

МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ КАНАВОК В ОТВОРАХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

¹Вінницький національний технічний університет

²Інститут надтвердих матеріалів НАН України ім. В. М. Бакуля

Анотація

За допомогою методу скінченних елементів проведено розрахунок процесу деформуючого протягування для формоутворення канавок в отворі циліндричного виробу із застосуванням сучасного програмного комплексу. Наведено основні передумови моделювання та його результати у вигляді епюр контактної тиску та інтенсивності накопичених деформацій. Аналіз епюр дозволив пояснити виникнення явищ схоплення щоб запобігти його в подальшому. Результати моделювання є основою подальшої оцінки деформовності та триботехнічних розрахунків.

Ключові слова: моделювання, деформуюче протягування, метод скінченних елементів, контактний тиск, деформації.

Abstract

Using finite element method, the process of groove formation in a cylindrical hole is calculated using modern software package. The basic conditions of the simulation and its results in the form of contact stresses and true deformations are presented. The analysis of the diagrams made it possible to explain the adhesion phenomenon in order to prevent it in the future. The simulation results are the basis for further deformability assessment and tribotechnical calculations.

Keywords: modelling, deforming broaching, finite element method, contact stress, deformations.

Вступ

Деформуче протягування (дорнування) є одним із високоєфективних методів холодного пластичного формоутворення пазів на внутрішній поверхні трубчастих виробів, які знайшли використання в різних виробках загального та спеціального машинобудування (рис. 1). В низці випадків для виготовлення виробів з таким профілем отвору використовують жароміцні сталі, наприклад 38ХНЗМФА. При реалізації технологічної схеми дорнування інструмент у вигляді усіченого конуса пропускають через отвір заготовки [1, 2].

Для оцінки технологічних можливостей процесу, що зумовлені вичерпанням пластичності оброблюваного металу, схопленням інструменту з заготовкою тощо можна використати експериментальні, аналітичні чи чисельні методи розрахунку. Втім, перші два мають суттєві недоліки, оскільки експериментальні методи є трудомісткими, негнучкими і дорогавартісними, а аналітичні обмежені введенням низки грубих гіпотез, що не дозволяють отримання адекватних математичних моделей. Чисельне моделювання, і, зокрема, метод скінчених елементів (МСЕ) в таких випадках дає можливість отримання всебічної інформації про механіку процесу пластичного формоутворення пазів дорнуванням на внутрішній поверхні трубчастих виробів, враховуючи особливості форми інструменту та заготовки із значним потенціалом варіювання факторів, що чинять істотний вплив на перебіг процесу. Також МСЕ є чи не єдиним ефективним інструментом щодо визначення контактних напружень, їх розподілу по інструменту та відповідного аналізу небезпечних ділянок.

Результати дослідження

З метою вивчення впливу факторів, що визначають контактний тиск та пластичну деформацію оброблюваного матеріалу при формоутворенні внутрішніх пазів трубчастих виробів було проведено моделювання процесу ДП втулок зі сталі 38ХНЗМФА (HV 2600 МПа) інструментами з твердого

сплаву ВК 15 з зубцями різних профілів. Наведемо особливості проведення моделювання та розрахунки за одним із варіантів формоутворення зубців.

Кількість виступів та западин – 12, діаметр отвору трубчастої заготовки – 40 мм, діаметр по канавці – 41 мм, натяг по діаметру – 0,9 мм, зовнішній труби – 60 мм, кут дорну – 7° на сторону.

Із врахуванням умов симетрії заготовки та інструменту, моделювалась 1/2 частка системи виступ-западина (рис. 2). При цьому задавались такі граничні умови, які забезпечують вимоги щодо симетрії. Зокрема, на переміщення вузлів скінчених елементів оброблюваної заготовки в напрямках, перпендикулярних до січних площин (по вісям Y та Y_1 , рис. 2), накладено заборону переміщень.

