

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Магістерська кваліфікаційна робота
на тему:

«ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ І ГЕОМЕТРІЇ ГНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДСИЛЕННЯ НЕСУЧИХ
МЕТЛОКОНСТРУКЦІЙ З МАТЕРІАЛІВ З ПОКРИТТЯМ»

08-26.МКР.07.000.000

Виконав: студент 2 курсу, групи 1ПМ-16м
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Мордач Р.О.

Керівник: к.т.н., доцент

Савуляк В.В.

Вінниця - 2018

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є визначення підходів, що забезпечать геометричні характеристики та жорсткість елементів підсилення з покриттям.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачі:

- 1) Розробити методику аналізу впливу міцнісних характеристик покриття і основи на можливість отримання потрібної геометрії елемента підсилення;
- 2) Визначити залежність жорсткості профілю елемента підсилення від геометричних характеристик
- 3) Розробити рекомендації з вибору покриття для листових матеріалів для виготовлення профілів елементів підсилення.

Об'єкт дослідження. Елементи підсилення жорсткості та міцності металоконструкцій.

Предмет дослідження. Закономірності пластичного формоутворення та жорсткості форми елементів підсилення з покриттями для забезпечення необхідних геометричних характеристик та жорсткості.

Наукова новизна одержаних результатів.

Запропоновано методику підбору міцнісних характеристик покриття та основи для забезпечення необхідної геометрії елемента підсилення;

Запропоновано методику вибору геометричних параметрів основи та покриття для забезпечення заданої жорсткості конструкції в поперечному напрямку.

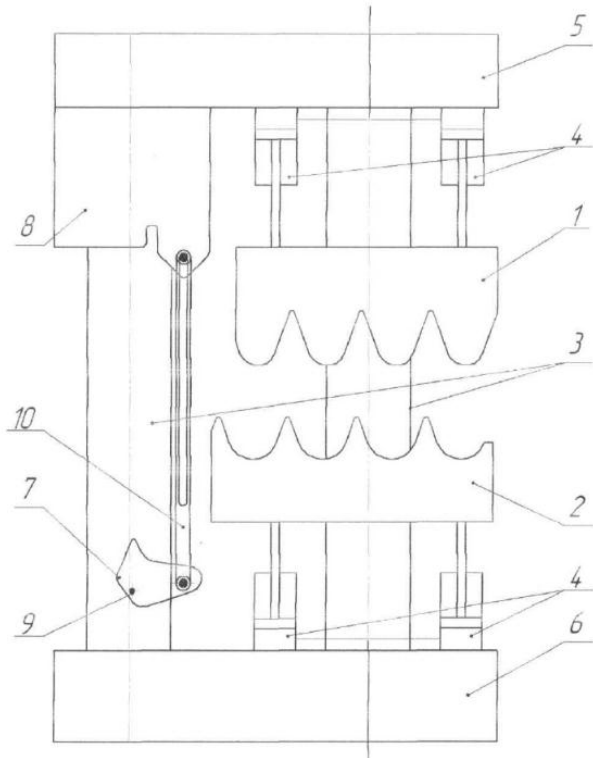
Практичне значення отриманих результатів. Практична цінність отриманих результатів полягає в наступному:

Для використання в якості покриття елементів підсилення рекомендовано використовувати мідний сплав.

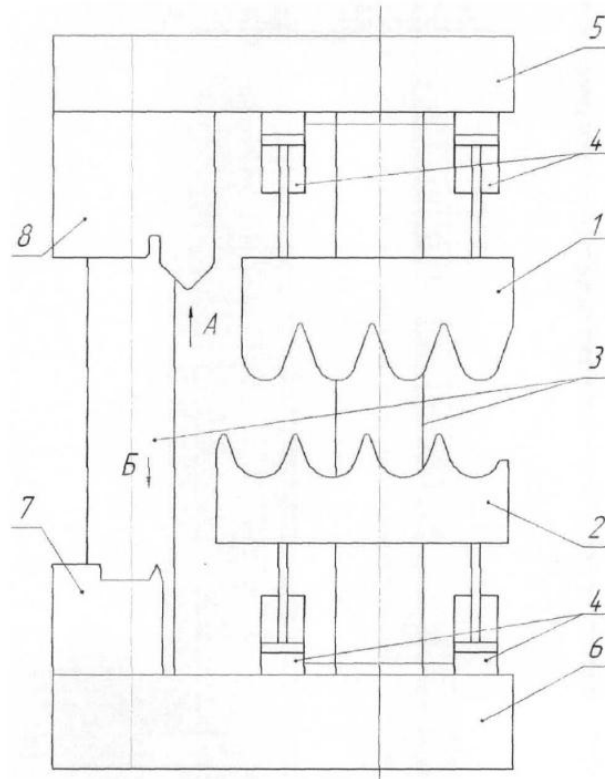
Отримано залежності впливу геометричних характеристик основи і покриття на жорсткість елемента підсилення в поперечному напрямку.

