

Технологія машинобудування

УДК 539.3

Марченко А.П., д-р техн. наук; Ткачук М. А., д-р техн. наук; Кравченко С. О., д-р техн. наук; Ткачук М., М., канд. техн. наук; Грабовський А. В., канд. техн. наук; Веретельник О.В.

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДИСКРЕТНО ЗМІЦНЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вступ. На теперішній час існує широкий арсенал методів і засобів підвищення міцності та довговічності роботи виробів, які містять контактуючі елементи [1-4]. Одним з найбільш перспективних є метод дискретного зміцнення [5-7]. Цей метод передбачає інтенсивне на поверхню основного матеріалу деталі архіпелагу каплевидних зон із матеріалів, які суттєво перевищують за трибомеханічними властивостями вихідну матрицю. Нанесення таких зон здійснюється не континуально, а дискретно. Тобто між такими зонами є певні проміжки. Отже, у результаті у поверхневому шарі одержується певна композиція, яка в об'ємі містить вкраплення матеріалів, властивості яких відрізняються від основного матеріалу. На поверхню деталі виходить множина границь цих зон дискретного зміцнення у вигляді набору деяких фігур (кругів, смуг, овальних плям тощо). Від форми та розмірів цих фігур залежать властивості поверхневих шарів, які суттєвим чином визначають міцність, тертя і зношування деталей машин. Разом із тим натеper відсутні дослідження, які дають можливість установити вплив різних чинників на трибомеханічні властивості дискретно зміцнених поверхневих шарів. Це створює основу для обґрунтування таких технологічних параметрів при дискретному зміцненні, що забезпечують відповідний рівень трибомеханічних властивостей деталей машин.

Отже, формується актуальна науково-технічна задача дослідження впливу технологічних параметрів на властивості дискретно зміцнених деталей.

Мета і завдання досліджень. Мета цієї роботи – розробка моделей та здійснення досліджень напружено-деформованого стану дискретно зміцнених контактуючих деталей машинобудівних конструкцій.

Для досягнення поставленої мети сформовані наступні завдання:

- побудувати параметризовані моделі напружено-деформованого стану дискретно зміцнених деталей машин;
- здійснити дослідження напружено-деформованого стану дискретно зміцнених деталей машин;
- визначити закономірності напружено-деформованого стану дискретно зміцнених деталей машин та розробити рекомендації із удосконалення техніко-технологічних рішень при освоєнні виробництва нових виробів та модернізації існуючих.

Аналіз методів зміцнення елементів машинобудівних конструкцій. На теперішній час існує широкий спектр методів зміцнення поверхневих шарів деталей машин [3-8]. Це, наприклад, цементування, азотування, ціанування, лазерна обробка, поверхнєве пластичне деформування тощо. При їх застосуванні поверхневі шари деталей машин набувають властивостей, які значно вищі, ніж у матеріалі серцевини (тобто основний матеріал, матриця). Разом із тим, слід відзначити певні проблемні аспекти. Перший пов'язаний із тим, що, як правило, зміцнений шар є континуальним. Враховуючи, що властивості такого шару можуть різко відрізнятися від властивостей основного матеріалу, то супутні деформації від хіміко-корозійного, теплового та механічного навантаження призводять до розтріскування зміцнених шарів. Другий аспект полягає у тому, що між зміцненими шарами та основним матеріалом у силу технологічних процесів ослаблюються адгезійні зв'язки. Третій аспект полягає у тому, що більша частина технологічних методів

© А.П Марченко, 2019

зміцнення призводять до зростання окремих трибомеханічних характеристик за рахунок зниження рівня інших. Наприклад, підвищенню твердості супутне підвищення крихкості, зростання границі текучості дає зниження витривалості тощо.

На противагу існуючим традиційним методам зміцнення, метод дискретного зміцнення [8, 9] позбавлений перелічених недоліків. Це досягається, по-перше дискретним характером зон зміцнення. По-друге, при електроіскровому індентуванні зміцнюючого матеріалу він переміщується у полум'ї дуги із основним матеріалом, створюючи високоадгезійні композиції. У цих композиціях матеріал за товщиною змінює властивості не стрибкоподібно, а неперервно, проте із різним рівнем на різних глибинах. По-третє, метод дискретного зміцнення призводить до одночасного зростання не однієї, а цілого комплексу характеристик.

Враховуючи визначені вище позитивні якості методу дискретного зміцнення елементів машинобудівних конструкцій, слід зазначити, що потребуються кількісні залежності, які пов'язують макровластивості поверхневих шарів зміцнених деталей із їх мікроструктурними параметрами. Такі дослідження на розвиток попередніх розробок [5-7] складають зміст цієї роботи.

Моделі напружено-деформованого стану дискретно зміцнених елементів машинобудівних конструкцій. Для аналізу напружено-деформованого стану елементів дискретно зміцнених елементів машинобудівних конструкцій із об'єму деталі виокремлюється періодична елементарна представницька комірка, яка містить основний матеріал та зону дискретного зміцнення. На поверхню деталі діє розподілений тиск P , який у межах виділеного фрагмента можна вважати постійним.

Загальний вигляд геометричної моделі представлено на рисунку 1. На рисунку 2 позначені геометричні параметри. На рисунку 3 представлені елементи досліджуваної моделі.

