

УДК 621.787.001.57

С. Ковалевський; В. Тулупов; С. Колесніков

Донбаська державна машинобудівна академія

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ ПРИ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОМУ ЗМІЦНЮВАЛЬНОМУ ТОЧІННІ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ANSYS

*Резюме.* Проаналізовано результат моделювання у програмному комплексі ANSYS, що дозволило аналітичним методом визначити вплив технологічних факторів на глибину зміцненого шару при ЕІЗТ, а також отримати математичну модель для порівняння з експериментальними результатами.

*Ключові слова:* модель, імпульсний струм, теплове поле, структура, зміцнення.

S. Kovalevskiy, V. Tulupov, S. Kolesnikov

## DESIGN OF THE THERMAL FIELDS BY ELECTRO-IMPULSE LATHE HARDENING IN PROGRAMMATIC COMPLEX OF ANSYS

*The summary.* The analysis of results of design in the programmatic complex of ANSYS allowed by an analytical method to define influence of technological factors on the depth of the hardening layer at the EILH, and also to get a mathematical model for comparison with experimental results.

*Key words:* Model, impulsive current, thermal field, structure, hardening

### Умовні позначення:

[C] – матриця теплоємності;

[K] – матриця теплопровідності;

{T} – вектор вузлових температур;

{F} – вектор навантаження;

$\tau$  – час.

**Постановка питання.** Суть більшості імпульсних технологічних процесів зміцнення полягає в імпульсній дії (з великими швидкостями) на відносно невеликі об'єми металу потоками енергії високої інтенсивності (в деяких випадках з одночасною деформацією) і швидким охолодженням металу за рахунок відведення тепла в глибокий матеріалу. Процес поверхневого зміцнення завжди супроводжується термодинамічними процесами і, як наслідок, структурними й фазовими перетвореннями в поверхневому шарі матеріалу.

Вирішальний вплив на структурні зміни і фазові переходи роблять кінетичні й термодинамічні умови обробки металу, формуючи при цьому фізико-механічний стан поверхневого шару деталі, що впливає на його експлуатаційні властивості [1, 2].

Для технологічного забезпечення заданої твердості, структури і фазового складу, глибини зміцнення виникає актуальна проблема оцінювання динаміки температурних і деформаційних полів [1, 3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Звичайно, моделювання призводить до ідеалізації процесу, але воно з визначеною точністю дозволяє оцінити зміну температури та напруженого стану при дії рухомих концентрованих джерел енергії [4].

**Мета і завдання досліджень.** Визначити вплив режимів обробки ЕІЗТ [5] на теплові поля, що виникають при цьому в поверхневому шарі деталі, аналітичним методом.

**Виклад основного матеріалу.** Для математичного опису нагрівання металу у зоні різання і теплопередавання в системі інструмент–деталь використано модель [6], що базується на застосуванні теорії методу кінцевих елементів, яка описує динаміку зміни температури металу, в процесі його нагрівання прямим пропусканням струму, а також при взаємодії з оброблювальним інструментом. Температурне поле в даному завданні описується рівнянням теплопровідності, що є окремим випадком рівняння Нав'є-Стокса, яке в матричному вигляді можна представити як [6]

$$\left( [K] + \frac{2}{\Delta\tau} [C] \right) \{T\}_i = \left( \frac{2}{\Delta\tau} [C] - [K] \right) \{T\}_0 - 2\{F\} - 2V[C] \frac{\Delta T}{\Delta x}. \quad (1)$$

Чисельне розв'язання системи рівнянь (1) дозволяє досліджувати динаміку нагрівання й охолодження металу залежно від технологічних параметрів обробки, що є необхідним для керування цими процесами.

