

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВОЛОЧІННЯ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ З ВНУТРІШНІМ ПРОФІЛЕМ ЧЕРЕЗ МАТРИЦІ, ЩО ОБЕРТАЮТЬСЯ, ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМ ГВИНТОВИМ ПРОФІЛЕМ

С помощью компьютерного моделирования установлены особенности реализации процесса волочения трубчатых изделий через вращающиеся матрицы со специальным винтовым профилем. Подтверждена возможность изменения напряженно-деформированного состояния в очаге деформации при волочении через матрицы со спирально-винтовой геометрией рабочих кромок при одновременном поступательном и вращательном движении деформирующего инструмента.

With a help of computer simulation the features of dragging of tubular items through rotating matrices with a special screw shape have been identified. There has been confirmed the possibility of changing the strained condition in the strain centre while dragging through matrices with spiral and screw geometry of operating edges at simultaneous forward and rotary movement of deforming tool.

Серед усієї номенклатури трубчастих виробів з внутрішнім профілем найбільш складними у виготовленні є стволи стрілецької зброї [1].

Традиційно технологія виготовлення ствола складається з наступних операцій: одержання заготовки, утворення каналу, виготовлення нарізів, виготовлення патронника, хромуння каналу та патронника, зовнішня обробка, правка [2]. Операції утворення каналу ствола та наступне отримання в каналі нарізів (або полігонів) є найбільш відповідальними, оскільки від якості виготовлення провідної частини ствола (каналу та нарізів) залежить його живучість.

Найчастіше канал в заготовці ствола виготовляють за схемою: попереднє суцільне свердління, розгортуння, чистове розгортуння. Також в якості фінішних операцій застосовують хонінгування чи протягування, а останнім часом – електрохімічну обробку.

Але дані схеми пов'язані із значною втратою металу (засновані на методах обробки з видаленням металу з поверхні, що обробляється) та мають високу трудомісткість і тому наразі застосовуються переважно для виробництва особливоточної стрілецької зброї спеціального призначення. В масовому та крупносерійному виробництві бойової стрілецької зброї при виготовленні каналу ствола застосовуються методи, що базуються на холодному пластичному деформуванні металу, проте в даний час вони не завжди забезпечують бажану якість каналу.

Після виготовлення гладкого каналу ствола йому надають необхідний профіль - створюють нарізи або полігональну форму.

Нарізи в стволах калібрів 4...30 мм в теперішній час в більшості випадків виконують радіальним куванням. Окрім радіального кування нарізи в стволах таких калібрів можна виготовити шпалеруванням, протягуванням, електрохімічною обробкою або дорнуванням [2].

Проте жоден з вказаних способів не є універсальним і має свої недоліки. Для радіального кування необхідне складне обладнання. Шпалерування, протягування та електрохімічна обробка – це способи, пов'язані з видаленням металу. А дорнування хоча і забезпечує високу продуктивність виготовлення необхідного профілю, але викликає залишкові напруження в стволі, що робить неможливим застосування дорнування при виготовленні стволів високоточної зброї.

Тому наразі питання створення нових нетрадиційних, високопродуктивних схем внутрішнього профілювання з локалізацією осередку деформування та збільшенням інтенсивності накопичення пластичних деформацій без загрози руйнування та універсальних методів, придатних як для виготовлення гладкого напівфабрикату, так і для його подальшого профілювання без застосування механічної та електрохімічної обробки (як досить витратних та непродуктивних методів, пов'язаних до того ж з екологічним забрудненням навколишнього середовища), залишається актуальним.

Однією із перспективних технологій [3] є технологія одержання профілю волочінням через матрицю зі спеціальним гвинтовим профілем. Гвинтова геометрія деформуючих кромок матриці має таким чином впливати на компоненти деформації зсуву та дотичні напруження в осередку деформації при волочінні, щоб зрештою досягти збільшення інтенсивності накопичення пластичних деформацій без загрози руйнування напівфабрикату.

На рис. 1. показані схеми НДС осередку деформації, які можуть мати місце при деформуванні в таких матрицях.