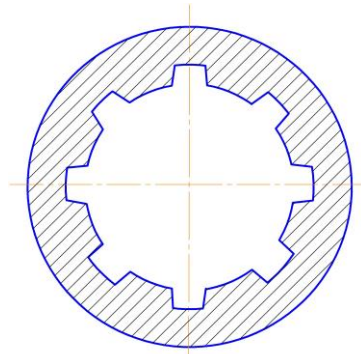


Рис. 1 – Приклад перерізу трубчастого виробу

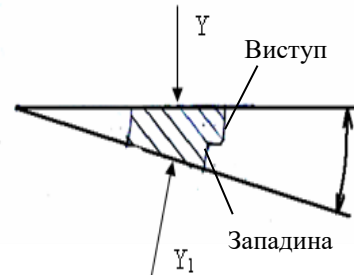


Рис. 2 – Система виступ-западина

Довжина заготовки приймалась рівною десятикратному внутрішньому діаметру заготовки, що дає змогу змодельовати процес в стаціонарній стадії. Для забезпечення симетричності процесу формоутворення обирались відповідні умови закріплення заготовки.

Властивості матеріалу заготовки (сталь 38ХНЗМФА) вивчались експериментально за методикою, застосованою в [3]. Властивості матеріалу для моделювання МСЕ задавались двопараметричною степеневою залежністю $\sigma_i = 1350e_i^{0,15}$, МПа ($A = 1350$ МПа, $n = 0,15$, HB 260). Модуль Юнга прийнято $2,1 \cdot 10^{11}$ Па, коефіцієнт Пуассона – 0,3, границя текучості – 600 МПа. Інструмент вважали абсолютно жорстким тілом (Rigid). Коефіцієнт тертя (за Кулоном) між заготовкою і інструментом – 0,07.

Варіанти геометрії профілю деформуючого інструменту наведено на рис. 3.

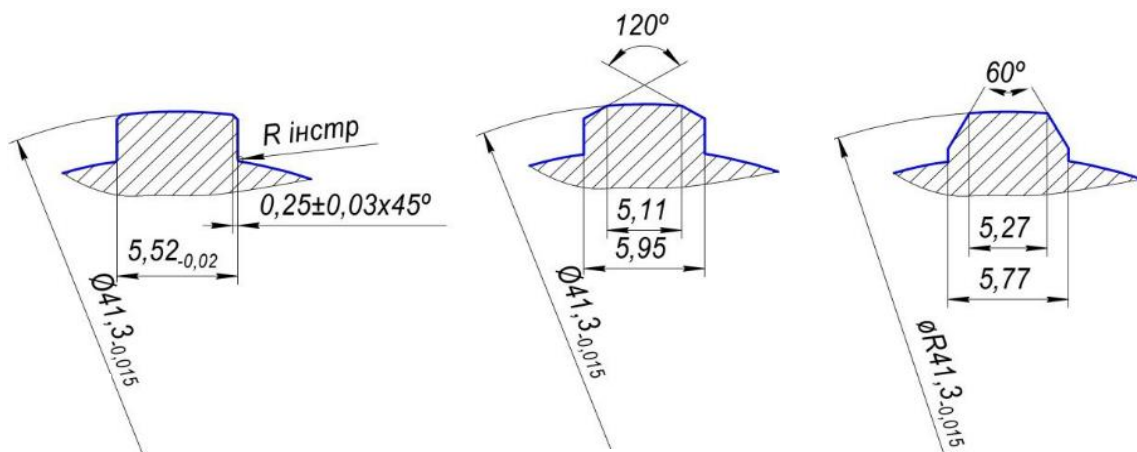


Рис. 3 – Геометрія профілю поперечного перерізу деформуючого інструменту (прямий профіль зубу, кут при вершині 120° та 60° відповідно) [1]

На рис. 4, 5 наведено отримані розрахунком розподіл контактних напружень на інструменті та інтенсивності накопичених деформацій в поперечному перерізі заготовки відповідно при використанні інструментів з прямим профілем зубу, з кутом при вершині 120 та 60° (рис. 4). Як впливає з отриманих результатів, при використанні всіх трьох видів геометрії профіля інструменту, контактні напруження сягають своїх максимальних значень в місці спряження конічної поверхні зубу, циліндричної стрічки та бокової поверхні зубу, яке формує внутрішній кут пазу. В цьому ж місці маємо найбільші значення інтенсивності деформацій оброблюваного матеріалу.