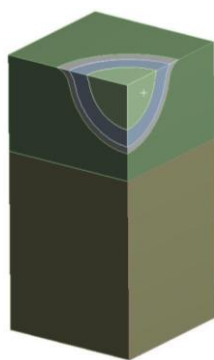


Рисунок 1 – Геометрична модель

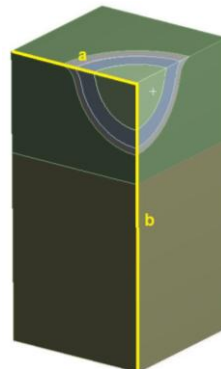
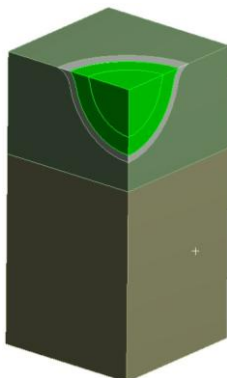
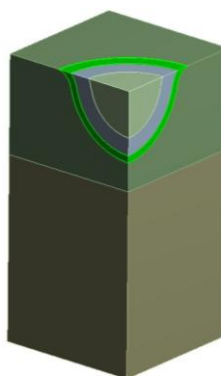


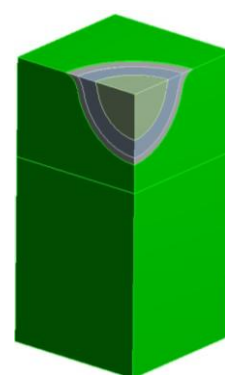
Рисунок 2 – Геометричні параметри



Гратка



Перехідний шар



Основний матеріал

Рисунок 3 – Елементи моделі

У роботі запропоновані 7 розрахункових схем, відмінності полягали у габаритних розмірах, габаритні розміри моделей наведені в таблиці 1. У свою чергу були побудовані 6 розрахункових груп, які об'єднали ці 7 розрахункових схем, але відмінності між групами полягали у різних фізико-механічних властивостях матеріалів. Перші 6 розрахункових груп описують моделі, які враховують фізико-механічні властивості матеріалів після здійснення дискретного зміцнення, 7-ма розрахункова група описує моделі з фізико-механічними властивостями без здійснення дискретного зміцнення. Фізико-механічні властивості матеріалів наведені у таблиці 2.

Таблиця 1 – Габаритні розміри геометричних моделей

	1-а розр. схема	2-а розр. схема	3-я розр. схема	4-а розр. схема	5-а розр. схема	6-а розр. схема	7-а розр. схема
Радіус ґратки, мм	0,5						
Довжина сторони a_i , мм	0,1	0,94	0,88	0,82	0,76	0,7	0,64
Висота нижньої частини b , мм	2						

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості матеріалів

	ґратка	Перехідний шар	Основний матеріал
1-а розрахункова група			
Модуль пружності (МПа)	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$
Коефіцієнт Пуассона	0,3	0,3	0,25
Границя міцності/плинності (МПа)	$8 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$
2-а розрахункова група			
Модуль пружності (МПа)	$1,8 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$
Коефіцієнт Пуассона	0,29	0,29	0,25
Границя міцності/плинності (МПа)	$7 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$
3-я розрахункова група			
Модуль пружності (МПа)	$1,6 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$
Коефіцієнт Пуассона	0,28	0,28	0,25
Границя міцності/плинності (МПа)	$6 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$
4-а розрахункова група			
Модуль пружності (МПа)	$1,4 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$
Коефіцієнт Пуассона	0,27	0,27	0,25
Границя міцності/плинності (МПа)	$5 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$
5-а розрахункова група			
Модуль пружності (МПа)	$1,2 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$
Коефіцієнт Пуассона	0,26	0,26	0,25
Границя міцності/плинності (МПа)	$4 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$
6-а розрахункова група			
Модуль пружності (МПа)	$1,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$
Коефіцієнт Пуассона	0,25	0,25	0,25
Границя міцності/плинності (МПа)	$1,5 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$

Побудовані скінченно-елементні моделі налічували близько 130 тис. елементів (20-ти вузловий кубічний елемент SOLID186). На рисунку 4 наведена скінченно-елементна модель.

За результатами проведених досліджень одними із потрібних компонент визначалися переміщення, які розглядалися на визначеному шляху, який зображено на рисунку 5.

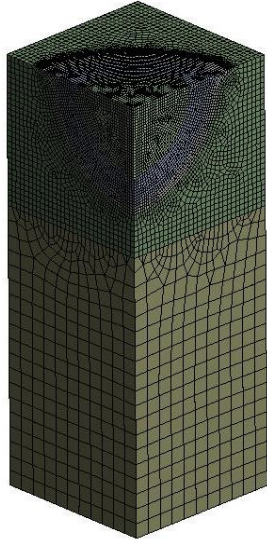


Рисунок 4 – Скінченно-елементна модель фрагмента, що досліджується (1/4)

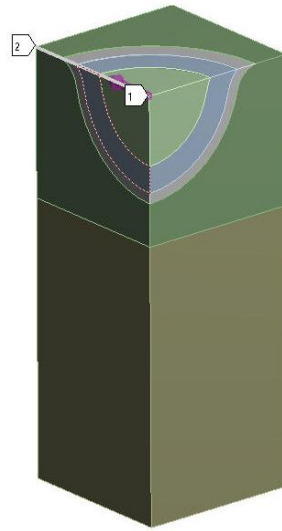


Рисунок 5 – Шлях для контролю компонент напружено-деформованого стану

Як навантаження прикладався тиск 100 МПа до верхньої поверхні, здійснювалось закріплення нижньої поверхні, а також на модель накладалися умови симетрії на всі бічні поверхні для усіх розрахункових схем (див. рисунок 6).