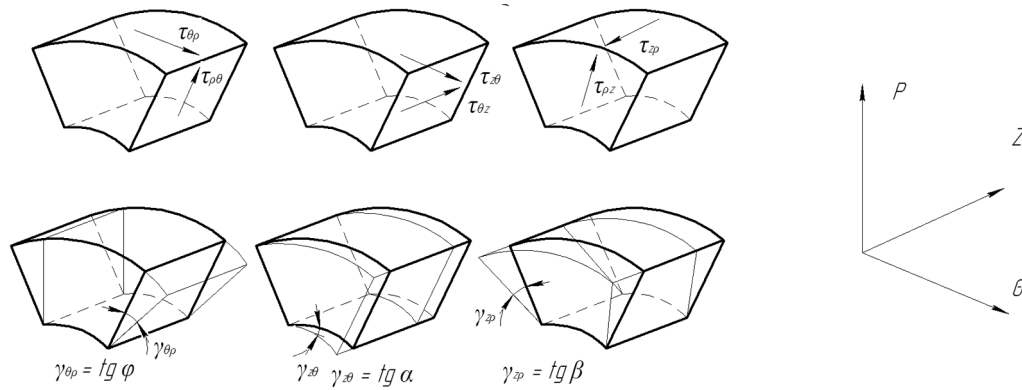


Рис. 1. Напружено-деформований стан тіла при деформуванні у матриці зі спеціальним гвинтовим профілем

Для перевірки впливу застосування гвинтового профілю деформуючих кромek матриці на компоненти НДС процесу волочіння було виконано моделювання процесу у середовищі DEFORM-3D.

Схема процесу зображена на рис. 2. Вихідна заготовка – трубчаста, із сталі 20; внутрішній діаметр заготовки $d_{вн} = 9,05$ мм, зовнішній – $d_{зн} = 15$ мм. Для забезпечення одночасного профілювання внутрішнього каналу оправка має шестикутну полігональну форму (рис. 3) з кутом нахилу полігонів до осі оправки $6^{\circ}30'$.

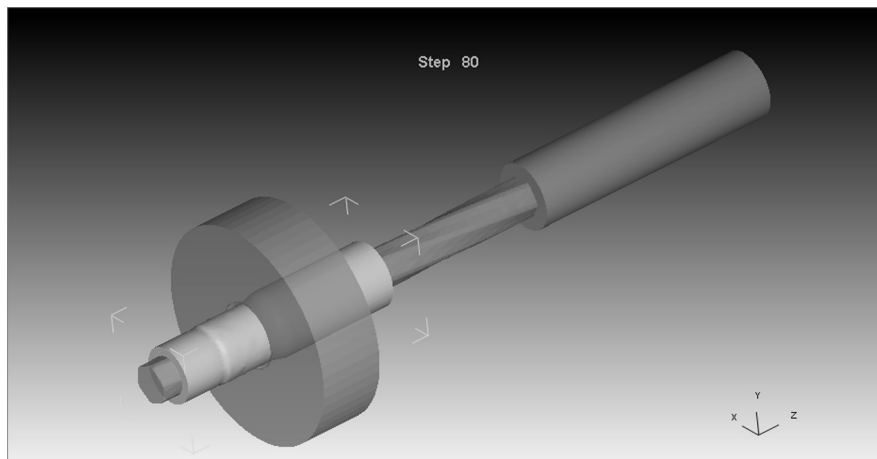


Рис. 2. Процес волочіння на оправці

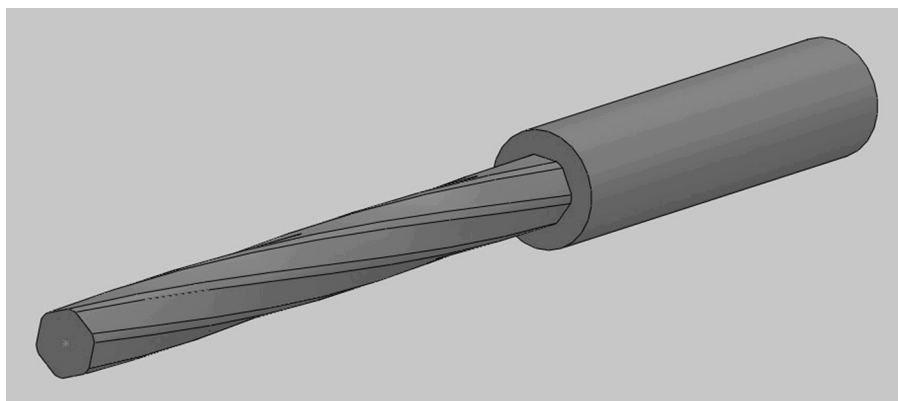


Рис. 3. Оправка для профілювання

Для порівняння результатів було виконане моделювання процесу волочіння в матриці, що мали таку геометрію робочих кромek:

- циліндричну з кутом робочої конічної частини $\alpha = 15^{\circ}$ (рис. 4а);
- гвинтову двох західну зі спеціальним профілем робочої кромки з $\alpha = 15^{\circ}$ та кутом підйому робочої кромки $\beta \approx 18,5^{\circ}$ (рис. 4б);
- гвинтову двох західну зі спеціальним профілем робочої кромки з $\alpha = 45^{\circ}$ та кутом підйому робочої кромки $\beta \approx 9,5^{\circ}$ (рис. 4в).