Для реалізації розрахунку теплових полів у зоні контакту інструмент–деталь було застосовано програмний комплекс, що базується на методі кінцевих елементів – ANSYS 12.1 модуль Workbench [7], оскільки він дозволяє вирішувати термоелектричні завдання. Основними достоїнствами даного програмного комплексу є:

- можливість розрахунку і моделювання теплових стаціонарних і нестаціонарних завдань;
- можливість інтеграції комплексу з найпоширенішими CAD системами, що значно полегшує процес підготовки моделей і початкових даних;
- можливість формалізації розв'язування задачі, граничних умов і початкових даних у зручному і зрозумілому для користувача вигляді;
- наочне і зручне представлення результатів розрахунку й моделювання.

Для дослідження впливу режимів обробки ЕІЗТ на температуру і глибину її розповсюдження у поверхневому шарі деталі, що обробляється, були прийняті діапазони зміни чинників: глибини різання  $t$ , подачі  $S$ , швидкості різання  $v$ , фаски зносу по задній поверхні різця  $h_z$  та щільності струму  $j$  (табл. 1).

Таблиця 1. Значення чинників, що досліджуються

Глибина різання $t$ , мм;	Подача $S$ , мм/об	Швидкість різання $v$ , м/с	Фаска зносу по задній поверхні різця $h_z$ , мм	Площа поверхні електричного контакту $A_k$ , мм <sup>2</sup>	Значення імпульсного струму при заданій щільності струму $j = 500 \text{ А/мм}^2$ $I$ , А	Значення імпульсного струму при заданій щільності струму $j = 1000 \text{ А/мм}^2$ $I$ , А
0,25	0,1	1,0	0,1	0,12	60	120
		2,0				
	0,2	1,0	0,2	0,21	105	210
		0,1	0,1	0,13	65	130
0,5	0,1	1,0	0,1	0,17	85	170
		2,0				
	0,2	1,0	0,2	0,29	145	290
		0,1	0,1	0,19	95	190
0,2	0,2	0,31	155	310		
					2,0	

Для зменшення трудомісткості процесу аналітичного дослідження було прийнято проведення за методом дробового факторного експерименту –  $2^{5-2}$  моделювань (табл. 2).

Для імітації режимів обробки, таких, як подача та глибина різання, з урахуванням радіуса при вершині різця ( $r=1,2$  мм), побудовано твердотілі моделі ділянок поверхневого шару деталі (місця контакту «різець–деталь») розміром  $1,2 \times 1,3 \times 0,7$  мм у програмному продукті Solid Work (рис. 1). Матеріали деталей, що досліджували – сталь 45 та 40Х після нормалізації. Їх властивості – теплопровідність; теплоємність; щільність; коефіцієнт лінійного розширення; електричний опір та ін., за різних температур, було занесено до бібліотеки ANSYS Workbench.

Таблиця 2. План проведення аналітичних досліджень

№ моделі	v, м/с	t, мм	S, мм/об	h <sub>з</sub> , мм	j, А/мм <sup>2</sup>
1	1,0	0,25	0,1	0,2	1000
2	2,0	0,25	0,1	0,1	500
3	1,0	0,25	0,2	0,1	1000
4	2,0	0,25	0,2	0,2	500
5	1,0	0,50	0,1	0,2	500
6	2,0	0,50	0,1	0,1	1000
7	1,0	0,50	0,2	0,1	500
8	2,0	0,50	0,2	0,2	1000

