електроконтактного наплавлення металевими стрічками, найчастіше використовуються сталеві стрічки, які значно поліпшуються при електроконтактного наплавленні, але зміцнення відбувається нерівномірно. Найбільш інтенсивно відбувається зміцнення в зонах наплавленого шару, що не піддаються термічній дії наступних імпульсом струму. Площа цих зон становить 50-90% від загальної площі наплавленої поверхні. В результаті повторного термічного впливу решта наплавленого шару знеміцнюється. При збільшенні вмісту вуглецю ступінь знеміцнення підвищується. Підвищення вмісту вуглецю сприяє утворенню в наплавленому шарі сітки тріщин. Отже, для відновлення і зміцнення деталей, що мають великий запас втомної міцності, сталеві стрічки можуть застосовуватися при певних умовах, необхідного хімічного складу.

Відомі способи електроконтактного наплавлення біметалевих стрічок. Одним із таких способів є нанесення покриття на торець стрічки шовного зварюванням, що включає установку стрічки на опорному ролику, переміщення її за допомогою привідних бічних електродних роликів, підключених до одного з полюсів джерела струму, і наплавку покриття зварювальним роликом з канавкою, підключеним до іншого полюсу джерела струму. З метою підвищення міцності зварного з'єднання і економічності процесу за рахунок збільшення щільності струму в головній частині зварювальної зони

зварювальний ролик зміщують щодо бокових роликів в напрямку руху стрічки на величину, що не перевищує довжину зони деформації покриття. Даний спосіб дозволяє наносити покриття лише на локальні ділянки поверхні з використанням зварювального ролика з кільцевої контактної канавкою на циліндричній поверхні. Цей метод вимагає певних умов для його практичного використання.

Аналіз попередніх досліджень

Існують різні способи зміцнення деталей електроконтактним наплавленням необхідних зміцнених шарів, що забезпечують працездатність в визначених умовах експлуатації. Електроконтактне наплавлення деталей машин характеризується рядом позитивних якостей: високою продуктивністю і низькою енергоємністю процесу нарощування шару металу; незначною величиною або повною відсутністю розплавленого металу в області контакту; відсутністю або практично незначною часткою участі металу деталі в наплавленому шарі; мінімальною зоною термічного впливу, внаслідок малої тривалості імпульсів зварювального струму; незначними термічними деформаціями відновлюваного виробу; відсутністю необхідності в захисному середовищі через короткочасний термічний вплив на зварювані матеріали та іншим особливостям процесу; відсутністю потужного світлового випромінювання і газовиділення.

При електроконтактному зміцненні деталей використовують різні матеріали, що забезпечують необхідний хімічний склад в наплавленому шарі, його геометричні розміри і властивості. У кожному разі вибирають матеріал, режими і спосіб наплавлення. Застосування порошкового дроту, в якості присадочного матеріалу, при електроконтактному наплавленні дозволяє розширити технологічні можливості даного способу, дозволяє збільшити введення кількості компонентів. Струм, протікаючи по оболонці, нагріває її до температури переходу в пластичний стан. При певному зусиллі, прикладеному до електроду, оболонка з'єднується з основним металом, а порошковий матеріал (сердечник) нагрівається теплом, що надходить від оболонки. Встановлено основні закономірності нагрівання порошкового дроту в процесі електроконтактного наплавлення зносостійкого сплаву, а також створено математичну модель, що описує цей процес. Визначена міцність зчеплення порошкового дроту з основою при електроконтактному наплавленні.

Такий спосіб покращує якість відновлюваної деталі, але при цьому можлива недостатня міцність покриття з основним металом. Для електроконтактного способу зміцнення знаходять застосування порошкові стрічки, які мають прямокутний перетин. Оболонка порошкової стрічки, в залежності від необхідного хімічного складу складається з металевої стрічки, сформованої необхідного профілю. В якості матеріалу осердя використовуються порошки певного хімічного складу. Перші порошкові стрічки виготовлялися поєднуючись з наплавочним апаратом, формували її спеціальними роликами, одночасно заповнюючи оболонку відповідними

порошкоподібними компонентами відразу ж проводили наплавку. Потім порошкову стрічку стали виготовляти окремо на спеціальних станах, забезпечених роликами для формування і завальцовки стрічки-оболонки. Спосіб виготовлення порошкової стрічки дозволяє отримати стрічку необхідного складу і конструкцію оболонки, що в подальшому забезпечить її застосування для електроконтактного зміцнення. Можна виготовляти порошкову стрічку необхідного складу і конструкції для зміцнення конкретної деталі, враховуючи її розмір і необхідні розміри зміцнюючого шару та його властивостей.

Поєднання компонентів осердя з великим діапазоном варіювання складу і матеріалу оболонки дає можливість отримати на поверхні виробу міцний і пластичний наплавлений шар з включенням тугоплавких частинок, що забезпечують високий знос кістки металу. Складність проведення процесу електроконтактного наплавлення порошковими стрічками пов'язана з деякими обмеженнями, зумовленими нерівномірним і неконтрольованим розподілом електричного струму в різних точках контакту поверхні виробу з оболонкою стрічки, що може призводити до несплавлення або перегрівів і виплеску в окремих ділянках.

Існують порошкові стрічки для електроконтактного припікання, що складаються з полімерної оболонки і сердечника. Полімером є поліетилен або полімоформальдегід армування частинками шихти. Використання полімерної стрічки дозволяє збільшити товщину шару між зварювальним роликом і деталлю. До недоліків даного електродного матеріалу можна віднести підвищену пористість наплавленого шару, інтенсивне газовиділення. Крім того, в осередку деформації полімерна стрічка нагрівається навколо наплавочної ділянки, через термічну деструкцію частки порошкових матеріалів виявляються вільними від полімерних зв'язків, що призводить до втрат 10...15% від маси стрічки. Маса наплавленого шару менше маси наплавленої порошково-полімерними стрічками на величину, рівну масі полімеру. У кожному конкретному випадку необхідно враховувати склад стрічки.

Електроконтактне наплавлення порошкових матеріалів можна віднести до категорії процесів з яскраво вираженим механічним і тепловим активуванням. Тому в якості керуючих впливів на властивості порошкових покриттів і продуктивність процесу їх нанесення використовують параметри режиму: тиск стиснення, зварювальний струм, час імпульсу струму, час пауз і швидкості зварювання. Однак, можливості їх використання обмежені областю оптимального якісного стану процесу.

