

СТЕБЛЮК В.І., докт. техн. наук, проф., НТУУ “КПІ”, Київ

ОРЛЮК М.В., канд. техн. наук, доц., НТУУ “КПІ”, Київ

РОЗОВ Ю.Г., канд. техн. наук, ХНТУ, Херсон

ШКАРЛУТА Д.Б., інж., НТУУ “КПІ”, Київ

ВОЛОЧІННЯ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ ЧЕРЕЗ МАТРИЦІ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМ ГВИНТОВИМ ПРОФІЛЕМ

За допомогою комп'ютерного моделювання у середовищі DEFORM-3D підтверджена можливість зміни схеми напружено-деформованого стану в осередку деформації при волочінні трубчатих виробів через матриці зі спеціальним гвинтовим профілем. Розроблені рекомендації для подальших досліджень процесу.

Ключові слова: матриця, волочіння, трубчастий виріб, заготовка, гвинтовий профіль, зсув.

С помощью компьютерного моделирования в среде DEFORM-3D подтверждена возможность изменения напряженно-деформированного состояния в очаге деформации при волочении трубчатых изделий через матрицы со специальным винтовым профилем. Разработаны рекомендации для дальнейших исследований процесса.

Ключевые слова: матрица, волочение, трубчатое изделие, заготовка, винтовой профиль, сдвиг.

By means of the computer modelling in the environment of DEFORM-3D there has been confirmed the possibility of changing the intense-deformed state in the deformation centre when drawing the tubular items through matrixes with a special screw profile. Recommendations for further research of the process have been developed.

Keywords: matrix, drawing, tubular item, workpiece, screw profile, shift.

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

Ствол — це найважливіша і найвідповідальніша деталь стрілецької зброї, яка за рахунок теплової енергії від згорання порохового заряду визначає параметри внутрішньої балістики: лінійну та кутову швидкості кулі при її русі вздовж каналу ствола, напрямок і початкову швидкість кулі в момент вильоту із ствола.

Тому стволи мають задовольняти наступним вимогам [1]:

- забезпечувати значний пружний опір стінок ствола дії високого тиску порохових газів;
- мати високу живучість (опірність механічній дії провідних пристроїв куль і руйнівній дії порохових газів, що мають великий тиск і високу температуру);
- забезпечувати задану початкову швидкість кулі та її стійкий політ у повітрі;
- забезпечувати відсутність залишкової деформації від дії випадкових сил при службовому використанні та значних вібраціях при пострілі;
- стінки ствола не мають перегріватись внаслідок інтенсивної стрільби (надмірний нагрів зменшує живучість).

На рис. 1 показана типова конструктивна схема ствола стрілецької зброї.

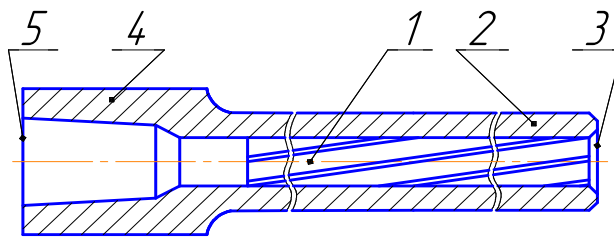


Рис. 1. Ствол вогнепальної зброї:

1 — канал ствола; 2 — дульна частина; 3 — дульний зріз;
4 — казенна частина; 5 — казенний зріз

В будові каналу ствола прийнято виділяти: патронник, направляючу (провідну) частину, з'єднувальний конус (кульовий вхід).

Провідна частина нарізного ствола задає кулі напрям польоту, а завдяки нарізам — додатково обертальний рух.

Форма нарізу в профілі поперечного перетину ствола може бути різною. Найбільш поширені прямокутні, трапецієвидні, округлі (секторні) і сегментні профілі. Останнім часом все ширшого застосування набуває полігональна нарізка.

