

Проте даний метод вимагає виготовлення жорсткого підпору, що зменшує для швидкого переналагодження на виготовлення нової деталі.

Для збільшення геометричної точності та збереження гнучкості процесу було запропоновано новий двох інструментальний метод пошарового локального деформування (Double-Sided Incremental Forming - DSIF) [7,8].

Отже, задачі створення нових та вдосконалення існуючих технологій пластичного деформування листових заготовок є досить актуальною. Технологія пошарового локального пластичного деформування становить значний інтерес для дослідників.

### Список літератури

1. Leszak E: Apparatus and process for incremental dieless forming. Patent US3342051A, 1967.
2. Kitazawa K. Metal flow phenomena in computerized numerically controlled incremental stretch – expanding of aluminum sheets / K. Kitazawa , A. Wakabayashi , K. Murata, K. Yaejima // Journal of japan snstitute of light metals, vol. 46, 1996. – pp. 65-70.
3. Matsubara M. Development of incremental sheet metal forming system using elastic tools: principle of forming process and formation of some fundamentally curved shapes / M. Matsubara, S. Tanaka, T. Nakamura // JSME Int. j. ser. c dyn. control robot. des. manuf. 39, 1996. – pp. 156–163.
4. Allwood J. M. Closed-loop feedback control of product properties in flexible metal forming processes with mobile tools / J. M. Allwood, O. Music, A. Raithathna, S. R. Duncan // CIRP Ann.-manuf. technol., 58(1), 2009. – pp. 287–290.
5. Behera A. K. Tool path compensation strategies for single point incremental sheet forming using multivariate adaptive regression splines / A. K. Behera, J. Verbert, B. Lauwers, J. R. Dufloy // Comput. des., 45(3), 2013. – pp. 575–590.
6. Сивак І.О. Напружений стан в осередку деформації листової заготовки під час ротатійної витяжки осесиметричних деталей / І.О. Сивак, С. І. Сухоруков, Є. І. Шевчук // Наукові праці ВНТУ. – Вінниця, 2014. – №4.
7. Meier H. Two point incremental forming with two moving forming tools / H. Meier, V. Smukala, O. Dewald, J. Zhang // Key eng. mater., 344, 2007. – pp. 599–605.
8. Malhotra R. Improvement of geometric accuracy in incremental forming by using a squeezing toolpath strategy with two forming tools / R. Malhotra, J. Cao, F. Ren, V. Kiridena, Z. Cedric Xia, N. V. Reddy // ASME J. manuf. sci. eng., 133 (6), 2011. – p. 61-79.

УДК 621.763.79

**О.П. Шиліна, к.т.н., доцент**  
**М.О. Кривенко, магістр**

*Вінницький національний технічний університет*

### **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНОГО ПОКРИТТЯ МЕТОДОМ КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОГО АНАЛІЗУ**

Більшість спеціалістів вважають, що внаслідок мінімального теплового впливу процесу ГТН структура матеріалу деталі залишається без змін. Як показують наступні дослідження – це незовсім вірно[1]. Пояснюється це тим, що перед початком нанесення

покриття потрібно провести активацію поверхні шляхом нагріву деталі до 200 °С. Після цього починається процес напилювання. Так як факел дуги і пляма напилювання теж підігрівають деталь, то температура її поступово зростає. Саме тому стан термодинамічної системи тривалого процесу напилювання може відповідати стану термодинамічної системи при операції «Відпуск». Адже, як і під час відпуску, при тривалому газотермічному напилюванні деталь довгий час знаходиться під впливом відносно високої температури, що може призвести до полігонізації чи рекристалізації. У випадках, коли деталь повинна відповідати певним технологічним вимогам, це є негативним явищем, оскільки з'являється необхідність у застосуванні додаткових технологічних операцій для доведення деталі до необхідних вимог, що призводить до збільшення собівартості відновлення деталі. Саме тому важливо знати, якого теплового впливу завдає процес напилювання на відновлювану деталь. Щоб визначити температуру деталі в зоні утворення покриття використаємо пакет програм кінцево-елементного аналізу. Для розрахунку за даним методом необхідно створити 3D - аналог досліджуваного зразка - штока домкрата, закріпленого в центрах. До кожного центру додається додатковий об'єм, що є аналогом вузлів верстата, у які надходить тепло із штока. Ці заходи максимально наблизять модель до реальних умов. Отримана 3D-модель наведена на рисунку 1.1.