При електроконтактному наплавленні металевих порошків у вільному стані величина активованого тиску обмежена значеннями 35...40 МПа, щоб уникнути витискування порошку із зони приварювання і запобігання появи напливів та інших дефектів. Це, в свою чергу, обмежує величину струму, швидкості зварювання, тривалість імпульсу струму, оскільки нагрівання необхідно здійснювати зі швидкістю не більше $(3...5) \cdot 10^3$ К/с для забезпечення

рівномірного нагріву частинок порошку. При більш високих швидкостях нагріву, більше $5 \cdot 10^3$ К/с і мають такі значення активованого тиску, відбувається миттєвий розігрів контактних ділянок частинок без достатнього розігріву самої частинки порошку. В результаті процес електроконтактного приварювання протікає не стабільно, можливо проплавлення шару на окремих ділянках. При цьому пористість покриттів досягає великих значень 25...35%.

З метою розширення області оптимального якісного стану процесу електроконтактного приварювання металевих порошків можливе використання і інших активують впливів: механічних – попереднє ущільнення шару, двухстадійне нанесення покриттів, наклеп поверхні деталі, електродинамічне силове активування, зовнішнім впливом ультразвуковим полем; термічних – імпульсна введення тепла, підігрів порошку, зміною теплофізичних властивостей, підвищенням температури поверхні деталі; хімічних – введення спеціальних добавок, що зменшують окислення або руйнують окисні плівки, нанесення поверхнево-активних речовин, приварка з використанням екзотермічних реакцій, приварка в середовищі захисних газів, введення елементів знижують температуру утворення рідкої фази.

Існує спосіб нанесення покриттів з металевих порошків на поверхню деталей циліндричної форми, що включає електроконтактне припікання металевих порошків, з метою підвищення якості виробів, перед припіканням на поверхню деталі витками намотують металеву стрічку з кроком більше ширини стрічки, порошок при електроконтактному припіканні поміщають між витками стрічки; механічну обробку поверхні. Недоліком такого способу нанесення покриттів, є те, що він не забезпечує рівномірний розподіл твердості поверхні. При цьому способі зміцнення необхідна термічна підготовка порошків, забезпечити однорідне змішування при використанні багатокомпонентної системи.

Постановка проблеми

Аналіз існуючих шляхів підвищення якості показує, що вони характеризуються як однозначними функціональними зв'язками з параметрами режиму припікання, так і можуть бути незалежно регульованими. Крім того, підвищення якості покриттів в основному досягається за рахунок попереднього формування на деталі порошкового шару з заданими властивостями (питомий опір, пористість та ін.) та задовольняють вимогам оптимального процесу електроконтактного припікання, що забезпечує вибір матеріалу.

Наведеними технологічними схемами електроконтактного нанесення порошкових покриттів вирішуються одночасно два завдання: формування на поверхні деталі порошкового шару і його припікання на режимах, що забезпечують збереження заданих фізико-механічних властивостей. Одночасне вирішення цих завдань при нанесенні порошкових покриттів є нераціональним через накладання істотних технологічних обмежень й необхідність ведення кожного процесу при різних силових і теплових активуючих впливах. В даний

час процес електроконтактного наплавлення вимагає використання нових матеріалів і способів їх нанесення.

Мета та завдання

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування термонапруженого стану зносостійкого шару при електроконтактній наплавці.

Для реалізації поставленої мети розв'язували наступні завдання:

1. Провести математичне моделювання локальних і інтегральних показників термонапруженого раціонального стану зносостійкого шару при електроконтактній наплавці.
2. Розробити технологічні схеми зміцнення і відновлення деталей машин при електроконтактній наплавці.

Результати вирішення основних завдань

Математичне моделювання локальних і інтегральних показників напружено-деформованого стану металу при реалізації процесу електроконтактного наплавлення дротом полягало в розбитті всієї протяжності зони пластичного деформування на елементарні поперечні перерізи (j -ий цикл), що є паралельними площині осі обертання ролика-електрода. Використовуючи чисельні методи і подальший чисельний аналіз кожного з роликів (i -ий цикл) розрахункова схема має вигляд (рис.1).

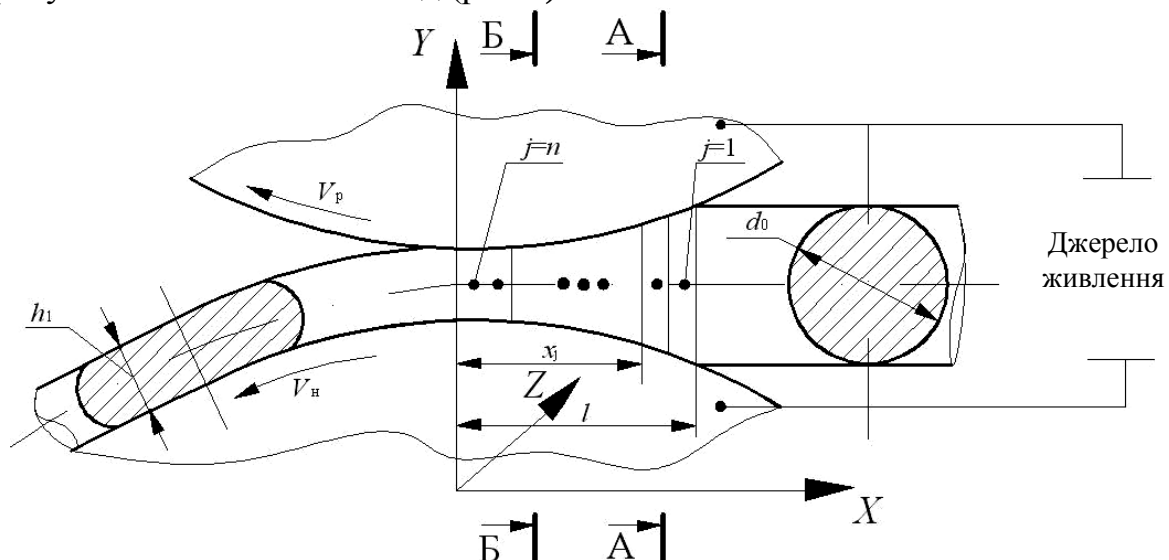


Рисунок 1 Розрахункова схема розбиття області по довжині термодформаційного джерела

З огляду на те, що зміна властивостей при нанесенні покриття відбувається поетапно, то в якийсь відрізок часу їх можна вважати постійними, що дозволяє уявити конкретну схему формування зносостійкого покриття. Розглянемо напружено-деформований стан дроту при вході в зону термодформаційного джерела. Теоретичне дослідження енергосилових параметрів металу в цьому випадку проведено по аналогії. На основі чисельної побудови і подальшого аналізу кінематично можливих полів характеристик реалізованих у фізичній площині і площині годографа швидкостей. Попередні експерименти показали, що при моделюванні прийнято використовувати