Розроблені принципові схеми послідовного гнуття профілів
(автори Савуляк В.В., Мордач М.О., Мордач Р.О.)

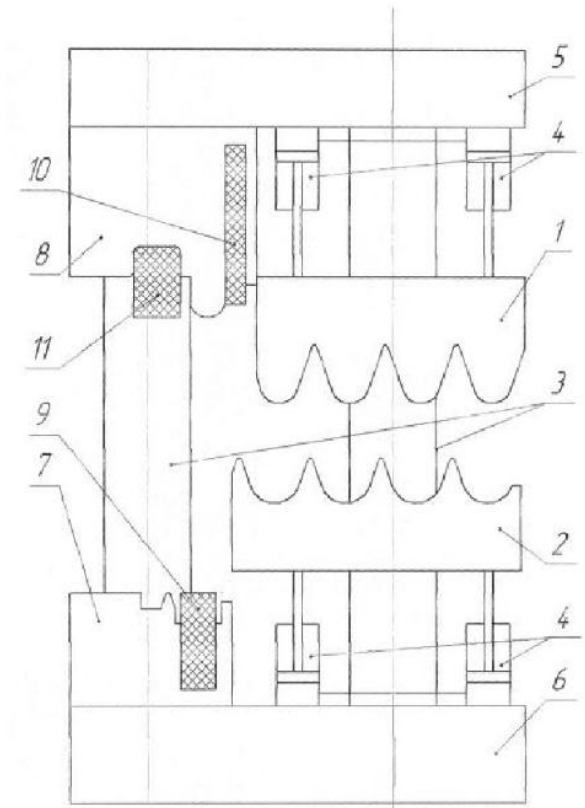
UA 109784 U



UA 108643 U



UA 108000 U



Висновок про можливість отримання того чи іншого виробу методами пластичної деформації здійснюється на основі критерію ψ , який запропонований в роботах Губкіна, Смирнова-Аляєва, Деля, Огороднікова та інших авторів. За цим критерієм можливість отримання заготовок з конкретного матеріалу та розмірів залежить від ступеню використання ресурсу пластичності під час обробки тиском. Розрахунок використаного ресурсу пластичності для листових матеріалів і процесів гнуття можна проводити за виразом:

$$\Psi = \int_0^{e_p} \frac{de_i}{e_p(\eta)} = \int_0^{i_p} \frac{de_i(t)}{e_p(\eta(t))} \leq 1,$$

$e_p(\eta, \mu_\sigma) = e_p(0,0) \cdot \exp(\lambda_2 \mu_\sigma - \lambda_1 \eta)$, $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ - Поверхня граничних деформацій (застосовують для об'ємного напруженого стану)

$e_p(\eta) = e_p(0) \cdot \exp(-\lambda \eta)$, $e_p(\eta)$ - Крива граничних деформацій

$$\lambda_1 = \ln \frac{e_p(-1,0)}{e_p(0,0)}, \quad \lambda_2 = \ln \frac{e_p(0,1)}{e_p(0,0)}, \quad \lambda = \ln \frac{e_p(\eta=0)}{e_p(\eta=1)}$$

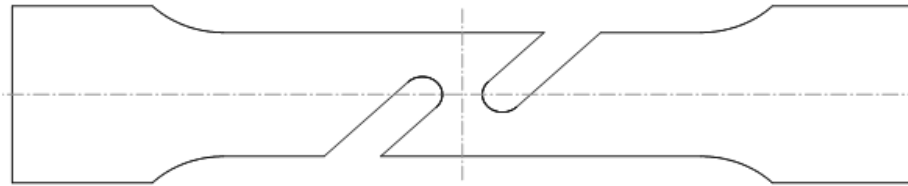
$e_p(\eta = 0)$ - відповідає граничній деформації зсуву

$e_p(\eta = 1)$ - відповідає граничній деформації розтягу

$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$ - показник жорсткості напруженого стану

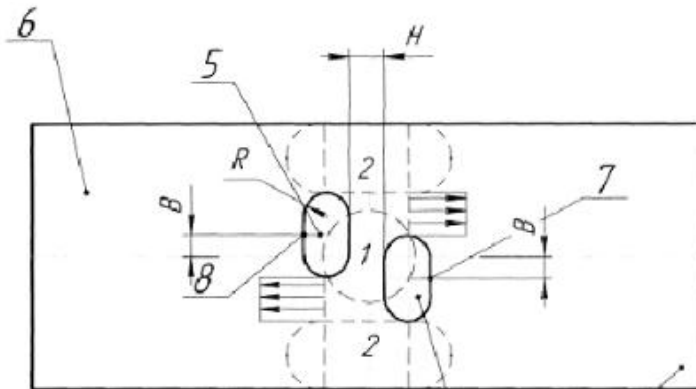
Листові зразки для випробувань на зсув

Схема листового зразка для випробувань на зсув (монографія В.А. Огороднікова)