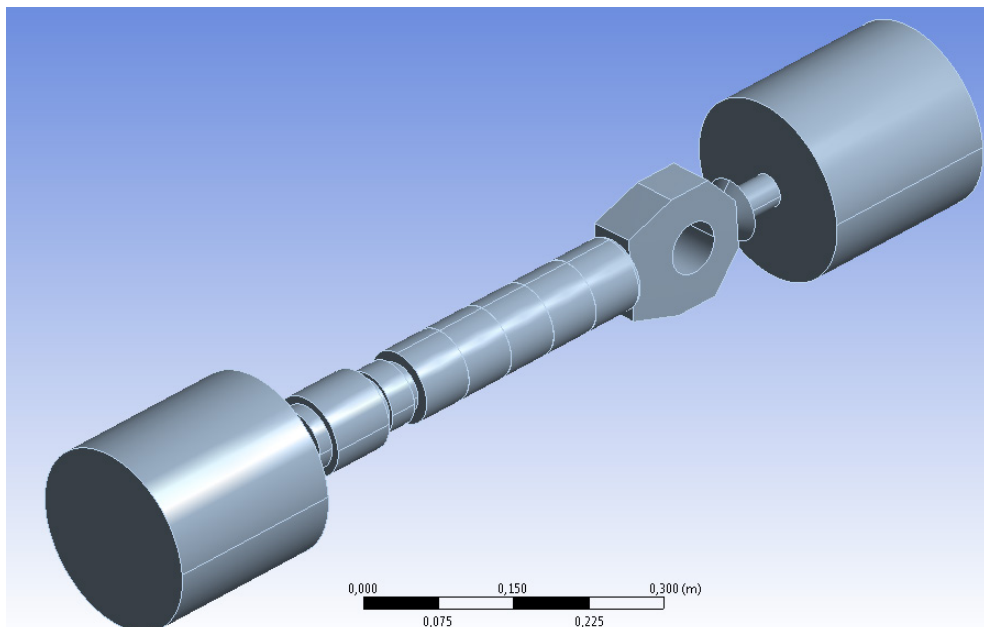


Рисунок 1.1 - 3D-модель штока домкрата у центрах

Приймаємо декілька спрощень для моделювання процесу нанесення покриття методом кінцево-елементного аналізу, необхідно:

- у якості джерела тепла задавалася сукупність теплового потоку і конвекційного теплообміну, що діяли на певну ділянку 3-вимірному аналогу деталі у відповідний момент часу;
- рух джерела тепла створювався почерговою зміною локації дії тепловкладення. При зміні локації дії тепловкладення керувалися експериментальними даними.

Розподіл тепла, напружень і деформацій при напилюванні визначали в пакеті прикладних програм кінцево-елементного аналізу.

Після створення модель імпортується в пакет програм кінцево-елементного аналізу, де її поверхня розбивається на сітку кінцевих елементів (Рис. 1.2).

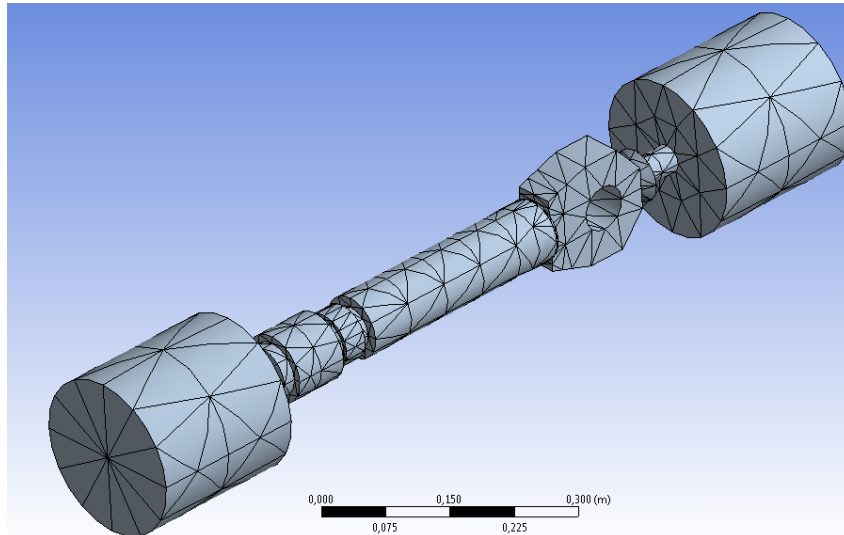


Рисунок 1.2 – Сітка кінцевих елементів

Для продовження процесу моделювання, вводиться наступна інформація:

- початкова температура середовища;
- час впливу теплових факторів.

Призначається тепловий вплив на ділянки штока, що підлягають відновленню (Рис. 1.3).

