

УДК 621.73

Исследование формоизменения заготовок при профилировании выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки / Кухарь В. В., Каргин Б. С.; Николенко Р. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2012. – № 46(952). – С. 71 – 76. Бібліогр.: 8 назв.

Виконано скінчено-елементне моделювання процесу осаджування опуклими плитами при фіксованому значенні эксцентриситету осей заготовки та інструмента. Отримано та проаналізовано графічні залежності макропоказників формозміни профільованої заготовки від ступеня обтиснення при встановленому эксцентриситеті та різних величинах відношення радіуса опуклості плит до діаметра заготовки.

Ключові слова: заготовка, профілювання, опуклі плити, эксцентриситет, формозміна, макропоказники.

Finite-element simulation of the process of upsetting by convex plates at the fixed value of the eccentricity of the axes of the billet and the tool was made. Graphics depending of macroindexes of deformation of profiled workpiece from the degree of reduction with the curtained eccentricity and different values of the relations of the radius of convexity of plates to the diameter of the billets are obtained and analyzed.

Keywords: billet, profiling, convex plates, eccentricity, formchanging, macroindexes.

УДК 621.983.3.001 – 621.983.7.004

В. О. МАКОВЕЙ, канд. техн. наук, доц., НТУУ “КПІ”, Київ

П. Ю. ПРОЦЕНКО, аспірант, НТУУ “КПІ”, Київ

РОЗРАХУНКОВО-АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРУБ ПРИ ОБКОЧУВАННІ

В роботі розглянуто процеси заочування поршня і шатуна та обкочування гвинтоподібної труби. Проведено моделювання напружено-деформованого стану методом скінчених елементів в програмі Deform 3D. Встановлено, що локалізація пластичної деформації відбувається в зонах радіусів скруглень ролика, при цьому виникає неоднорідне НДС.

Ключові слова: напружено-деформований стан, жорсткість напруженого стану, інтенсивність деформацій, інтенсивність напружень

Вступ. За допомогою технологічного процесу обкочування труб, розкочування заготовок одержують різні порожнисті вісесиметричні металовироби. Зазначені процеси поєднує механізм деформації, а саме: у них реалізується дві деформації стиску і одна – розтягу. Така механічна схема деформації створює сприятливі умови для пластичної деформації, тому що утруднюються міжкристалічні зсуви, що призводять до порушення механічних зв'язків, і пластична деформація протікає в основному за рахунок внутрішньо кристалічних зсувів [1].

Аналіз останніх досліджень. Процес обкочування зводиться до пластичної зміни форми шляхом переміщення малих об'ємів металу. При цьому відбувається зменшення поперечного перерізу і відповідного йому подовження заготовки за рахунок переміщення металу вздовж осі в двох протилежних напрямках. Застосування обкочування в якості методу обробки можливе для матеріалів, що піддаються не тільки значній пластичній деформації, але і мають крихкість. Холодна деформація, що відбувається при обкочуванні, у значній мірі впливає на зміну фізико-механічних властивостей металу. Відбувається зміцнення металу, що підвищує його всі механічні характеристики.

© В. О. Маковей, П. Ю. Проценко, 2012

Відомим способом виготовлення гвинтоподібних труб є обкочування роликком з використанням оправок. Його виконують шляхом послідовної локальної пластичної деформації стінки трубчастої заготовки при її постійному обертанні з оправкою [2, 3]. Існують також технологічні процеси закручування поршня із шатуном аксіально-роторного поршневого насоса [1] та виготовлення деталей обкочуванням [4].

Операцію закручування поршня із шатуном виконують на різьбонакатному верстаті ГД-8. При цьому зборка поршня із шатуном 2 (рис. 1) встановлюється в пристосування АП-999 різьбонакатного верстата ГД-8 з фіксацією осевого положення (розмір "а") пружинним підпором 4. Прижимний ролик 1 обертається з однаковою швидкістю з закручувальним роликком 3 і при цьому обертає зборку поршня із шатуном 2. Закручувальний ролик 3 з визначеною швидкістю підводиться гідроциліндром до поверхні поршня і вдавлюється в поршень [1]. Напружено – деформований стан (НДС) труб при обкочуванні розглянутий в роботах [1, 4]. Для тонкостінних оболонок розглянуті умови рівноваги деформованої ділянки оболонки (по безмоментній теорії) та вирішено систему рівнянь, яка складається з диференціальних рівнянь рівноваги, рівняння пластичності та зв'язку між деформаціями та напруженнями.