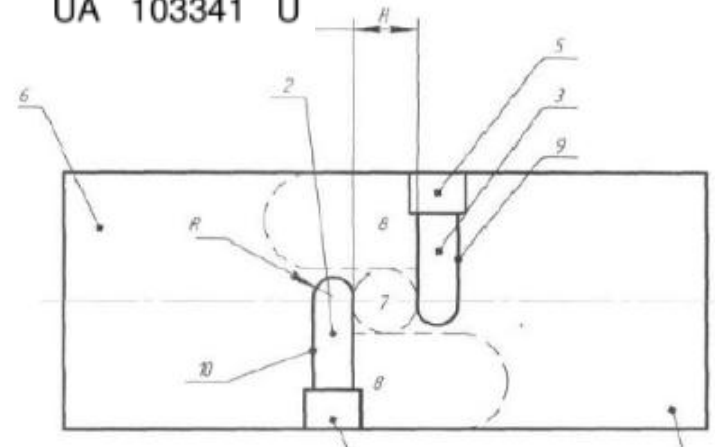


Розроблені конструкції зразків для випробувань на зсув (автори Савуляк В.В., Мордач М.О., Мордач Р.О.)

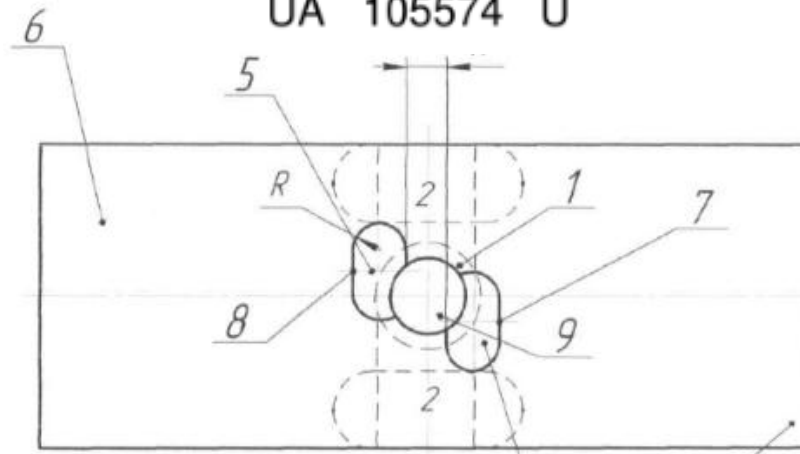
UA 102697 U



UA 103341 U



UA 105574 U



$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0, \quad e_u = \ln \frac{\rho}{\rho_H}, \quad \rho_H = \sqrt{R \cdot r} \text{ - радіус кривизни нейтральної поверхні}$$

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \pm \sigma_u,$$

Розв'язок системи рівнянь при чистому згині

для зони розтягу

$$\sigma_\rho = \frac{A}{n+1} \left[\left(\ln \frac{\rho}{\rho_H} \right)^{n+1} - \left(\ln \frac{R}{\rho_H} \right)^{n+1} \right] + p, \quad \sigma_\theta = A \left(\ln \frac{\rho}{\rho_H} \right)^n + \frac{A}{n+1} \left[\left(\ln \frac{\rho}{\rho_H} \right)^{n+1} - \left(\ln \frac{R}{\rho_H} \right)^{n+1} \right] + p$$

для зони стиску

$$\sigma_\rho = \frac{A}{n+1} \left[\left(\ln \frac{\rho_H}{\rho} \right)^{n+1} - \left(\ln \frac{\rho_H}{r} \right)^{n+1} \right] + p, \quad \sigma_\theta = -A \left(\ln \frac{\rho_H}{\rho} \right)^n + \frac{A}{n+1} \left[\left(\ln \frac{\rho_H}{\rho} \right)^{n+1} - \left(\ln \frac{\rho_H}{r} \right)^{n+1} \right] + p$$

