

УДК 621.791.45

Бережна О. В.
Грибков Е. П.
Бережний М. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІНЕМАТИЧНОЇ АСИМЕТРІЇ НА ФОРМОУТВОРЕННЯ ШАРУ ПРИ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОМУ НАПЛАВЛЕННІ СТРИЧКИ

Підвищення довговічності деталей машин, що працюють у складних умовах навантаження, абразивного та ерозійного зношування є однією з найважливіших задач сучасного машинобудування [1–3]. Багаторічна практика підтверджує, що довговічність і експлуатаційну надійність техніки вітчизняного виробництва, що визначається надійністю та якістю деталей і вузлів обладнання, неможна визнати задовільною [3]. Однією з важливих умов підвищення надійності техніки є збільшення обсягів поставок запасних частин і відновлення деталей. Актуальність проблеми відновлення деталей підтверджується ще й тим, що при переплавленні зношених деталей безворотні втрати металу складають до 40 % (корозія, вигоряння). Стирання деталей приводить до зміни геометричних параметрів деталей, падіння продуктивності їх роботи та роботи вузлів та механізмів в цілому, і, як наслідок, зниження якості продукції, що виготовляється, передчасній заміні деталей запасними частинами та інструментів новими. Собівартість відновлення зношених деталей зазвичай складає 30...70 % від ціни нових, придбання яких вимагає значних фінансових витрат, а ресурс відновлених деталей часто значно вищий за ресурс нових, завдяки використанню ефективних способів відновлення та зміцнення [3].

Метод електроконтактного наплавлення є одним з найбільш розповсюджених способів вирішення даної проблеми [4–8]. Електроконтактне наплавлення відноситься до числа процесів з вираженим силовим і температурним активуванням поверхні. Величина силового впливу при цьому на 2–3 порядки вище, ніж в разі відцентрового індукційного, вібраційного та інших технологічних варіантів отримання покриттів [5]. При цьому швидкість нагріву шару, що наплавляється, може досягати декількох тисяч градусів за секунду [7]. Поєднання двох активуючих факторів дозволяє здійснювати процес наплавлення в середньому в 100 разів швидше, ніж, наприклад, при індукційному способі нанесення покриттів [5]. При цьому фізико-механічні властивості отриманого на поверхні відновлюваного виробу шару (зносоустійкість, твердість, пористість і т.п.) залежать від технологічних параметрів процесу, які необхідно обирати з урахуванням впливу активуючих факторів, таких як силове і температурне активування поверхні основного металу деталі та електродного матеріалу.

Одним з відомих способів підвищення міцності зчеплення наплавленого шару з поверхнею деталі є інтенсифікація процесу наплавлення з рахунок збільшення коефіцієнту тертя в зоні контакту деталі з електродним матеріалом шляхом створення протинаправленого моменту обертання при протіканні імпульсу електричного струму [9]. Істотний вплив на зміну коефіцієнту тертя в зоні електроконтактного наплавлення також чинить асиметрія процесу за рахунок контрольованої зміни кінематичних, трибологічних та фізико-механічних параметрів. Найбільш контрольованим та ефективним з точки зору впливу на зміну коефіцієнту асиметрії є співвідношення лінійних швидкостей ролику-електроду та виробу, що при створенні кінематичної асиметрії дозволяє збільшити коефіцієнт тертя в зоні контакту електродного матеріалу з поверхнею деталі.

Мета роботи – дослідження напружено-деформованого стану електродного матеріалу у термодформаційному осередку при електроконтактному наплавленні з використанням методів кінцево-елементного моделювання процесу.

Кінцево-елементне моделювання процесу формоутворення покриття при відновленні деталей проведено за розрахунковою схемою (рис. 1) з метою спільного вирішення задачі електричного нагріву та пластичної деформації та приварювання електродної стрічки до поверхні деталі.

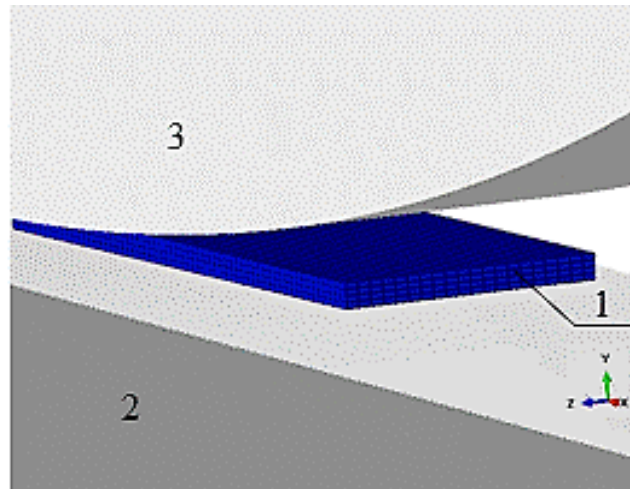


Рис. 1. Розрахункова схема кінцево-елементної моделі процесу електроконтактного наплавлення стрічкою:

1 – електродна стрічка; 2 – пласка деталь; 3 – ролик-електрод

Для спрощення моделі та скорочення обсягів розрахунку, враховуючи симетричність моделі відносно площини XY , являє собою половину задачі. До її складу входять: деформований елемент, що моделює електродну стрічку; два абсолютно твердих недеформованих тіла, які моделюють відновлювану деталь та ролик-електрод. Крім того, з метою забезпечення притискання ролику-електроду з необхідним для проведення процесу електроконтактного наплавлення зусиллям до моделі включено пружний елемент. Контактна взаємодія між роликом-електродом та електродною стрічкою визначається законом тертя через коефіцієнт тертя, представлений в функції температури.

Власне моделювання процесу реалізується в декілька етапів:

– спочатку забезпечується притискання ролику-електроду до стрічки вздовж верхньої лінії передньої торцевої поверхні, що реалізується шляхом зсунення верхньої точки закріплення пружного елемента 4 на величину, здатну забезпечити необхідну силу притискання ролику-електроду;

– далі, після забезпечення дії сили притискання, приводяться до руху деталь 2 і ролик-електрод 3, а також ініціюється електричний нагрів електродної стрічки.

Враховуючи імпульсний (періодичний) характер прикладення електричного навантаження і відносно короткий проміжок часу впливу, подача електричного струму до стрічки здійснюється на верхню ділянку поверхні у вигляді сітки довжиною, яку проходить стрічка за період дії електричного навантаження, що включає в себе цикл нагріву до температури наплавлення та паузи (відключення електричного струму) (рис. 2, а). Після завершення першого періоду нагріву стрічки здійснюється перехід на наступну ділянку такої ж довжини, з метою здійснення подальшого електричного нагріву стрічки (рис. 2, б).

В якості прикладу кінцево-елементного моделювання процесу електроконтактного наплавлення стрічкою плоских поверхонь нижче приведено результати симуляції, виконаної для наступних вихідних параметрів: діаметр ролику-електроду – 100 мм; ширина стрічки – 3,2 мм; товщина стрічки – 0,5 мм; зусилля на ролику-електроді – 2 кН; струм наплавлення – 6 кА.

Результати аналізу впливу коефіцієнту кінематичної асиметрії на зміну дотичних контактних напружень в зоні контакту електродної стрічки та деталі при електроконтактному наплавленні представлено на рис. 3–5.

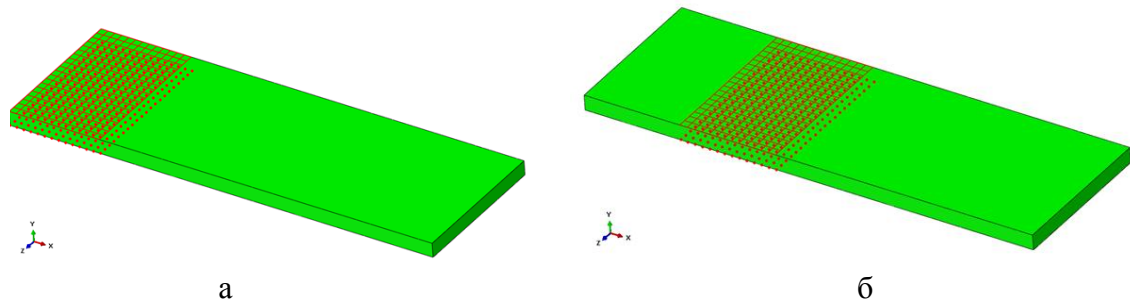


Рис. 2. Схема прикладення електричного навантаження до електродної стрічки, що враховує циклічність процесу електроконтактного наплавлення