При моделюванні процесу волочіння через матрицю з циліндричною робочою кромкою інструменту надавався лише поступальний рух зі швидкістю $V = 5$ мм/с.

Матрицям із спеціальним робочим профілем для збільшення деформацій зсуву та дотичних напружень в осередку деформації додатково надавався обертальний рух (кількість обертів $n = 60$ об/хв.); переміщення матриці з кутом $\alpha = 15^\circ$ становило 0,5 мм/об, матриці з кутом $\alpha = 45^\circ$ - 0,25 мм/об.

Спеціальний профіль деформуючих кромки (рис. 5) у випадку надання матриці додаткового обертового руху дозволяє зменшити площу зони контакту інструмента з заготовкою і, відповідно, сили контактної тертя, оскільки така кромка охоплює по периметру не всю заготовку, а лише її частину.

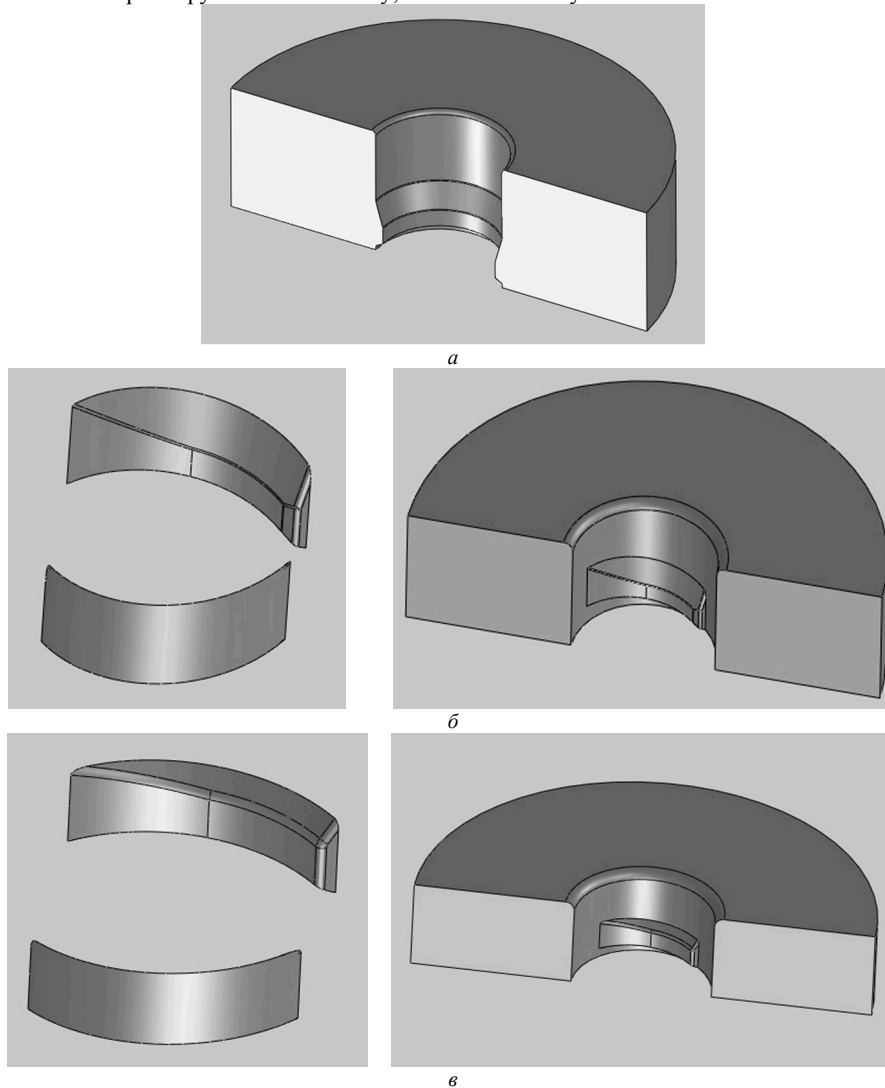


Рис. 4. Геометрія робочих кромки матриць: *a* - матриця з циліндричною робочою кромкою; *б*-матриця з гвинтовою двохзахідною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 15^\circ$; *в*-матриця з гвинтовою двохзахідною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 45^\circ$

