

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ВОЛОЧІННІ ДРОТУ

Кошоводов Д.В., Бояркін В.В., Бойко М.Г., Івлєв О.М.

Український державний університет науки і технологій

Анотація. *Дріт з низьковуглецевих сталей традиційно займає більшу частину в номенклатурі метизів. На якість готового дроту, а саме на рівень механічних властивостей, впливає нерівномірність деформації під час процесу волочіння. Нерівномірність деформації залежить від конфігурації робочого інструменту, а саме довжини робочої зони і довжини калібруючої зони волоки. На промислових підприємствах, у волоках, які були зношені під час попереднього волочіння, калібруючі зони розточують до необхідного розміру по діаметру. З огляду на сталість довжини волоки це приводить до зміни співвідношення між довжинами робочої та калібруючої зон і до зміни рівня нерівномірності деформації. Рівень механічних властивостей дроту в залежності від геометричних характеристик волок часто визначають за допомогою результатів експериментальних досліджень, що призводить до значних витрат матеріалу і енергії. Використання комп'ютерного моделювання методом скінчених елементів дозволяє зменшити кількість експериментів та прогнозувати якість готових виробів.*

Ключові слова: *сталь, обробка металів тиском, волока, волочіння, деформація, сила, механічні властивості.*

На вітчизняних підприємствах для здійснення волочіння застосовуються переважно багатократні стани магазинного типу (без ковзання дроту з накопиченням). В даний час виробниками волочильного обладнання такі стани не випускаються. Причиною цього є їх низька енергоефективність і продуктивність

Загальними недоліками сучасних машин з протинатяжінням, як петльових так і прямоточних, є слабе охолодження проволоки у зв'язку з коротким часом перебування на кожному барабані, непряме охолодження дроту, барабанів та волок, значні габарити.

З особливостей волочіння дроту з низьковуглецевої сталі можна виділити її деформаційне зміцнення, знання якої важливо при розробці технології дроту тонких і найтонших діаметрів.

Зазвичай після волочіння через нерівномірність деформації на поверхні заготовки виникають залишкові напруження розтягання, а в центральних шарах – стискаючі напруження [1]. Цей фактор також необхідно враховувати, так як поверхневі напруження розтягання знижують пластичність металу і можуть бути причиною появи поверхневих тріщин. Напруження, які виникають в зоні деформації при волочінні, оказують визначальний вплив як на процес волочіння в цілому, так і на властивості отриманого дроту.

Традиційно робочим інструментом для волочіння дроту є монолітні волокни. Волокни виготовляють з інструментальних сталей та твердих сплавів. Волока має робочий отвір (канал), що складається з чотирьох зон: вхідної або мастильної, робочої, калібрувальної та вихідної. Основною зоною каналу волокни є робоча де здійснюється деформація заготовки. Кут конусності робочої зони залежить від властивостей матеріалу та типу заготовки і становить 6 - 12°.

Для спрощення теоретичного аналізу напружено-деформованого стану металу зазвичай фактичну картину значно спрощують: зсувними напруженнями нехтують, радіальне та поздовжнє напруження вважають головними, перше з яких мінімальне, а друге максимальне, в цьому випадку тангенціальні напруження в аналізі не беруть участь [1].

Максимальні радіальні напруження спостерігаються в перерізі входу, і це, серед іншого, визначає найбільший знос волокни в цьому перерізі. По всій довжині зони деформації поздовжні напруження знижуються у напрямку від центральних шарів до периферійних. Максимальні поздовжні напруження спостерігаються в центральних шарах в перерізі виходу металу з конусної частини волокни.

Метою роботи є дослідження впливу параметрів волокни на напруження, і, як наслідок, на нерівномірність деформації при багатократному волочінні на прямоточних станах. Було застосоване математичне моделювання з використанням методу скінчених елементів, яке часто використовується в дослідженнях процесів волочіння [2-4]. Модель процесу було створено в програмному середовищі QForm UK [5], за допомогою якого можливо створювати моделі різних процесів обробки металів тиском і термічної

обробки [6,7]. Створена модель дозволяє належним чином враховувати комплексний вплив факторів на формозміну і отримати необхідні дані без проведення великої кількості експериментів.

