

- в низькочастотному режимі феромагнітна деталь корпусу автомобіля відчуває виключно притягання зі сторони магнітного поля інструмента, відштовхування не відчуває;

- інтегральна дієвість фундаментальної сили прагне до нуля, для немагнітної тонкостінної деталі кузова автомобіля відсутні як відштовхування, так і притягання;

- концентрація поля в центрі системи призводить до зосередження діючих сил в центральній області оброблюваної частини кузова автомобіля, про що свідчить геометрична форма вм'ятини, отриманої методом магнітно-імпульсного рихтування.

#### *Література:*

1. Батыгин Ю. В. Анализ электродинамических усилий в индукционной индукторной системе с массивным ферромагнитным экраном и ферромагнитной листовой заготовкой / Ю.В. Батыгин, А.В. Гнатов, С.А. Щиголева, М.В. Барбашова // *Електротехніка і електромеханіка* – 2011. - №5. – С. 61 – 65.
2. Щиголева С. А. Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических результатов исследований для возбуждаемых полей и токов в индукторной системе с коническим отверстием / С. А. Щиголева // *«Вестник ХНАДУ»* 2012. - №56. – С. 61 – 65.
3. Батыгин Ю. В. Индукционная индукторная система с одновитковым соленоидом в полости массивного экрана и листовой заготовкой / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Драченко // *Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии. Сборник трудов Международной научно-технической конференции.* – Тольятти, 12 – 15 мая 2009г. В 3-х ч.– Тольятти: ТГУ, 2009. –Ч.1 – С.26 – 29.
4. Щиголева С. А. Анализ теоретических и экспериментальных результатов исследований электродинамических характеристик поля в индукторной системе с коническим отверстием / С. А. Щиголева, М. В. Барбашова // *XV-я международная научно-техническая конференция «Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы»* – Севастополь: 10 – 17 сентября 2012 г. – 30 с.

**УДК 612.431.75**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГЛАДЖУВАННЯ ІЗ УЛЬТРАЗВУКОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ІНСТРУМЕНТУ**

Сівак О.М., студент гр. ЗМ2/1маг

Миколаївський національний аграрний університет  
Науковий керівник к.т.н., доц. Марченко Д.Д.

#### ***Анотація***

Розроблено математичну модель процесу вигладжування, яка описує механіку переміщення частинок поверхневого шару деталі в осередку деформації при наявності пластичного проміжного шару між деталлю та індентором, і яка дозволила зв'язати параметри процесу деформування (НДС, енергосилові параметри) поверхневого шару деталі зі швидкістю обробки, коефіцієнтом тертя на контактній поверхні «інструмент-деталь» та механічними властивостями пластичного проміжного шару.

### Annotation

The mathematical smoothing process model that describes the mechanics of moving particles in the surface layer of deformation in the presence of the plastic interlayer between the workpiece and the indenter and is allowed to bind parameters of deformation (VAT, energy-power parameters) from the surface layer of processing speed, friction on the contact surface "tool-details" and mechanical properties of the plastic interlayer.

При проведенні теоретичних досліджень використовувалися загальні рівняння теорії пластичної течії в механіці суцільних середовищ, які на основі заданої кінематичної моделі у вигляді швидкостей переміщення матеріальних частинок металу деталі в осередку деформацій дозволяють визначити НДС та енергосилові параметри процесу деформування поверхневого шару деталі при вигладжуванні.

Інтенсивність залишкових напружень отримана на основі мінімізації пружної потенційної енергії поверхневого шару деталі. Рішення виконано в узагальнених координатах з використанням теореми Лагранжа-Діріхле про стійкість врівноваженої системи матеріальних точок чисельними методами.