Полігональна нарізка — це нарізка, яка в поперечному перетині ствола має форму геометричної фігури. Найбільшого поширення набули стволи з шестикутною нарізкою (рис. 2). В даний час вона застосована в пістолетах «Дезерт» (Ізраїль), «Глок» (Австрія), пістолет-кулеметах «Ельф» конструкції КБ СТ (Україна), «Каштан» (Російська Федерація).

Як стверджують фахівці, полігональні стволи забезпечують точніший напрям польоту кулі і мають більшу живучість.

Традиційно технологія виготовлення ствола [2] складається з наступних операцій: одержання заготовки, утворення каналу, виготовлення нарізів, виготовлення патронника, хромування каналу та патронника, зовнішня обробка, правка.

При виробництві стволів найвідповідальнішими є операції створення каналу ствола та наступне отримання нарізів (або полігонів), оскільки провідна частина забезпечує таку важливу характеристику ствола як живучість.

Найчастіше канал в заготовці виготовляють за схемами: попереднє суцільне свердління, розгорткування, чистове розгорткування (або хонінгування чи протягування). Останнім часом в якості фінішної операції все частіше застосовується електрохімічна обробка.

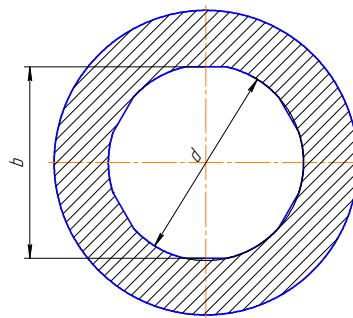


Рис. 2. Схема полігональної нарізки

Але ці схеми засновані на методах обробки з видаленням металу з поверхні, що обробляється. Загальним недоліком цих методів (крім значної втрати металу) є трудомісткість процесів, необхідність великої кількості високоточного обладнання та фахівців високої кваліфікації. Тому вказані методи наразі застосовуються переважно для виробництва особливоточної стрілецької зброї спеціального призначення. Для масового і крупносерійного виробництва бойової

стрілецької зброї для найбільш трудомістких операцій виготовлення каналу ствола розробляються методи, що базуються на холодному пластичному деформуванні металу.

Після виготовлення гладкого каналу ствола з необхідною точністю та шорсткістю поверхні йому потрібно надати необхідний профіль – створити 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 кожен з цих способів має суттєві недоліки. Для радіального кування необхідне складне обладнання. Шпалерування, протягування та електрохімічна обробка – це способи, пов'язані з видаленням металу.

Дорнування каналів стволів з нарізами виникло в зв'язку з необхідністю підняти продуктивність їх виготовлення. Суть процесу проста: через канал продавлюється інструмент – дорн, більшого діаметру ніж канал. На дорні є виступи по кількості нарізів з розмірами та нахилом, що відповідає нарізам. Дорн виготовляється з твердих сплавів або інструментальних сталей з твердосплавними вставками. При проходженні через канал дорн видавлює профіль одразу всіх нарізів. Швидкість продавлювання дорна через канал довжиною до 500...600 мм складає приблизно 1 м/хв.

При зовнішній простоті, процес ускладнюється тим, що контактний тиск настільки великий, що навіть при наявності рідкого змащення на поверхні каналу та дорна утворюється налипання, які виводять в брак як виріб, так и дорн. Процес дорнування став стабільним по якості каналу тільки після того, як канал був покритий твердим змащенням. В якості твердого змащення використовується підшар міді, який після цього видаляється з каналу ствола електрохімічним методом. Окрім цього повністю не вирішена проблема усунення залишкових напружень після дорнування (залишкові напруження викликають додаткову вібрацію при пострілах). Через це при виготовленні стволів високоточної зброї цей метод не застосовується.

Тому наразі залишається потреба в нових нетрадиційних, високопродуктивних схемах внутрішнього профілювання з локалізацією осередку деформування та збільшення інтенсивності накопичення пластичних деформацій без загрози руйнування та універсальних методах, 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.

