

розширює технологічні можливості процесу при управлінні швидкістю і зусиллям обробки, а також забезпечує параметри якості поверхневого шару.

**Ключові слова:** ультразвукове випрасовування, металлосодержащие мастила, титанові сплави, поверхнево-пластичне деформування.

The article presents the results of the use of metal-containing lubricants in burnishing process with application of an ultrasound of details made of titanium alloy VT22 and VT23. It was found that their use expands the technological capabilities of the process by controlling the speed and processing effort, and also provides quality parameters of the surface layer.

**Keywords:** ultrasound burnishing, metal-containing lubrication, titanium alloys, surface plastic deformation

УДК: 21.983.3.001 – 621. 983.7.004

**В. А. МАКОВЕЙ**, канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПІ»;

**П. Ю. ПРОЦЕНКО**, аспірант, НТУУ «КПІ».

### **ОСОБЛИВОСТІ ПРОФІЛЮВАННЯ ОДНО-ТА ТРЬОХЗАХІДНИХ ГВИНТОПОДІБНИХ ТРУБ**

Проведено моделювання декількох варіантів обкочування роликом одно- та трьохзахідних канавок на трубі з використанням програмного пакета Deform 3D. В якості профілюючих елементів для отримання канавок використовували ролики та оправку. Досліджено вплив різних параметрів (діаметра ролика  $D_p$ , кроку гвинта  $k$ , глибини канавки  $h$ , частоти обертів оправки  $n$ ) на напружено-деформований стан труби. Запропоновано технологію та конструкцію обкатної головки для отримання трьохзахідної гвинтової канавки на трубі.

**Ключові слова:** роликове обкочування, одно- та трьохзахідні гвинтоподібні труби, напружено-деформований стан, трьохроликів обкочувальна головка

**Вступ.** Інтенсифікація теплообміну в каналах є ефективним способом зменшення габаритних розмірів та металоемкості теплообмінних апаратів. При розробці нових теплообмінних апаратів, як правило, намагаються досягнути високої інтенсивності теплопередачі при мінімальній витраті енергії на прокачування теплоносіїв. Аналіз робіт в цьому напрямку показує, що найбільш ефективними виявились гвинтоподібні труби з рівнорозвиненою поверхнею [1, 2]. Масового виробництва їх у теперішній час не існує.

**Аналіз останніх досліджень і літератури.** Відомим способом виготовлення гвинтоподібних труб є роликове обкочування на оправці [3], але дослідження процесу виготовлення відсутнє. Технологія виробництва однороликовим обкочуванням однозахідних гвинтоподібних труб описана в роботі [4]. Дослідне виробництво таких труб виконувалось на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 із застосуванням обкатної головки, що кріпилась в різцетримачі, та оправки, яка встановлювалась в середину труби та закріплювалась з одного боку разом з трубою в трьохкулачковому патроні верстату, а з іншого – підпиралась центром задньої бабки верстата.

Недоліком наведених способів є відсутність досліджень по встановленню оптимальних параметрів процесу обкочування гвинтових канавок на трубах та впливу їх на якість виробів. Крім того виникає необхідність інтенсифікації технології виготовлення гвинтоподібних труб з рівнорозвиненою поверхнею. Це можливо при профілюванні трьохзахідних гвинтоподібних труб.

**Ціль дослідження, постановка проблеми.** Метою роботи є розробка технології отримання трьохзахідних гвинтоподібних труб з використанням оправки, дослідження впливу параметрів обкочування (діаметра ролика  $D_p$ , кроку гвинтової оправки  $k$ , частоти обертів оправки  $n$ ). Для оцінки впливу проводили моделювання обкочування труби роликками різних діаметрів, з різною частотою обертів труби-заготовки та різним кроком гвинтової оправки. При цьому досліджували можливість отримання максимальної глибини гвинтових канавок без руйнування.

**Результати моделювання обкочування роликками.** Попередньо було змодельовано процес отримання деталі однозахідним та трьохзахідним способом, після чого проводилось порівняння цих процесів. Моделювання виконувалось в програмному пакеті Deform 3D, який був тимчасово наданий для використання компанією «Тесис» м. Москва.

Модель процесу обкочування однозахідної гвинтоподібної труби в програмі Deform 3D показана на рис. 1, а. Трубчаста заготовка 1 була розбита на сітку тетраедричних скінчених елементів. На рис. 1, б показана модель процесу трьохроликового обкочування в програмі Deform 3D. В обох процесах використовувалась труба з зовнішнім діаметром  $d = 38$  мм та товщиною стінки  $S = 1$  мм. Коефіцієнт тертя задавався – 0,1. Задавалась крива течії сталі AISI 304 (рис. 2).

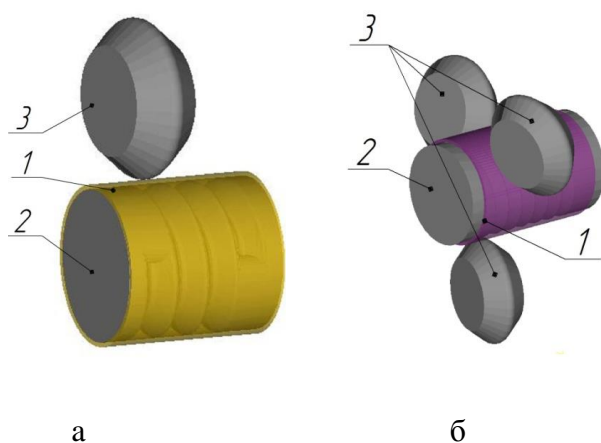


Рис. 1 – Моделі процесів, що створені в програмі Deform 3D: а – процес обкочування однозахідної гвинтоподібної труби (1 – труба заготовка, 2 – оправка з гвинтовою канавкою, 3 – ролик); б – процес обкочування трьохзахідної гвинтоподібної труби (1 – труба-заготовка, 2 – трьохзахідна оправка, 3 – ролики)