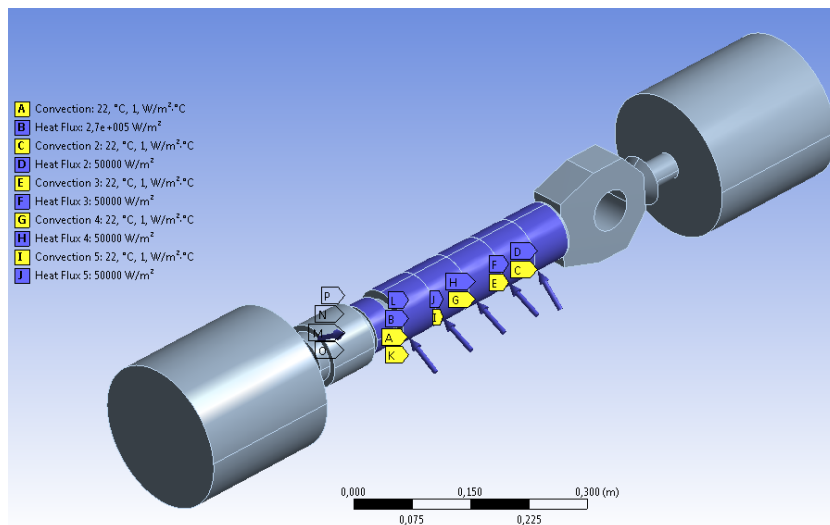


Рисунок 2.3 – Призначення теплового впливу

Після введення вищенаведеної інформації, необхідної для розрахунку, задаються дані, що нас цікавлять у розрахунку. В нашому випадку це:

- загальна температура тіла;
- сумарні деформації штока в після завершення процесу напилювання;
- напруження у штокові після завершення процесу напилювання.

Інформацію про розподіл температури у штокові можна отримати як у вигляді табличних даних, так і у вигляді графіку та зображення (Рис. 1.4). Оскільки деформації і напруження визначаються в момент закінчення процесу напилювання, то інформація представляється у вигляді зображення.

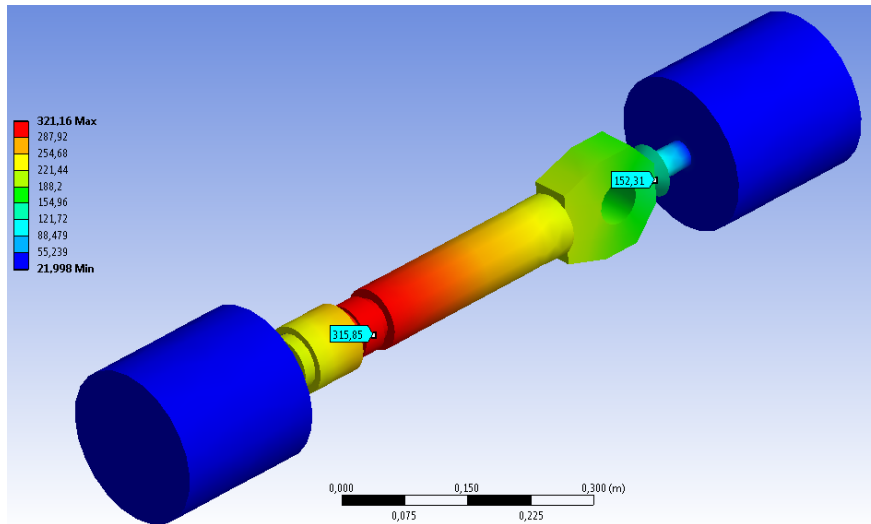


Рисунок 1.4 – Розподіл температурних полів

Зображення розподілу деформацій наведено на рисунку 1.5.