припущення про виключно поперечному пластичному протіканні металу. Виходячи з відомих значень товщини h_{xj} і ширини контакту b_{xj} та геометричні координати особливих точок кінематичних можливих полів у фізичній площині ZY (рис. 2) відповідали умовам:

$$y_1 = 0, 0; z_2 = 0, 0; y_2 = y_3 = h_{xj} / 2; z_3 = b_{xj}. \quad (1)$$

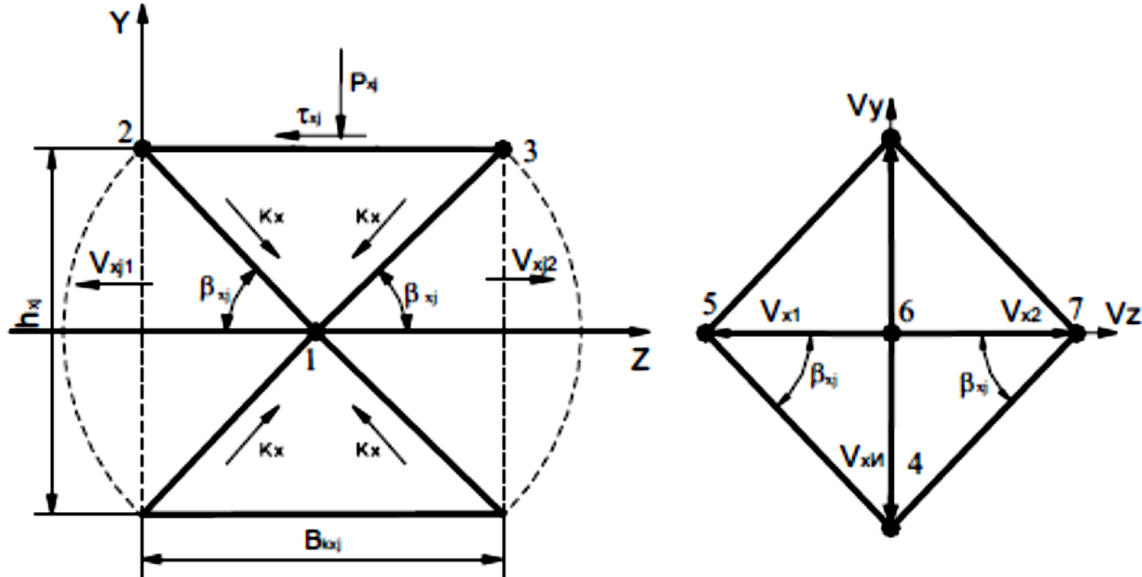


Рисунок 2 Розрахункова схема для перетину на вході в область термдеформаційного джерела

Вважаючи спочатку геометричну координату z_{1j} відомої, визначимо кутові характеристики β_{xj} :

$$\beta_{xj} = \arctg \left[(y_{2j} - y_{1j}) / (z_{1j} - z_{2j}) \right], \quad (2)$$

звідки, дотримуючись принципу ортогональності характеристик у фізичній площині ZY і площини годографа швидкостей $V_z V_y$, геометричні координати особливих точок 4, 5 і 7 можуть бути визначені наступним чином:

$$\begin{aligned} V_{z4j} = V_{y5j} = V_{y7j} = 0, 0; V_{y4j} = V_{xj}; \\ V_{z5j} = -V_{y4j} / \tg \beta_{xj}; V_{z7j} = V_{y4j} / \tg \beta_{xj}; \end{aligned} \quad (3)$$

де V_{xj} – вертикальна складова швидкості переміщення ролика-електрода, що задається кількісно у вигляді масштабу побудови кінематично можливого поля характеристик в площині годографа швидкостей, мм/с.

З урахуванням (1)-(3) побудову кінематично-можливих полів характеристик зведено до визначення геометричної координати z_1 , відповідного мінімуму сумарної потужності зсуву N_j для даного поперечного перерізу. Кількісна оцінка потужності в свою чергу, може бути представлена у вигляді:

$$\begin{aligned} N_{xj\Sigma} = K_{xj} \cdot \sqrt{(z_1 - z_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \cdot \sqrt{(-V_{z5} - V_{z4})^2 + (V_{y4} - V_{y5})^2} + \\ K_{yj} \cdot \sqrt{(z_3 - z_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} \cdot \sqrt{(V_{z7} - V_{z4})^2 + (V_{y4} - V_{y7})^2} \end{aligned} \quad (4)$$

де K_{xj} , K_{yj} – поточні по довжині осередку деформації значення опору зсуву наплавленого металу на відповідних межах зони пластичної деформації.

Безпосереднє визначення геометричної координати z_1 здійснювали ітераційно на основі методу цілеспрямованого перебору варіантів, аналітична форма запису, якого має наступний вигляд:

$$z_{1(t+1)} = z_{1t} + A_2 \text{sign} \left[N_{j\Sigma(t-1)} - N_{j\Sigma t} \right], \quad (5)$$

де t – порядковий номер чергового циклу ітераційної процедури; A_z – крок зміни геометричної координати z_1 , мм.

У міру визначення мінімального значення сумарної потужності зсуву $N_{xj\Sigma\min}$ і відповідних йому геометричних координат будь-яких спеціальних точок кінематично-можливих полів характеристик проводили розрахунок зусилля на ролик-електроді P_j , що діє в рамках даного j -го перетину осередку деформації. Виходячи з умови еквівалентності потужностей внутрішніх і зовнішніх сил, шукане значення зусилля P_j складе:

$$P_j = N_{xj\Sigma_{\min}}/V_{y4}. \quad (6)$$

Чисельне одномірне математичне моделювання термонапруженого стану металу в термдеформаційному вогнищі при електроконтактному наплавленні, з урахуванням отриманих результатів, було проведено на основі чисельного рекурентного рішення зони пластичного деформування шару, що прямував із спільного аналізу умови пластичності і диференціального рівняння рівноваги. Розгляду підлягають кожний окремий поперечний переріз (рис. 3).