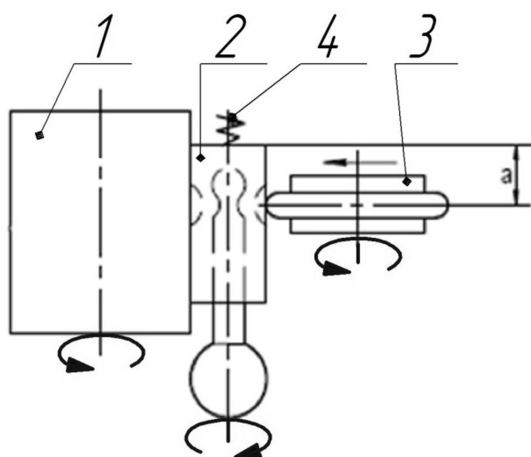


Рис. 1. – Схема закручування поршня із шатуном

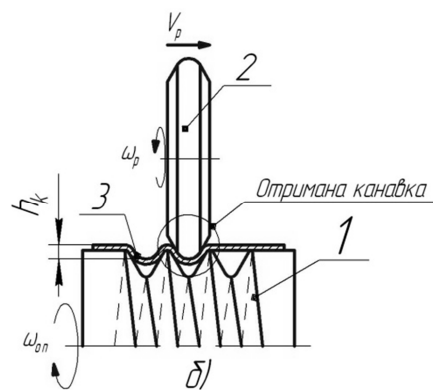


Рис. 2. – Схема отримання гвинтоподібної труби

Виготовлення гвинтоподібної труби виконується на токарно-гвинторізному верстаті марки 16К20. В трьохкулачковому патроні якого кріпиться оправка 1 (рис. 2) з надією на неї трубчастою заготовкою. Ролик 2 встановлюється в обкатну головку, що кріпиться в різцетримачі токарно-гвинторізного верстату. Отримання гвинтоподібної труби виконується в 2 етапи:

1. Спочатку виконується втискування ролика в трубчасту заготовку, в результаті чого на ній формується лунка.

2. На другому етапі відбувається обертання оправки разом із заготовкою та переміщення ролика вздовж осі труби по впадинам оправки, в результаті чого на трубі формується гвинтоподібна канавка 3 (див. рис. 2).

Аналіз НДС проведений моделюванням показав локалізацію деформації в місцях округлень кромки ролика, що підтверджується експериментом [3].

Для розробки технології обкочування труб існує необхідність порівняння НДС при обкочуванні труб різної товщини за різними схемами (див. рис. 1,2)

Метою даної роботи є порівняння НДС в процесах закручування поршня із шатуном та обкочування гвинтоподібної труби, що визначається за допомогою моделювання методом скінчених елементів.

Це порівняння дозволить судити про можливість використання аналітичних залежностей [1], що застосовуються при вирішенні задачі закочування поршня із шатуном для описання процесу обкочування тонкостінної гвинтоподібної труби.

Викладення основного матеріалу. Для моделювання закочування поршня із шатуном були створені спрощені 3D моделі оправки і заготовки та точна модель ролика відповідно до роботи [1]. Вони вводилися в програму Deform 3D, в якій було створено модель процесу закочування (рис. 3, а). Поршень 1 був розбитий на сітку тетраедричних скінчених елементів, коефіцієнт тертя становив 0,1. В програму вводилась криві течії сталі 38X2МЮА [1] для стиску та розтягу (рис. 4), з якої виготовлений поршень.

Модель процесу обкочування гвинтоподібної труби в програмі Deform 3D показана на рис. 3, б. Труба 1 діаметром 38 мм та товщиною 1 мм була встановлена на оправку 2 діаметром 36 мм з шириною канавки 8 мм. Труба була розбита сіткою кубічних скінчених елементів. Ролик 3 та оправка 2 задавались як абсолютно жорсткі тіла. Коефіцієнт тертя задавався – 0,1. Задавалась крива течії сталі AISI 304 (рис. 5).