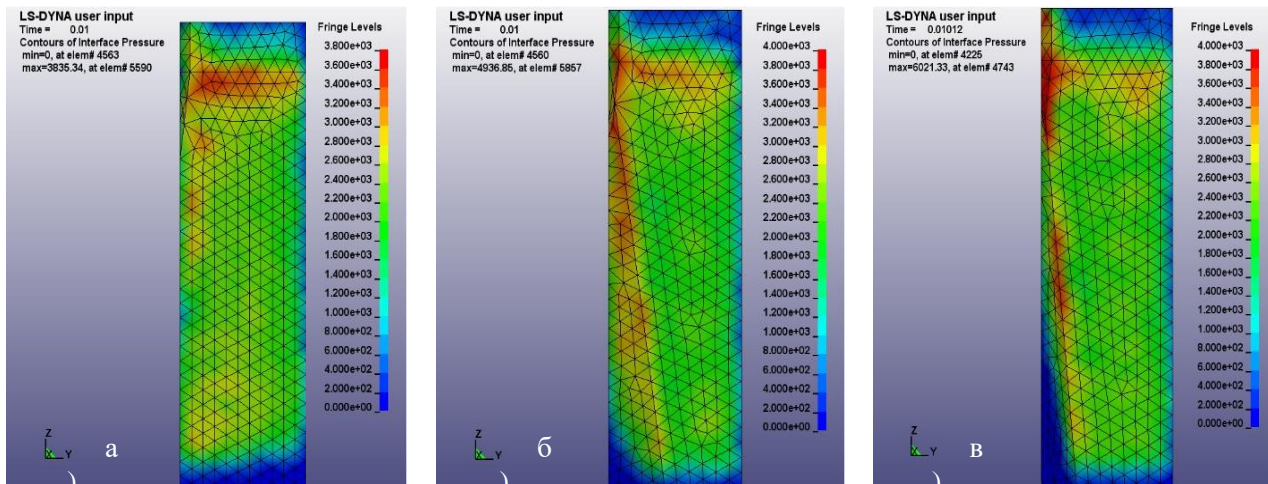


Рис. 4 – Результати розрахунку нормального контактного тиску на інструменті (з прямим профілем зубу, з кутом при вершині 120° та 60° відповідно)