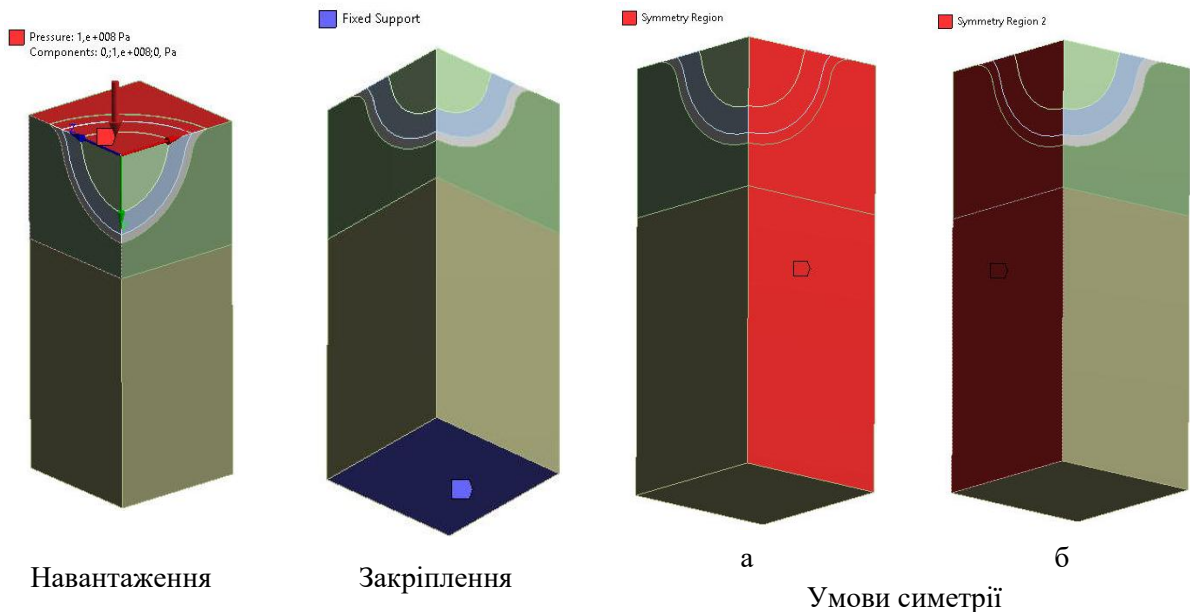


Рисунок 6 – Крайові умови

У результаті створюється напружено-деформований стан із періодичними граничними умовами, які моделюються умовами симетрії на всіх бокових поверхнях

(Symmetry region, див. рис. 6). Характеристикою технологічного процесу є коефіцієнт дискретності $\psi = S_1 / S_2$. Крім того, має значення відносний коефіцієнт, що характеризує відмінність модулів пружності матеріалів матриці 2 та зміцнюючого 1 $e = E_2 / E_1$.

Таким чином, можна оперувати із безрозмірними параметрами $\psi \in]0;1[$, $e \in]0;1[$. Їх варіювання дає можливість досліджувати залежність характеристик напружено-деформованого стану від цих величин, а, відповідно, розробляти відповідні рекомендації для техніко-технологічних рішень при дискретному зміцненні елементів машинобудівних конструкцій.

Дослідження напружено-деформованого стану дискретно зміцнених елементів машинобудівних конструкцій. При дослідженні напружено-деформованого стану дискретно зміцнених елементів машинобудівних конструкцій визначається напружено-деформований стан представницького фрагмента за параметрів $\psi = 0,5$, $e = 0,5$. Надалі, варіюючи параметри ψ та e , можуть бути установлені залежності $\bar{\sigma}_{(\psi,e)} = \sigma_{\max}(\psi,e) / \sigma_{\max}(0,5;0,5)$, $\bar{\delta}_{(\psi,e)} = \delta_{\max}(\psi,e) / \delta_{\max}(0,5;0,5)$. Тут σ_{\max} – максимальні еквівалентні за Мізесом напруження, δ_{\max} – максимальні переміщення точок навантаженої поверхні відносно кутових точок верхньої поверхні представницького фрагмента.

За результатами здійснених досліджень були визначені значення максимальних еквівалентних напружень, отримані поля розподілу еквівалентних напружень, повних переміщень, а також переміщень уздовж визначеного шляху (див. рисунок 5).

Нижче на рисунку 7 наведена діаграма з максимальними значеннями еквівалентних напружень для усіх розрахункових груп. На рисунках 8, 9 наведені графік переміщень за шляхом для визначення параметру «дельта» (на прикладі 1-ї розрахункової групи, 1-ї розрахункової схеми) та діаграма з цим параметром для усіх розрахункових груп, відповідно.

На рисунках 10 та 11 представлені поверхні, які описують зміну максимальних еквівалентних напружень та параметру «дельта» відповідно до варіювання габаритних параметрів та фізико-механічних властивостей матеріалів.

