

**Сорокатиї Р.В.,****Диха М.О.,****Диха К.О.**

Хмельницький національний університет

**МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНЬ  
І ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ ДИСКРЕТНОМУ  
ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОМУ ЗМИЩЕННІ**

Електромеханічне обробка (ЕМО) засновано на поєднанні термічного й силового впливу на поверхневий шар оброблюваної деталі. Сутність цього способу [1] полягає в тому, що в процесі обробки через місце контакту інструмента з виробом проходить струм великої сили й низької напруги, внаслідок чого виступаючі гребінці поверхні піддаються сильному нагріванню, під тиском інструмента деформуються й згладжуються, а поверхневий шар металу зміцнюється. Обкатування при ЕМО здійснюють, як правило, роликками, що чинять тиск на поверхню оброблюваної деталі. При певному робочому зусиллі в зоні контакту деформуючих елементів і деталі інтенсивність напружень перевищує межу текучості, внаслідок чого відбувається пластична деформація мікронерівностей, змінюються фізико-механічні властивості і структура поверхневого шару (наприклад, збільшується мікротвердість або виникають залишкові напруження в поверхневому шарі). Об'ємна деформація деталі зазвичай незначна.

Вибір технологічних параметрів ЕМО пов'язаний з необхідністю оцінки глибини зміцненого шару. Зміцнений шар це шар, що характеризується утворенням так званої світлої зони. Фактично, світла зона образується в об'ємах матеріала, температура нагрєва в котрих перевищує температуру фазового превращення. Високотемпературним об'ємом умовно можна назвати такої об'єм, температура в котром вище 600 °С.[Аск].

Фактично, світла зона утворюється в об'ємах матеріалу, температура нагрєву в яких перевищує температуру фазового перетворення. Високотемпературним об'ємом умовно можна назвати такий об'єм, температура в якому вище 600 °С [1].

Експериментальні дослідження показують [1], що ширина і висота зверхвисокотемпературног об'єму при досить жорстких зміцнюючих режимах близькі за значенням відповідно до ширини і висоти контакту інструменту з деталлю. Таким чином, визначення поверхні контакту інструменту і оброблюємої деталі є одним з перших кроків, необхідних для правильного вибору технологічних параметрів.

Крім того, знання геометричних параметрів контактної поверхні потрібне для визначення інших характеристик технологічного процесу, зокрема густини струму, що забезпечує необхідну температуру на поверхні зони контакту.

Для визначення глибини зміцненого шару пропонується ряд напівемпіричних залежностей, які не враховують механічні і геометричні параметри інструменту і деталі.

Для вирішення поставлених завдань пропонується використати комп'ютерне моделювання, зокрема метод скінчених елементів.

У зв'язку з цим визначення технологічних параметрів ЕМО, які забезпечать необхідну глибину зміцненого шару, пропонується проводити в 2 етапи:

- перший етап полягає у визначенні площадки контакту при взаємодії інструменту і оброблюваної деталі з урахуванням реальних гео-метрических розмірів і механічних характеристик, шляхом рішення контактної задачі методом скінчених елементів;

- другий це рішення теплової задачі, з урахуванням знайденої з рішення контактної задачі площадки контакту, з якого визначається об'єм, усередині якого температура перевищує 600 °С і таким чином забезпечуються умови для утворення білого шару.

При зміщенні з малими швидкостями і тисками можна нехтувати теплотою, що виділяється при терті. Таке допущення можна вважати виправданим не лише зважаючи на малість коефіцієнта тертя кочення, але також і тому, що при малих швидкостях обробки тепловиділення від тертя мале [1].

Такий підхід дозволить визначити не лише розміри площадки контакту, і відповідно глибину зміцненого шару, але і дозволять оцінити напружено-деформований стан від механічного навантаження і окремо напружено-деформований стан, що виникає в результаті температурного впливу.

У роботі [1] авторами зверталася увага на те, що особливості термомеханічних процесів при ЕМО, а також загасання термічних і силових дій по глибині істотно відбиваються на фізико-механічних і експлуатаційних властивостях поверхневого шару, а глибина зміщення пов'язана із зоною поширення деформацій.