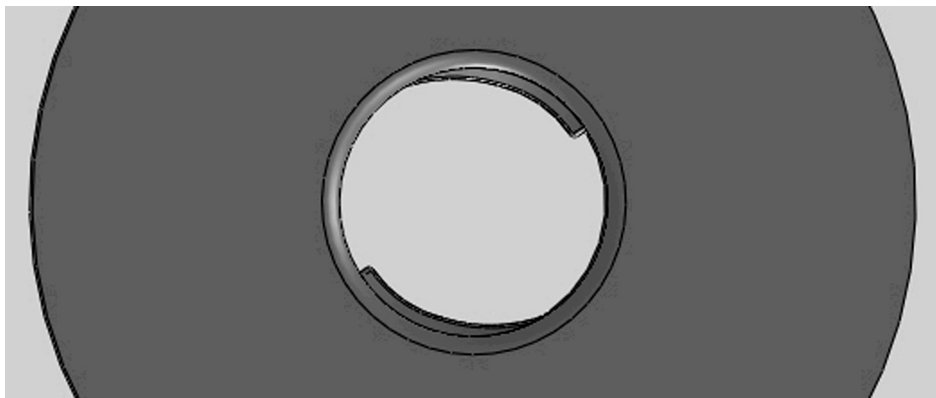


Рис. 5. Форма і розташування деформуючих кромки у матриці, що обертається

В результаті моделювання були отримані наступні результати.

При волочінні як через матрицю з циліндричною робочою кромкою, так і матрицю, що обертається, зі спеціальним профілем робочої кромки та кутом робочої конічної частини $\alpha = 15^\circ$, необхідний профіль було отримано (рис. 6а, 6б). При волочінні через матрицю зі спеціальним профілем робочої кромки та кутом $\alpha = 45^\circ$ переміщення металу заготовки відбувалось більше вздовж осі Z і профіль напівфабрикату заповнився не повністю (рис. 6в).

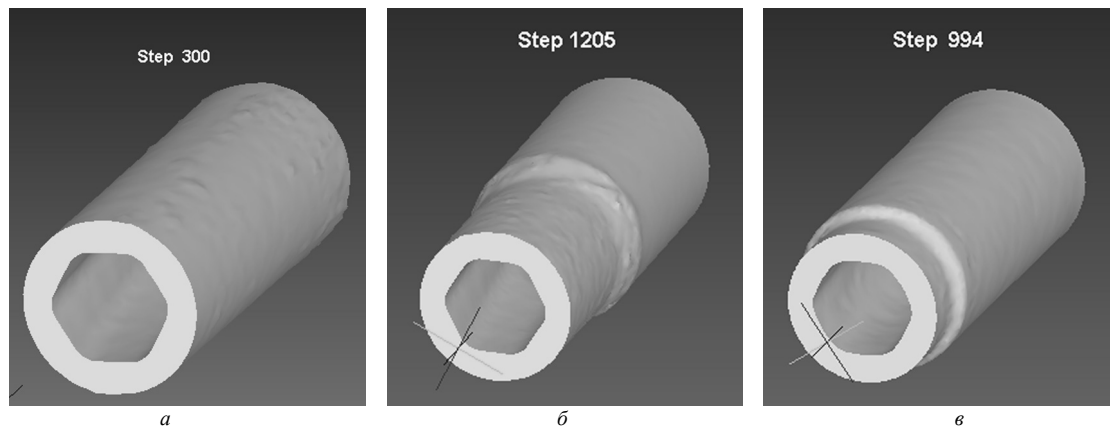


Рис. 6. Результат моделювання процесу волочіння: а – через матрицю з циліндричною робочою кромкою; б – через матрицю з гвинтовою двоохвальною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 15^\circ$; в – через матрицю з гвинтовою двоохвальною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 45^\circ$

Отже при використанні матриць із спеціальним робочим профілем варіюючи кутом робочої конічної частини та величиною подачі інструмента в залежності від цілей можна або збільшувати поздовжнє переміщення матеріалу (подовження), або поперечне (заповнення профілю).