Серед перспективних технологій [3] в першу чергу можна виділити:

- одержання каналу ствола гідроекструзією;
- прокатування на спеціальних станах;
- одержання профілю прокатуванням в калібрах на оправці;

- одержання профілю волочінням через матрицю зі спеціальним гвинтовим профілем.

Якщо перші три способи досліджені досить ґрунтовно, то процес одержання профілю волочінням через матрицю зі спеціальним гвинтовим профілем є новим.

Метою роботи є перевірка можливості впливати на компоненти деформації зсуву та дотичні напруження в осередку деформації при волочінні за рахунок застосування гвинтової геометрії деформуючих кромek матриці.

На рис. 3. показані схеми НДС осередку деформації, які можуть мати місце при деформуванні в таких матрицях.

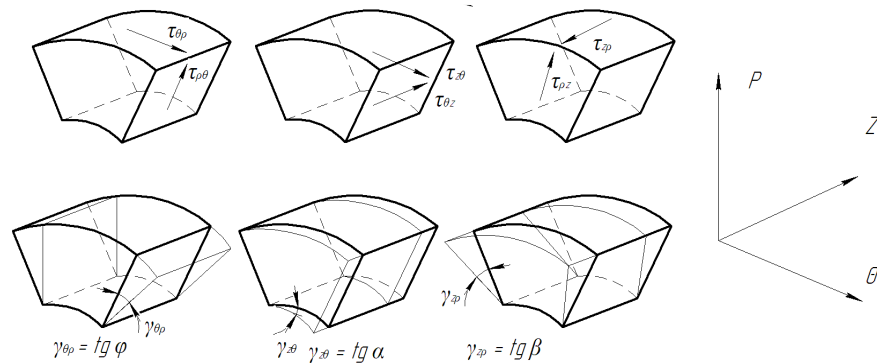


Рис. 3. Напружено-деформований стан тіла при деформуванні у матриці зі спеціальним гвинтовим профілем.

Оскільки натурні експерименти є досить затратними, тому для виявлення особливостей та основних закономірностей запропонованого процесу було виконано моделювання процесу волочіння порожнистої заготовки з одночасним профілюванням внутрішнього каналу на оправці (рис. 4) через матриці з різною геометрією робочих кромek.

Моделювання здійснювалось за допомогою пакету програмних засобів DEFORM-3D Version 6.1, розроблених фірмою Scientific Forming Technologies Corporation.

Оправка має шестикутну полігональну форму з розмірами $d = 9$ мм та $b = 8,3$ мм. Кут нахилу полігонів – $6^\circ 30'$.

Заготовка – трубчаста. Внутрішній діаметр заготовки $d_{вн} = 9,05$ мм, зовнішній – $d_{зн} = 15$ мм. Матеріал заготовки – сталь 20

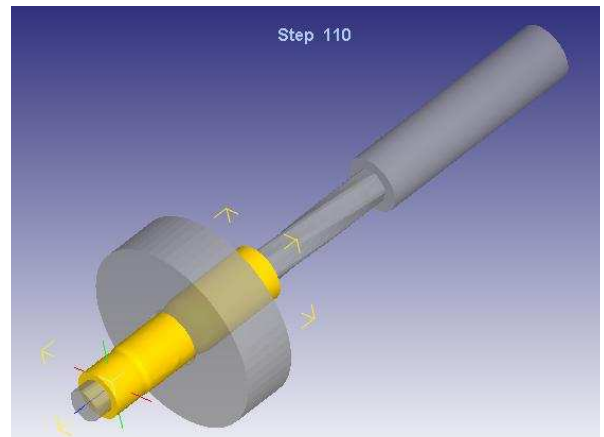


Рис. 4. Процес волочіння на оправці.

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. 5а);
- гвинтову одно західну постійної висоти з $\alpha = 15^\circ$ та кутом підйому робочої кромки $\beta \approx 4,8^\circ$ (рис. 5б);
- гвинтову двох західну постійної висоти з $\alpha = 15^\circ$ та кутом підйому робочої кромки $\beta \approx 9,5^\circ$ (рис. 5в).