У випадку листа з покриттям рівняння перетвориться у систему

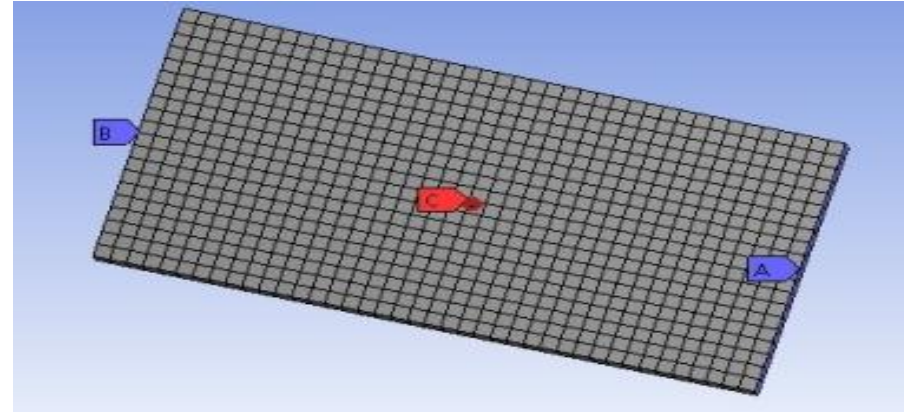
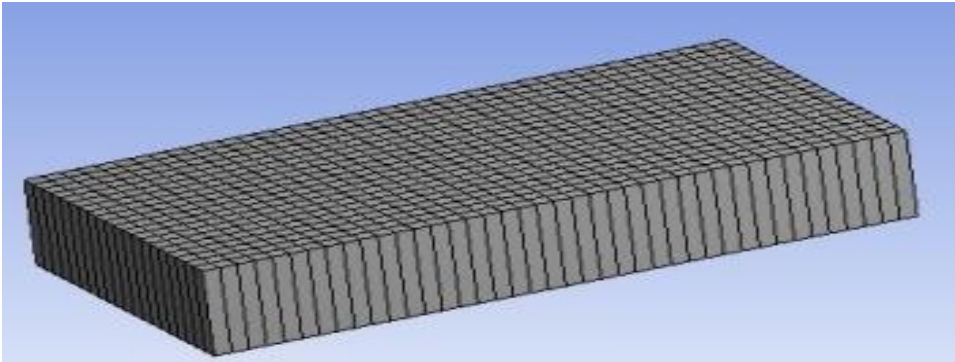
$$\begin{cases} \sigma'_{\rho_1} \cdot \sin \alpha \cdot r - \sigma''_{\rho_1} \cdot \sin \alpha \cdot (r + s_1) + 2 \int_r^{r+s_1} \sigma_{\theta_1} d\rho \cdot \sin \alpha = 0, \\ \sigma'_{\rho_2} \cdot \sin \alpha \cdot (r + s_1) + 2 \int_{r+s_1}^{r+s_1+s_2} \sigma_{\theta_1} d\rho \cdot \sin \alpha = 0, \end{cases}$$

де $\sigma_{\theta_1}, \sigma_{\theta_2}$ – тангенційні нормальні напруження в основі і покритті відповідно; $\sigma_{\rho_1}, \sigma_{\rho_2}$ – радіальні нормальні напруження в основі і покритті відповідно; σ'_{ρ_1} – радіальне нормальне напруження в основі в зоні контакту основи і пуансону; $\sigma''_{\rho_1}, \sigma'_{\rho_2}$ – радіальні нормальні напруження в зоні контакту основи і покриття відповідно; α – кут згину, який має заготовка.

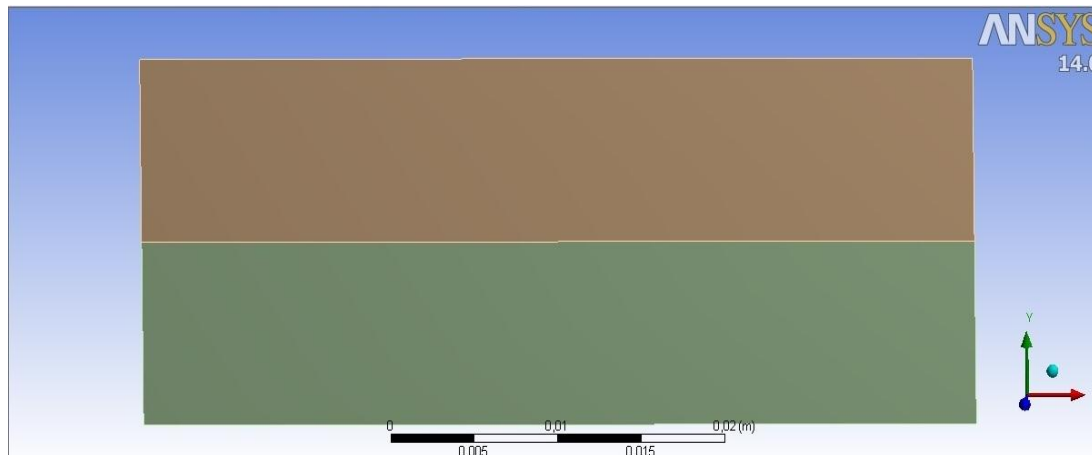
Моделювання листової заготовки

Моделювання листової заготовки в середовищі «Ansys»