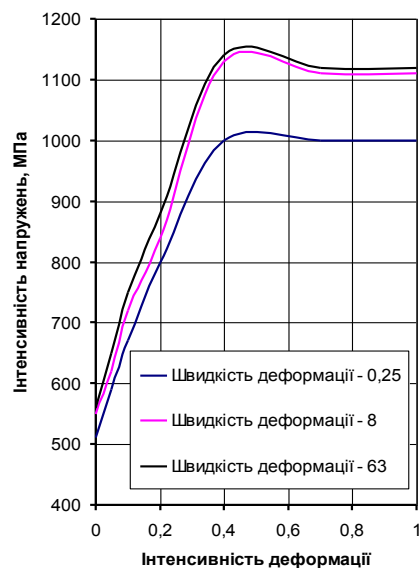


Рис. 2 – Крива течії сталі AISI 304

Процес моделювання в обох випадках проходив в 2 етапи [5] :

На першому етапі моделювання обкочування гвинтоподібної труби ролик або ролики вдавлювали в трубу на глибину  $h = 2$  мм, в подальшому – на 3,5 мм та 4,3 мм. Причому формування канавок глибиною 3,5 мм на трубці відбувалось після отримання канавки глибиною 2 мм, а формування канавки глибиною 4,3 мм – після отримання канавки глибиною 3,5 мм.

Далі відбувалось моделювання обкочування однозахідної з кроком 8 мм або трьохзахідної з кроком 24 мм гвинтоподібних труб для отримання

гвинтових канавок на трубі. Оправка в кожному випадку моделювання оберталась в напрямку протилежному обертанню роликів з частотою обертів  $n=160$  об/хв..

Етапи моделювання гвинтоподібної труби наведені в роботі [5]. Аналіз першого етапу моделювання показує, що в даному випадку в локальному осередку деформації реалізується напружено-деформований стан (НДС) з двома напруженнями та деформаціями розтягу і напруженням та деформацією стиску. Вже на даному етапі створюється несприятлива схема НДС, що не дозволяє формувати труби з глибокими канавками. При початковому вдавлюванні ролика в гладку циліндричну трубу на глибину  $h=2$  мм в залежності від геометрії роликів може виникати скачок головних напружень у від'ємну сторону, що може бути викликано локальним зминанням труби на початкових кроках вдавлювання ролика без потоншення стінки. Розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$  та деформацій  $\varepsilon_i$  на етапі втискування ролика в заготовку в залежності від положення точок в повздовжньому розрізі канавки на трубі дає можливість виділити дві зони інтенсивної течії металу [5, 6]. Перша зона знаходиться біля скруглених виступів оправки, друга – біля скруглених країв ролика, де відбувається інтенсивна течія матеріалу. У цих двох криволінійних зонах труби напружений стан, як було сказано, близький до двоосного розтягу. Напруження, що виникають в цих зонах, залежать від радіусів кривизни цих зон. Тому чим менше ці радіуса, тим більші значення головних напружень.

Для оцінки можливості руйнування труби в процесі її обкочування в програмі застосовувався енергетичний критерій руйнування Броза оснований на визначенні питомої роботи формозмінювання:

$$\int_0^{\varepsilon_k} \frac{\sigma_1}{\sigma_1 - \sigma} d\varepsilon_i = const = \psi \quad (1)$$

де  $\sigma_i$  – максимальне головне напруження;

$\varepsilon_i$  – інтенсивність напружень;

$\sigma$  – гідростатичний тиск,  $\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$ ;

$\varepsilon_k$  – критична деформація, значення якої для даного процесу знаходиться в межах 1,4...1,5.

При моделюванні обкочування гвинтоподібної канавки на трубі був зроблений розріз відповідно до рис. 3. В перерізах А-А однозахідної та трьохзахідної гвинтоподібних труб було вибрано точки відповідно до рис. 4.

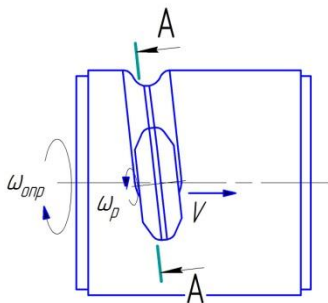


Рис. 3– Положення розрізу А-А

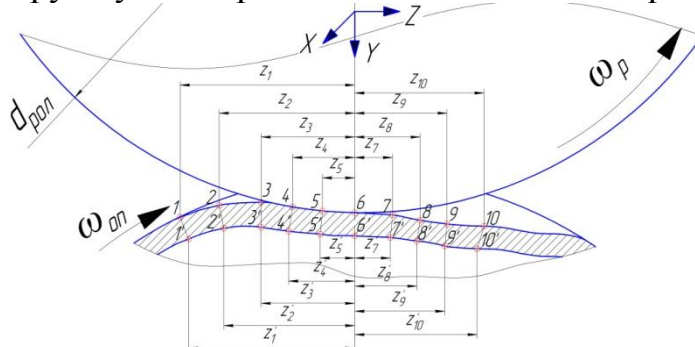


Рис. 4 – Координати точок по осі z (в розрізі А-А)