Також в результаті моделювання були отримані діаграми «зусилля – шлях».

Середнє робоче зусилля (на сталій стадії процесу) становило:

- волочіння через матрицю з циліндричною кромкою, Н $2,23 \cdot 10^4$
- волочіння через матрицю зі спеціальним профілем робочої кромки та кутом $\alpha = 15^\circ$, Н $1,05 \cdot 10^4$
- волочіння через матрицю зі спеціальним профілем робочої кромки та кутом $\alpha = 45^\circ$, Н $0,98 \cdot 10^4$

Як видно з отриманих даних, при використанні матриць зі спеціальним профілем та складним рухом робочого інструменту (поступальний та обертальний) зусилля за рахунок локалізації осередку деформації знизилось більш як у два рази.

В наслідок локалізації також відбувається суттєва зміна розподілу інтенсивності напружень (рис. 7).

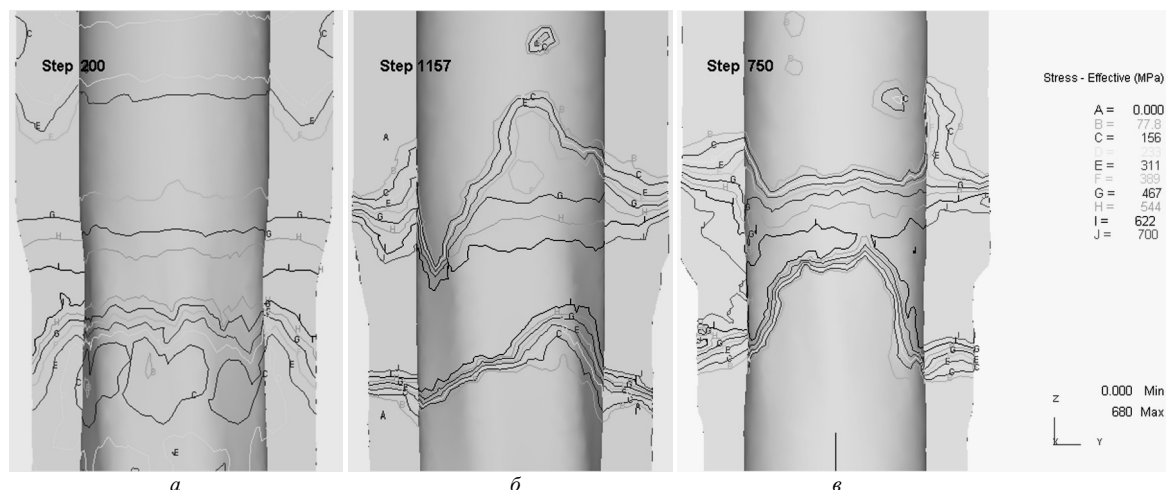


Рис. 7. Розподіл інтенсивності напружень при волочінні: а - через матрицю з циліндричною кромкою; б – через матрицю з гвинтовою двоохвальною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 15^\circ$; в – через матрицю з гвинтовою двоохвальною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 45^\circ$

Як видно з рис. 7 при застосуванні матриць зі спеціальним профілем осередок деформації дійсно має локалізований характер і зі збільшенням кута α (з 15° до 45°) локалізація збільшується (осередок деформації зменшується). Також в наслідок локалізації в осередку деформації спостерігається збільшення інтенсивності

напружень (до 680...700 МПа) та рівномірності її розподілу по товщині заготовки в порівнянні з волочінням через матрицю з циліндричною робочою кромкою (550...650 МПа).

Ще одна особливість – нерівномірність розподілу осьових напружень σ_z по периметру заготовки при застосуванні матриць зі спеціальним профілем (рис. 8).