Була створена вісесиметрична модель (рисунок 1), що дозволило значно скоротити час розрахунку та обсяг даних у порівнянні з тривимірною моделлю.

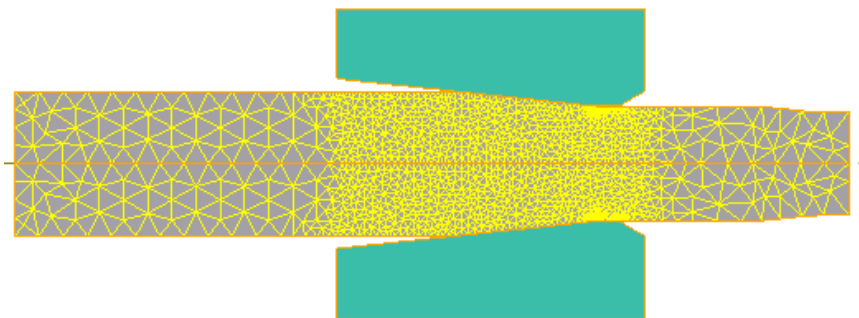


Рисунок 1 – Графічне відображення процесу волочіння за допомогою створеної моделі

Реологічні властивості матеріалу задавали на підставі існуючих в базі матеріалів QForm UK даних для сталі 1030. Також, крім значень опору деформації, були задані фізичні характеристики матеріалу дроту, а саме значення щільності, теплопровідності, теплоємності, температурного коефіцієнту лінійного розширення. Кут робочої зони волок складав 12° . Початкова температура заготовки та інструменту 20°C .

Було досліджено процес волочіння катанки діаметром 5,6 мм по маршруту $5,6 \rightarrow 4,45 \rightarrow 3,65 \rightarrow 3,07 \rightarrow 2,65 \rightarrow 2,33 \rightarrow 2,05 \rightarrow 1,82$. Швидкість – 12 м/с.

Напруження в зоні деформації, температурно-швидкісні параметри та силу волочіння отримували для двох значень довжини калібруючого пояска (зони калібрування) $0,2d$ та $0,5d$, де d – діаметр дроту в проході. Такий діапазон значень довжини зони калібрування рекомендує постачальник робочого інструменту.

Аналіз напружень і деформації показав, що при збільшенні довжини зони калібрування нерівномірність деформації зменшується, що зменшує ризик виникнення залишкових напружень в металі, та зменшує вірогідність появи у зовнішніх шарах дроту великих напружень розтягання. Крім того, чим довше зона калібрування, тим більш повною є деформація по перерізу волоки і тим більше знижуються радіальні напруження. Зниження рівня значень радіальних

напружень опосередковано вказує на можливе зменшення зношення волоки. Найбільший ефект впливу довжини зони калібрування помітно в останніх проходах, де найбільша нерівномірність деформації.

Також дослідження показали, що сили тертя при зміні довжини зони калібрування від $0,2d$ до $0,5d$ збільшують значення сили волочіння щонайбільше на 1,6%.

Висновки. Створено математичну модель процесу багатократного волочіння дроту. Визначено, що зі збільшенням довжини зони деформації при одночасному зменшенні довжини робочої зони спостерігається зменшення нерівномірності деформації та незначний ріст сили волочіння. Модель може бути використана для подальших досліджень процесу волочіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
2. Ao Ma, Jiaying Cheng, Dasheng Wei, Qiang Li, Feng Fang, Zhaoxia Li. Experiments and numerical analyses on splitting fracture of wire under multi-pass drawing, *Engineering Failure Analysis*, Volume 134, 2022, 106035, ISSN 1350-6307. DOI:10.1016/j.engfailanal.2022.106035
3. Sergio Baragetti, Marco Giustinoni, Fabrizio Raghetti. Wire ropes with diamond beads for multi-wire machines optimization by means of DoE: Numerical models and choice of design parameters, *Engineering Failure Analysis*, Volume 143, Part A, 2023, 106826, ISSN 1350-6307. DOI:10.1016/j.engfailanal.2022.106826
4. Таратута К. В., Проценко В. М., Востоцький С. М. Комп'ютерне моделювання процесу волочіння сплавів на основі титану. IV Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси – ІМТСК-2023: тези доп. міжнарод. конф., м. Дніпро, 25-26 травня 2023 р. / Міністерство освіти і науки України, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси, 2023. С. 40 – 42.
5. [Електронний ресурс] - <https://www.qform3d.com/>
6. Nosko M., Konovodov D., Samsonenko A., Bobukh O. Determination of the Deformation Parameters of the Steel Reinforcing Phase inside the Aluminum Matrix during Hot Rolling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. № 6. Р. 84–89. DOI:10.33271/nvngu/2022-6/084.
7. Бояркін В.В. Математичне моделювання профілювання труб квадратного поперечного перерізу / В.В. Бояркін, О.А. Ремез, О.С. Польща // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті, 2023. № 26. – С. 3-12. DOI:10.34185/1991-7848.2022.01.01