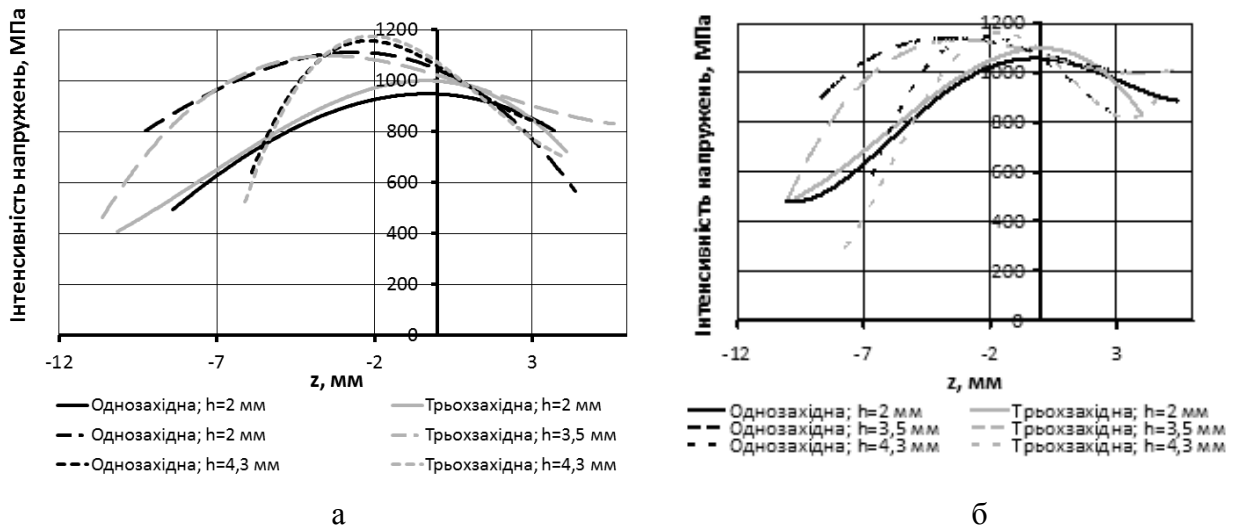


Рис. 5 – Залежності інтенсивності напружень в поперечному розрізі труби: а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

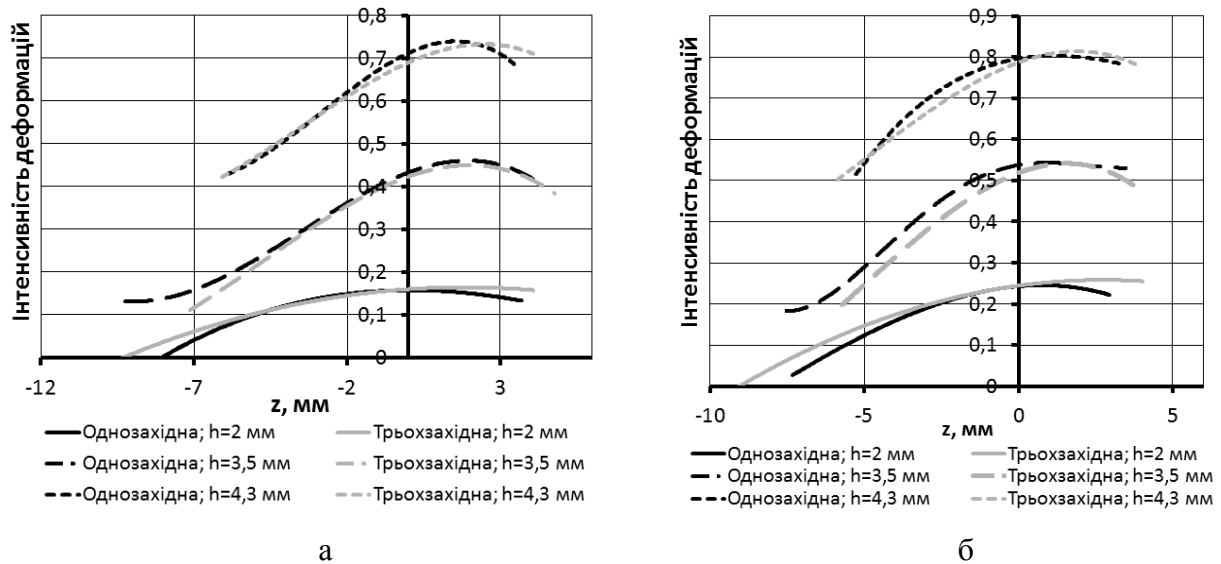


Рис. 6. – Залежності інтенсивності деформацій в поперечному розрізі труби: а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

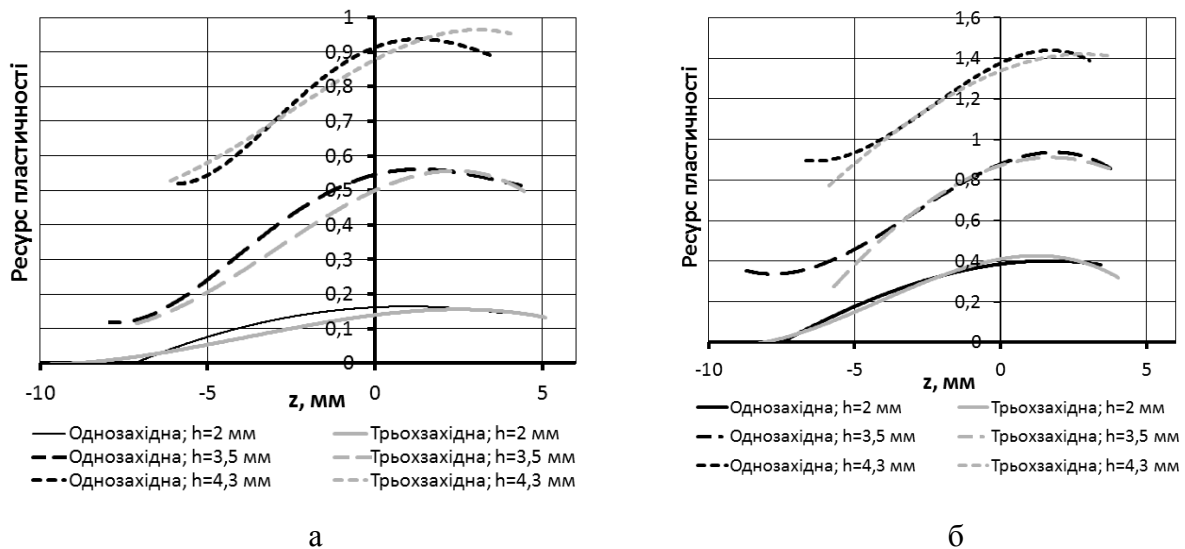


Рис. 7. – Залежності ресурсу пластичності в поперечному розрізі труби: а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

Отримані при моделюванні розподіли інтенсивності напружень  $\sigma$  (рис. 5), деформацій  $\epsilon$  (рис. 6) та ресурсу пластичності (рис. 7) однозахідної та трьохзахідної гвинтоподібних труб в залежності від положення точок по вісі  $z$  (див. рис. 4) показують, що значної різниці в НДС при виготовленні таких виробів немає.