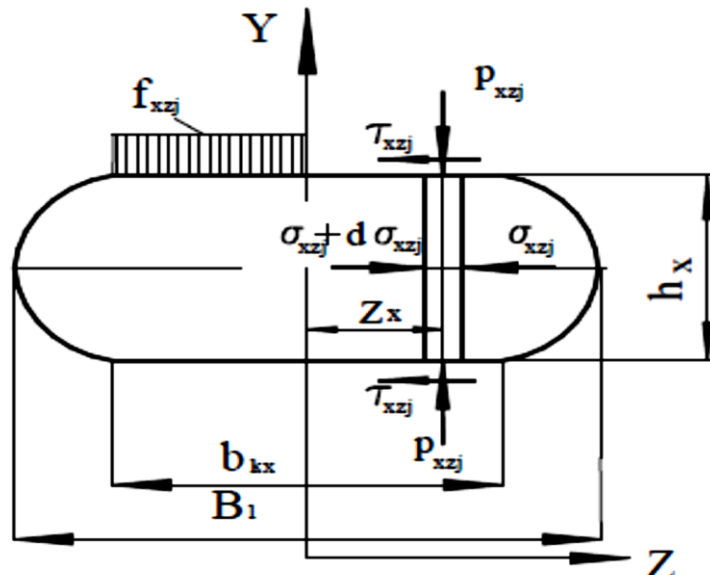


Рисунок 3 Розрахункова схема для перетину в термдеформаційному джерелі

З огляду на те що $\tau_{xj} = p_{xj} \cdot f_{xj}$, розглянемо умови статичної рівноваги видаленого елементарного обсягу наплавлення металу в термодформаційному джерелі на вісь Z:

$$\sigma_{xzj}h_x - (\sigma_{xzj} + d\sigma_{xzj})h_x + 2\tau_{xzj}dZ = 0. \quad (7)$$

Використовуючи вищевказані припущення і інженерний варіант розрахунку та умови пластичності $p_{x_{zj}} = 2K_{x_{cj}} + \sigma_{x_{zj}}$ в результаті перетворення виразу (7), отримали рівняння з розподільними змінними:

$$-d\sigma_{xzj}h_x = 2f_{xcj}p_{xcj}dZ \text{ або } -\frac{d\sigma_{xzj}}{2K_{xcj} + \sigma_{xzj}} = \frac{2f_{xcj}}{h_x}dZ. \quad (8)$$

Проінтегрувавши обидві частини рівняння (8), отримаємо:

$$-\ln(2K_{xcj} + \sigma_{xcj}) = \frac{2f_{xcj}}{h_{xj}} Z_{xi} + C; \quad C = -\ln(2K_{xcj}) - \frac{f_{xcj} b_{kxj}}{h_{xj}}. \quad (9)$$

Перетворивши рівняння (9), знаходимо значення нормальних контактних напружень в виділеному елементі:

$$p_{xj} = 2K_{xcj} \cdot \exp\left[\frac{f_{xcj}}{h_{xj}}(b_{kxj} - 2Z_{xj})\right], \quad (10)$$

де $2K_{xcj}$ – поточне значення подвоєного коефіцієнта опору чистому зсуву, $2K_{xcj} = 1.15\sigma_{sx}$, МПа.

Поточне значення опору деформації σ_{sx} , визначали в залежності від ступеня ε , швидкості U та температури T деформації:

$$\sigma_{sx} = \sigma_{s0} U^{a_1} (20/3\varepsilon)^{a_2} (T/1000)^{a_3}, \quad (11)$$

де σ_{s0} – опорне значення опору деформації даного металу або сплаву, що визначається за результатами пластометричного випробування, МПа; a_1, a_2, a_3 – постійні для кожного окремого матеріалу. Останні розглядаються як статистичні показники, що характеризують кількісну інтенсивність впливу відповідних термомеханічних параметрів процесу електроконтактного наплавлення. Опір деформації визначали з використанням поліноміального опису кривої зміцнення:

$$\sigma_{sx} = a_0 + a_1 \varepsilon_{sk} + a_2 \varepsilon_{sk}^2 + a_3 \varepsilon_{sk}^3, \quad (12)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 – значення коефіцієнтів регресії аналітичного опису інтенсивності деформаційного зміцнення на початкових стадіях формування наплавленого шару. Розподіл температури в формованому шарі в термдеформаційних джерел в будь-який момент часу $\tau > 0$. При цьому визначали для випадку рівномірного тепловідведення з відновлюваної деталі і ролик-електрод, вирішуючи диференціальне рівняння теплопровідності Лапласа:

$$\frac{\partial T_n(y, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T_n(y, \tau)}{\partial y^2} (\tau > 0, 0 < y < r); \quad (13)$$

при початкових і граничних умовах:

$$T_n(y, 0) = T_0; \quad \frac{\partial T_n(r, \tau)}{\partial y} = 0; \quad -\lambda \frac{\partial T_n(r, \tau)}{\partial y} + \alpha [T(\tau) - T_n(y, \tau)] = 0, \quad (14)$$

де a – коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$; λ – коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$; α – коефіцієнт теплообміну, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; $r = h_x/2$; T_0 – температура навколишнього середовища.

Вважається, що $T(\tau)$ – лінійна функція часу, а шар металу нагрівається струмом з деякою швидкістю g . Враховуючи це диференціальне рівняння теплопровідності можливо записати у вигляді:

$$-\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial y} + \frac{\alpha}{\lambda} [T_0 + g\tau - T_n(r, \tau)] = 0. \quad (15)$$

Останнє рівняння вирішується операційним методом з використанням перетворення Лапласа щодо змінної τ з врахуванням початкових умов (14):

$$T_n(y, \tau) - T_0 = g\tau - \frac{g}{2a} \left(r^2 \left(1 + \frac{2}{Bi} \right) - y^2 \right) + \frac{gr^2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n^2} \cos \left(\mu_n \frac{y}{r} \right) \exp(-\mu_n^2 F_0), \quad (16)$$

де $F_0 = a\tau/r^2$ – критерій Фур'є; A_n – теплові амплітуди:

$$A_n = \frac{2 \cdot \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n}. \quad (17)$$

Вираз (16) дозволяє розрахувати температуру $T(y, \tau)$ в будь-якій точці наплавленого шару в термодформаційному джерелі. Інтенсивність підвищення температури в термодформаційному джерелі характеризує безрозмірна швидкість нагріву – критерій Предводителя:

$$Pd = \left(\frac{dT}{dF_0} \right)_{\max}. \quad (18)$$

Оскільки $T(\tau) = T_0 + g\tau$, то:

$$Pd = \frac{gr^2}{a}. \quad (19)$$

Тоді рішення завдання нагрівання формованого шару можна представити у вигляді:

$$\frac{\Delta T_n}{Pd} = \frac{T_n(y, \tau) - T_0}{Pd} = F_0 - 0.5 \left(1 + \frac{2}{Bi} - \frac{y^2}{r^2} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n^2} \cos \left(\mu_n \frac{y}{r} \right) \exp(-\mu_n^2 F_0). \quad (20)$$