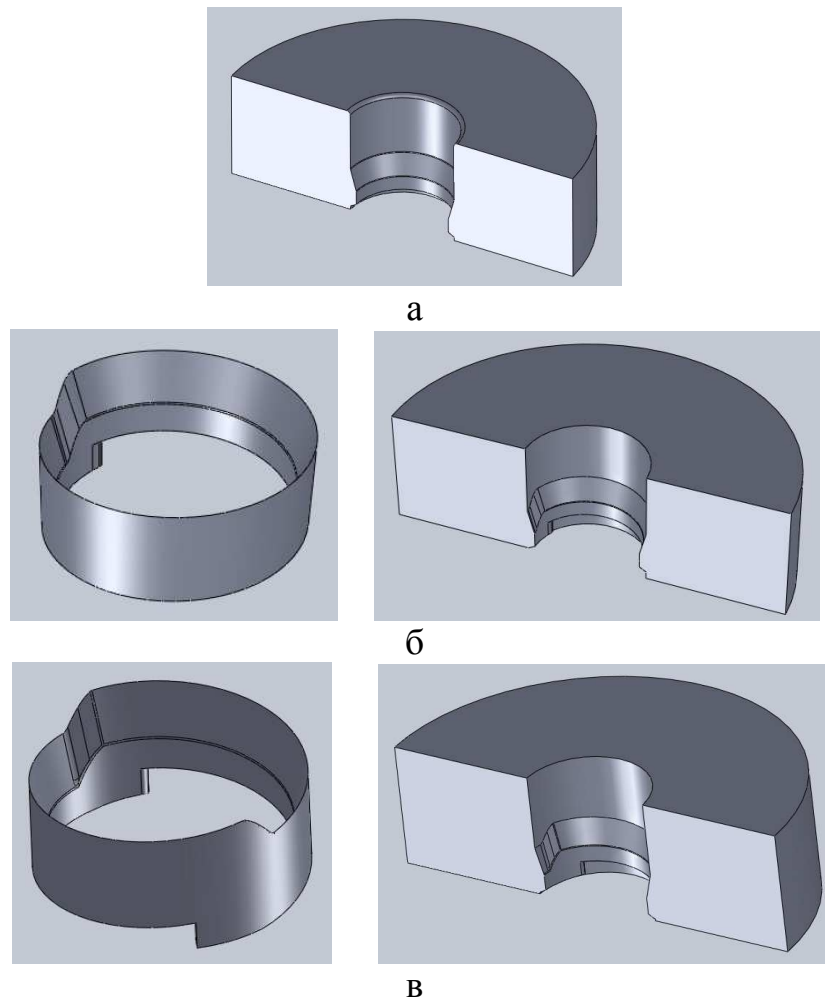


Рис. 5. Геометрія робочих кромek матриць:

а - матриця з циліндричною робочою кромкою; б - матриця з гвинтовою однозахідною робочою кромкою постійної висоти; в - матриця з гвинтовою двохзахідною робочою кромкою постійної висоти.

При моделюванні процесу волочіння інструменту надавався лише поступальний рух зі швидкістю $v = 5$ мм/с.

В результаті моделювання були отримані наступні результати.

При волочінні як через матрицю з циліндричною робочою кромкою, так і через матриці з гвинтовими кромками, необхідний профіль було отримано (рис.6).

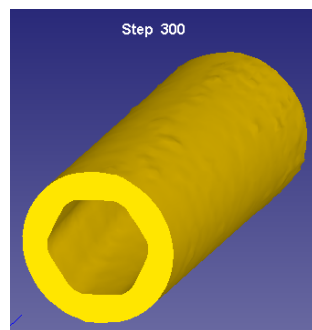


Рис. 6. Результат моделювання процесу волочіння.