Крім цього для оцінки впливу параметрів обкочування (діаметра ролика, кроку гвинтової оправки, частоти обертів оправки з надітою на неї заготовкою) проведено моделювання обкочування труби роликками різних діаметрів ( $D_p = 25, 30, 38, 40, 45$  мм), з різною частотою обертів труби-заготовки ( $n = 50, 100, 160, 200, 250$  об/хв) та різним кроком гвинтової оправки ( $k = 6, 8, 12, 20$  мм). На основі отриманих результатів побудовано графіки впливу вказаних параметрів на максимальну величину інтенсивності напружень, величину інтенсивності деформації, ресурсу пластичності, що показані на рис. 8–16.

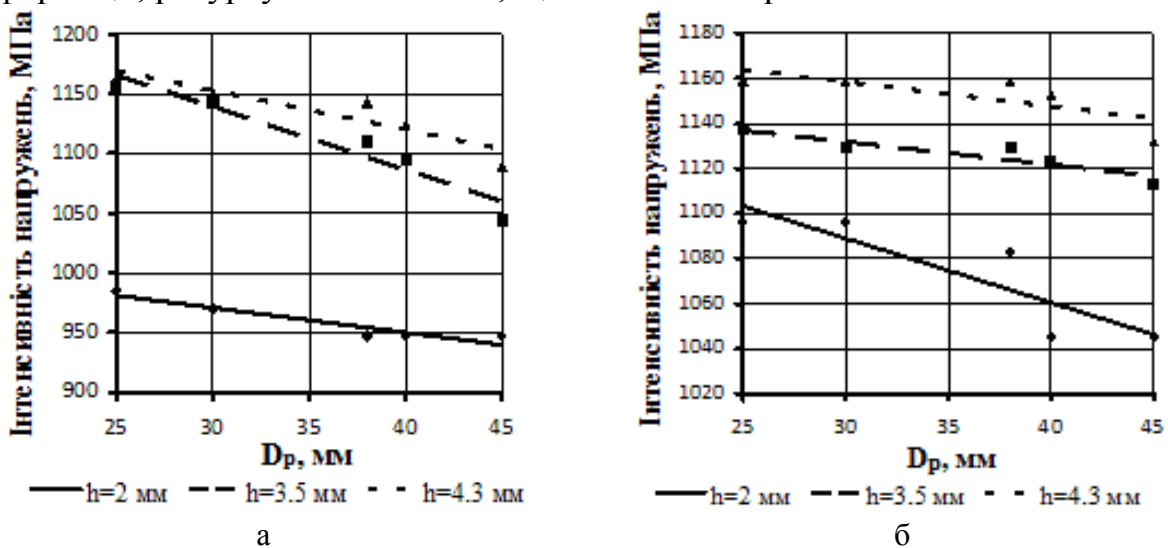


Рис. 8 – Вплив діаметра ролика  $D_p$  на максимальну величину інтенсивності напружень при формуванні канавок різної глибини  $h$ : а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

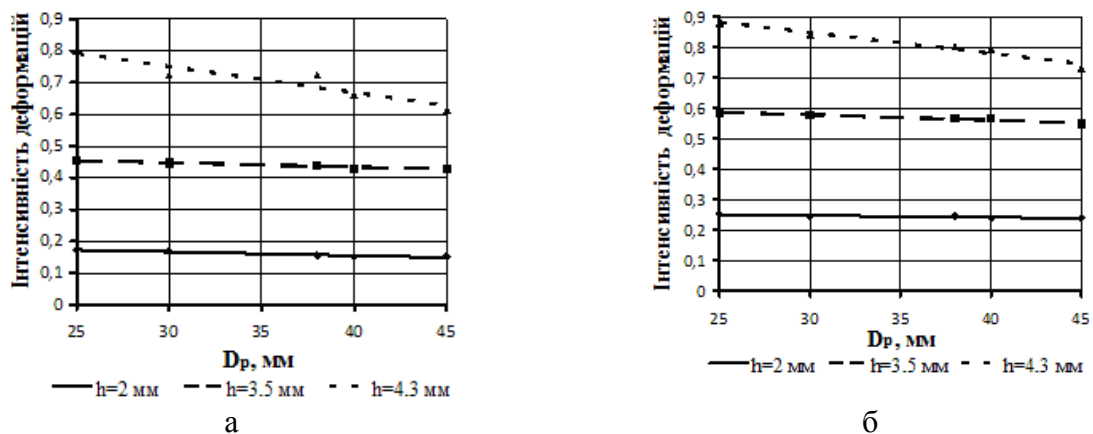


Рис. 9 – Вплив діаметра ролика  $D_p$  на максимальну величину інтенсивності деформації при формуванні канавок різної глибини  $h$ : а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