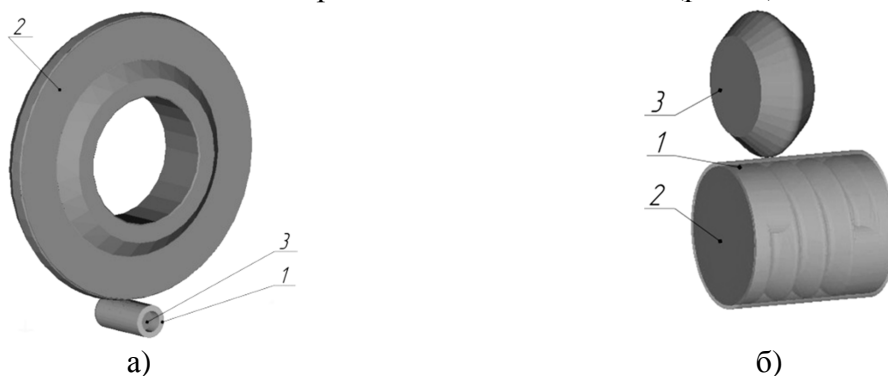


Рис. 3. – Моделі процесів, що створені в програмі Deform 3D: а – процес закочування поршня і шатуна (1 – поршень, 2 – ролик, 3 – шатун); б – процес обкочування гвинтоподібної труби (1 – труба, 2 – оправка з гвинтовими канавками, 3 – ролик)

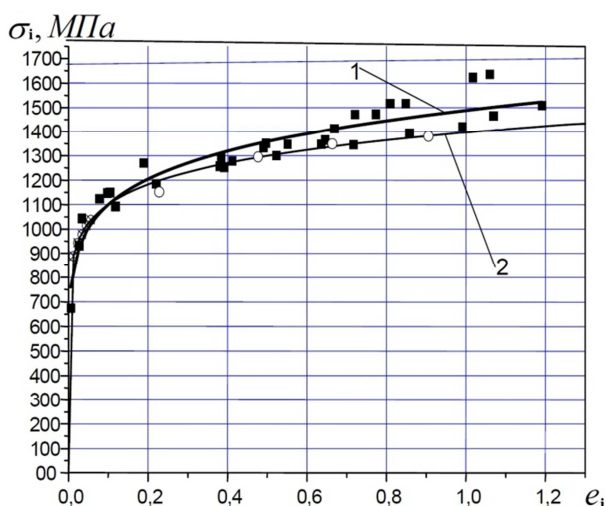


Рис. 4. – Крива течії сталі 38X2МЮА (1 – стиск, 2 – розтяг)

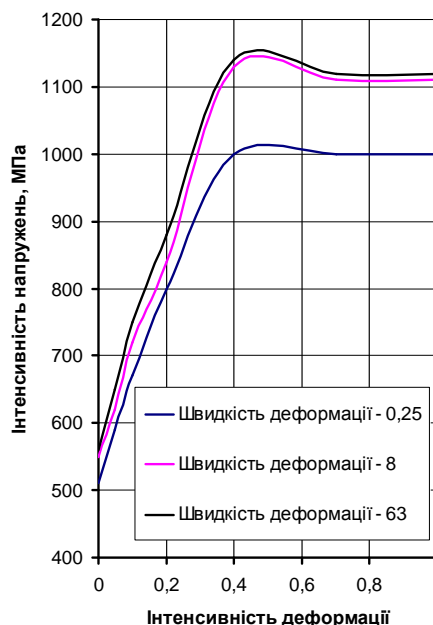


Рис. 5. – Крива течії сталі AISI 304

Процес моделювання в обох випадках проходив в 2 етапи:

1. Спочатку ролик втискувався в заготовку на необхідну глибину. Глибина втискування ролика з шириною робочої частини 11 мм в процесі закочування поршня і шатуна

відповідала експерименту [1] і становила $H = 2,8 \text{ мм}$. Глибина втискування ролика (радіусом $R=1,8...2,5 \text{ мм}$) в процесі виготовлення гвинтоподібної труби вибиралась $h = 0,65 \text{ мм}$, щоб зберігалось наступне співвідношення:

$$\frac{h}{S_T} = \frac{H}{S_{II}} = 0,65, \quad (1)$$

де S_T – товщина тонкої труби, $S_T = 1 \text{ мм}$; S_{II} – товщина поршня, $S_{II} = 4,425 \text{ мм}$.