Листова заготовка з точками закріплення і прикладанням сили

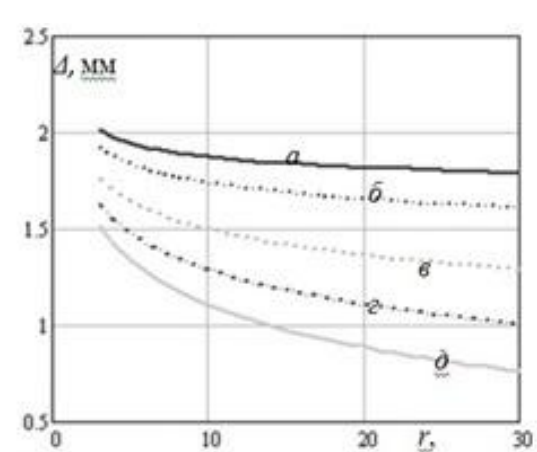
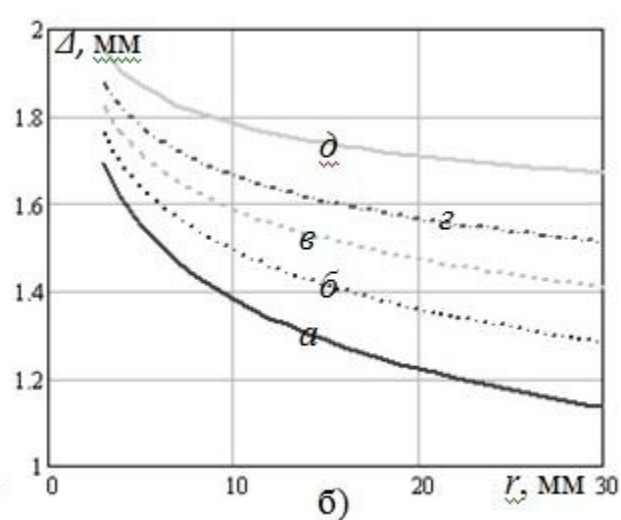
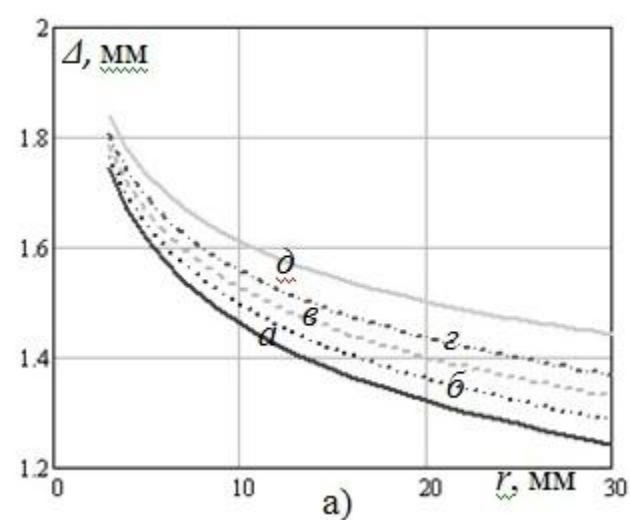


Модель листової заготовки з покриттям

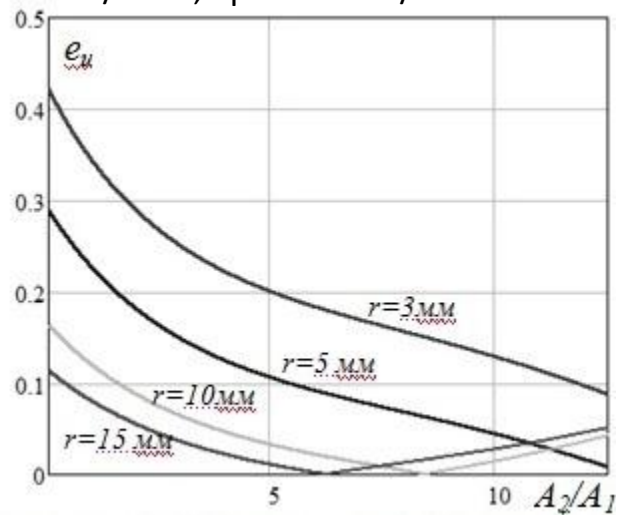
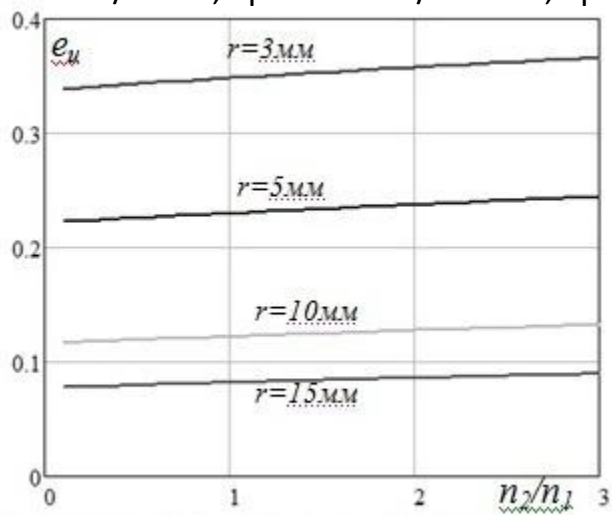