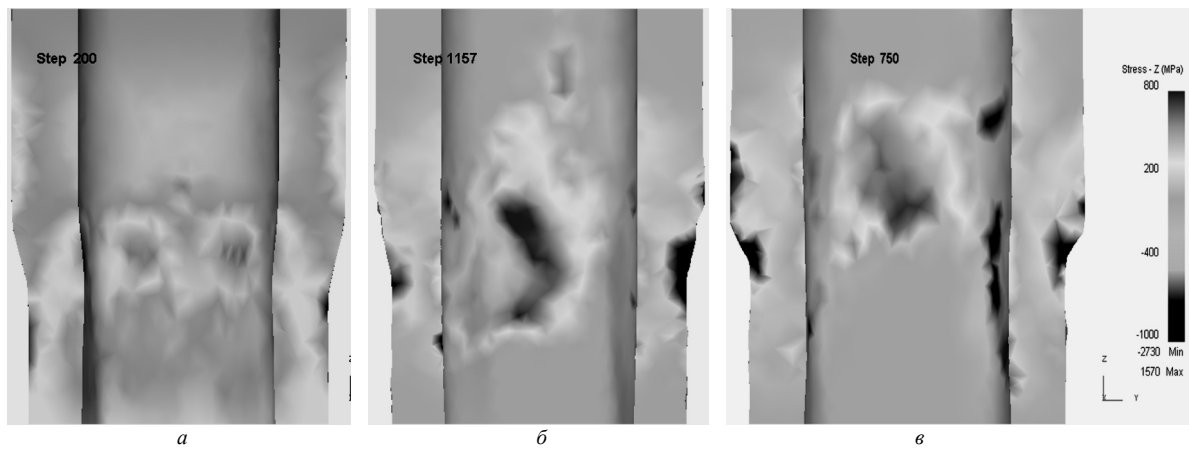


Рис. 8. Розподіл напружень σ_z при волочінні: *a* – через матрицю з циліндричною кромкою; *б* – через матрицю з гвинтовою двохзахідною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 15^\circ$; *в* – через матрицю з гвинтовою двохзахідною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 45^\circ$

Якщо при використанні матриці з циліндричною кромкою в небезпечному перетині по периметру заготовки діють розтягуючі напруження (рис. 8*a*), то при волочінні через матриці зі спеціальним профілем в місці контакту заготовки з матрицею діють максимальні стискаючі напруження (рис. 9*a*, 10*a*), а в поза контактній зоні – максимальні розтягуючі (рис. 9*б*, 10*б*).

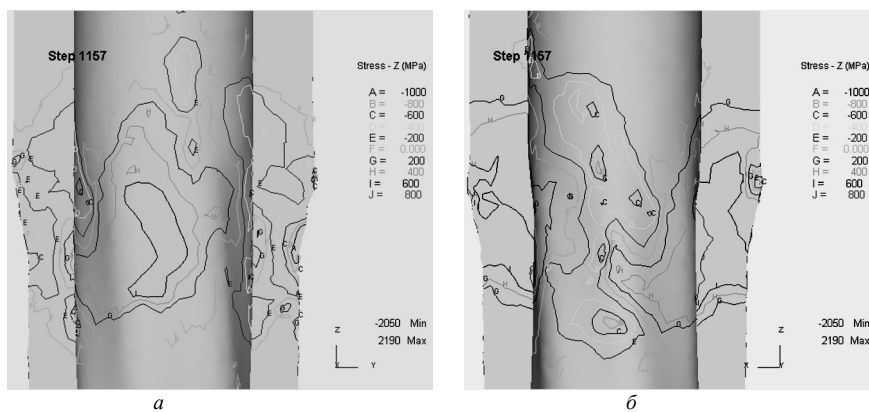


Рис. 9. Розподіл напружень σ_z при волочінні через матрицю зі спеціальним профілем робочої кромки та кутом $\alpha = 15^\circ$: *a* – розріз в місці контакту заготовки з робочою кромкою матриці; *б* – розріз заготовки в позаконтактній зоні

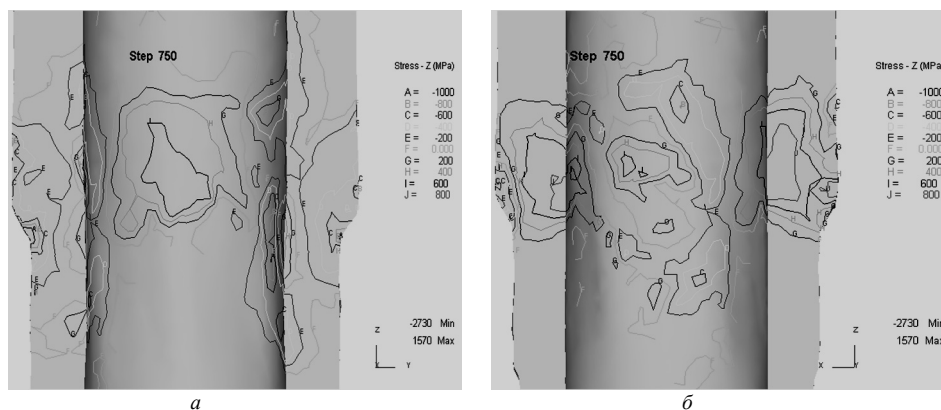


Рис. 10. Розподіл напружень σ_z при волочінні через матрицю зі спеціальним профілем робочої кромки та кутом $\alpha = 45^\circ$: *a* – розріз в місці контакту заготовки з робочою кромкою матриці; *б* – розріз заготовки в позаконтактній зоні