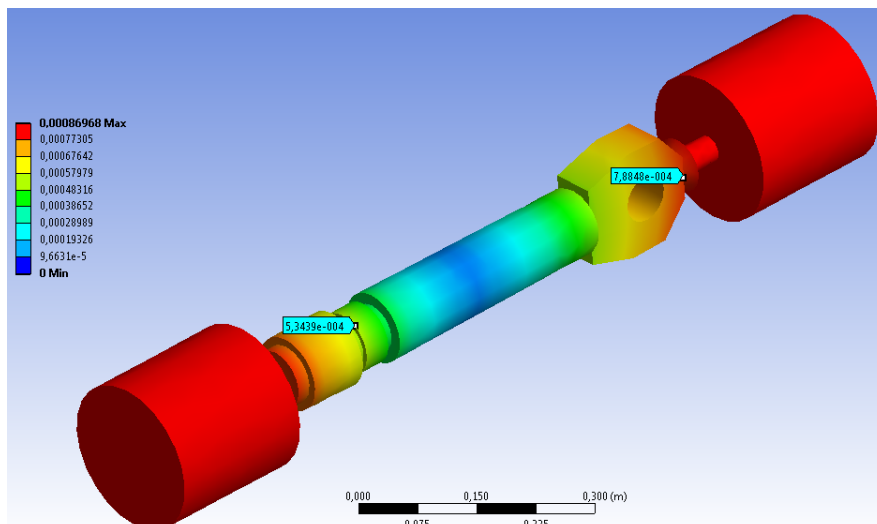


Рисунок 1.5 – Розподіл деформацій

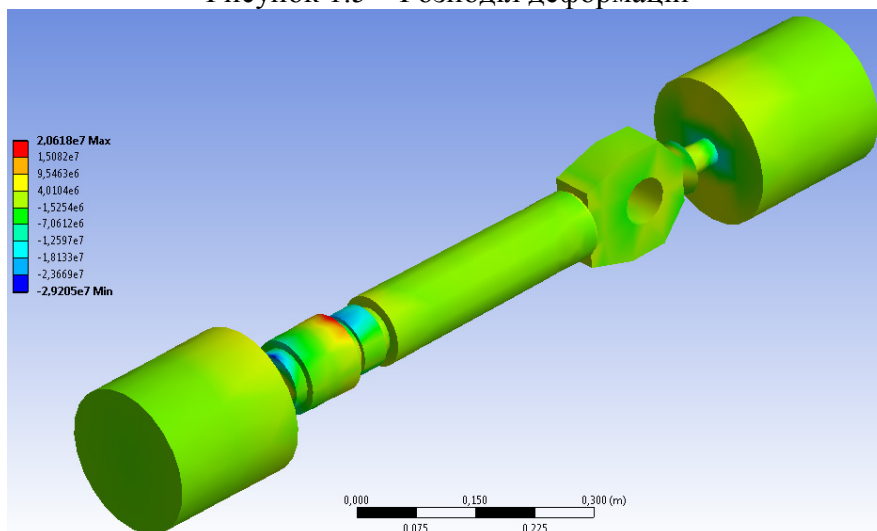


Рисунок 2.6 – Напружений стан в штокові

Варто зазначити, що одиниця виміру температури – градус Цельсія. Деформації

вимірювались в метрах, а напруження – у паскалях.

Графік розподілу температур наведений на рисунку 1.7.

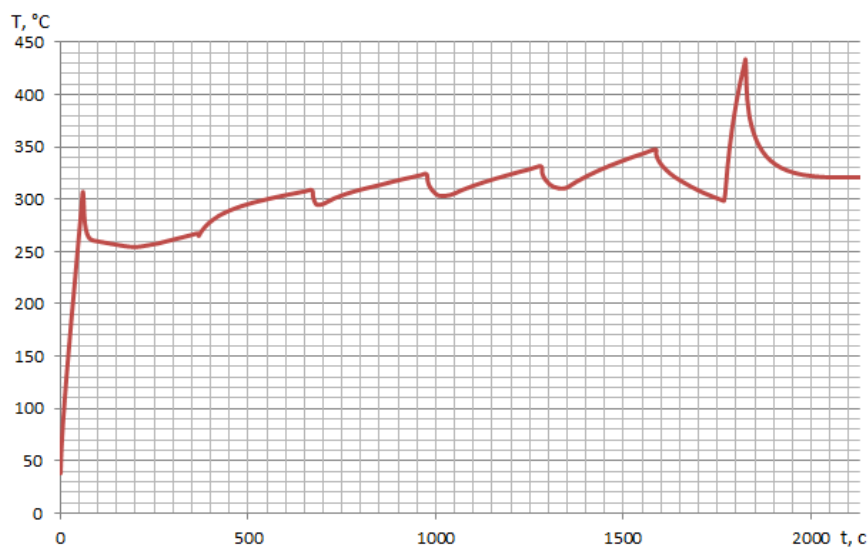


Рисунок 1.7 – Графік розподілу температур

Метод кінцево-елементного аналізу дозволяє з невеликою похибкою моделювати і досліджувати процеси розподілу температурних полів, деформацій та напружень, що утворилися в деталі внаслідок процесу нанесення покриття (в нашому випадку – плазмове напилювання).

### Список літератури

1. Шиліна О.П. Розповсюдження тепла та його вплив на структурні перетворення при зміцненні деталей автомобіля. / Шиліна О.П., Поступайло О.В. – Вісник Вінницького політехнічного інституту.- 2012. - № 2. 168...174 с.

УДК 621.9.06-529-8

**А.В. Литвин,  
Н.В. Гаврушкевич,  
Д.И. Алексик**

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА**

Повышение точности токарного станка требует определения нелинейных характеристик жесткости основных элементов упругой системы станка. На точность обработки, в основном, влияют показатели точности шпиндельной группы и суппортной группы станка. Параметры точности определяются, как правило, экспериментальным методом при нагрузке шпинделя и суппорта. Характеристики упругой системы станка являются нелинейными.