План та результати імітаційного експерименту

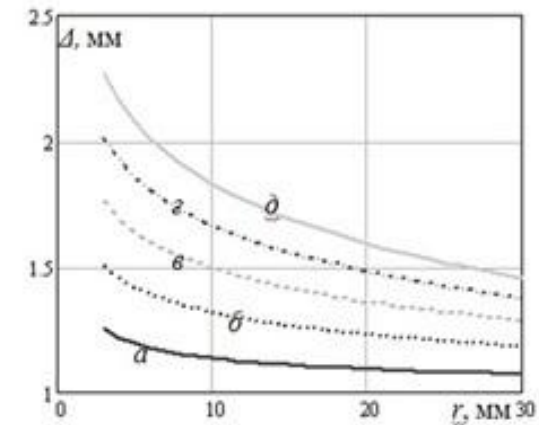
№	R пуасона, мм	Товщина покриття,мм	Товщина листа, мм	$\sigma_y, \text{МПа}$		ϵ_y	
				Min	Max	Min	Max
1	5	1	2	1,283	419,39	0	0,0772
2	5	1	4	1,25	356,84	0	0,0406
3	5	1	6	2,243	383,92	0	0,0593
4	5	1	8	4,277	417,51	0	0,0732
5	5	1	10	6,244	435,16	0	0,0945
1	5	2	2	4,152	345	0	0,0625
2	5	2	4	2,862	345,12	0	0,0458
3	5	2	6	3,112	365,7	0	0,5123
4	5	2	8	5,965	379,5	0	0,0654
5	5	2	10	6,123	398,74	0	0,0771
1	5	2,5	2	2,764	401,3	0	0,0599
2	5	2,5	4	2,064	360,3	0	0,0551
3	5	2,5	6	1,223	370,22	0	0,0486
4	5	2,5	8	2,266	400,1	0	0,0541
5	5	2,5	10	4,7	417,7	0	0,0613
1	5	3	2	1,98	401,09	0	0,0581
2	5	3	4	1,56	369,44	0	0,0684
3	5	3	6	2,021	400	0	0,0505
4	5	3	8	3,989	420,33	0	0,0608
5	5	3	10	4,888	433,77	0	0,0789
1	5	4	2	2,755	444,19	0	0,047
2	5	4	4	2,123	380,5	0	0,055
3	5	4	6	1,568	390,22	0	0,0606
4	5	4	8	3,665	410,1	0	0,0712
5	5	4	10	5,707	436,78	0	0,0828
1	7	1	2	0,413	417,44	0	0,076
2	7	1	4	0,464	409	0	0,0362
3	7	1	6	0,697	379,51	0	0,0436
4	7	1	8	0,943	390,4	0	0,0571
5	7	1	10	1,2	400,1	0	0,666
1	7	2	2	0,798	410,59	0	0,067
2	7	2	4	0,748	380,14	0	0,0354
3	7	2	6	0,69	392,22	0	0,045
4	7	2	8	0,776	404,4	0	0,056
5	7	2	10	0,954	410,5	0	0,651
1	7	2,5	2	0,896	400,73	0	0,063
2	7	2,5	4	0,895	371,49	0	0,0416
3	7	2,5	6	0,802	382,5	0	0,0356
4	7	2,5	8	0,711	390,77	0	0,0498
5	7	2,5	10	0,654	412,3	0	0,0556
1	7	3	2	0,979	420,31	0	0,0586
2	7	3	4	1,176	391,4	0	0,0454
3	7	3	6	1,032	400,3	0	0,0406
4	7	3	8	0,954	422,8	0	0,0468
5	7	3	10	0,9	439,6	0	0,0568



Вплив співвідношення швидкості зміцнення покриття і основи на відстань від зовнішньої поверхні до нейтрального шару для $s_1 = 2$ мм, $s_2 = 1$ мм, $A_2/A_1 = 1$: а) $n_1 = 0,1$; б) $n_1 = 0,3$; крива а - $n_2/n_1=0.5$; крива б - $n_2/n_1=1$; крива в - $n_2/n_1=1.5$; крива г - $n_2/n_1=2$; крива д - $n_2/n_1=3$



Вплив співвідношення товщини s_2 і s_1 основи і покриття на відстань від зовнішньої поверхні до нейтрального шару для $s_1 = 2$ мм



Вплив співвідношення коефіцієнтів A_2 і A_1 на відстань від зовнішньої поверхні до нейтрального шару для $s_1 = 2$ мм, $s_2 = 1$ мм,