Також в результаті моделювання були отримані діаграми «зусилля – шлях». Середнє робоче зусилля (на сталій стадії процесу) становило:

- волочіння через матрицю з циліндричною кромкою, $N = 2,23 \cdot 10^4$
- волочіння через матрицю з одно західною гвинтовою кромкою, $N = 2,2 \cdot 10^4$
- волочіння через матрицю з двох західною гвинтовою кромкою, $N = 2,24 \cdot 10^4$

Як видно з отриманих даних, застосування матриць з гвинтовими кромками постійної висоти при поступальному русі інструмента мало впливає на зусилля процесу волочіння в порівнянні з використанням матриці з циліндричною робочою кромкою (різниця знаходиться в межах інженерної похибки 5%).

Розподіл інтенсивності напружень в процесах волочіння через матрицю з циліндричною кромкою та через матриці з гвинтовими кромками (рис. 7) також відрізняється не набагато і в залежності від ступеню деформації становить 620...660 МПа.

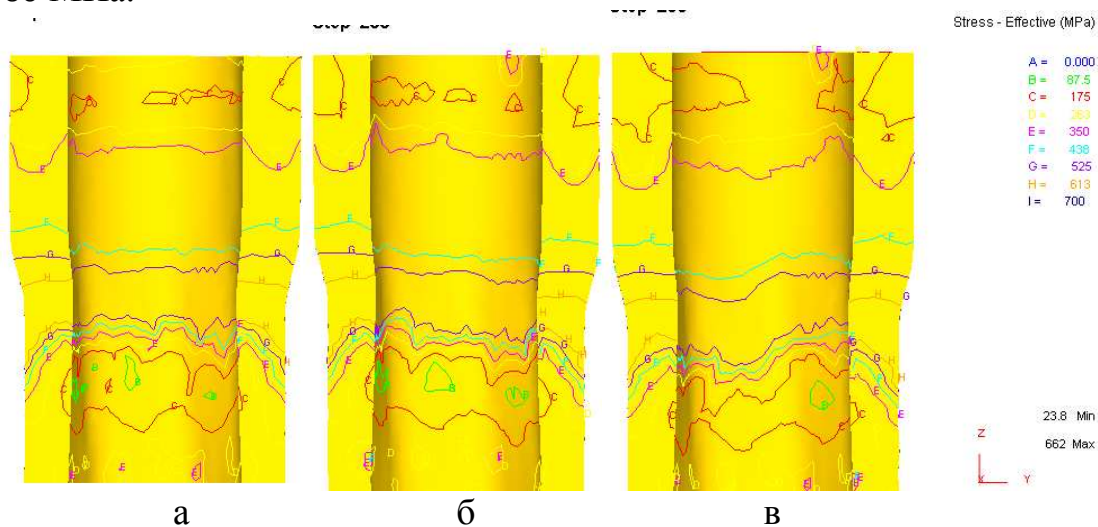


Рис. 7. Розподіл інтенсивності напружень при волочінні:

а - через матрицю з циліндричною кромкою; б - через матрицю з одно західною гвинтовою кромкою постійної висоти; в - через матрицю з двох західною гвинтовою кромкою постійної висоти.