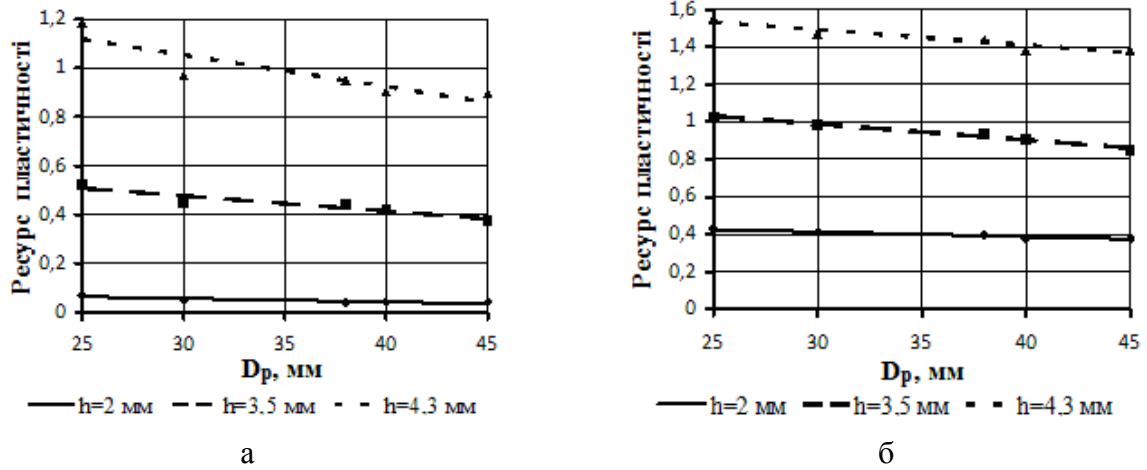


Рис. 10 – Вплив діаметра ролика  $D_p$  на максимальну величину ресурсу пластичності при формуванні канавок різної глибини  $h$ : а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

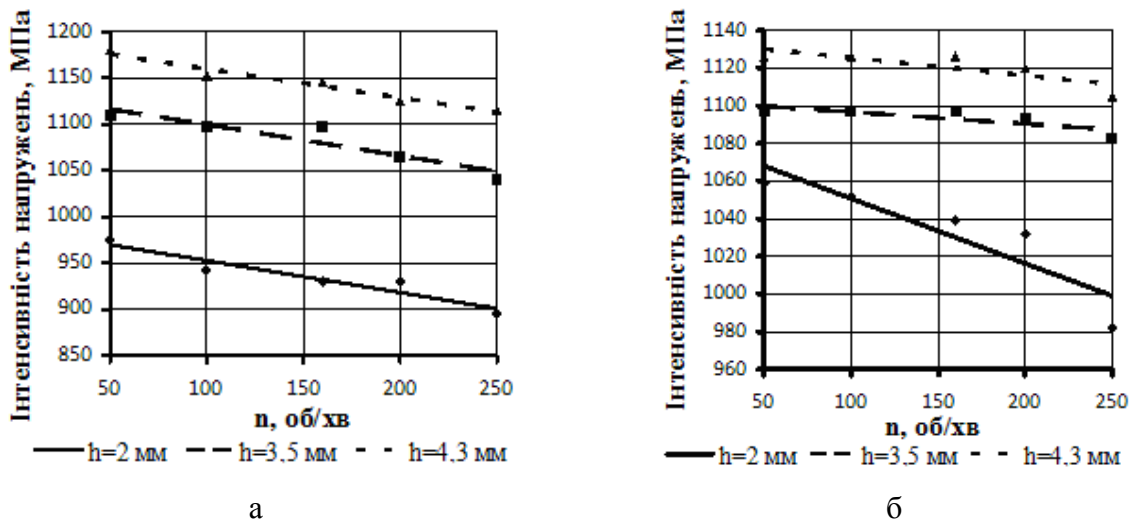


Рис. 11 – Вплив частоти обертів  $n$  на максимальну величину інтенсивності напружень при формуванні канавок різної глибини  $h$ : а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

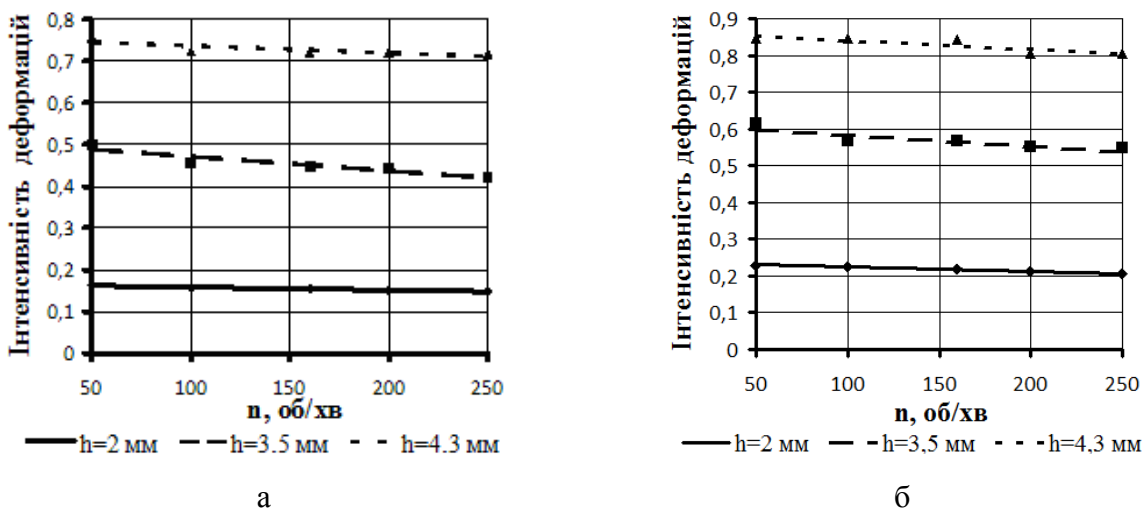
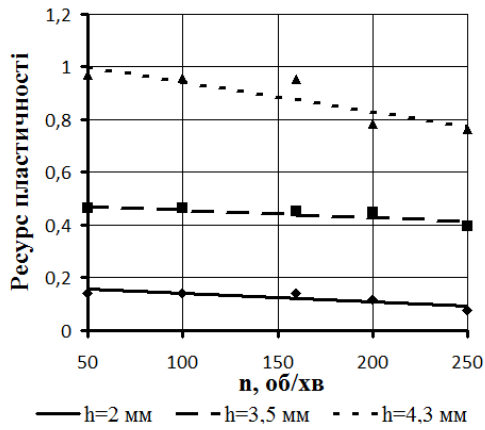
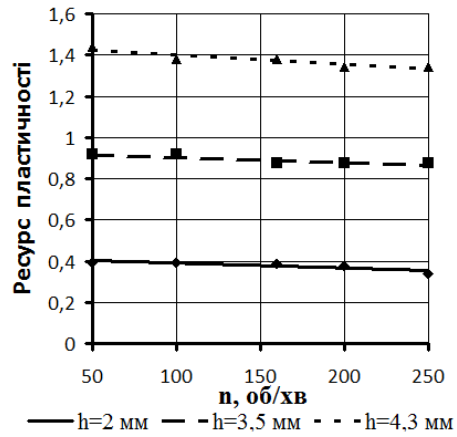