2. Далі відбувалось обкочування гвинтоподібної труби та закручування поршня і шатуна.

Після моделювання отримані розподіли інтенсивності напружень (рис. 6) та деформацій (рис. 7) в перерізі поршня порівнювалися з подібними розподілами, які визначені експериментально (рис. 8) [3]. Характер розподілу НДС аналогічний.

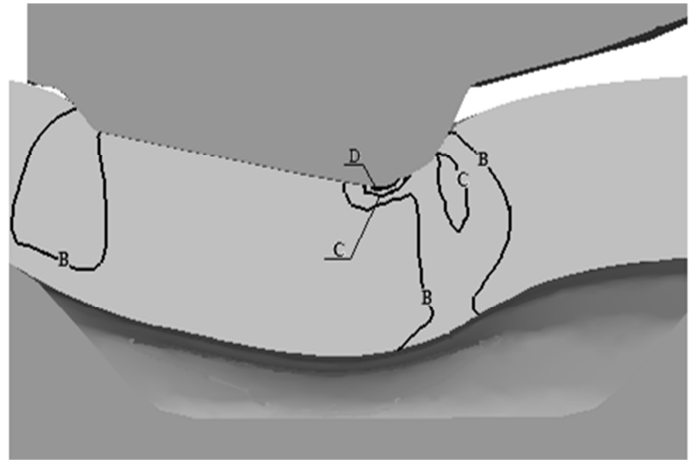
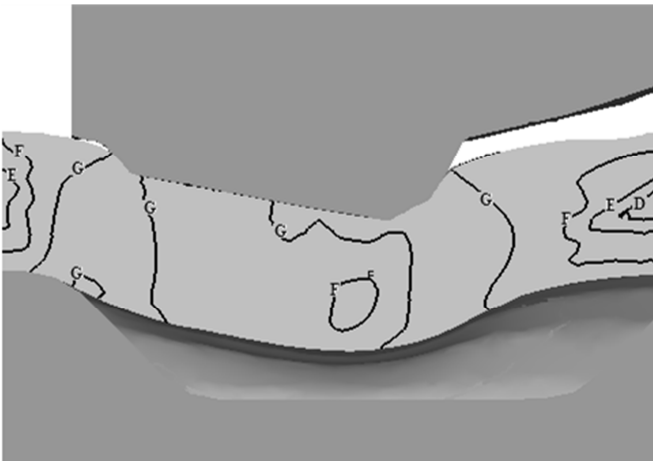


Рис. 6. – Розподіл інтенсивності напружень по перерізу поршня: $D = 651 \text{ МПа}$, $E = 868 \text{ МПа}$, $F = 1060 \text{ МПа}$, $G = 1300 \text{ МПа}$

Рис. 7. – Розподіл інтенсивності деформацій по перерізу поршня: $B = 0,222$, $C = 0,444$, $D = 0,667$

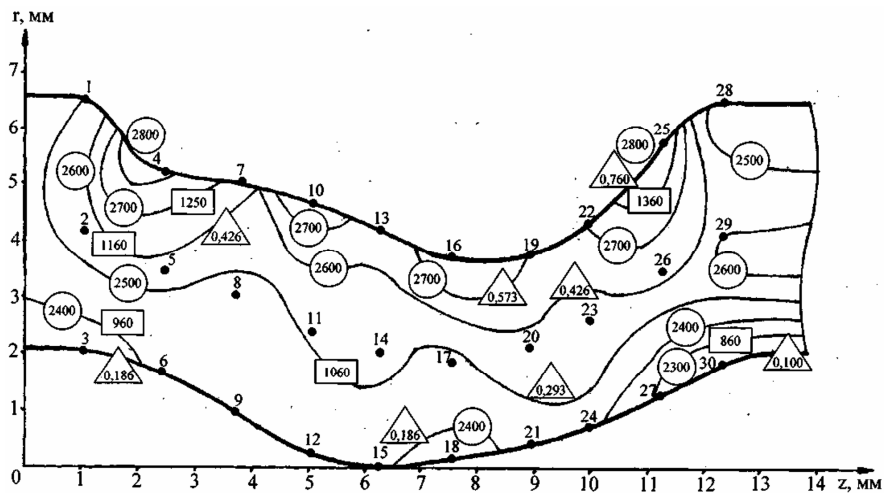


Рис. 8. – Ізолінії твердості HV (HV), інтенсивності напружень – σ_n (МПа), інтенсивності деформацій – ϵ_n у меридіональному перерізі заготовки поршня при глибині втискування ролика 3 мм.