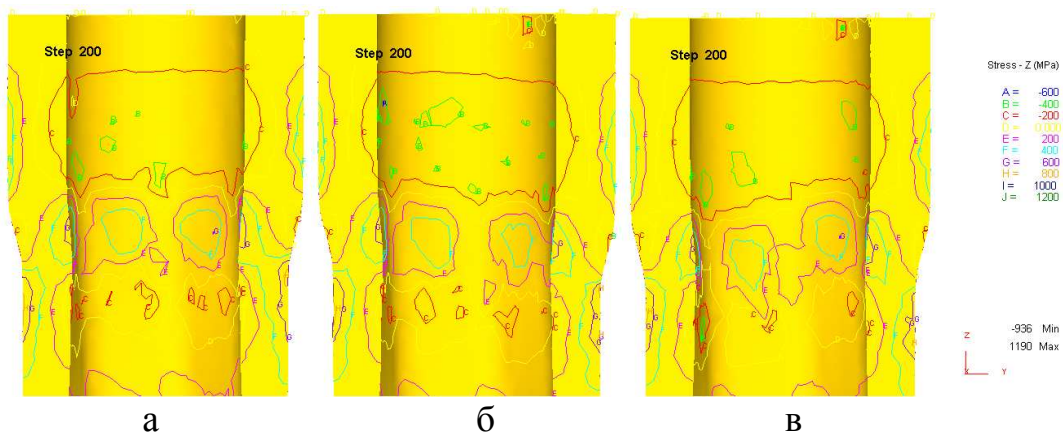


Рис. 8. Розподіл напружень σ_z при волочінні:

а - через матрицю з циліндричною кромкою; б - через матрицю з одно західною гвинтовою кромкою постійної висоти; в - через матрицю з двох західною гвинтовою кромкою постійної висоти.

Але як видно з рис. 8 застосування матриць з гвинтовими кромками дає хоча і незначне, але зниження розтягуючих напружень σ_z в небезпечному перерізі.

А зниження розтягуючих напружень при незмінній інтенсивності напружень в небезпечному перерізі підтверджує наше припущення про збільшення дотичних напружень в осередку деформації.

Відповідно зміна схеми напружено-деформованого стану викликає зміну схеми розподілу інтенсивності деформацій по перетину zdeформованого напівфабрикату (рис. 9).