Рис. 12 – Вплив частоти обертів  $n$  на максимальну величину інтенсивності деформацій при формуванні канавок різної глибини  $h$ : а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

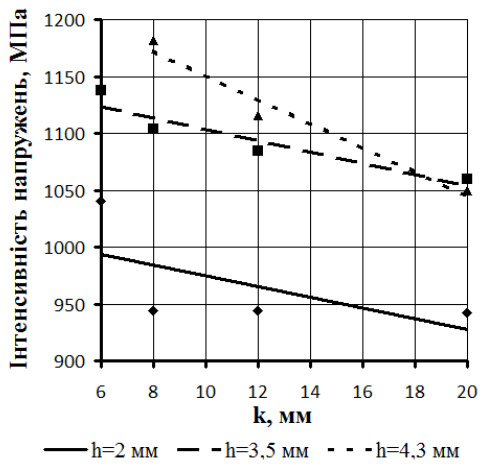


а

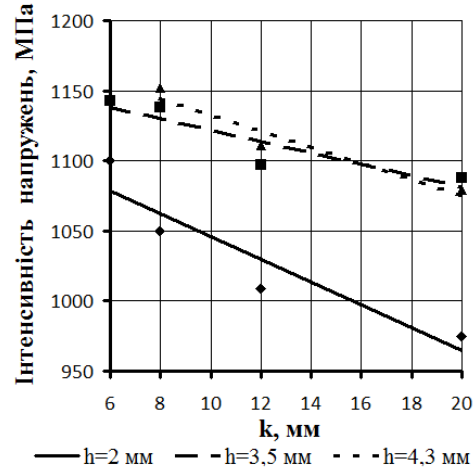


б

Рис. 13 – Вплив частоти обертів  $n$  на максимальну величину ресурсу пластичності при формуванні канавок різної глибини  $h$ : а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

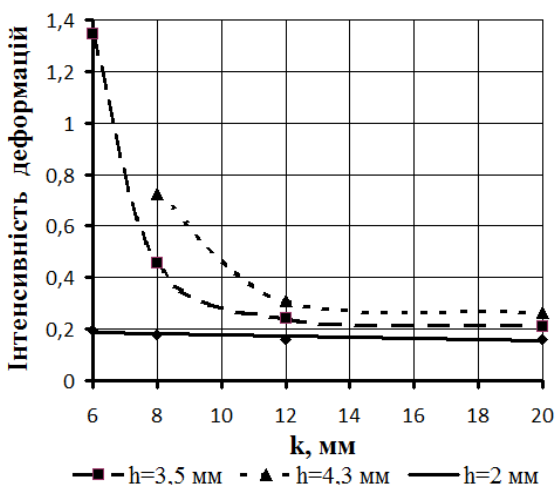


а

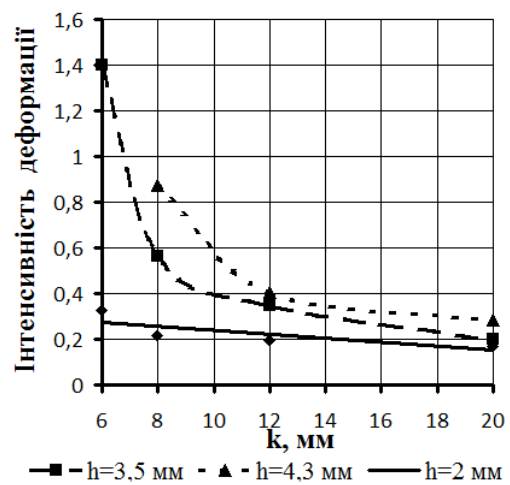


б

Рис. 14. – Вплив кроку гвинтової канавки  $k$  на максимальну величину інтенсивності напружень при формуванні канавок різної глибини  $h$ : а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби



а



б

Рис. 15 – Вплив кроку гвинтової канавки  $k$  на максимальну величину інтенсивності деформацій при формуванні канавок різної глибини  $h$ : а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби



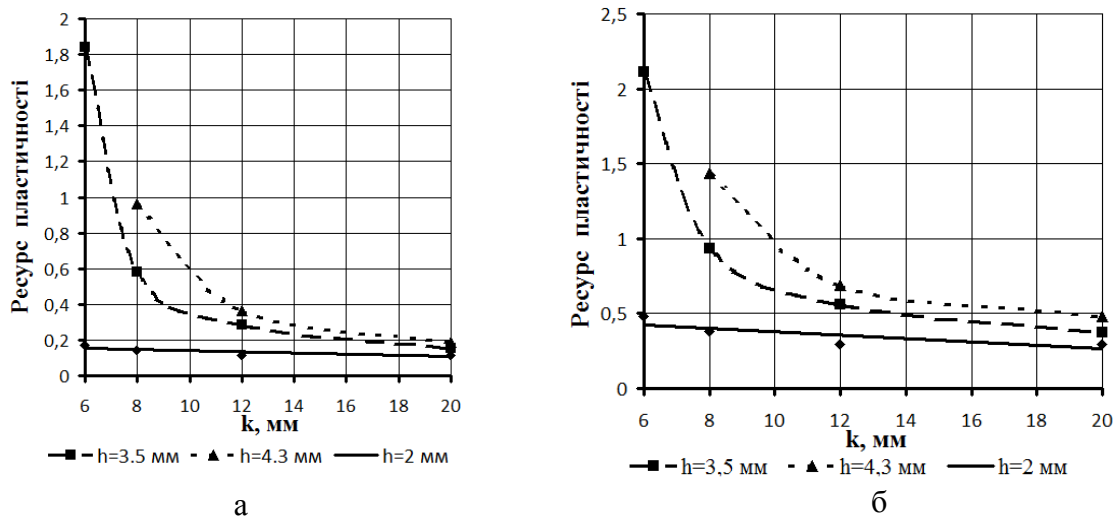


Рис. 16 – Вплив кроку гвинтової канавки  $k$  на максимальну величину ресурсу пластичності для канавок різної глибини  $h$ : а – на зовнішній поверхні труби, б – на внутрішній поверхні труби

**Технологія та оснащення для виготовлення трьохзахідних гвинтоподібних труб.** Для отримання трьохзахідних гвинтоподібних труб був спроектований та виготовлений експериментальний варіант трьохроликової обкочувальної головки на базі трьохкулачкового токарного патрону, на кулачках якого закріплені ролики. Обкочувальна головка кріпилася на супорті токарно-гвинторізного верстату.

Технологія виготовлення трьохзахідних гвинтоподібних труб включає: закріплення гвинтоподібної оправки з надітою трубою в патроні верстату, підпирання її центром, який встановлений в задній бабці, виставлення трьох роликів по різьбі оправки, втискання одночасно їх в трубу на глибину 1,5 ... 2 мм та обкочування з переміщенням супорта з головкою вздовж труби до патрону. При цьому верстат включається в режим нарізання різьби. Після першого проходу верстат включається на зворотній хід і обкочувальна головка повертається в початкове положення. На наступному етапі ролики втискаються в трубу на 1...1,5 мм і процес обкочування повторюється. В подальшому відбувається декілька етапів обкочування до досягнення необхідної глибини канавки і оправка з трубою знімається з верстату та труба викручується з оправки.

3D модель із заготовкою, що одіта на трьохзахідну оправку, показана на рис. 17. На рис. 18 зображена фотографія трьохроликової обкочувальної головки, яка була встановлена на токарно-гвинторізний верстат.

Трьохроликова обкочувальна головка складається з трьохкулачкового патрону 1, що кріпиться до плити 2 за допомогою гвинтів, яка у свою чергу кріпиться до опори 3 теж за допомогою гвинтів. До кулачків 4 трьохкулачкового патрону 1 приєднані обкатні головки 5 з роликами 6. Жорсткість конструкції підвищує направляюча плита 7, яка містить пази за допомогою яких додатково направляються обкатні головки 5, що приєднані до кулачків 4. Направляюча плита 7 з'єднується з опорою 3 за допомогою гвинтів та плити 8. Труба 9 надіта на оправку 10 кріпиться в трьохкулачковому патроні



токарно-гвинторізного верстату з одного боку, а з іншого – підпирається центром.

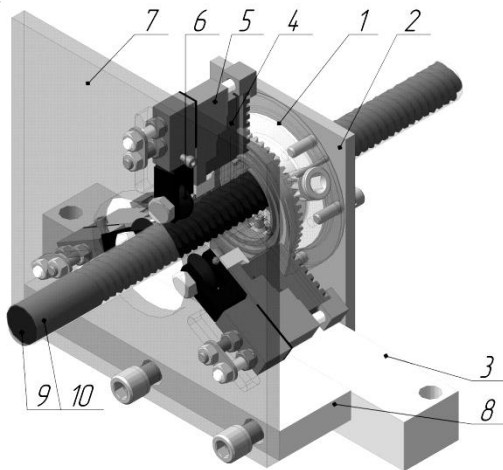


Рис. 17. – 3D модель трьохроlikової обkочувальної головки із трубчастою заготовкою, що надіта на оправку

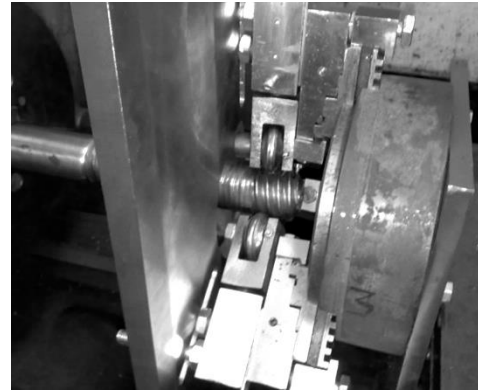


Рис. 18. – Трьохроlikова обkочувальна головка, встановлена на токарно-гвинторізний верстат

Після отримання гвинтової канавки з кроком 8 мм вимірювали мікротвердість в перерізі труби та визначали по мікротвердості інтенсивність напружень (в дужках на рис.19, а) [5].

Розподіл інтенсивності напружень в перерізі канавки гвинтоподібної труби з кроком 8 мм визначений шляхом моделювання показано на рис. 19, б.

Як видно з рис. 19 розподіли інтенсивності напружень визначені експериментально та через моделювання в програмі DEFORM 3D подібні. Отже створена модель у вказаній програмі досить точно (похибка складає близько 6...10%) відтворює процес обkочування гвинтоподібної труби.