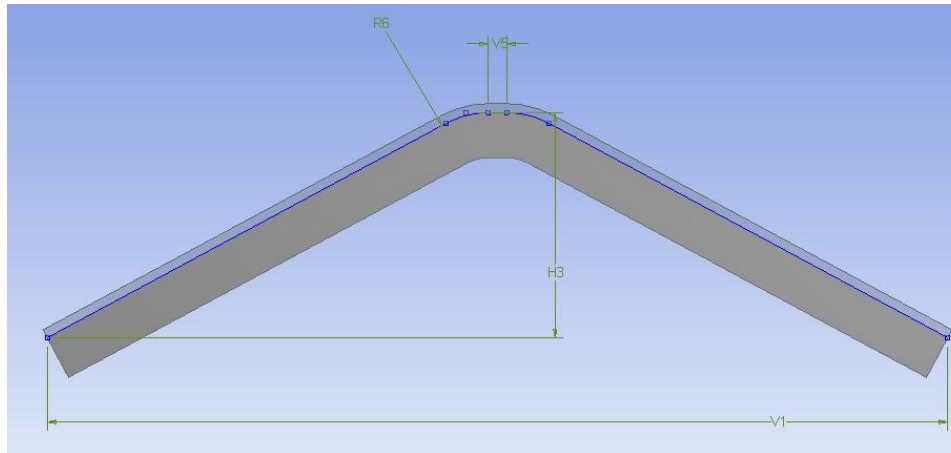
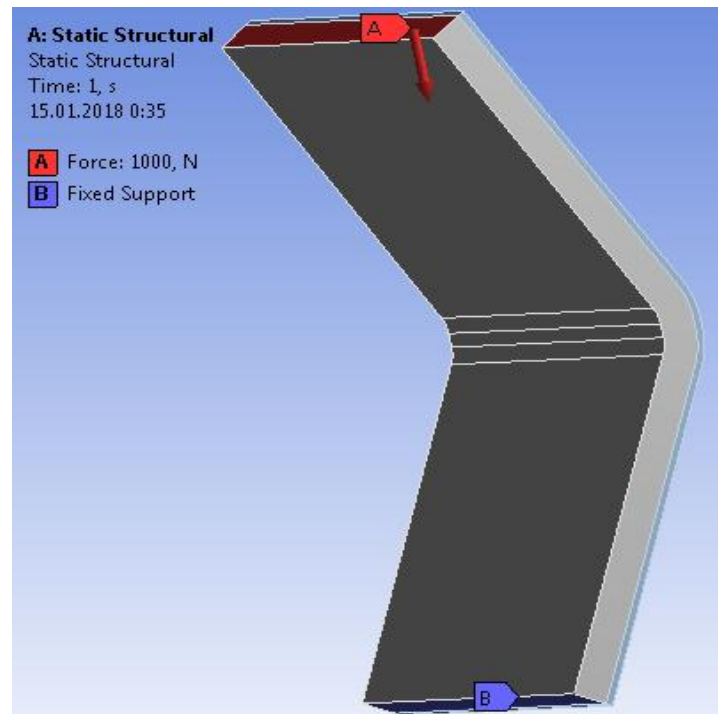
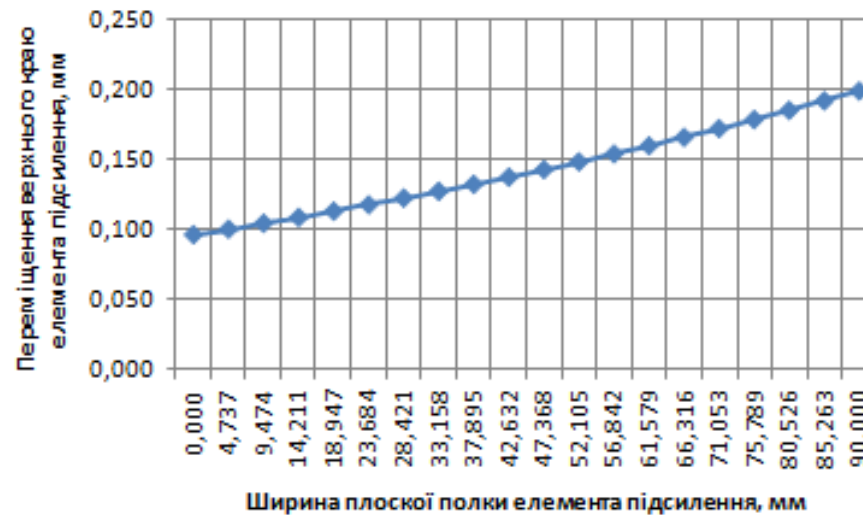