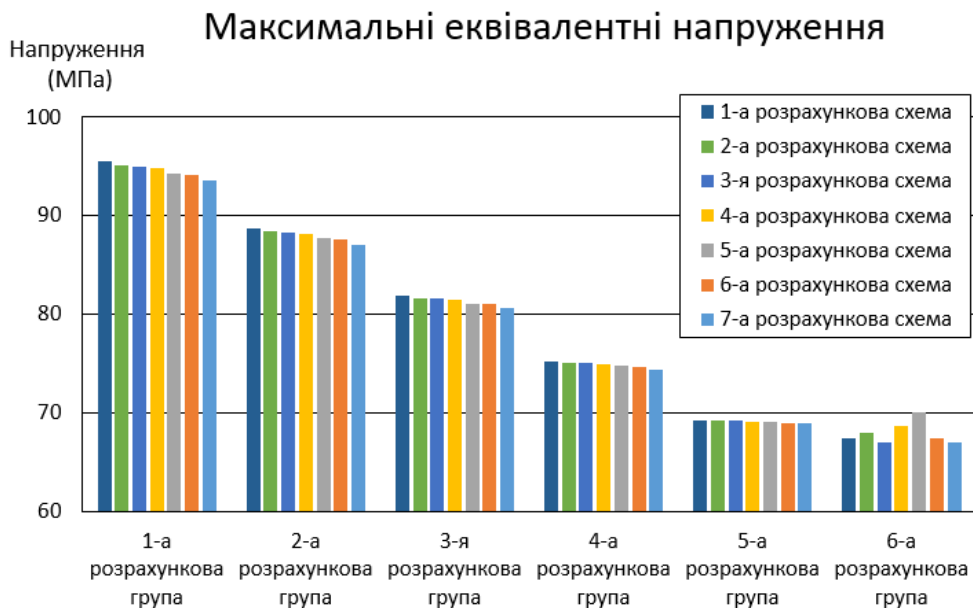


Рисунок 7 – Максимальні еквівалентні напруження у дослідженому фрагменті

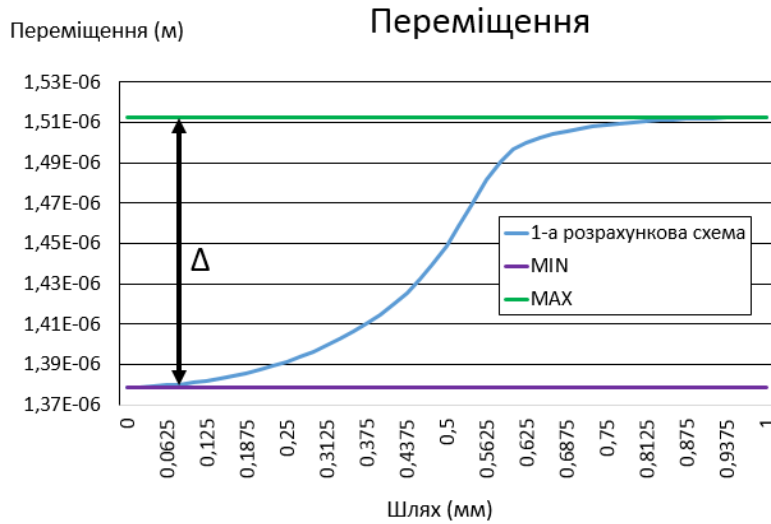


Рисунок 8 – Розподіл профілю деформованої поверхні уздовж шляху (див. рисунок 5)

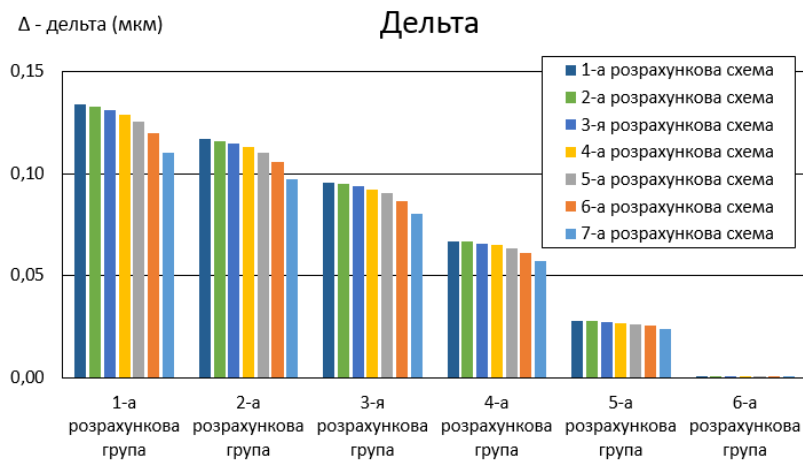


Рисунок 9 – Параметр «дельта» для усіх розрахункових груп

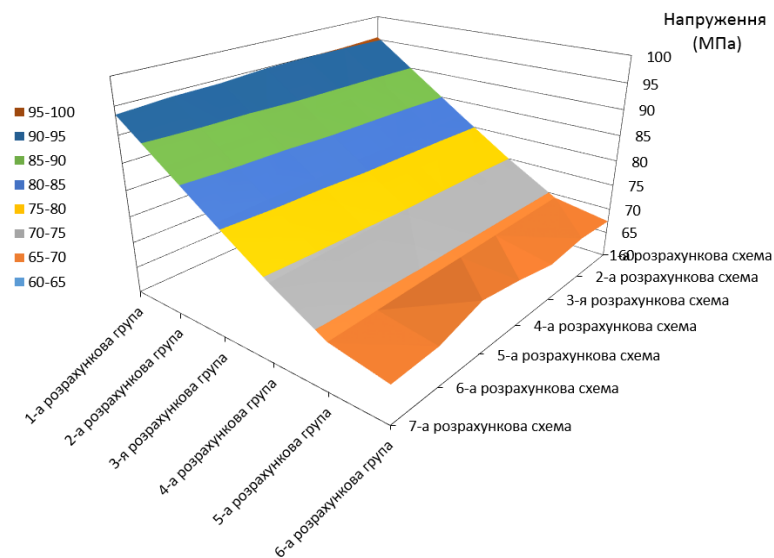


Рисунок 10 – Поверхня значень максимальних еквівалентних напружень для різних розрахункових груп та схем