Для визначення інтегрального значення p_{xc} при електроконтактному наплавленні по ширині перетину формованого шару проведено інтегрування виразу (10):

$$p_{xc} = 2 \int_0^{b_{xj}/2} p_{xj} dZ. \quad (21)$$

Рішенням даного виразу є:

$$P_{xcj} = 2K_{xcj} \frac{h_{xj}}{f_{xcj}} \left[\exp \left(\frac{b_{xj} f_{xcj}}{h_{xj}} \right) - 1 \right]. \quad (22)$$

Значення інтегрального зусилля на ролику-електроді по ширині перерізу в зоні пластичної формозміни визначали за формулою (21) для кожного елементарного об'єму. Безпосередньо зусилля на ролику-електроді дорівнює:

$$P = \sum_{j=1}^n P_{xcj} \cdot \frac{l_{cn}}{n} + \frac{P_{xcj}}{2b_{xj}} \bigg|_{j=n} l_{yn} + P^*, \quad (23)$$

де l_{cn} – довжина дуги контакту з урахуванням пружного сплюснення, мм; n – величина розбиття по довжині дуги контакту; $l_{yn} = \sqrt{R \cdot \delta h_1}$ – довжина зони пружного відновлення, мм; $R = l_{cn}^2 / (d_0 - h_1)$ – радіус пружнодеформованого ролика-електрода, мм; $\delta h_1 = P_{xcj} / b_{xj} \big|_{j=n} h_1 (1 - \nu_n^2) / E_n$ – величина пружної деформації формованого шару в перерізі на виході із зони пластичної формозміни, мм; ν_n – коефіцієнт Пуассона; E_n – модуль пружності матеріалу дроту, МПа.

Момент електроконтактного наплавлення:

$$M = 2 \sum_{j=1}^n P_{xcj} \cdot \frac{l_{cn}}{n} \cdot X_j - \frac{P_{xcj}}{2b_{kj}} \bigg|_{j=n} \frac{l_{yn}}{3} + M^*, \quad (24)$$

де P^* і M^* – значення сили і моменту, що визначаються для перерізів $b_{kj} / h_x \leq 2.0$; X_j – координата j -го поперечного перерізу.

Представлені залежності склали повний алгоритм з математичного моделювання напружено-деформованого стану нанесеного шару при електроконтактному наплавленні дроту. Розроблено програмні засоби для комп'ютерного моделювання. В якості прикладу реалізації даної моделі представлено розподіл температури дроту і значення подвоєного опору зсуву деформації матеріалу (рис. 4) і розрахункового розподілу нормальних і нормальних контактних напружень шару по ширині і довжині термдеформаційного джерела (рис. 5).

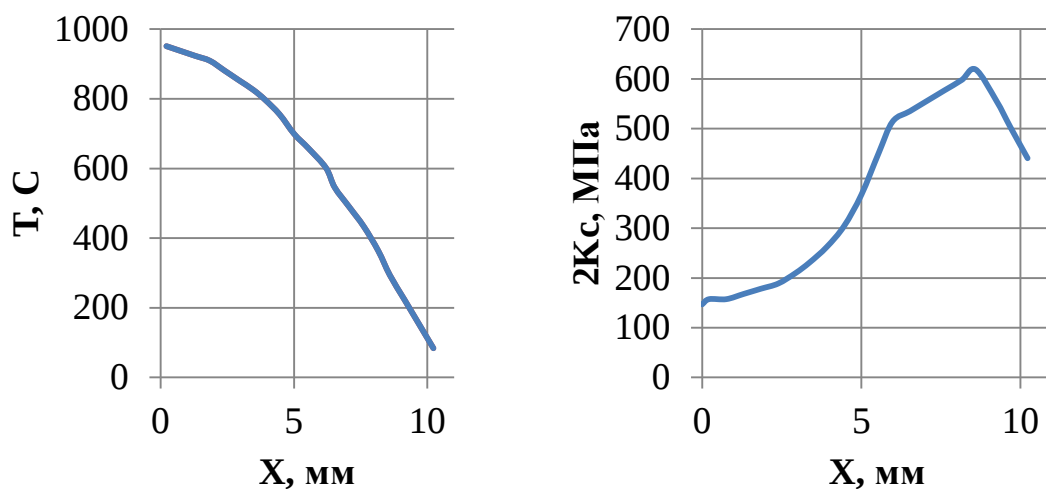


Рисунок 4 Розподіл температури нагріву дроту T і подвоєного коефіцієнта опору деформації $2K_c$ по довжині термдеформаційного джерела: Y – температура нагрівача; X – довжина термдеформаційного джерела; Z – значення подвоєного опору зсуву $2K_c$.

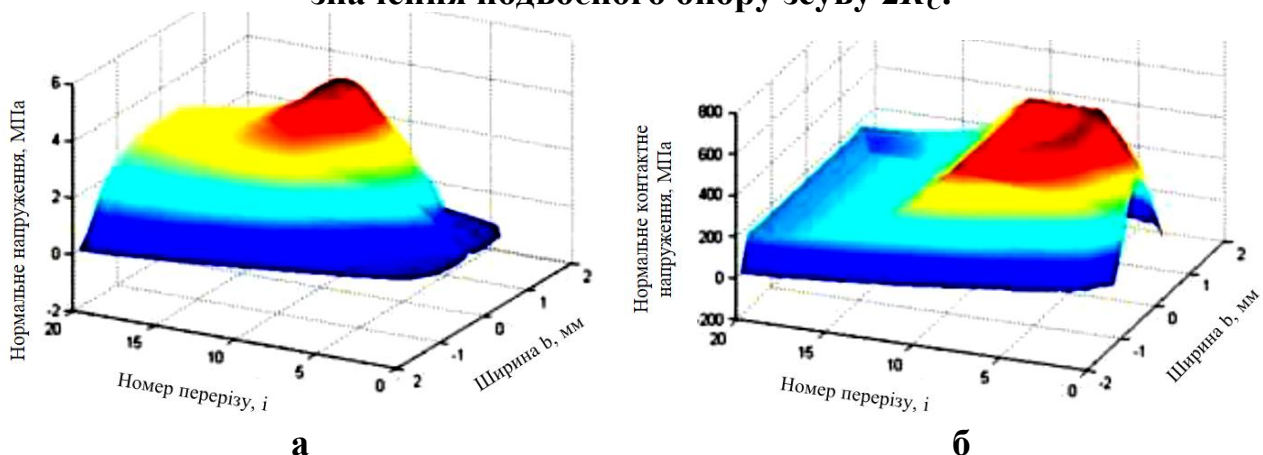


Рисунок 5 Розподіл нормальних σ_x (а) і нормальних контактних p_x (б) напружень по довжині і ширині термдеформаційного джерела при електроконтактному наплавленні

З аналізу графічних залежностей видно, що температура дроту підвищується плавно, приводячи до зниження опору деформації і перерозподілу епюр напружень, при цьому їх максимум спостерігається в перетинах на вході в термдеформаційне джерело. Вплив на форму епюри надає і збільшення контактної поверхні між дротом і роликом-електродом. Запропонований підхід до вивчення особливостей формування покриття розкриває загальні закономірності процесу, які дозволяють передбачити результати взаємодії і прогнозувати якість одержуваного зносостійкого шару.