Крім цього отримано розподіли інтенсивності напружень (рис. 9) та деформацій (рис. 10) для випадку процес обточування гвинтоподібної труби з невеликою глибиною канавки відповідно до формули (1).

Проведено також математичне моделювання процесу отримання гвинтоподібної труби з глибиною канавки 3,1 мм. Коефіцієнт тертя був заданий – 0.1. Після моделювання отримано розподіл інтенсивності напружень, що показані на рис. 11 та деформацій – рис. 12.

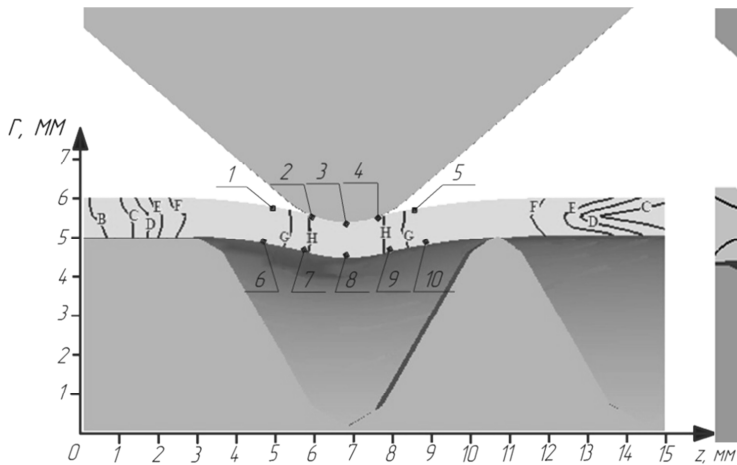


Рис. 9. – Розподіл інтенсивності напружень:
 B = 117 МПа, C = 235 МПа, D = 352 МПа,
 E = 470 МПа, F = 587 МПа, G = 704 МПа,
 H = 822 МПа та точки визначення НДС

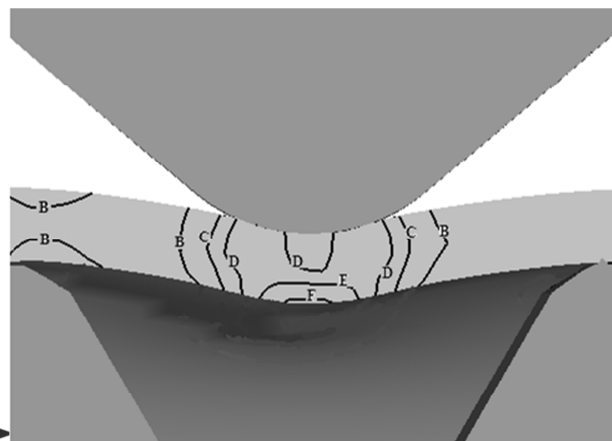


Рис.10. – Розподіл інтенсивності деформацій:
 B = 0,0276, C = 0,0552, D = 0,0828, E = 0,11,
 F = 0,138

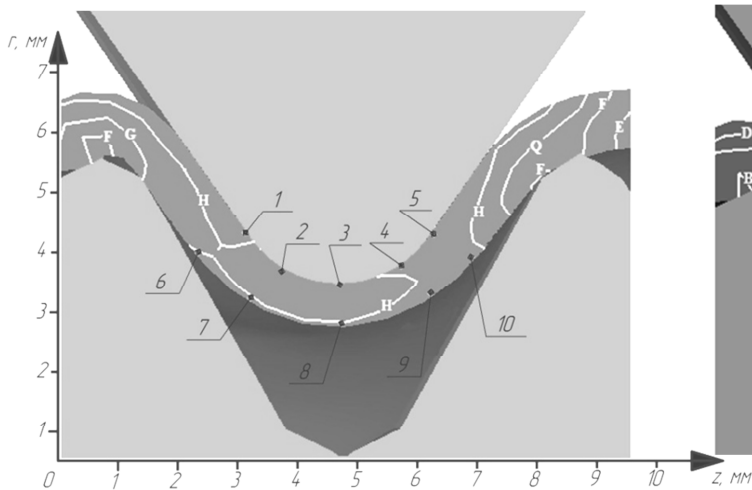


Рис.11. – Розподіл інтенсивності напружень:
 E = 646 МПа, F = 807 МПа, G = 968 МПа,
 H = 1130 МПа та точки визначення НДС