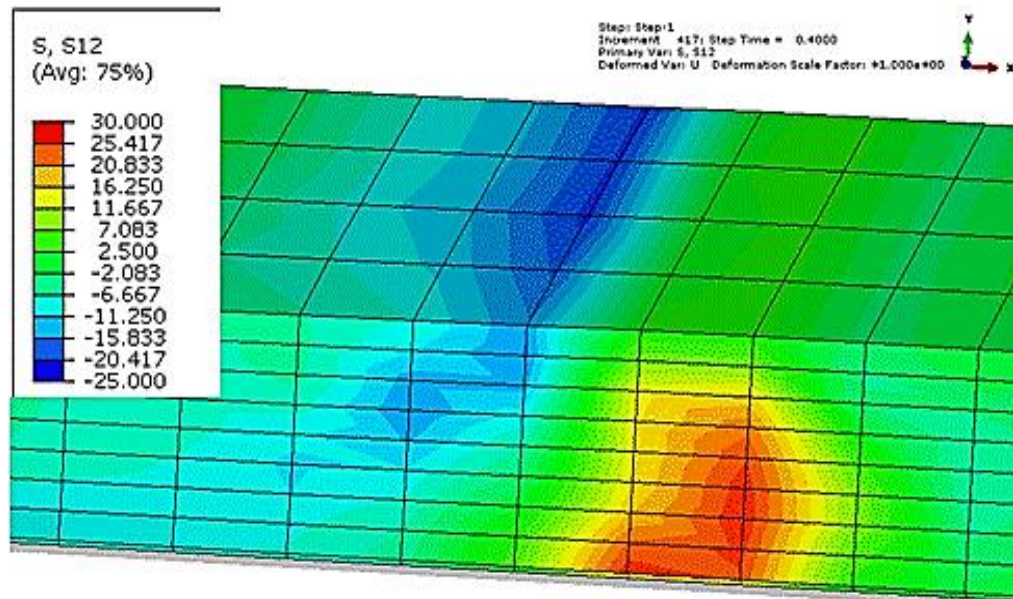


Рис. 3. Розподіл дотичних контактних напружень в термдеформаційному осередку при $K_V = 1,0$ при електроконтактному наплавленні стрічкою

Згідно з результатами розрахунку кінцево-елементної моделі при електроконтактному наплавленні стрічкою без асиметрії процесу (рис. 3) розподіляються досить рівномірно відносно нейтрального перетину. Ділянки їх дії рівні, як у зоні контакту з ролик-електродом, так і у зоні контакту з поверхнею деталі. Збільшення значення коефіцієнту кінематичної асиметрії K_V до 1,015 приводить до збільшення максимальних значень дотичних контактних напружень здебільшого у зоні контакту електродної стрічки з поверхнею деталі (рис. 4). Причому спостерігається значне зміщення поля дії дотичних контактних напружень у зоні контакту електродної стрічки з поверхнею деталі відносно нейтрального перетину. Крім того збільшується площа їх дії у цій ділянці. У той час як у зоні контакту стрічки з ролик-електродом значення дотичних контактних напружень дещо зменшуються і сягають близько 19 МПа. Аналогічна картина спостерігається при подальшому підвищенні коефіцієнту кінематичної асиметрії до 1,025 (рис. 5). Причому у зоні контакту електродної стрічки з ролик-електродом дотичні контактні напруження істотно знижуються, що супроводжується зменшенням і площі їх дії у цій ділянці.

Така істотна зміна картини напружено-деформованого стану при збільшенні коефіцієнту кінематичної асиметрії процесу електроконтактного наплавлення плоских деталей електродною стрічкою пояснюється спільною дією і кінематичної асиметрії, яку умисне створюють спеціальними технологічними прийомами, і геометричної асиметрії, яка обумовлена формою відновлюваної деталі та ролика-електрода, а саме співвідношенням їх радіусів, який для плоскої деталі прагне до безкінечності.

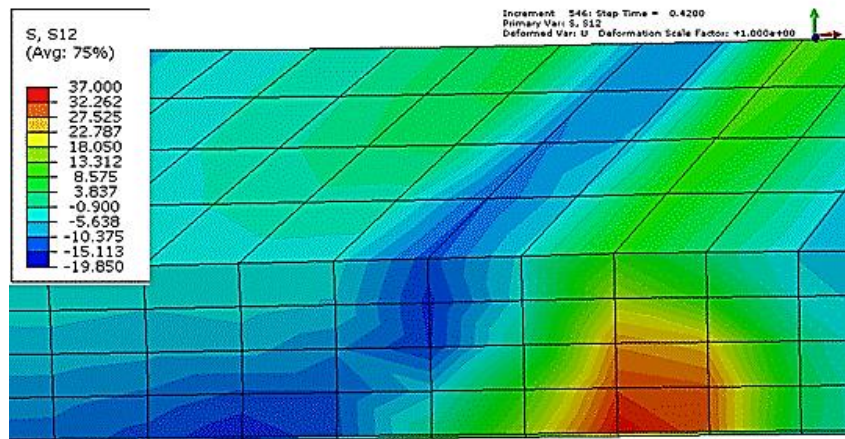


Рис. 4. Розподіл дотичних контактних напружень в термдеформаційному осередку при $K_v = 1,015$ при електроконтактному наплавленні стрічкою