Перспективні способи відновлення поверхні шарів на зношених деталях з цілісного ремонтного матеріалу: широкої стрічки, смуг, напіввулок і напівгільз (оболонок), який накриває відновлювану поверхню деталі повністю. Ці способи забезпечують найбільш повне відновлення механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей. Загальним недоліком зазначених вище способів зміцнення є досить низька технологічність їх здійснення, продуктивність, надійність, складність запобігання викривленню і поведіння деталей при досить великому обсязі електрозварювальних робіт.

В якості прикладу для порівняння з розробленим раніше був прийнятий спосіб відновлення зношених поверхонь, який найбільш близький і за вживаним обладнанням, і за рівнем технології здійснення. Спосіб має на меті підвищити якість відновлення деталей машин шляхом запобігання деформації стрічки в поперечному напрямку і зниження енерговитрат при електроконтактному зварюванні. Ця мета, згідно з описом існуючого способу, досягається нанесенням насічки на підготовлену шліфуванням поверхню деталі, заповненням утворених в результаті насікання осередків пастоподібним припоєм перед укладанням стрічки і впливом зварювального струму за схемою роликового двоточкового електроконтактного зварювання. Зчеплення стрічки і відновлюваної поверхні деталі досягається за рахунок її припаювання в області осередків і утворення зварювальних точок в області виступів (гребінців) на краях комірок.

Однак порівнюваний (наявний) спосіб в технологічному відношенні виявився недосконалим. Результати механічного перенесення схеми роликового зварювання тонких листів на зварювання деталей, де один тонкий лист замінений суцільним циліндром є неоднаковими протягом циклу закріплення ремонтного елемента (смуги) на деталі. Виконання насічки на поверхні деталі є в технічному відношенні невдалою спробою реалізувати схему рельєфного зварювання в комбінації з роликовим. Виконання насічки на поверхні відповідальних валів є небажаним, оскільки місцеві поглиблення на шийках валів можуть являтися концентраторами напружень з подальшим розвитком втомних мікро- і макротріщин. Відомо, що галтелі шийок і їх циліндричні поверхні спеціально піддають обкатуванню кульками або роликами, які завальцьовують мікротріщини, які утворюються в результаті попередніх обробок.

У вже згадуваному способі технологічна схема може бути реалізована лише тільки для тонкого матеріалу. При використанні товстих смуг або стрічок ($t > 0,3$ мм) можливе проковзування ролика по поверхні або деталі, або стрічки.

Разом з тим застосування тонких стрічок не може в повній мірі задовольнити поставленої мети - запобігання деформації профілю стрічки в поперечному перерізі. Режим пайки і зварювання в уже згадуваному методі в першому півоберту деталі буде відрізнятися від їх параметрів у другому півоберту, так як зварювальні точки повинні виходити у нижнього ролика, а потім, після контакту стрічки з другим роликом, одночасно і у нижнього, і у верхнього роликів (рис. 6).

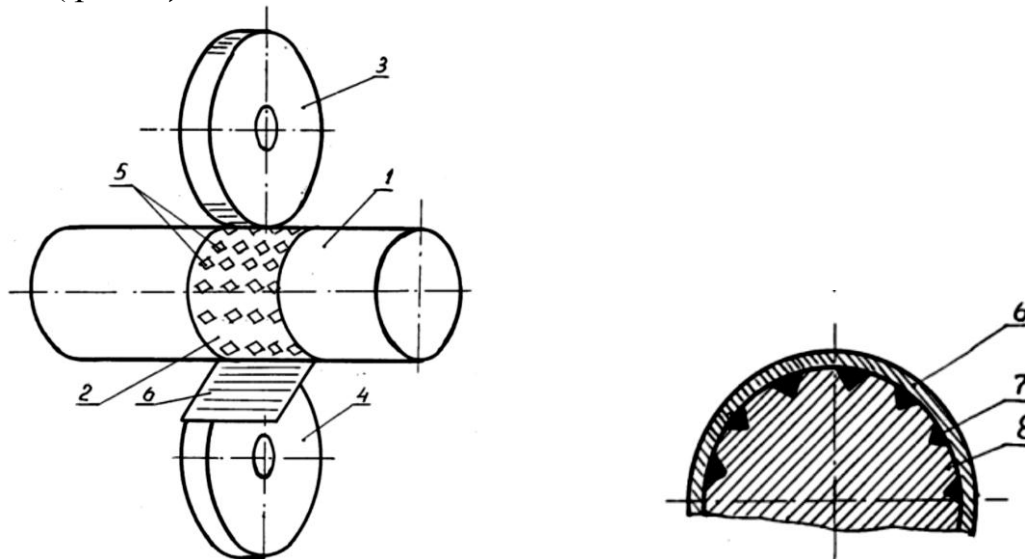


Рисунок 6 Базова схема відновлення зношених поверхонь: 1 – деталь; 2 – зношена поверхня; 3 і 4 – зварювальні ролики; 5 – осередки насічки; 6 – стрічка; 7 – западини з припоєм; 8 – гребені

У другому півоберту через одностороннього контакту роликів зі стрічкою, через появу деформацій під дією зусиль стиснення і наявності припою провідника буде важко створити високу щільність струму в окремих точках гребінцях, а отже, і концентрацію тепла, необхідну для розм'якшення стали. Отже, практично буде мати місце розплавлення припою і утворення практично паяного з'єднання, а не паянозварювального.