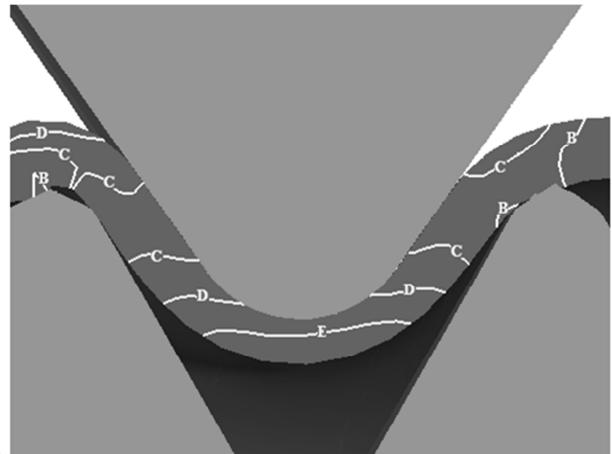


Рис. 12. – Розподіл інтенсивності деформацій:
 B = 0,139, C = 0,268, D = 0,416, E = 0,555

Критична деформація, що приводе до руйнування, в холодних процесах деформування залежить від показників напруженого стану, які характеризують жорсткість схеми напруженого стану. Найбільш широко застосований показник жорсткості η характеризується відношенням першого інваріанта тензора напружень до другого інваріанта девіатора напружень [1] :

$$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sqrt{3}\sigma_i}, \quad (2)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження, σ_i – інтенсивність напружень.

Показник жорсткості напруженого стану враховує гідростатичний тиск, який впливає на пластичність. Цей показник може мати і інший вигляд [5]. Оцінимо НДС та жорсткість напруженого стану різними методами в різних точках поршня при його заочуванні (табл. 1) та НДС та жорсткість в різних точках елемента труби (табл. 2). Експериментальні та розрахункові дані НДС в різних точках при заочуванні поршня, які взяті з роботи [1], порівнювалися з моделюванням. Причому в роботі [1] для визначення інтенсивності напружень та деформацій використовувався експериментально – аналітичний підхід, який базується на залежності

$\sigma_i = K \cdot HV$, (3) де $K = 0,3$, HV – твердість по Вікерсу.

Таблиця 1. – Порівняння НДС та жорсткості напруженого стану в різних точках при заочуванні поршня

Точки	σ_i , МПа	e_i	η	σ_θ , МПа	σ_r , МПа	σ_o , МПа	σ_i , МПа	e_i	η
<u>Зовнішня поверхня поршня</u>									
4	1260	0,08	1,1	-140	1160	490	1120	0,077	0,47
7	1200	0,26	1,1	-150	1050	450	1040	0,047	0,39
10	1220	0,3	1,1	-160	1050	440	1100	0,075	0,38
13	1280	0,38	1,1	-170	1100	460	1150	0,098	0,42
22	1220	0,3	1,1	-140	1070	470	1320	0,429	0,62
25	1050	0,12	1.2	-120	930	410	1290	0,318	0,37
<u>Внутрішня поверхня поршня</u>									
6	960	0,07	1	-170	790	310	1170	0,127	-0,45
9	980	0,08	1	-160	820	330	1090	0,042	-0,39
12	990	0,1	1	-150	840	340	1070	0,041	-0,40
15	1040	0,12	1	-170	870	350	1060	0,063	-0,40
24	1050	0,1	0,9	-210	840	320	1180	0,205	-0,41
27	1010	0,1	0,9	-200	810	300	1210	0,243	-0,42

Таблиця 2. – НДС та жорсткість напруженого стану в різних точках елемента гвинтової труби