Оцінка достовірності математичних моделей була підтверджена порівнянням результатів з чисельним розрахунком і натурним експериментом. Чисельне моделювання проведено з використанням CAD/CAE системи Abaqus. Забезпечення точності досягається за рахунок динамічної постановки задачі з використанням кривої істинних напружень деформування металу, яка задана таблично. В експериментальних дослідженнях визначення параметрів якості проводилось з використанням стандартних методик на сертифікованому обладнанні. Мікромеханічні характеристики поверхневого шару деталі визначалися за методом Берковича (ISO 14577:2002) на приладі «Мікрон-гамма», а також за методом Віккерса на мікротвердомірі ПМТ-3. Замір шорсткості поверхні проводився на комп'ютеризованій установці, основою якої є профілометр цеховий моделі 296 заводу «Калібр». Мікрорельєф поверхні, хімічний склад поверхні і поверхневого шару, мікроструктура поверхневого шару досліджувалися за допомогою електронного мікроскопа PEM-105I і універсального мікроскопа MEIJI Techno серії RZ. Межа витривалості матеріалу визначена відповідно ГОСТу 25.502-79 на установці типу Лера-Шенка на базі  $10^7$  циклів. Для оцінки точності результатів експериментальних досліджень використовувалися методи математичної статистики.

У розрахунку процесу вигладжування з додатковим УЗ навантаженням прийняті наступні припущення: деталь розглядалася як нескінченна напівплощина, механічні властивості матеріалу задавалися кривою зміцнення, отриманої під час статичних випробувань; сферичний індентор вважався абсолютно твердим; вирішувалася динамічна задача, деталі задавалася швидкість обробки, індентору глибина вдавлювання і частота коливань. Контактна взаємодія враховувалася коефіцієнтом тертя  $f_{mp}$ .

Чисельне моделювання проведено в декартовій системі координат. Для коректності розрахунку, в поверхневому шарі товщиною 1 мм збільшувалася щільність сітки скінченних елементів. Час, що моделюється  $t=0,006$  с, радіус індентора  $r=3$  мм, швидкість обробки деталі  $V=250$  мм/с, частота коливань  $f=21$  кГц, амплітуда коливань відносно поверхні: поперечних  $U_y=8$  мкм, поздовжніх  $U_x=8$  мкм (параметри моделювання взяті із експериментального дослідження).

Моделювалися три схеми процесу вигладжування (рис. 1).

Для перевірки коректності побудови моделі та достовірності отриманих результатів вирішувалась задача вдавлювання сферичного індентора в напівплощину з матеріалу ВТ23. При порівнянні результатів моделювання з експериментальними похибка визначення зусилля вдавлювання індентора в межах 12-18%.

Чисельне моделювання процесу проводилося для різних коефіцієнтів тертя 0; 0,05; 0,08; 0,1; 0,15.

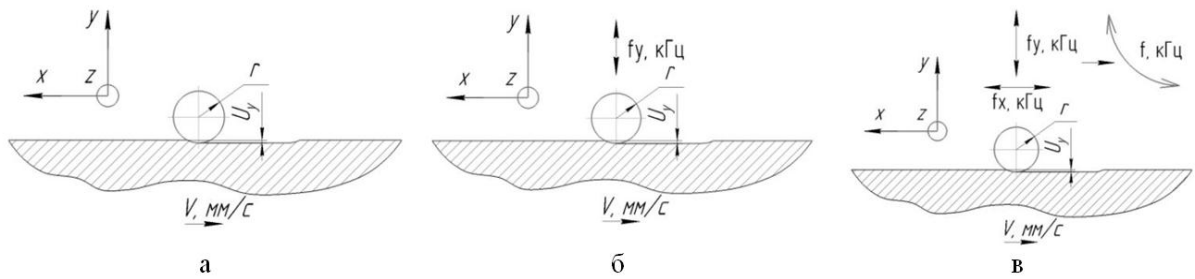


Рис. 1. Розрахункові схеми процесів:

а - вигладжування без УЗ коливань індентора; б - вигладжування з УЗ поперечними коливаннями індентора; в - вигладжування з УЗ поздовжньо-поперечними коливаннями індентора

Встановлено, що при мінімальних коефіцієнтах тертя до 0,08 в поверхневому шарі формуються залишкові напруження стиску з максимумом до 70-80 МПа на глибині 0,10-0,12 мм. Загасання залишкових напружень відбувається на глибині до 0,5...0,7 мм, при цьому напруження стиску переходять на врівноважуючі напруження розтягу на глибині 0,20...0,23 мм. Зі збільшенням коефіцієнта тертя від 0,08 до 0,3 відбувається зменшення максимальних значень залишкових напружень стиску на 25-28% (рис. 2, 3).