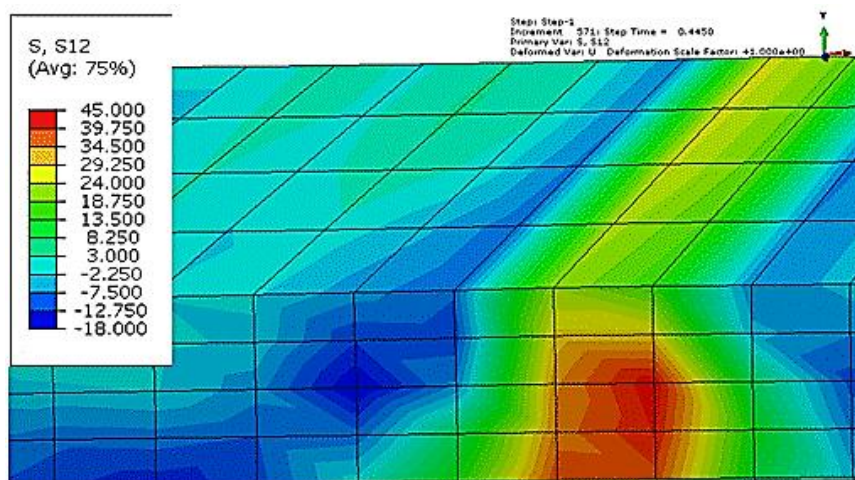


Рис. 5. Розподіл дотичних контактних напружень в термдеформаційному осередку при $K_v = 1,025$ при електроконтактному наплавленні стрічкою

Міцність зчеплення наплавленого шару визначали шляхом відриву штифта нормально прикладеним зусиллям на зразках Стеффенса довжиною 20 мм і діаметром 4 мм на розривній машині Р-20 ГОСТ 7855-74. Для підвищення точності вимірювань при випробуванні методика було вдосконалено [10]. Результати експерименту, проведеного на наплавлених зразках при $R_z = 50$ мкм, $I = 6,5$ кА, $P = 1,5$ кН, показали, що при електроконтактному наплавленні з $K_v = 1,015$ міцність зчеплення наплавленого шару з основним металом максимальна і становить 215 МПа, у той час як при $K_v = 1,0$, тобто за відсутності асиметрії процесу, міцність зчеплення становить 165 МПа.

ВИСНОВКИ

В ході кінцево-елементного моделювання підтверджено гіпотезу про вплив коефіцієнту кінематичної асиметрії на збільшення міцності зчеплення наплавленого шару з поверхнею відновлюваної деталі за рахунок підвищення коефіцієнту тертя в зоні їх контакту при збільшенні дотичних контактних напружень в зоні наплавлення до 37 МПа. Згідно з отриманими даними оптимальне значення коефіцієнту кінематичної асиметрії складає 1,015 при інших рівних параметрах режиму, що дозволяє підвищити міцність зчеплення наплавленого шару на 23 % порівняно з електроконтактним наплавленням покриття без застосування асиметрії процесу і одночасно уникнути збільшення механічного та теплового навантаження на метал наплавленого шару, що сприяє якісному формуванню функціонального шару.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патон Б. Е. Проблемы сварки на рубеже веков / Б. Е. Патон // *Сварка и родственные технологии – в XXI веке : сб. тр. междунар. конф.* – К. : НАНУ, ИЭС им. Е. О. Патона, 1998. – С. 5–12.
2. Михед А. М. Восстановление размеров и свойств чугуновых цилиндрических деталей электроконтактной наплавкой / А. М. Михед, В. П. Черныш // *Автоматическая сварка.* – 2000. – № 3. – С. 42.
3. Гаркунов Д. Н. Анализ изнашивания и избирательный перенос при трении / Д. Н. Гаркунов, Г. А. Польшер // *Эффект безызносности и триботехнологии.* – 1992. – № 1. – С. 9–11.
4. Bulychev V. V. Electrical resistance deposition with a wire and deceleration of the roller electrode / V. V. Bulychev, V. V. Zezyulya // *Welding International.* – 2011. – Vol. 25. – № 5. – P. 374–377.
5. Булычев В. В. Технология восстановления стальных коленчатых валов комбинированной наплавкой / В. В. Булычев, В. В. Зезюля // *Ремонт, восстановление и модернизация.* – 2008. – № 12. – С. 14–18.
6. Черноиванов В. И. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин. – М. : ГОСНИТИ, 2003. – 488 с.
7. Дубровский В. А. Восстановление деталей путевых машин электроконтактной наплавкой / В. А. Дубровский, В. В. Булычев, В. Н. Хабаров // *Путь и путевое хозяйство.* – 2001. – № 2. – С. 13–15.
8. Левин Э. Л. Использование электроконтактного нагрева в технологических процессах ремонта машин / Э. Л. Левин, Р. Н. Сайфуллин // *Ремонт, восстановление, модернизация.* – 2008. – № 8. – С. 19–21.
9. Патент 2466000 России. МПК В23К 11/06. Способ электроконтактной наплавки / Зезюля В. В., Булычев В. В. – Заявл. 30.12.2010 ; опубл. 10.11.2012.
10. Патент №106718 України на корисну модель. МПК В23К 31/12 (2006.01). Спосіб визначення зварюваності різномірних металів / Бережна О. В., Турчанін М. А., Кассов В. Д., Гавриш П. А. – №и 2015 08944 ; заявл. 16.09.2015 ; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9. – 4 с.