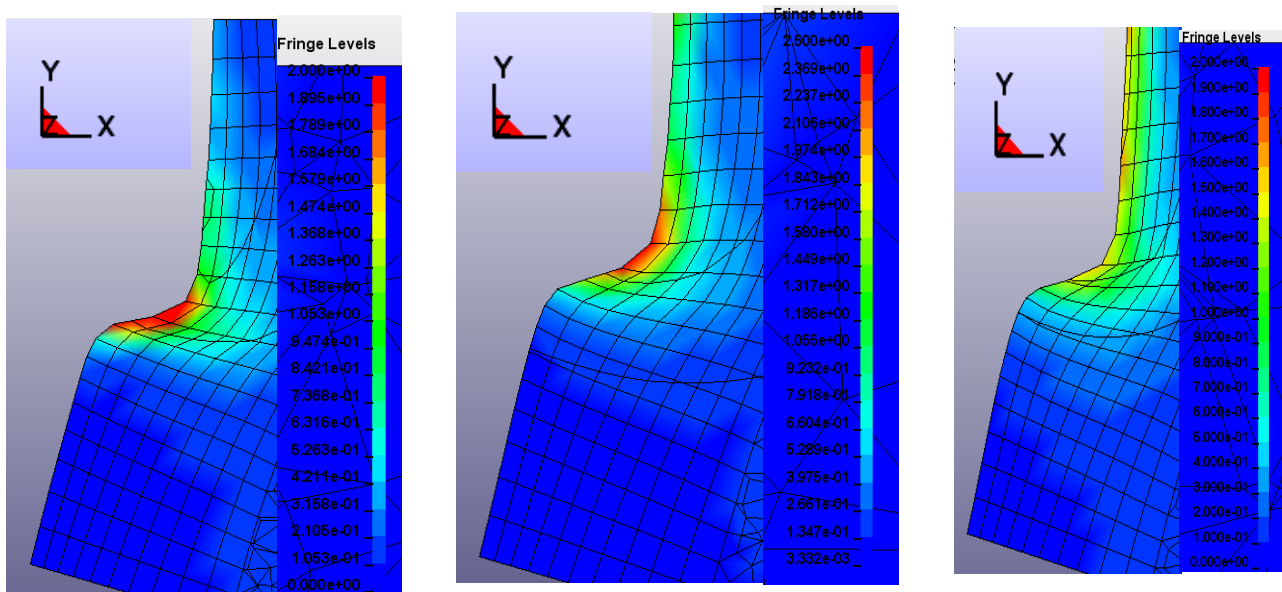


Рис. 5 – Розподіл інтенсивності накопичених деформацій в поперечному перерізі заготовки (прямий профіль зубу, з кутом при вершині 120° та 60° відповідно)

При цьому, геометрія зубу суттєво впливає як на значення максимальних контактних напружень, так і на значення інтенсивності деформацій. В разі використання інструменту з прямим профілем зубу в зоні контактної взаємодії виникають контактні напруження найменших значень. В разі використання інструменту з профілем 60° контактні напруження майже вдвічі більші. При використанні інструменту з профілем 120° в порівнянні з прямим зубом максимальний контактний тиск більше на ~ 15%. Найменше значення інтенсивності накопичених деформацій спостерігається при використанні інструменту з профілем 60°. При використанні прямозубого інструменту та з профілем

120° деформації більше майже вдвічі. Тобто, більшому значенню контактному тиску відповідають менші значення пластичних деформацій.

Характерно, що схоплювання відсутнє при використанні інструменту з профілем 60° в умовах контактному тиску порядку 6 ГПа при значенні накопиченої деформації 1,7 та має місце при контактному тиску 4 ГПа та деформації 3,1 (інструмент з прямим профілем та 120°) [1]. Отже, величина пластичної деформації оброблюваної поверхні є одним із впливових факторів щодо схоплювання інструменту і заготовки при дорнуванні поздовжніх пазів в отворах трубчастих заготовок. Дана особливість може бути врахована при проектуванні деформуючого інструменту та призначенні технологічних режимів операції дорнування пазів.

Висновки

Моделювання методом кінцевих елементів надає необхідну інформацію щодо вивчення механіки процесу формоутворення канавок в отворі циліндричного виробу дорнуванням. Наведено основні передумови моделювання та його результати у вигляді епюр контактному тиску та інтенсивності накопичених деформацій. Встановлено, що максимальні контактні напруження при формоутворенні канавок на внутрішній поверхні трубчастих заготовок, в залежності від геометрії інструменту змінюються від 3 до 6 ГПа, значення істинних деформацій знаходяться в діапазоні від 3,1 до 1,7. При цьому більшим значенням контактному тиску відповідають менші значення деформацій. Результати моделювання дають основу для подальшої оцінки деформовності та триботехнічних розрахунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sheykin, S.Y., Grushko, O.V., Melnichenko, V.V. et al. On the Contact Interaction between Hard-Alloy Deforming Broaches and a Workpiece during the Shaping of Grooves in the Holes of Tubular Products. *J. Superhard Mater.* 43, 222–230 (2021). <https://doi.org/10.3103/S1063457621030096>.
2. Цеханов Ю. А., Шейкин С. Е. Механика формообразования заготовок при деформирующем протягивании. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2001.- 201 с.
3. Mechanical Characteristics of Alloys of the W–Ni–Fe System. Hrushko, O.V., Hutsalyuk, O.V., Andreev, I.V., Mel'nuchenko, V.V., Studenets', S.F. 2018 *Materials Science.* 54(1), pp. 88-95. DOI: 10.1007/s11003-018-0162-7.

Грушко Олександр Володимирович — завідувач кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: grushko@vntu.edu.ua.

Oleksandr Hrushko — Head of the Department of Strength of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: grushko@vntu.edu.ua.

Шейкін Сергій Євгенович – завідувач 20-го відділу, доктор технічних наук, професор, Інститут надтвердих матеріалів НАН України ім. В. М. Бакуля, м. Київ, e-mail: sheykin2003@ukr.net.

Serhii Sheykin – Head of the Department №20, Doctor of Technical Sciences, Professor, Bakul Institute for Superhard Materials, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: sheykin2003@ukr.net.