COMPUTER SIMULATION OF NON-UNIFORM STRAIN DURING WIRE DRAWING

Dmytro Konovodov, Viacheslav Boiarkin, Maksym Boiko, Oleksandr Ivliev

Abstract. *Low-carbon steel wire traditionally takes a large part in the production of wire products. The quality of the finished wire, and specifically the level of mechanical properties, is affected by non-uniform strain during the drawing process. The uniformity of strain depends on the configuration of the drawing die, specifically the length of the die bell and the length of the die bearing. In industry, the die bearing is bored to the required diameter size in worn out dies during previous drawing. Considering the constancy of the die length, this leads to a change in the ratio between the lengths of the die bell and die bearing and to a change in the level of non-uniform strain. The influence of the die geometric parameters on the wire mechanical properties is often determined using the results of experimental investigations, which leads to significant costs of material and energy. FEM simulation makes it possible to reduce the number of experiments and predict the quality of finished products.*

Keywords: *steel, metal forming, drawing die, drawing, strain, force, mechanical properties.*

REFERENCES

1. Danchenko V.M., Hrynkevych V.O., Holovko O.M. Teoriia protsesiv obrobky metaliv tyskom: pidruchnyk. Dnipropetrovsk: Porohy, 2008. – 370 s.
2. Ao Ma, Jiaying Cheng, Dasheng Wei, Qiang Li, Feng Fang, Zhaoxia Li. Experiments and numerical analyses on splitting fracture of wire under multi-pass drawing, Engineering Failure Analysis, Volume 134, 2022, 106035, ISSN 1350-6307. DOI:10.1016/j.engfailanal.2022.106035
3. Sergio Baragetti, Marco Giustinoni, Fabrizio Raghetti. Wire ropes with diamond beads for multi-wire machines optimization by means of DoE: Numerical models and choice of design parameters, Engineering Failure Analysis, Volume 143, Part A, 2023, 106826, ISSN 1350-6307. DOI:10.1016/j.engfailanal.2022.106826
4. Taratuta K. V., Protsenko V. M., Vostotskyi S. M. Kompiuterne modeliuвання protsesu volochinnia splaviv na osnovi tytanu. IV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia Informatsiini modeliuвання tekhnolohii, systemy ta komplekxy – IMTSK-2023: tezy dop. mizhnarod. konf., m. Dnipro, 25-26 travnia 2023 r. / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Cherkaskyi natsionalnyi universytet imeni Bohdana Khmelnytskoho, Cherkasy, 2023. S. 40 – 42.
5. [Electronic resource] - <https://www.qform3d.com/>
6. Nosko M., Konovodov D., Samsonenko A., Bobukh O. Determination of the Deformation Parameters of the Steel Reinforcing Phase inside the Aluminum Matrix during Hot Rolling. Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2022. № 6. P. 84–89. DOI:10.33271/nvngu/2022-6/084.
7. Boiarkin V.V. Matematychni modeliuвання profiliuвання trub kvadratnoho poperechnoho pererizu / V.V. Boiarkin, O.A. Remez, O.S. Polshcha // Suchasni problemy metalurhii. Naukovi visti, 2023. № 26. – C. 3-12. DOI:10.34185/1991-7848.2022.01.01