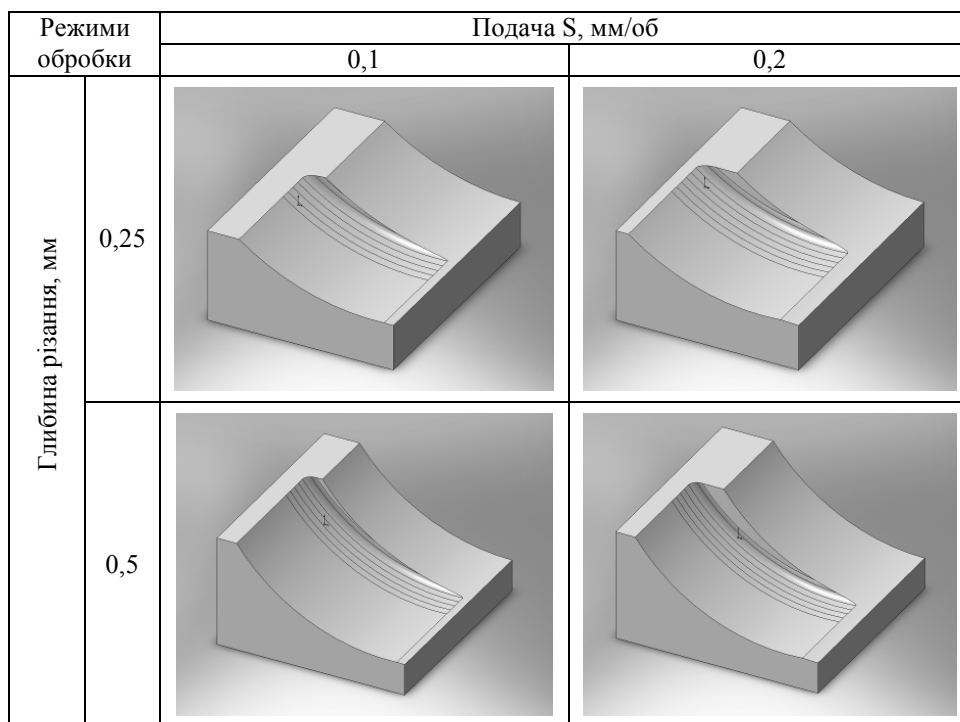


Рис. 1. Твердотілі моделі ділянок поверхневого шару деталі зони різання

Над результатами, отриманими в процесі моделювання теплових полів у ANSYS Workbench (рис. 2), була проведена статистична обробка з розрахунком середнього значення довірчого інтервалу з вірогідністю  $P = 0,95$ .

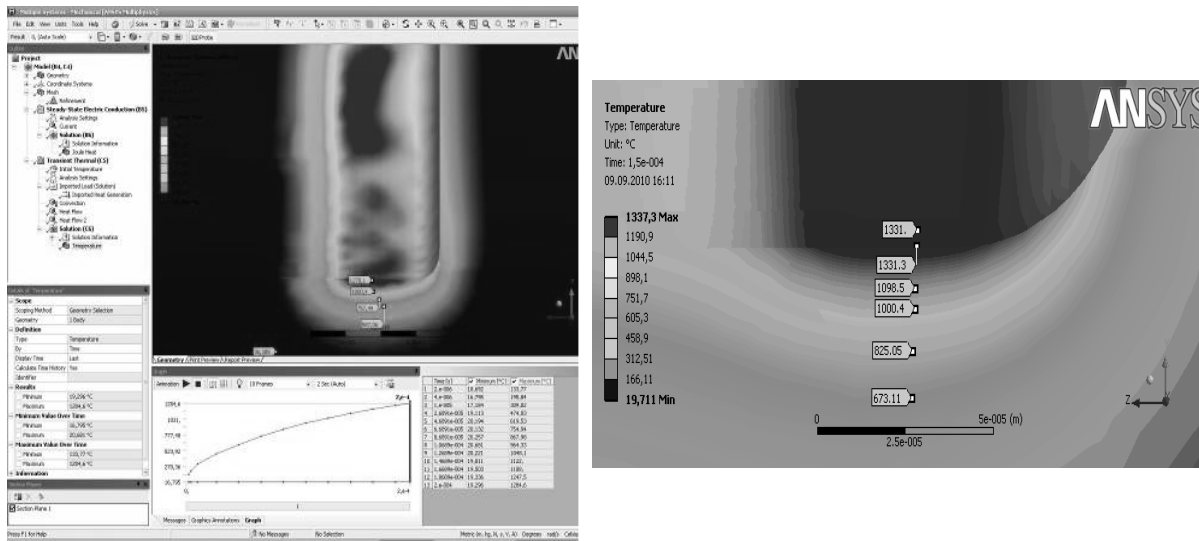


Рис. 2. Моделювання теплових полів процесу ЕІЗТ у ANSYS Workbench

На картах Парето (рис. 3 і 4) визначено значущі фактори, що впливають на температуру та глибину зміцнення досліджуваних матеріалів при ЕІЗТ– щільність струму  $j$ , швидкість різання  $v$  та глибина різання  $t$ .