Для вирішення контактної задачі про взаємодію інструменту і деталі і визначення площадки контакту використовувався пакет скінчено-елементного аналізу Ansys. Розрахункова модель представлена на рис. 1. Для скорочення об'єму обчислювальної роботи накатний ролик виконаний у вигляді сегменту, до якого прикладено навантаження А. Сегмент може переміщуватись тільки у напрямі осі Х, для цього по поверхні В накладені обмеження на переміщення. На торці деталі накладені обмеження на переміщення на всіх напрямках.

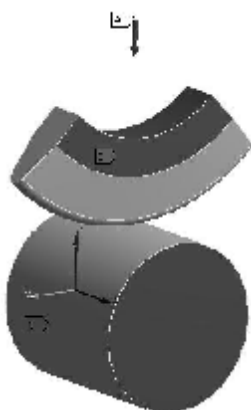


Рис. 1 – Розрахункова модель



Рис. 2 – Кінцево-різнісна модель

Розрахункова модель представлена у вигляді звичайно-елементної моделі (рис.2), що складається з 380000 елементів. У місцях передбачуваної контактної взаємодії щільність сітки істотно збільшена для отримання точніших результатів.

В результаті рішення контактної задачі про взаємодію інструменту і деталі отримані форма і розміри площадки контакту (рис. 3). Окрім цього рішення контактної задачі дозволило оцінити при цьому напружено-деформований стан.

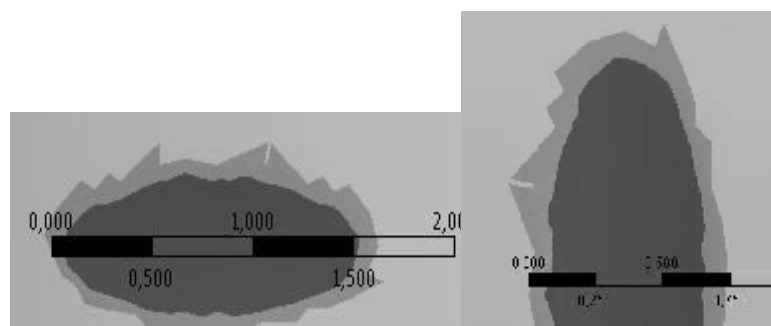
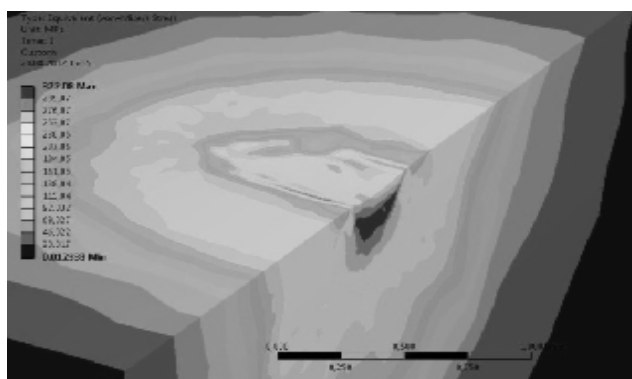


Рис. 3 – Розрахункова площадка контакту при навантаженні на ролик 500 Н

Аналіз напружено-деформованого стану показує, що максимальне еквівалентне напруження виникає не на поверхні, а на деякій відстані від поверхні і досягають значень 325 МПа (рис. 4).

Рис. 4 – Еквівалентні напруження по Мізесу ( $P = 500$  Н)

Слід зазначити, що максимальне дотичне напруження має подібну форму розподілу і досягає максимуму в 185 МПа на деякій відстані від поверхні.

Контактна взаємодія інструменту і деталі викликає на поверхні істотні стискуючі нормальні навантаження (890 МПа) у напрямі лінії прикладання навантаження.