REFERENCES

1. Paton B. E. *Problemy svarki na rubezhe vekov* / B. E. Paton // *Svarka i rodstvennye tehnologii – v XXI veke : sb. tr. mezhdunar. konf.* – K. : NANU, IJeS im. E. O. Patona, 1998. – S. 5–12.
2. Mihed A. M. *Vosstanovlenie razmerov i svojstv chugunnych cilindricheskikh detalej jelektrokonta-ktnoj naplavkoj* / A. M. Mihed, V. P. Chernysh // *Avtomaticheskaja svarka.* – 2000. – № 3. – S. 42.
3. Garkunov D. N. *Analiz iznashivaniya i izbiratel'nyj perenos pri trenii* / D. N. Garkunov, G. A. Pol'cer // *Jeffect bezyznosnosti i tribotehnologii.* – 1992. – № 1. – S. 9–11.
4. Bulychev V. V. *Electrical resistance deposition with a wire and deceleration of the roller electrode* / V. V. Bulychev, V. V. Zezyulya // *Welding International.* – 2011. – Vol. 25. – № 5. – R. 374–377.
5. Bulychev V. V. *Tehnologija vosstanovleniya stal'nyh kolenchatyh valov kombinirovannoj naplavkoj* / V. V. Bulychev, V. V. Zezjulja // *Remont, vosstanovlenie i modernizacija.* – 2008. – № 12. – S. 14–18.
6. Chernoivanov V. I. *Organizacija i tehnologija vosstanovleniya detalej mashin* / V. I. Chernoivanov, V. P. Ljaljakin. – M. : GOSNITI, 2003. – 488 s.
7. Dubrovskij V. A. *Vosstanovlenie detalej putevyh mashin jelektrokontaktnej naplavkoj* / V. A. Dubrovskij, V. V. Bulychev, V. N. Habarov // *Put' i putevoe hozjajstvo.* – 2001. – № 2. – S. 13–15.
8. Levin Je. L. *Ispol'zovanie jelektrokontaktного nagreva v tehnologicheskikh processah remonta mashin* / Je. L. Levin, R. N. Sajfullin // *Remont, vosstanovlenie, modernizacija.* – 2008. – № 8. – S. 19–21.
9. *Patent 2466000 Rossii. MPK V23K 11/06. Sposob jelektrokontaktnej naplavki* / Zezjulja V. V., Bulychev V. V. – *Zajavl.* 30.12.2010 ; *opubl.* 10.11.2012.
10. *Patent №106718 Ukraїni na korisnu model'. MPK B23K 31/12 (2006.01). Sposib viznachennja zvarju-vanosti riznorodnih metaliv* / Berezhna O. V., Turchanin M. A., Kassov V. D., Gavrish P. A. – №и 2015 08944 ; *zajavl.* 16.09.2015 ; *opubl.* 10.05.2016, *Bjul.* № 9. – 4 s.

Бережна О. В. – канд. техн. наук, докторант НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»;

Грибков Е. П. – д-р техн. наук, доц. каф. АММ ДДМА;

Бережний М. О. – здобувач ДДМА.

НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Стаття надійшла до редакції 21.03.2018 р.