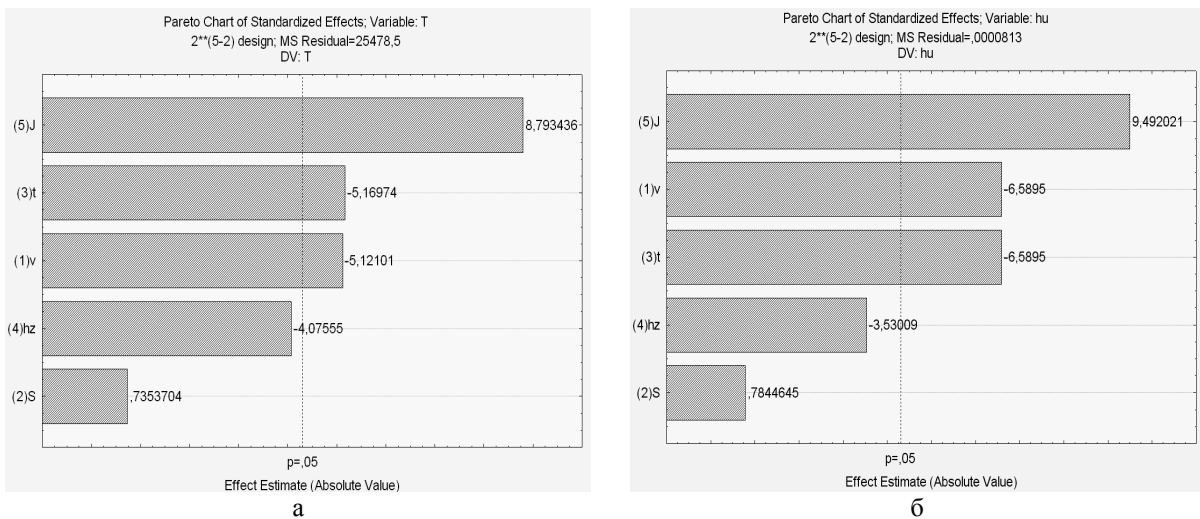


Рис. 3. Карти Парето для сталі 45 (а – температура, б – глибина зміцнення)