Аналіз деформационних процесів показує, що максимальні деформації, як упружні, так і пластичні виникають на некоторій відстані від поверхні. Причому пластичні деформації значно перевищують упружні. Так відносні пластичні деформації досягають значень 5,3 %. Сумарні деформації досягають значень 5,6 % (рис. 5).

Аналіз деформацийних процесів показує, що максимальні деформації, як пружні, так і пластичні виникають на деякій відстані від поверхні. Причому пластичні деформації значно перевищують пружні. Так відносні пластичні деформації досягають значень 5,3 %. Сумарні деформації досягають значень 5,6 % (рис. 5).

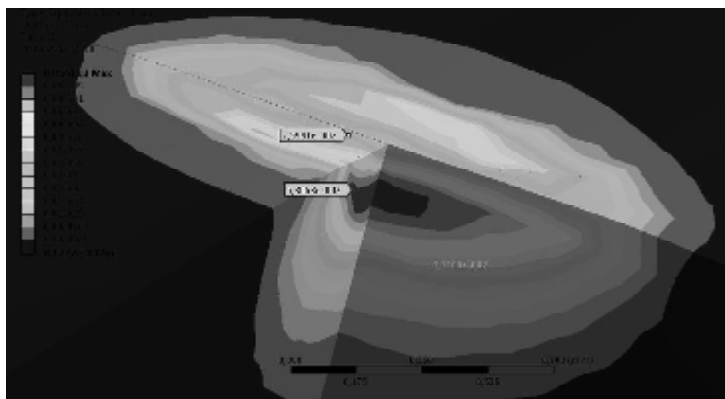


Рис. 5 – Эквивалентные относительные суммарные деформации ( $P = 500 \text{ Н}$ )

Особливості термомеханічних процесів при ЕМО, а також термічні і силові дії по глибини істотно відбиваються на фізико-механічних і експлуатаційних властивостях поверхневого шару.

Визначення площадки контакту з рішення задачі про взаємодію інструменту і деталі дозволило визначити геометричні параметри об'єму, в якому виникають умови для формування білого шару.

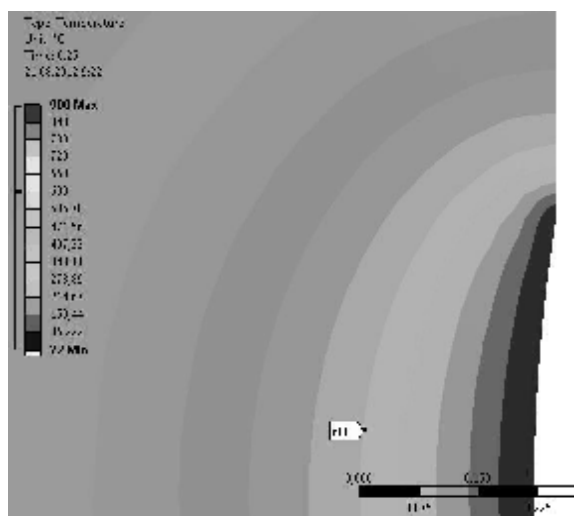


Рис. 6 – Розподіл температурних полів по глибині деталі

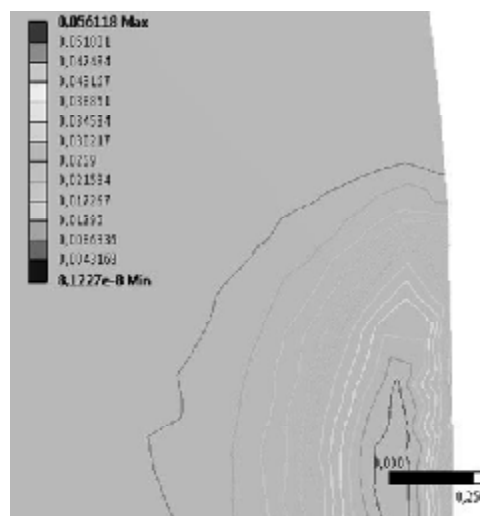


Рис. 7 – Розподіл відносних сумарних деформацій по глибині деталі

Аналіз ізотерм по глибині деталі (рис. 6) показує, що для даних фізичних і геометричних параметрів деталі і інструменту, мінімальна температура, при якій можливе формування білої зони, розташована від поверхні на відстані 0,225 мм, що добре узгоджується з даними [1] до 0,3 мм для тіл обертання.