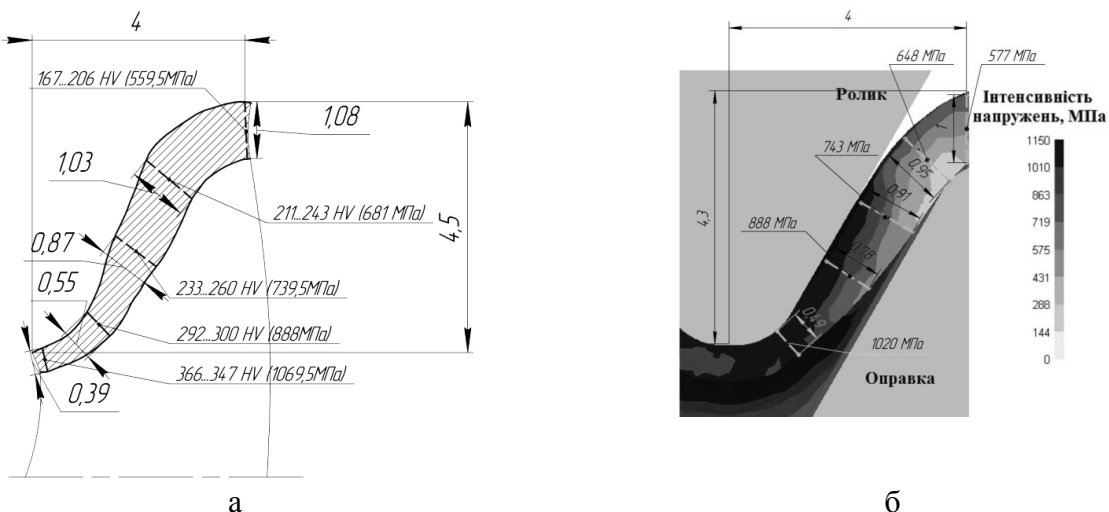


Рис. 19. – Порівняння розподілів інтенсивності напружень, визначених:  
а – експериментально (вказані в дужках), б – моделювання в DEFORM 3D

### Висновки:

1. Створена чисельна модель обkочування гвинтоподібних труб з рівнорозвиненою поверхнею та змодельовано вплив основних технологічних параметрів на процес.

2. При обкочуванні труб найбільші значення інтенсивностей напружень, деформацій та ресурсу пластичності виникають при зменшенні кроку  $k$  обкочування (рис. 14-16).

3. Розроблено технології та оснащення для виготовлення трьохзахідних гвинтоподібних труб з використанням оправки з трьохзахідною різьбою та роликів.

4. Значної різниці в НДС при виготовленні одно- та трьохзахідних гвинтоподібних труб не спостерігається (див. рис. 5-7).

**Список літератури:** 1. Демчук Л.В. Теплоаеродинамічна ефективність гвинтоподібних труб з рівно розвиненою поверхнею / Л. В. Демчук, В.А. Рогачов, О.М. Терех, О.І. Руденко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2011 – №5/8 (53) – С. 26-29. 2. Письменний Є.М. Теплообмін пучків труб з рівно розвиненою поверхнею/ Є.М. Письменний, В.А. Рогачов, О.М. Терех, В.І. Коньшин, Д.С. Омельчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2013 – №1/8 (61) – С. 30-33. 3. Пат. 2121405 РФ, МКИ В 21 D 15/04. Способ изготовления винтовых деталей и устройство для его осуществления. Заявл. 20.12.1995; Опубл. 10.11.1998, – 6 с. 4. Маковей В.О. Профілювання гвинтоподібних труб обкочуванням / В.О. Маковей, Ю.П. Бородій, А.В. Кліско, П.Ю. Проценко // Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування. – 2010. – №60. – С. 55-60. 5. Маковей В.О. Исследование локального деформирования трубы при профилировании винтовых канавок / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2011. – №46. – С. 107-115. 6. Маковей В.О. Моделювання процесу профілювання канавок на трубах роликівим обкочуванням / В.О. Маковей, П.Ю. Проценко // Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування. – 2011. – №62. – С. 203-206.

Надійшла до редколегії 28.10.2013

УДК: 21.983.3.001 – 621.983.7.004

**Особливості профілювання одно- та трьохзахідних гвинтоподібних труб / Маковей В. О., Проценко П. Ю.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С. 153–162. Бібліогр.: 6 назв.

Проведено моделювання декількох варіантів обкочування роликом одно- і трьохзахідних канавок на трубі з використанням програмного пакета Deform 3D. В якості профілюючих елементів для отримання канавок використовувалися ролик і оправка. Исследовано вплив різних параметрів (діаметра ролика  $D_p$ , шага винта труби  $k$ , глибини канавки  $h$ , частоти вращения оправки  $n$ ) на напружено-деформоване стан труби. Предложена технология и конструкция обкатной головки для получения трехзаходной винтовой канавки на трубе.

**Ключові слова:** роликовое обкочування, одно- та трьохзахідні гвинтоподібні труби, напружено-деформоване стан, трьохроликова обкатна головка.

The simulation of several options roller spinning one- and three-start helical groove on the tube using a software package Deform 3D was conducted. As profiling elements for obtaining grooves were used rollers and the mandrel. The effect of various parameters (diameter roller  $D_p$ , screw pitch of the tube  $k$ , groove depth  $h$ , frequency of rotation of the mandrel  $n$ ) on the stress-strain state of the tube was investigated. Proposed technology and design spinning-head to obtain three-start helical groove on the tube.

**Keywords:** roller spinning, one- and three-start helical tube, stress-strain state, three-roll spinning-head

УДК 621.735.36

**О. Е. МАРКОВ**, докт. техн. наук, проф., ДГМА, Краматорск

## **РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КОВКИ ВАЛОВ С ИНТЕНСИВНЫМИ ПЛАСТИЧЕСКИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ**

В работе исследованы схемы ковки валов с применением предварительного профилирования заготовки клиновыми бойками. Для этой схемы установлена неравномерность распределения