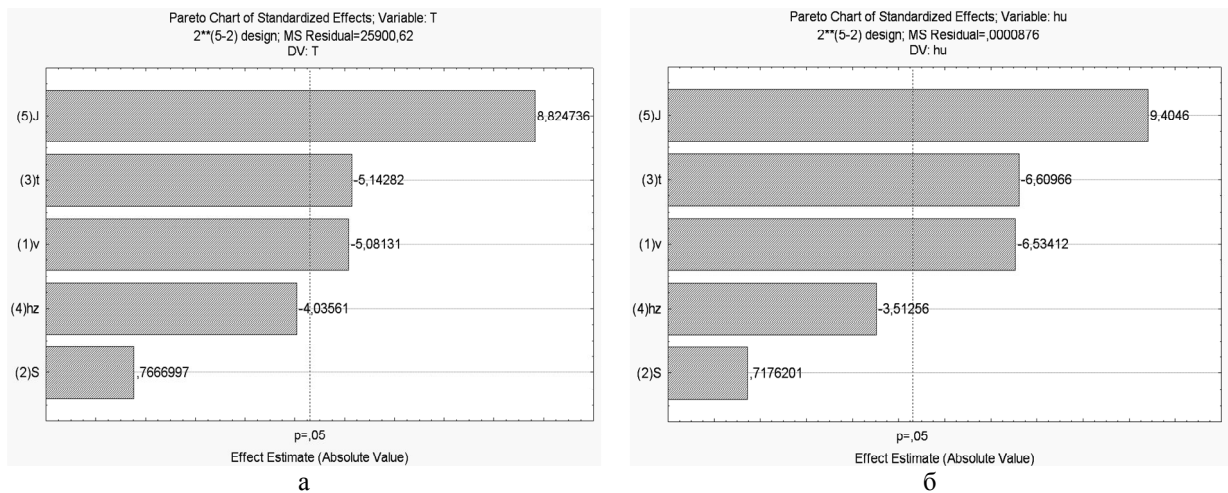


Рис. 4. Карті Парето для сталі 40X (а – температура, б – глибина зміцнення)

Для сталі 45 отримані регресійні рівняння мають такий вигляд:

$$T = 716,25 - 578v + 1,985j, \quad (2)$$

$$T = 724,50 - 2334t + 1,985j, \quad (3)$$

$$hu = 0,01 - 0,042v + 0,0001j, \quad (4)$$

$$hu = 0,01 - 0,168t + 0,0001j. \quad (5)$$

Для сталі 40X:

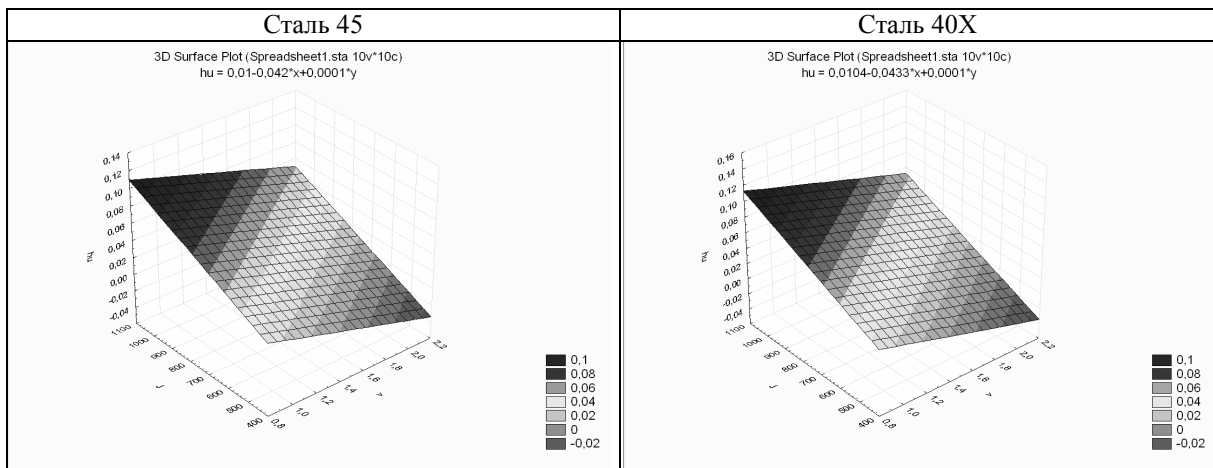
$$T = 715,125 - 578,25v + 2,0085j, \quad (6)$$

$$T = 725,625 - 2341t + 2,0085j, \quad (7)$$

$$hu = 0,0104 - 0,0433v + 0,0001j, \quad (8)$$

$$hu = 0,0111 - 0,175t + 0,0001j. \quad (9)$$

Аналізуючи графіки залежності глибини зміцнення від щільності струму, глибини та швидкості різання (рис. 5), можна зробити висновок, що сталь 40X при однакових умовах обробки має більшу прогартуваність, ніж сталь 45. Це пояснюється наявністю легуючого елемента – хрому.