Моделювання при глибині втискування ролика 0,65 мм (див. рис. 9 – 10)						
Точки	σ_i , МПа	e_i	e_1	e_2	e_3	η
<u>Зовнішня сторона труби (під роликом)</u>						
1	585	0,0188	0,0176	-0,0028	-0,0147	0,37
3	755	0,0566	0,0552	-0,017	-0,0381	-0,034
4	746	0,0801	0,0758	-0,015	-0,0604	-0,034
5	592	0,0212	0,0169	0,0027	-0,0196	0,075
<u>Внутрішня сторона труби</u>						
6	584	0,0174	0,0138	0,00208	-0,016	-0,37
7	734	0,068	0,0612	-0,00494	-0,0563	-0,058
8	806	0,116	0,102	-0,00413	-0,0983	-0,048
9	716	0,0581	0,0527	-0,00515	-0,0476	0,058
10	584	0,0137	0,0113	0,0011	-0,0125	-0,132

Продовження таблиці 2

Моделювання при глибині втискання ролика 3, 1 мм (див. рис. 11 – 12)						
Точки	σ_i , МПа	ϵ_i	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	η
<u>Зовнішня сторона труби (під роликом)</u>						
1	1030	0,235	0,223	-0,0473	-0,176	0,058
2	911	0,335	0,317	-0,0634	-0,252	0,644

Продовження таблиці 2

3	930	0,394	0,375	-0,0801	-0,293	0,702
4	1010	0,352	0,337	-0,0768	-0,256	0,661
5	1060	0,24	0,235	-0,073	-0,161	0,649
<u>Внутрішня сторона труби</u>						
7	1020	0,427	0,408	-0,0957	-0,312	0,339
8	999	0,556	0,553	-0,131	-0,403	-0,070
9	1020	0,464	0,443	-0,104	-0,34	-0,093
10	983	0,31	0,299	-0,0768	-0,222	0,227

Як показує аналіз НДС та жорсткості напруженого стану локалізація пластичної деформації відбувається в зонах радіусів зкруглень ролика. Інтенсивності напружень та деформацій при обкочуванні поршня та елемента труби найбільші в точках на радіусах ролика.

Висновки:

1. Моделювання обкочування труби підтверджує, що в процесах обкочування виникає схема деформованого стану з двома деформаціями стиску і однією розтягу.
2. При дослідженні процесу закручування поршня моделюванням методом скінчених елементів визначені жорсткості напруженого стану в точках (див. рис. 8) відрізняються від визначених аналітичним способом [1].
3. Встановлено, що локалізація пластичної деформації відбувається в зонах радіусів зкруглень ролика, при цьому виникає неоднорідне НДС. Жорсткість напруженого стану знаходиться в інтервалі $-1 < \eta < 1$.

Список літератури: 1. Огородніков В.А. Механіка процесів формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації / Огородніков В.А., Музичук В.І., Нахайчук О.В. – Вінниця, Універсум, 2007. – 179 с. 2. Маковей В. О. Профілювання гвинтоподібних труб обкочуванням / Маковей В.О., Бородій Ю.П., Кліско А.В., Проценко П.Ю. // Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування. – 2010. – №60. – С. 55-60. 3. Маковей В.О. Исследование локального деформирования трубы при профилировании винтовых канавок / Маковей В.О., Проценко П.Ю. // Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – №46. – С. 107-115. 4. Капорович В.Г. Производство деталей из труб обкаткой – М.: Машиностр., 1978. – 134 с. 5. Смирнов-Аляев Г.А. Механические основы пластической обработки металлов. – Изд. «Машиностроение». – 1977. – 272 стр.

Надійшла до редколегії 25.10.12

УДК 621.983.3.001 – 621.983.7.004

Розрахунково-аналітичний аналіз напружено-деформованого стану труб при обкочуванні / Маковей В. О., Проценко П. Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №46(952). – С.76–83. – Бібліогр.: 5 назв.

В работе рассмотрены процессы закатывание поршня и шатуна и обкатывание винтообразной трубы. Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов в программе Deform 3D. Установлено, что локализация пластической деформации происходит в зонах радиусов скруглений ролика, при этом возникает неоднородное НДС.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, жесткость напряженного состояния, интенсивность деформаций, интенсивность напряжений

This paper examines processes rolling piston and connecting rod and spinning helical pipe. The stress-strain state of the finite element method in the program Deform 3D was simulated. Found that localization of plastic deformation occurs in areas of roll radius, it causes non-uniform of stress-strain state.

Keywords: stress-strain state, stiffness stress state, effective strain, effective stress