Результатом використання аналізованого способу відновлення зношеної поверхні буде виникнення спотворень структурно-напруженого стану поверхневих шарів відновлених деталей і їх недостатня надійність в експлуатації. Загальними операціями у запропонованому способі є попереднє шліфування зношеної поверхні для усунення відхилень її форми: овальності, огранки місцевих заглиблень, задирів і отримання поверхні з малою шорсткістю; укладка стрічки або смуги на відновлювану поверхню, її з'єднання зі зношеною деталлю, заключне шліфування і зміцнення поверхневих шарів відновленої поверхні.

Специфічними операціями, складовими сформованого способу, є коткування мірної нагрітої смугової заготовки до відновлюваної циліндричної поверхні, з'єднання її з деталлю контактним зварюванням і використання як заповнювач стикувального шва високотемпературного (твердого) припою. Схема відновлення зношеної циліндричної поверхні на початку, в продовженні і в кінці процесу установки і закріплення ремонтної заготовки показана на рис. 7.

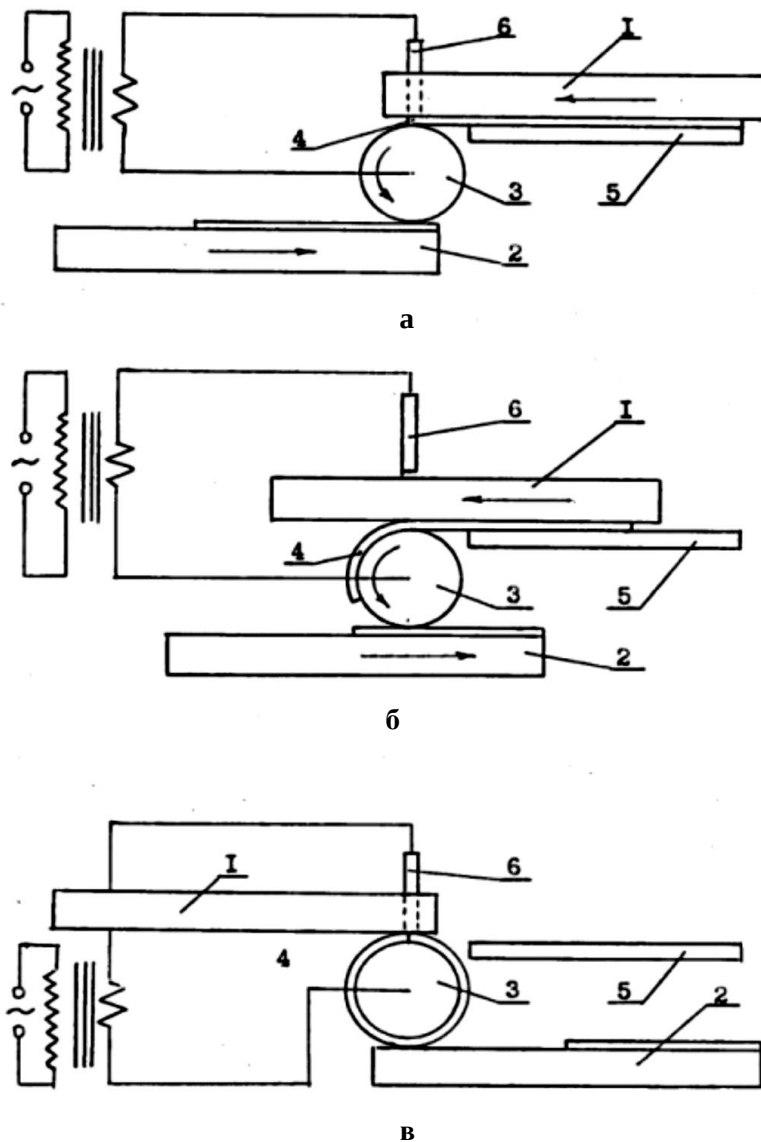


Рисунок 7 Схема відновлення зношених шийок валів: а – початок закріплення смуги; б – середня частина процесу прикочуванням смуги; в – кінець процесу прикочування і закріплення кінця смуги, 1 – верхній прикочувач; 2 – нижній прикочувач; 3 – вал; 4 – мірна заготівля; 5 – нагрівач (праска); 6 – електрод

Накочення мірної заготовки 4 до шийки вала 3 здійснюється двома плоскими плашками (прикочувачами) 1 і 2, між якими встановлюється деталь для відновлення поверхні. Нагріта за допомогою нагрівача 5 мірна заготовка стрічки подається з підігрівача під верхнім прикочувачем на деталь, і її кінцева ділянка з'єднується з відновлюваною поверхнею контактним зварюванням (електрод 6).

Прикочуючі плашки здійснюють зустрічний поступальний рух і одночасно стискають між собою відновлювану деталь. Сформована схема сил і згинальних моментів в зоні контакту призводить до появи розтягуючих напружень в її зовнішніх шарах і стискаючих напруг у внутрішніх. Це призводить до щільного прилягання мірної заготовки до відновлюваної поверхні деталі в результаті її вигину. Для виключення можливості ковзання

прикочувачів по поверхні деталі при прикатці досить товстих смуг до валу слід докласти додатковий крутний момент.

Закріплення заготовки на деталі здійснюється в два етапи. Перший етап - прискорений і складається в прихваті точковим зварюванням початкових і кінцевих ділянок мірної заготовки до відновлюваної поверхні. Тривалість цього етапу визначається швидкістю обертання відновлюваної деталі і часом зварювання.

Прискорення зварювання необхідно для запобігання різкого зниження температури нагрітої заготовки. Другий етап полягає в остаточному зварюванні прикатої заготовки, що притискається подібно бандажу поверхню шийки або ступені валу. Прикочувачі на другому етапі видаляють, щоб не заважали зварюванню. Зварювання проводиться на першому етапі за одноточковою схемою ізольованими одна від одної зварювальними точками. Напруга від трансформатора подається на електрод, яким при зварюванні впираються в поверхню заготовки і на водоохолоджуваній контакт-зажим, який закріплюється на деталі. Контакт-зажим з'єднують із зварювальним трансформатором гнучкими шинами, що мають можливість закручуватися при обертанні деталі.

Суцільного перекриття зварювальних точок між відновлюваною деталлю і прилеглої до неї заготовки не потрібно, оскільки досвід використання напресованих втулок і гільз в машинобудуванні показує достатність розміщення декількох точок. Розташування зварювальних точок здійснюють в шаховому порядку або у вигляді сітки зі стороною комірки 10...20 мм.