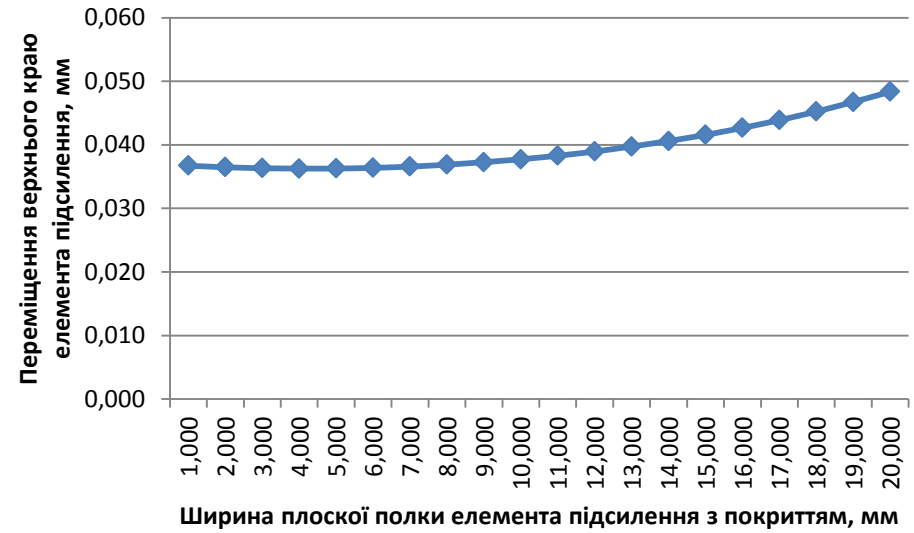
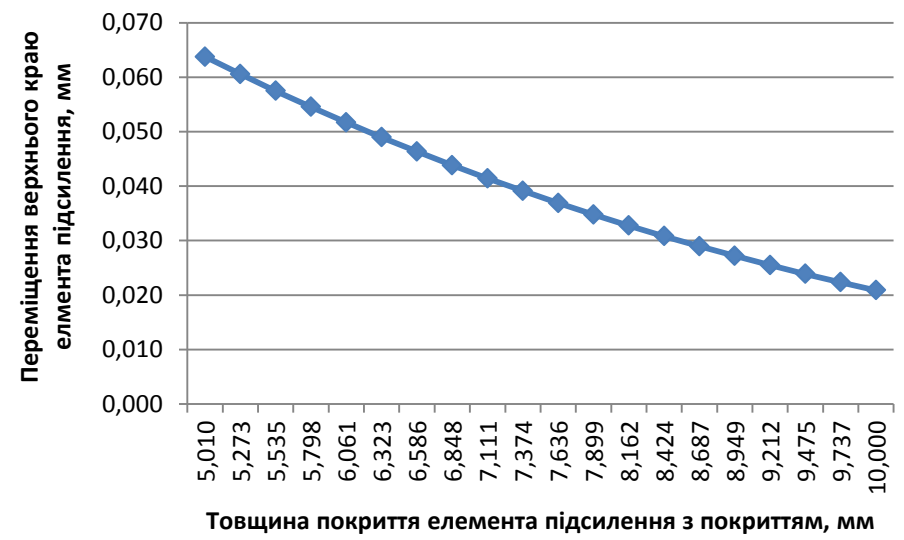
Схема навантаження гнучкого елемента підсилення



Вплив геометричних параметрів елемента підсилення без покриття на переміщення (жорсткість)



Вплив геометричних параметрів елемента підсилення з покриттям із мідного сплаву на переміщення (жорсткість)



ВИСНОВКИ

В результаті виконаних досліджень та їх теоретичного аналізу розв'язані наступні задачі:

1. Встановлено, що збільшення товщини основи призводить до зростання величини нормальних напружень, підвищення інтенсивності деформації та більш швидкому використанню ресурсу пластичності.

2. Було виявлено наступні залежності: зі збільшенням товщини основи збільшуються максимальні та мінімальні напруження, а при зменшенні радіуса заокруглення збільшується інтенсивність деформацій.

3. Використання елемента підсилення з покриттям дозволяє змінювати напружений стан на зовнішній поверхні елемента підсилення та за рахунок вищої пластичності покриття досягати менших радіусів заокруглень елементів.

4. Збільшення товщини основи і покриття призводить до підвищення жорсткості підсилюючого елемента, а збільшення висоти і ширини полки – до зменшення жорсткості.

5. Використання в якості покриття мідного сплаву дозволяє досягнути декількох цілей: а) забезпечити антикорозійний захист елемента підсилення; б) забезпечити досягнення потрібних геометричних (мінімальних радіусів кривизни) та фізичних (зменшення використання ресурсу пластичності) параметрів елемента підсилення; в) за рахунок активності міді здійснити заліковування поверхневих пошкоджень елемента підсилення