Слід зазначити, що максимальні напруження і деформації (рис. 7) знаходяться приблизно на такій же відстані від поверхні, що сприяє формуванню зміцненої білої зони.

Відносні деформації від температурної дії досягають значень 1 %, при відносних сумарних деформаціях 0,7 % (рис. 8). При цьому еквівалентні напруження по Мізесу від температурної дії досягають досить високих значень 950 МПа (рис. 9) і максимальні дотичні напруження досягають значень 500 МПа.

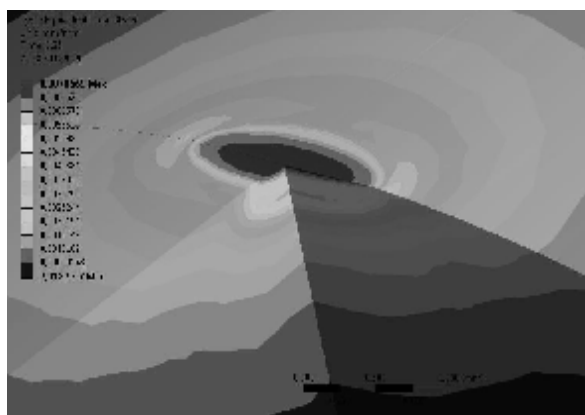


Рис. 8 – Відносні сумарні деформації

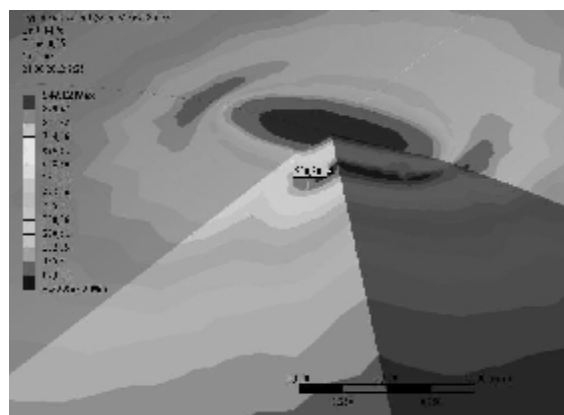


Рис. 9 – Еквівалентні напруження від термічної дії

Слід зазначити, що максимальні еквівалентні напруження і максимальні дотичні напруження від температурної дії досягають максимумів в двох місцях на самій поверхні і на деякій глибині від поверхні.

Для інших значень навантажень, що діють в процесі обробки зі сторони ролика на деталь результати розрахунку напружень і деформацій наведені нижче в таблиці.

Таблиця

**Результати визначення напружень і деформацій  
при контакті інструмента і деталі в процесі ЕМО**

Навантаження, Н	Площадка контакту, мм		Максимальні еквівалентні напруження, МПа	Еквівалентні напруження від температури, МПа	Еквівалентні сумарні відносні деформації, %	Глибина зміцненого шару, мм
	<i>a</i>	<i>b</i>				
100	0,90	0,35	245	930	2,5	0,130
300	1,275	0,525	290	940	4,5	0,175
400	1,5	0,61	305	940	5,0	0,200
500	1,65	0,75	325	950	5,6	0,225

**Висновки**

1. Аналіз напружено-деформованого стану показує, що максимальні еквівалентні напруження виникають не на поверхні, а на деякій відстані від поверхні і досягають значень 325 МПа.

2. Максимальні деформації, як пружні, так і пластичні виникають на деякій відстані від поверхні, причому пластичні деформації значно перевищують пружні.

3. Максимальні еквівалентні напруження і максимальні дотичні напруження від температурної дії досягають максимумів в двох місцях на самій поверхні і на деякій глибині від поверхні.

**Література**

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. - М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.

Надійшла 15.08.2012