Попередній нагрів заготовки здійснюється до температури 350...450°C для досягнення необхідної довжини заготовки, що дорівнює довжині окружності відновлюваної поверхні деталі. Нагріта заготовка при щільному приляганні її до деталі забезпечує при наступному охолодженні натяг середньої величини, що сприяє зміцненню відновлюваної поверхні і створення однорідного структурно-напруженого стану в поверхневих шарах відновлюваної деталі.

Висновки

1. Розроблено математичну модель термонапруженого стану зносостійкого шару при електроконтактному наплавленні дротом, що дозволяє прогнозувати закономірності формування з'єднання в твердій фазі і підвищити ефективність реновації зношених деталей.

2. Встановлено якісний і кількісний вплив температури нагріву матеріалу, що наноситься на розподіл напружень і деформацій по довжині термодформаційного джерела під час електроконтактного наплавлення. При цьому спостерігається перерозподіл максимальних напружень на вході в термодформаційне джерело в зонах найменшої температури.

3. Здійсненню зварювання по типу рельєфного в значній мірі буде перешкоджати масштабний фактор. Оскільки при рельєфному зварюванні листів контактні виступи, які спеціально штампують, мають значно більші розміри, ніж осередки, створені на відновлюваної поверхні деталі. Енерговитрати у другому півоберті деталі значно збільшується при

одночасному зниженні ефективності зчеплення стрічки із відновлюваної поверхнею.

4. Збільшення товщини стрічки призвело б до ще більшого зниження якості закріплення стрічки на деталі і ефективності використання енерговитрат при зварюванні, в порівнянні з використанням тонкого матеріалу, через труднощі у створенні локальних ділянок з високою щільністю струму і, отже, умов для концентрованого виділення тепла, що викликає створення зварювальних точок.

Література

1. Аулін В.В. Методологія розв'язання проблеми підвищення зносостійкості деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки. Вісник ЖНАЕУ: науково-теоретичний збірник. – випуск № 2 (45), т.4, ч.ІІ – 2014. – С. 80-91.

2. Аулін В.В., Бруцький О.П. Підвищення довговічності деталей з нанесеними поліамідними склонаповненими композиційними покриттями модифікуванням їх ультразвуковою обробкою. Зб. тез матеріалів міжнар. наук. практ. конф. «Ольвійський форум - 2012» Секція «Трибологія, енерго- та ресурсозбереження», 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.78-79.

3. Аулін В.В., Гриньків А.В. Підвищення ресурсу гідроагрегатів транспортних засобів обробкою олив електричним полем. Зб. тез доповідей VIII Всеукр. наук.-практ. конф. студентів та аспірантів “Підвищення надійності машин і обладнання”. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 103-106

4. Аулін В.В., Віхрова Л.Г., Бісюк В.А., Гамалій В.Ф. Перспективи розвитку автоматичного управління технологічним процесом наплавлення композиційних покриттів. Зб. наук. праць КНТУ "Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". Кіровоград: КНТУ.- 2008р. Вип. 21 С.35-39.

5. Аулін В.В., Молчан І.П., Жулай О.Ю., Лисенко С.В., Кузик О.В., Бобрицький В.М. Спосіб електродугового наплавлення циліндричних порожнистих небазових чавунних деталей. Пат. 34440 Україна, МПК В23К 9/04 (2006), №u200803385; Заявл. 17.03.2008; Опубл. 11.08.2008; Бюл.№ 15.

6. Аулін В.В., Бісюк В.А., Віхрова Л.Г., Бобрицький В.М. Спосіб автоматизації керування температурою індукційного наплавлення композиційного покриття. Пат. 23872 Україна, МПК Н05В 6/06 (2006), №u200700868; Заявл. 29.01.2007; Опубл. 11.06.2007; Бюл. №8.

7. Аулін В.В., Віхрова Л.Г., Бісюк В.А. Розробка комп'ютеризованої АСУ процесом зміцнення деталей СГТ індукційним наплавленням. Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. /Вип. 57. Проблеми енерго-забезпечення та енерго-збереження в АПК України. Том 2. – Харків. – 2007.-С.213-219.

8. Аулін В.В., Віхрова Л.Г., Бісюк В.А., Бобрицький В.М. Програмно-технічні засоби для автоматизації виробничого процесу зміцнення деталей машин індукційним наплавленням. Зб. наук. праць КНТУ "Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". Кіровоград: КНТУ.- 2007р. Вип. 18 С.255-259.

9. Аулін В.В., Зіновік М.А., Дубовик В.О., Назар І.Б. Фазові перетворення в композиційних матеріалах триботехнічного призначення із структурою шпінелі. Зб. наук. праць КНТУ "Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". Кіровоград: КНТУ.- 2007р. Вип. 18 С.151-157.

10. Аулін В.В. Фізичні основи тертя і спрацювання композиційних матеріалів та покриттів. Восьмий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей. – Львів: КІНПАТРИ ЛДТ. – 2007. – С. 134.

11. Аулін В.В., Дубовик В.О., Красота М.В. Вплив напружено-деформованого стану циліндричної деталі на її зносостійкість. Зб. наук. праць Луганського нац. аграр. університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006, - №64(87). – С 26-30.

12. Аулін В.В., Віхрова Л.Г., Бісюк В.А., Бобрицький В.М. Керування процесом приготування багатокомпонентної суміші для нанесення КП на деталі машин. Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". Кіровоград: КНТУ.- 2005р. Вип. 16, С.266-269.

13. Аулін В.В., Капелюшний Ф. М., Солових Є. К., Калита М. М., Аль Соодані Салем. Зміцнення при відновленні поршневих пальців і гільз циліндрів ДВЗ електроконтактним нагріванням та комбінованим спреєрним охолодженням. Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2005. – №2 – С.123-131.

14. Аулін В.В., Гриньків А.В. Розробка методики вибору інформативних систем і агрегатів засобів транспорту та діагностичних параметрів їх технічного стану. Зб. тез доповідей XIII Міжнародної наукової конференції "Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2017", 17-19 травня 2017 р., НУБіП України. К., 2017. С. 57-59.

15. Aulin V., Zamota T., Lysenko S., Hrynkiv A. Enabling tribotechnology of running-in. VII Ukrainian-Polish Scientific Dialogues: Conference Proceedings. International Scientific Conference, 18-21 October 2017, Khmelnytskyi (Ukraine). – Khmelnytskyi National University, 2017. P. 89-91.

16. Аулін В.В. Створення композиційних дисперсно – зміцнених покриттів на деталях СГТ з використанням лазерного випромінювання. Загальнодерж. міжвідом. наук.-техн. зб. /Конструювання, виробництво та експлуатація СГМ. / Вип. 33.– Кіровоград:КДТУ, 2003. С.310-316.