Така зміна схеми напружено-деформованого стану пояснює зменшення технологічного зусилля волочіння через матриці зі спеціальним профілем робочої кромки.

Але при цьому поєднання поступального та обертального руху деформуючого інструменту призводить до суттєвого збільшення інтенсивності деформації та забезпечує рівномірний розподіл інтенсивності деформації як по периметру заготовки, так і по товщині її стінки (рис. 11).

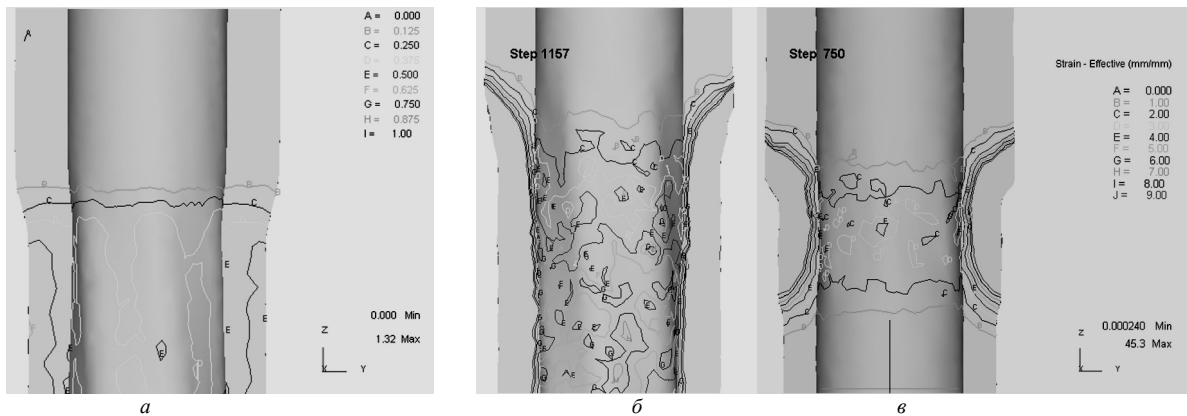


Рис. 11. Розподіл інтенсивності деформацій при волочінні: *a* – через матрицю з циліндричною кромкою; *б* – через матрицю з гвинтовою двохзахідною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 15^\circ$; *в* – через матрицю з гвинтовою двохзахідною робочою кромкою зі спеціальним профілем з кутом робочої конічної частини $\alpha = 45^\circ$

Висновки

Проведене комп'ютерне моделювання процесів волочіння через матриці з різною геометрією робочої кромки підтвердило, що застосування матриць зі спеціальним гвинтовим профілем у поєднанні з обертальним рухом деформуючого інструмента викликає збільшення деформацій зсуву та дотичних напружень в осередку деформації, що призводить до збільшення рівномірності деформації по товщині стінки при зменшенні технологічного зусилля (внаслідок локалізації процесу). Встановлено, що збільшення дотичних напружень викликає зміну схеми напруженого стану – в осередку деформації осьові напруження змінюються з розтягуючих на стискаючі, що зменшує вірогідність руйнування матеріалу в процесі волочіння. Ця виявлена особливість потребує подальшого дослідження впливу знакозмінної схеми напруженого стану на механічні властивості отриманого напівфабрикату. Подальшого дослідження потребує і питання впливу геометрії спеціального профілю та режимів волочіння на якість заповнення профілю.

Список літератури

1. Бабах Ф.К. Основы стрелкового оружия. – СПб.: ООО «Издательство «Полигон», 2003. – 253 с.
2. Туктанов А.Г., Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия: учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2007. - 375 с.
3. Стеблюк В. І., Шкарлута Д. Б., Лагно Ю. В., Розов Ю. Г. Сучасні технології виготовлення стволів стрілецької зброї// Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2007. – № 4. – с. 18 – 22.