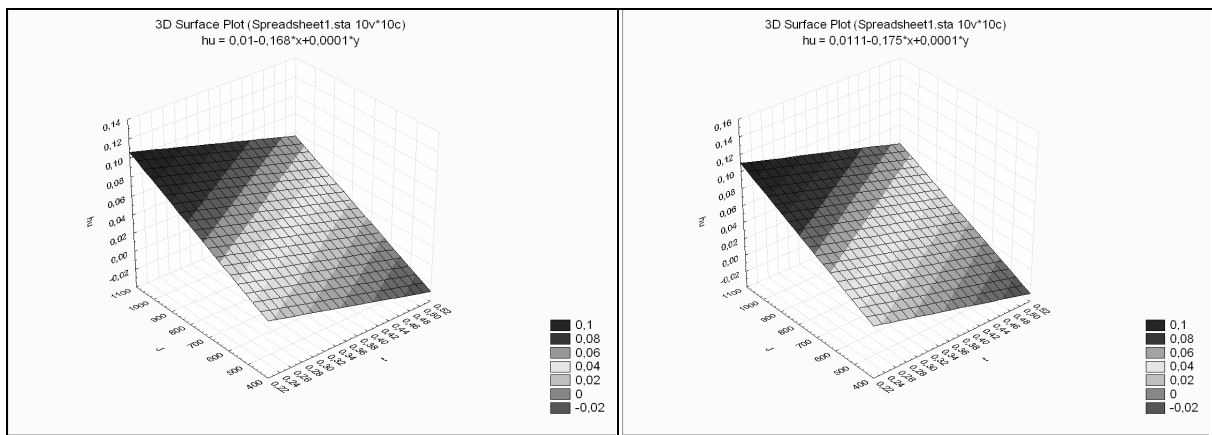


Рис. 5. Графіки залежностей глибини зміцнення від технологічних параметрів ЕІЗТ

**Висновки.** У результаті проведення аналітичних досліджень було визначено значущі фактори, що впливають на температуру та глибину зміцнення при ЕІЗТ, а саме: щільність струму, швидкість різання та глибина різання. Отримано графіки впливу технологічних параметрів на температуру та глибину гартування. Розроблено математичну модель процесу обробки.

Математичні моделі, отримані в результаті аналітичних і експериментальних досліджень, дають можливість проведення аналізу адекватності.

#### Література

1. Багмутов В.П. Электромеханическая обработка: технические и физические основы, свойства, реализация. / В.П. Багмутов, С.Н. Паршев, Н.Г. Дудкина, И.Н. Захаров. – Новосибирск: Наука, 2003. – 318 с.
2. Эдигаров В.Р. Влияние режимов поверхностного фрикционно-электрического модифицирования на структуру, механические и эксплуатационные свойства стали осей балансиров: автореферат дис. на соискание степени кандидата технических наук: спец. 05.02.01 “Материаловедение (машиностроение)” / В.Р. Эдигаров. – Тюмень, 2006. – 20 с.
3. Гурей І.В. Технологічне забезпечення якості та експлуатаційних властивостей виробів параметрами імпульсної фрикційної обробки: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.02.08 „Технологія машинобудування” / І.В. Гурей. – Одеса, 2002. – 27 с.
4. Тихвинская А.Ю. Повышение эксплуатационных свойств радиальных пар трения из высокопрочного чугуна на основе лазерной обработки: автореферат дис. на соискание степени кандидата технических наук: спец.: 05.03.01 “Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки” / А.Ю. Тихвинская. – Волгоград, 2009. – 16 с.
5. Формирование регулярной дискретной структуры при чистовом точении с импульсным током. Ковалевский С.В., Тулупов В.И., Попивненко А.А., Борисенко Ю.Б. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, 2007. – Вип. 21. – С. 233–237.
6. Кунгас С.П., Фастовец Л.В. Компьютерное моделирование теплофизических процессов при ультразвуковом плющении лент с применением метода конечных элементов // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.- тэхн. навук. – 1998. – № 1. – С.56–63.
7. <http://www.ansys.com>

Отримано 30.08.2010 р.