Технологія машинобудування

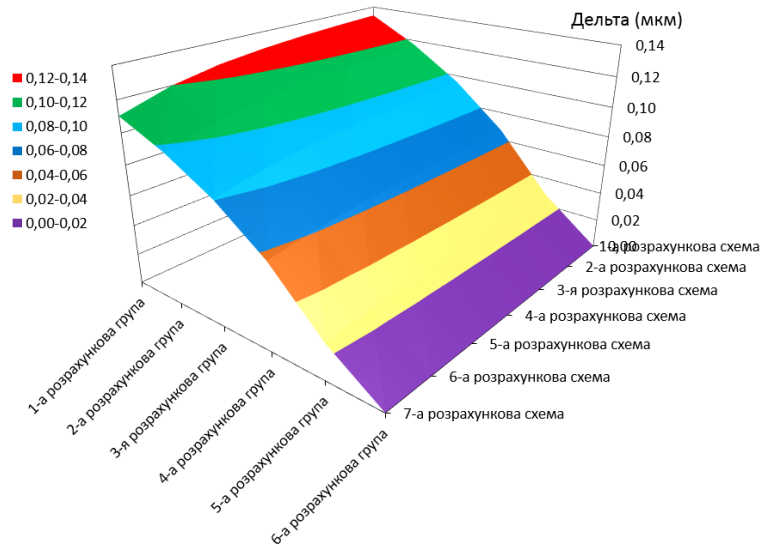
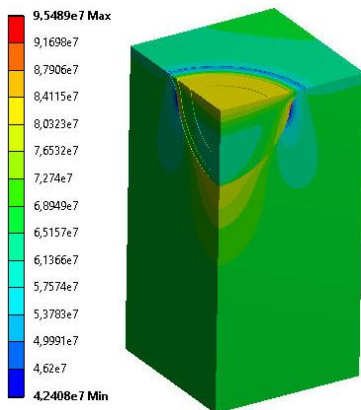
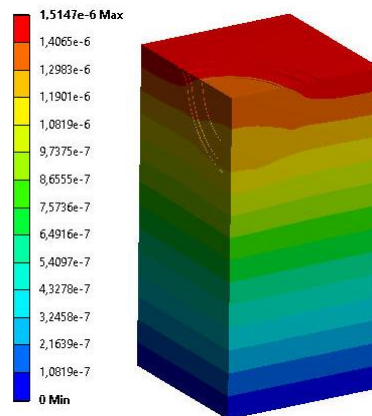


Рисунок 11 – Поверхня значень параметру «дельта» для різних розрахункових груп та схем

Нижче на рисунках 12-17 представлені поля розподілу еквівалентних напружень та переміщень, які є подібними для усіх розрахункових груп (ілюстрації для 1-ї розрахункової схеми, оскільки в рамках однієї розрахункової групи розподіл еквівалентних напружень і переміщень мають схожий характер).

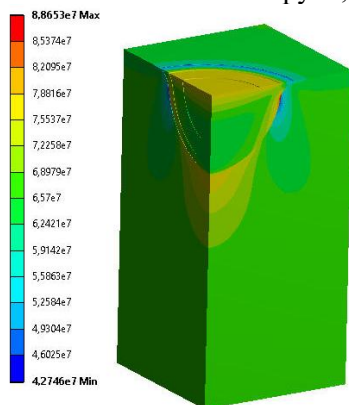


Максимальні еквівалентні напруження (Па)

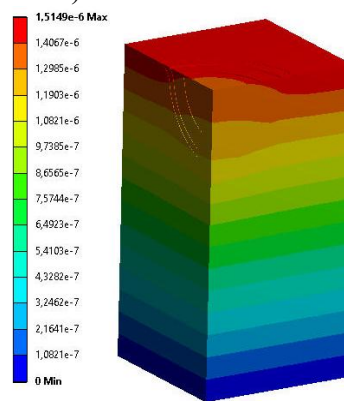


Переміщення (м)

Рисунок 12 – Поля розподілу еквівалентних напружень та переміщень (1-а розрахункова група, 1-а розрахункова схема)

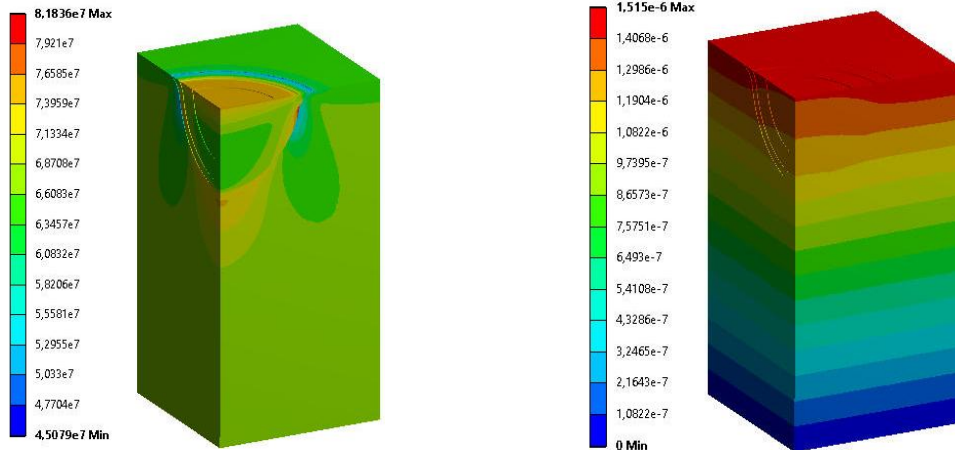


Максимальні еквівалентні напруження (Па)



Переміщення (м)

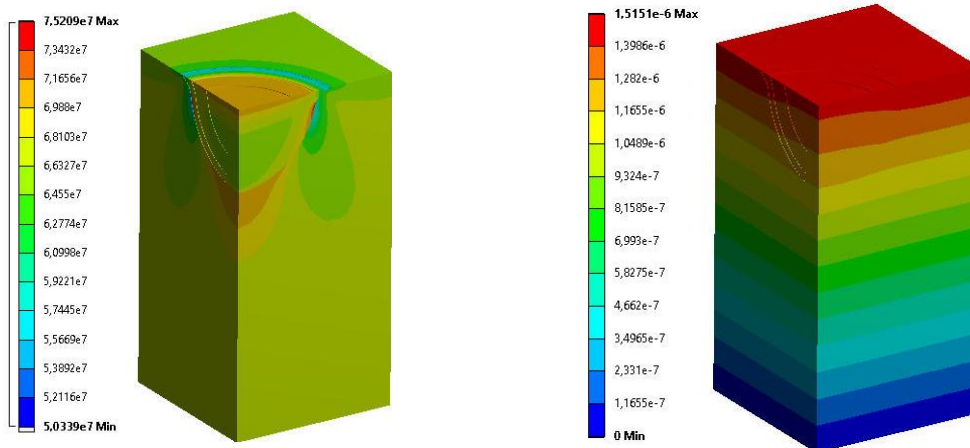
Рисунок 13 – Поля розподілу еквівалентних напружень та переміщень (2-а розрахункова група, 1-а розрахункова схема)