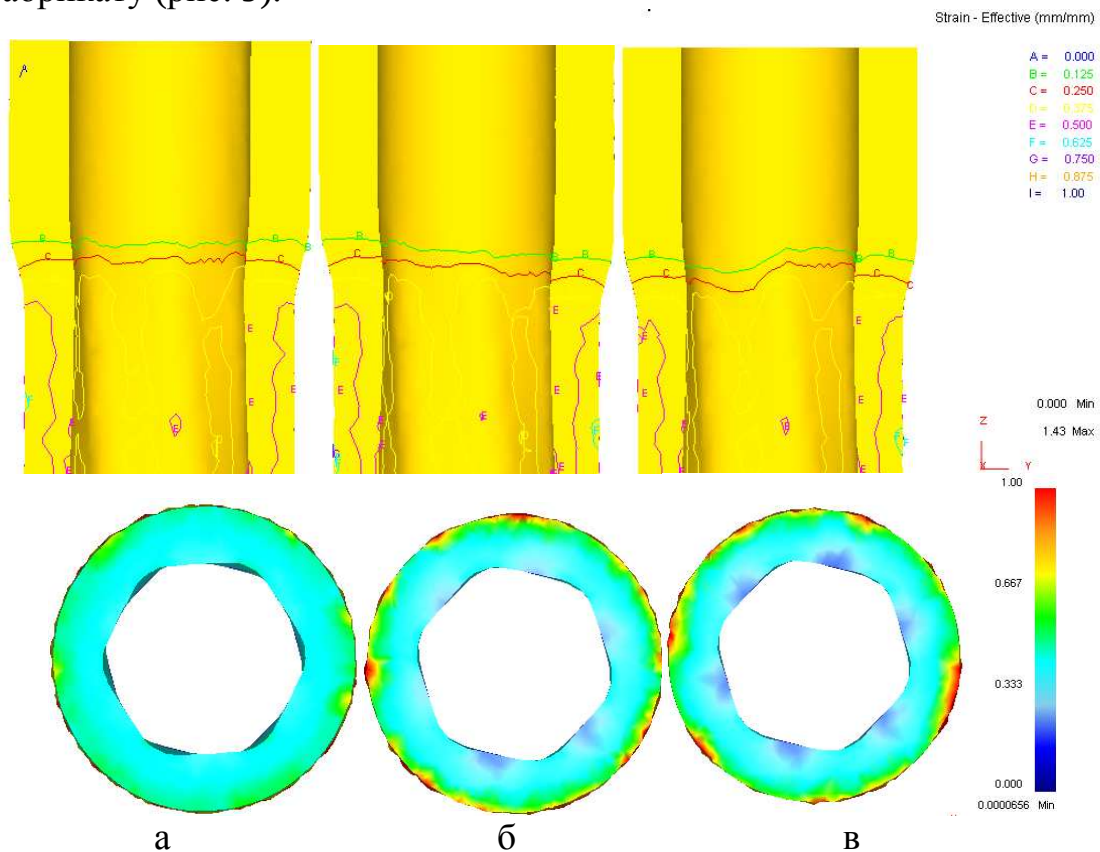


Рис. 9. Розподіл інтенсивності деформацій при волочінні:

а - через матрицю з циліндричною кромкою; б - через матрицю з одно західною гвинтовою кромкою постійної висоти; в - через матрицю з двох західною гвинтовою кромкою постійної висоти.

Так при волочінні через матрицю з циліндричною кромкою (рис. 9а) спостерігається більш рівномірний розподіл інтенсивності деформацій по перерізу напівфабрикату від 0,3...0,35 на внутрішній поверхні до 0,6...0,65 на зовнішній.

При волочінні через матриці з гвинтовими кромками (рис. 9б, 9в) інтенсивність деформації дещо зменшується на внутрішній поверхні напівфабрикатів (до 0,25 на плоскій частині полігонів) і збільшується на зовнішній до 0,8...0,85, створюючи ефект бандажу, що повинно покращити пружні властивості стінки отриманого напівфабрикату.

Однак як видно з рисунків, інтенсивність деформації при цьому збільшується нерівномірно по периметру отриманого напівфабрикату. А ця

рівномірність може викликати в подальшому небажану деформацію ствола при термообробці та в процесі його експлуатації. Більш рівномірний розподіл в даному випадку забезпечує матриця з двох західною гвинтовою кромкою.

Висновки. Запропонований новий спосіб внутрішнього профілювання товстостінних труб має фундаментальну відмінність від уже існуючих, оскільки виконання робочої поверхні матриці у вигляді гвинтової лінії викликає зсуви в трьох взаємно перпендикулярних площинах і призводить до збільшення дотичних напружень в осередку деформації, а отже, згідно умови пластичності, зменшення нормальних розтягуючих.

Проведене комп'ютерне моделювання процесів з різною геометрією робочої кромки матриці з одного боку підтвердило зроблені припущення, з іншого боку показало, що для досягнення суттєвого ефекту по зменшенню розтягуючих напружень в небезпечному перетині та збільшенню рівномірності деформацій по товщині стінки заміни циліндричної робочої кромки на гвинтову недостатньо. Тому в подальших дослідженнях для збільшення дотичних напружень та деформацій зсуву в осередку деформації доцільно матриці надавати не тільки поступальний рух, а й обертальний навколо осі заготовки.

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.

УДК 621.791.76: 621.7.044.2

ЗАГОРЯНСКИЙ В.Г., канд., техн., наук, доц.,

ПУЗЫРЬ Р.Г., канд., техн., наук, доц.,

КНУ имени Михаила Остроградского, Кременчуг

ПОЛУЧЕНИЕ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

Статья посвящена созданию технологии сварки взрывом медно-алюминиевой композиции. Исследования механических и электрофизических свойств полученных композиций показали приемлемые с качественной и количественной точки зрения значения этих свойств, таких как угол изгиба, прочность на отрыв слоев, сопротивление биметалла срезу, переходное электрическое сопротивление. Результаты механических и электрофизических испытаний позволяют использовать разработанную технологию в промышленном масштабе.

Стаття присвячена створенню технології зварювання вибухом мідно-алюмінієвої композиції. Дослідження механічних і електрофізичних властивостей отриманих композицій показали прийнятні з якісної і кількісної точки зору значення цих властивостей, таких як кут вигину, міцність на відрив шарів, опір біметала зрізу, перехідний електричний опір. Результати механічних і електрофізичних випробувань дозволяють використовувати розроблену технологію в промисловому масштабі.