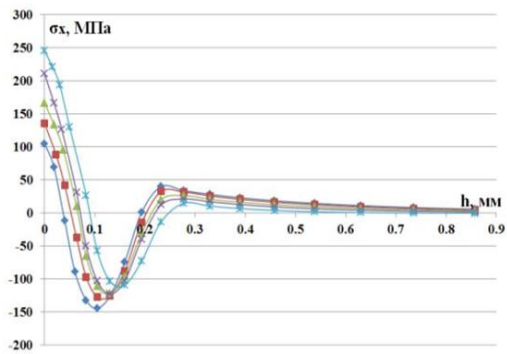


Рис. 2. Розподіл залишкових напружень  $\sigma_x$  при вигладжуванні без УЗК при різних коефіцієнтах тертя

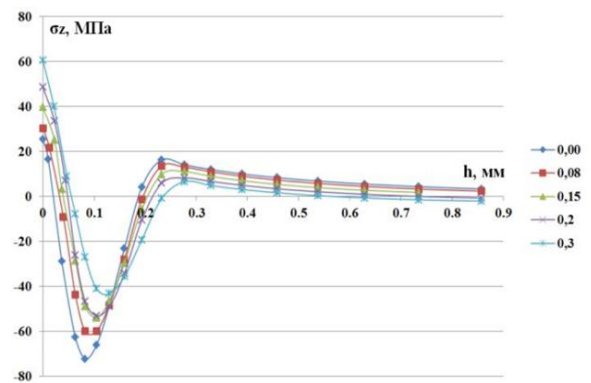


Рис. 3. Розподіл залишкових напружень  $\sigma_z$  при вигладжуванні без УЗК при різних коефіцієнтах тертя

В приповерхневому шарі глибиною до 5-15 мкм виникають залишкові напруження розтягу. Величина їх збільшується із збільшенням коефіцієнта тертя, як показує теоретичний аналіз – за рахунок збільшення деформацій зсуву  $e_{xy}$  в площині  $XOY$  (площині руху інструменту).

При використанні додаткового УЗ навантаження з поперечними коливаннями індентора показано, що в приповерхневому шарі зменшується величина залишкових напружень розтягу на 40-60%. Це свідчить, що додаткове УЗ навантаження дозволяє зменшити деформацію зсуву в приповерхневому шарі на 10-15%.

При вигладжуванні з додатковим навантаженням з поздовжньо-поперечними УЗ коливаннями (УЗК) відбувається збільшення величини напружень стиску до 170-220 МПа зі зменшенням глибини їх залягання до 0,08-0,1 мм. В приповерхневому шарі розтягуювальні напруження зменшуються в 2,5-3,0 рази і досягають значень напружень стиску до 50 МПа. Це виникає за рахунок зменшення деформації зсуву навіть при великих коефіцієнтах тертя.

Отримані результати свідчать про те, що для отримання максимальних залишкових напружень стиску з максимальною глибиною дії в поверхневому шарі необхідно зменшувати деформації зсуву і сили тертя при обробці. Використання додаткового УЗ навантаження дає можливість зменшити величину напружень розтягу в приповерхневому

шарі. Найбільш ефективним є використання УЗ навантаження з поздовжньо-поперечними коливаннями індентора.

*Література:*

1. Титов В. А. Оценка параметров качества поверхности деталей из титановых сплавов после ультразвукового (УЗ) выглаживания с применением металлосодержащей смазки / В. А. Титов, И. Г. Лавренко, А. Д. Лавриненков, В. Д. Коваль // Научный журнал «Известия Калининградского государственного технического университета». – №34. – 2014. – С. 197-205.
2. Лавриненков А. Д. Расчет амплитудно-частотных характеристик ультразвуковых преобразователей продольных и продольно-крутильных колебаний с помощью пакета Abaqus / А. Д. Лавриненков // Компьютерные исследования и моделирование – Том 6. – №6. – С. 957-968.
3. Титов А. В. Некоторые особенности формирования свойств поверхностного слоя при ультразвуковом выглаживании / А. В.Титов, А. Д. Лавриненков, Ю. А. Хохлова // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ» – 2009. – №56. – С. 140–147.