Максимальні еквівалентні напруження (Па)

Переміщення (м)

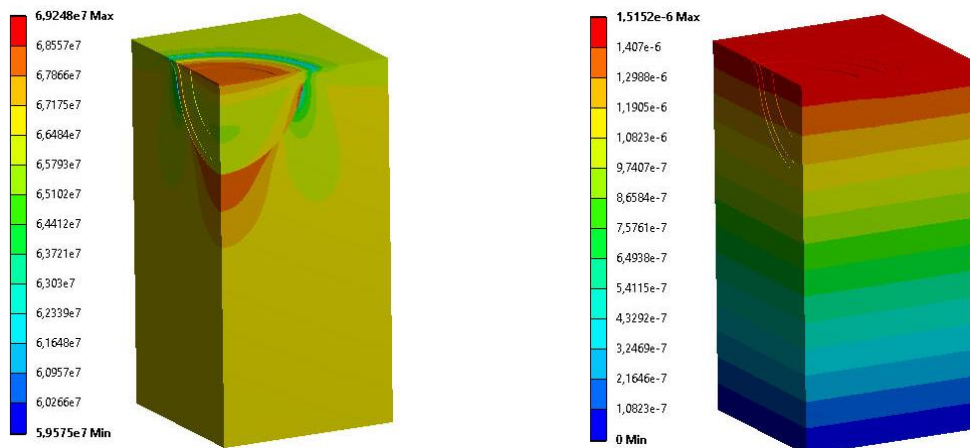
Рисунок 14 – Поля розподілу еквівалентних напружень та переміщень (3-я розрахункова група, 1-а розрахункова схема)



Максимальні еквівалентні напруження (Па)

Переміщення (м)

Рисунок 15 – Поля розподілу еквівалентних напружень та переміщень (4-а розрахункова група, 1-а розрахункова схема)



Максимальні еквівалентні напруження (Па)

Переміщення (м)

Рисунок 16 – Поля розподілу еквівалентних напружень та переміщень (5-а розрахункова група, 1-а розрахункова схема)

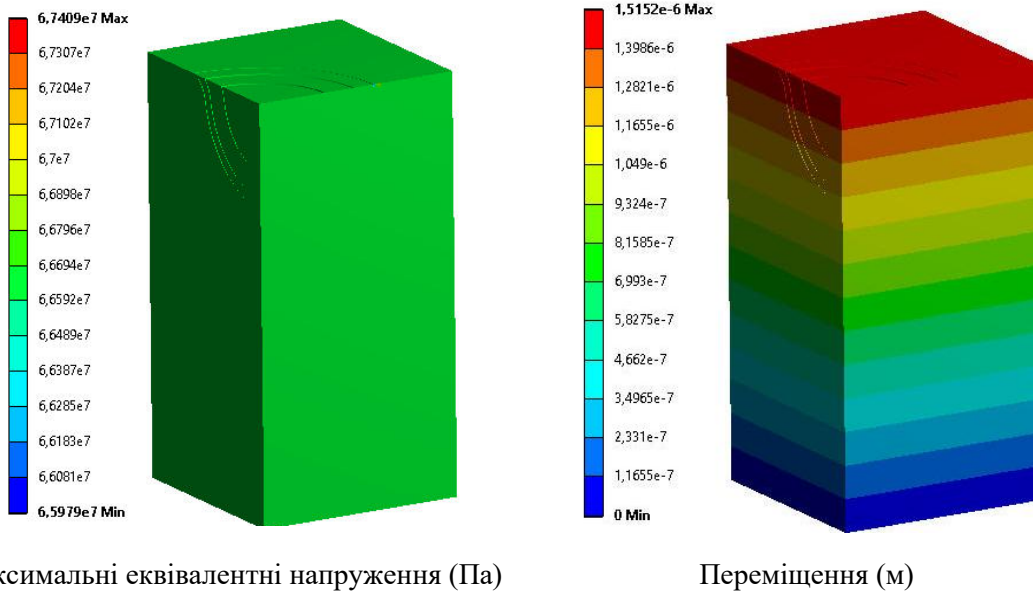


Рисунок 17 – Поля розподілу еквівалентних напружень та переміщень (6-а розрахункова група, 1-а розрахункова схема)

Аналіз та обговорення одержаних результатів. Як видно із розподілів компонент напружено-деформованого стану представницького фрагмента дискретно зміцненого елемента машинобудівної конструкції, спостерігається два ефекти. Слідуючи роботам [8, 9], вони названі δ – та σ – ефектами. Перший полягає у нерівномірному деформуванні навантаженої поверхні досліджуваного фрагмента, а другий – у перерозподілі напружень у ньому.

Кількісні залежності контрольованих характеристик від варійованих параметрів, як і очікувалося, мають унімодальний характер із вираженими проміжними максимумами від параметра ψ . Залежність же від параметра e має характер, близький до прямої пропорційності або параболічної залежності із вершиною у нульовій точці.

Одержані залежності та тренди кореспондуються із даними попередніх досліджень [8, 9]. Разом із цим установлені залежності в концентрованому вигляді містять узагальнену інформацію про інтегральні параметри, які характеризують міцність та деформівні характеристики дискретно зміцнених елементів деталей машинобудівних конструкцій.

Висновки.

1. Стосовно технології дискретного зміцнення здійснено дослідження напружено-деформованого стану представницького фрагмента композиції із основного та зміцнювального матеріалів, результати яких підтвердили ефективність цієї технології.

2. У роботі описані побудовані розрахункові моделі представницького фрагмента дискретно зміцненого елемента машинобудівної конструкції. Ці моделі володіють властивостями параметричності, що дає можливість варіювати форму та розміри зон дискретного зміцнення

3. Підтверджена реалізація у досліджених фрагментах δ – та σ – ефектів. Вони характеризують нерівномірність рівня напруженого та деформованого стану у досліджуваних фрагментах.

4. Виявлено наявність зон максимумів контрольованих характеристик нерівномірності рівня напруженого та деформованого стану досліджених представницьких фрагментів дискретно зміцнених елементів машинобудівних конструкцій від коефіцієнта дискретності. Це дає змогу ставити задачі оптимізації параметрів технологічного процесу дискретного зміцнення за критеріями міцності.

Виявлені закономірності будуть використані та розвинені у подальших дослідженнях стосовно обґрунтування прогресивних техніко-технологічних рішень задля підвищення міцності та довговічності виробів, зниження тертя та зношування, а також зростання технічних характеристик проєктованих машинобудівних конструкцій при застосуванні методу дискретного зміцнення їх поверхонь.

Литература: 1. Tkachuk M. A Numerical Method for Axisymmetric Adhesive Contact Based on Kalker's Variational Principle / M. Tkachuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – No 3/7(93). – P. 34-41 (Scopus). 2. Tkachuk M.M. Numerical Methods for Contact Analysis of Complex-Shaped Bodies with Account for Non-Linear Interface Layers / M.M. Tkachuk, N. Skripchenko, M.A. Tkachuk, A. Grabovskiy // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – No 5/7(95). – P. 22-31 (Scopus). 3. Tkachuk M. Discrete-Continual Strengthening Of Contacting Structural Elements: Mathematical And Numerical Modeling / A. Marchenko, S. Kravchenko, M. Tkachuk, M. Tkachuk, M. Saverska // *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Proceedings of the Institute of Vehicles*. – 2018. – No 1(115). – P. 143-153. 4. Ткачук Н.Н. Моделирование контактного взаимодействия плоского штампа с полупространством / Н.Н. Ткачук, Н.А. Ткачук // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – Москва, ООО «Тусо Принт». – 2012. – № 10. – С. 11-17. 5. Andriy Marchenko, Mykola Tkachuk, Serhiy Kravchenko, Oleg Veretelnik. Technological methods of strengthening elements of engines and aggregates for special equipment // *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Proceedings of the Institute of Vehicles*. No. 1(115)/2018. Pp. 73-80. 6. Andriy Marchenko, Serhiy Kravchenko, Mykola Tkachuk, Mykola Tkachuk, Mariia Saverska. Discrete-Continual Strengthening Of Contacting Structural Elements: Mathematical And Numerical Modeling // *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Proceedings of the Institute of Vehicles*. No. 1(115)/2018. Pp. 143-153. 7. Ткачук Н. А., Кравченко С. А., Пылев В. А., Парсаданов И. В., Грабовский А. В., Веретельник О. В. Дискретно-континуальное упрочнение контактирующих элементов конструкций: концепция, математическое и численное моделирование // *Наука и техника (Беларусь)*. 2019, т. 18, № 3. С. 240-247. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-240-247> 8. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: монография / Н.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Э.К. Посвятенко, С.А. Кравченко, В.Г. Гончаров, В.В. Шпаковский, Н.Л. Белов, А.И. Шейко, А.К. Олейник, И. В. Пономаренко. – Х. : «Планета-Принт», 2018. – 259 с. Підп. до друку 26.01.2018 р. Ум.др.арк. 23,33. ISBN 978-617-7587-34-6. 9. Кравченко С. О. Забезпечення ресурсу ДВЗ шляхом застосування дискретно-континуального зміцнення робочих поверхонь: дис. д-ра техн. наук: спец. 05.05.03: галузь знань 14 / Сергій Олександрович Кравченко ; наук. консультант Марченко А. П.; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків, 2018. – 315 с. – Бібліогр.: с. 229-258. – укр.

Bibliography (transliterated): 1. Tkachuk M. A Numerical Method for Axisymmetric Adhesive Contact Based on Kalkers Variational Principle / M. Tkachuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – No 3/7(93). – P. 34-41 (Scopus). 2. Tkachuk M.M. Numerical Methods for Contact Analysis of Complex-Shaped Bodies with Account for Non-Linear Interface Layers / M.M. Tkachuk, N. Skripchenko, M.A. Tkachuk, A. Grabovskiy // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – No 5/7(95). – P. 22-31 (Scopus). 3. Tkachuk M. Discrete-Continual Strengthening

ing Of Contacting Structural Elements: Mathematical And Numerical Modeling / A. Marchenko, S. Kravchenko, M. Tkachuk, M. Tkachuk, M. Saverska // Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Proceedings of the Institute of Vehicles. – 2018. – No 1(115). – P. 143-153. 4. Tkachuk N.N. Modelyrovanye kontaktynoho vzaymodeistviya ploskoho shtampa s poluprostranstvom / N.N. Tkachuk, N.A. Tkachuk // Kuznechno-shtampovochnoe proyzvod-stvo. Obrabotka materyalov davlenyem. – Moskva, ООО «Тысо Принт». – 2012. – № 10. – S. 11-17. 5. Andriy Marchenko, Mykola Tkachuk, Serhiy Kravchenko, Oleg Veretelnyk. Techno-logical methods of strengthening elements of engines and aggregates for special equipment // Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Proceedings of the Institute of Vehicles. No. 1(115)/2018. Pp. 73-80. 6. Andriy Marchenko, Serhiy Kravchenko, Mykola Tkachuk, Mykola Tkachuk, Mariia Saverska. Discrete-Continual Strengthening Of Contacting Structural Elements: Mathematical And Numerical Modeling // Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Proceedings of the Institute of Vehicles. No. 1(115)/2018. Pp. 143-153. 7. Tkachuk N. A., Kravchenko S. A., Pylev V. A., Parsadanov Y. V., Hrabovskyi A. V., Veretelnyk O. V. Dyskretno-kontynualnoe uprochnenye kontaktyruuiushchykh elementov konstruktsyi: kontseptsyia, matematycheskoe y chyslennoe modelyrovanye // Nauka y tekhnika (Belarus). 2019, t. 18, № 3. S. 240-247. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-240-247> 8. Kontynualnaia y dyskretno-kontynualnaia modyfykatsyia poverkhnosti de-talei: monohrafiya / N.A. Tkachuk, S.S. Diachenko, Э.К. Posviatenko, S.A. Kravchenko, V.H. Honcharov, V.V. Shpakovskiy, N.L. Belov, A.Y. Sheiko, A.K. Oleinyk, Y. V. Ponomarenko. – Kh. : «Planeta-Print », 2018. – 259 s. Pidp. do druku 26.01.2018 r. Um.dr.ark. 23,33. ISBN 978-617-7587-34-6. 9. Kravchenko S. O. Zabezpechennia resursu DVZ shliakhom zastosuvannia dyskretno-kontynualnoho zmitsnennia robochykh poverkhon: dys. d-ra tekhn. nauk: spets. 05.05.03: ha-luz znan 14 / Serhii Oleksandrovych Kravchenko ; nauk. konsultant Marchenko A. P.; Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekhn. in-t". – Kharkiv, 2018. – 315 s. – Bibliohr.: s. 229-258. – ukr.

Марченко А. П., Ткачук М. А., Кравченко С. О., Ткачук М., М., Грабовський А. В., Веретельник О.В.

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДИСКРЕТНО ЗМІЦНЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

З метою підвищення міцності та довговічності деталей машинобудівних конструкцій застосовуються різноманітні методи і способи. Одним із найбільш ефективних методів обробки є дискретне зміцнення поверхневих шарів деталей машин. Він полягає у нанесенні на поверхню елемента конструкції методом електроіскрового індентування архіпелагу зон, які містять матеріали із високими трибомеханічними властивостями. Такі зони сприймають більше навантаження порівняно із номінальним. За рахунок більш високих властивостей матеріалу цих зон забезпечується міцність, знижується температура і зношуваність, а також підвищується довговічність контактуючих елементів машин. Для дослідження напружено-деформованого стану дискретно зміцнених деталей здійснені чисельні дослідження на основі методу скінченних елементів. Визначені основні закономірності розподілу напружень і пружних переміщень у зонах дискретного зміцнення та у прилеглих областях. На цій основі обґрунтовуються рекомендації стосовно підвищення технічних характеристик виробів із дискретно зміцненими елементами.

Ключові слова: Напружено-деформований стан, дискретне зміцнення, трибомеханічні властивості, міцність, чисельні дослідження, метод скінченних елементів, еквівалентні напруження, переміщення.

Марченко А. П., Ткачук Н. А., Кравченко С. А., Ткачук Н., Н., Грабовский А. В.,
Веретельник О.В.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДИСКРЕТНО УПРочЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С целью повышения прочности и долговечности деталей машиностроительных конструкций применяются различные методы и способы. Одним из самых эффективных методов обработки является дискретное упрочнение поверхностных слоев деталей машин. Он состоит в нанесении на поверхность элемента конструкции методом электроискрового индентирования архипелага зон, содержащих материалы с высокими трибомеханическими свойствами. Такие зоны воспринимают большую нагрузку по сравнению с номинальной. За счет более высоких свойств материала этих зон обеспечивается прочность, снижается трение и износ, а также повышается долговечность контактирующих элементов машин. Для исследования напряженно-деформированного состояния дискретно упрочненных деталей осуществлены многочисленные исследования на основе метода конечных элементов. Определены основные закономерности распределения напряжений и упругих перемещений в зонах дискретного укрепления и в прилегающих областях. На этой основе обосновываются рекомендации по повышению технических характеристик изделий с дискретно упрочненными элементами.

Ключевые слова: Напряженно-деформированное состояние, дискретное упрочнение, трибомеханические свойства, прочность, численные исследования, метод конечных элементов, эквивалентные напряжения, перемещения.

A. Marchenko, M. Tkachuk, S. Kravchenko, M. Tkachuk, A. Grabovskiy, O. Veretelnyk

ANALYSIS OF A STRESSED-STRAIN STATE OF DISCRETE STRENGTHENING PARTS OF MACHINE-BUILDING CONSTRUCTIONS

In order to increase the durability and durability of parts of engineering structures, various methods and methods are used. One of the most effective methods of processing is the discrete strengthening of the surface layers of machine parts. It consists in applying to the surface of an element of a construction by the method of electrosciling indentation of the archipelago of zones containing materials with high tribomechanical powers. Such zones perceive more load compared to the nominal. Due to the higher properties of the material of these zones, strength is provided, friction and wear are reduced, and the durability of contact elements of machines increases. Numerous studies based on the finite element method have been carried out to investigate the stress-strain state of discretely strengthened parts. The basic regularities of the distribution of stresses and elastic displacements in the zones of discrete reinforcement and in adjacent areas are determined. On this basis, the recommendations for increasing the technical characteristics of products with discretely-strengthened elements are substantiated.

Keywords: Stress-strain state, discrete hardening, tribomechanical properties, strength, numerical studies, finite element method, equivalent stresses, displacements.