



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ”

УНІВЕРСИТЕТСЬКА НАУКА 2021

*МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ*

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ



м. Маріуполь
19-20 травня

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**



**МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
«УНІВЕРСИТЕТСЬКА НАУКА - 2021»**

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Том 1 - факультети: металургійний, енергетичний

м. Маріуполь, 19-20 травня 2021 р.

**РОЗРАХУНОК ВПЛИВУ МАТЕРІАЛУ ЛИСТОВОЇ
ЗАГОТОВКИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ
СТАН ПРИ ГНУТТІ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ЕФЕКТУ
БАУШИНГЕРА**

В.В. Кухар, професор, д-р техн. наук,
М.М. Нагнібеда, аспірант, ДВНЗ «ПДТУ»

Сучасні методики розрахунку напружено-деформованого стану листових заготовок при гнутті потребують уточнень. Розробка методики для розрахунку напружень при кінцевій формозміні має бути науково-обґрунтована і базуватись на результатах теоретичних розрахунків. Неврахування таких важливих факторів, як властивості матеріалу, пружинення та наявність остаточних напружень приводить до невідповідності кінцевих розмірів профілів. Тому тема роботи, що спрямована на розвиток методики розрахунку напруженого стану і залишкових напружень з врахуванням зміни внутрішнього радіусу та врахуванням зміни властивостей матеріалів при деформаційному зміцненні при гнутті профілів із врахуваннями ефекту Баушингера є актуальною.

Метою роботи є розрахунок за математичною моделлю напружено-деформованого стану і залишкових напружень листових заготовок з різних матеріалів при згинальних операціях зі зменшенням внутрішнього радіусу з перспективою оцінки підсилення профілів за рахунок накатки ребер жорсткості (повздожжніх рифтів).

Було апробовано метод теоретичних досліджень напружено-деформованого стану заготовки при гнутті. Раніше було розроблено математичну модель (1) і (2) процесу гнуття для визначення напружено-деформованого стану у вигляді компонент тензору напружень $\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z$ та залишкових напружень у матеріалі з врахуванням його деформаційного зміцнення (σ_S – опір матеріалу пластичній деформації, МПа). Приймемо: R_H, R_B, r, ρ – зовнішній, внутрішній, поточний та нейтральний радіуси при гнутті.

Було розроблено модель (1) для $R_H = r \geq \rho$:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\sqrt{3}}{2} \beta \sigma_s \ln \frac{R_H}{r} + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} - 4 + \frac{3}{2} R_H R_B \left(\frac{1}{r^2} + \frac{5}{3\rho^2} \right) \right]; \\ \sigma_\varphi &= \frac{1}{\sqrt{3}} \beta \sigma_s \left(\frac{3}{2} \ln \frac{R_H}{r} - 2 \right) + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} + \frac{5}{2} R_H R_B \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{\rho^2} \right) \right]; \\ \sigma_z &= \frac{1}{\sqrt{3}} \beta \sigma_s \left(\frac{3}{2} \ln \frac{R_H}{r} - 1 \right) + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} - 2 + \frac{1}{2} R_H R_B \left(5 \frac{1}{\rho^2} - \frac{1}{r^2} \right) \right]. \end{aligned} \right\} 1)$$

та аналогічну модель (2) для $R_H = r \leq \rho$:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\sqrt{3}}{2} \beta \sigma_s \ln \frac{R_B}{r} + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} - 4 + \frac{3}{2} R_H R_B \left(\frac{1}{r^2} + \frac{5}{3\rho^2} \right) \right]; \\ \sigma_\varphi &= \frac{1}{\sqrt{3}} \beta \sigma_s \left(\frac{3}{2} \ln \frac{R_B}{r} - 2 \right) + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} + \frac{5}{2} R_H R_B \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{\rho^2} \right) \right]; \\ \sigma_z &= \frac{1}{\sqrt{3}} \beta \sigma_s \left(\frac{3}{2} \ln \frac{R_B}{r} - 1 \right) + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} - 2 + \frac{1}{2} R_H R_B \left(5 \frac{1}{\rho^2} - \frac{1}{r^2} \right) \right]. \end{aligned} \right\} 2)$$

У роботі було враховано ефект Баушингера, що проявляє себе у процесі гнуття листового матеріалу із послідуочим зняттям напруження та розгинанням у напрямі попереднього розтягування. Коефіцієнт Баушингера розраховують як:

$$\beta = \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_S} \quad 3)$$

При цьому було використано модель опису зміцнення матеріалу отриману по результатах власних досліджень для сталі 08кп. Також ці данні були порівняні із марками сталей 10ХНДП, 3Гпс, 09Г2. Було розроблено програмне забезпечення у системі РТС Mathcad Prime 5.0.0.0. У результаті виконаного розрахунку та розробленій математичній моделі були отримані данні та побудовані графічні залежності розподілу залишкових напружень у середині заготовки за фіксованого значення внутрішнього ($R_B = S_0 = 1.4$ мм) радіуса. Також

було проведено розрахунок зміни компонентів тензора напружень для внутрішньої та зовнішньої сторони ділянки, що згинають із зменшенням внутрішнього радіусу R_B

Показано, що залишкові напруження мають суттєвий вплив на величину пружинення профілю при знятті навантаження. Показана необхідність врахування кількості переходів, а також значення внутрішнього радіусу заготовки по переходах із врахуванням моделі матеріалу заготовки. З аналізу графіків встановлено міцнісні характеристики гнутих профілів суттєво залежать від властивостей їх матеріалу, форми калібрів та кількості технологічних проходів.

Таким чином, методика розрахунку напружено-деформованого стану гнутого профілю при послідовному гнутті заготовки із врахуванням моделі зміцнення матеріалу, ефекту Баушингера та зменшення внутрішнього радіусу гнуття дозволяє більш точно прогнозувати деформації та переміщення у заготовці на стадії проектування технологічної документації. Завдяки врахуванню моделі зміцнення матеріалу та внутрішнього радіусу, що зменшується по технологічних переходах, є змога не лише просто порівняти результати розрахунку у теорії, а й підсилити профіль за рахунок додаткових конструкційних елементів на полицях листових заготовок. Використання таких впроваджень дозволить підвищити міцнісні характеристики із досягненням економії матеріалу.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ДВОРІВНЕВОГО ЕЛАСТОМІРНОГО КОМПЕНСАТОРУ ПОЗАЦЕНТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

В.В. Кухар, професор, д-р техн. наук,
В.В. Глазко, аспірант, ДВНЗ «ПДТУ»

Порядок розрахунку дворівневого еластомірного компенсатору може передбачати два варіанти вихідних даних. У загальному випадку, основними вихідними даними для розрахунку є сила штампування, заданий ексцентриситет позацентрового навантаження, допустима відносна деформація та тип перетину верхнього і нижнього еластомірних елементів (квадрат, прямокутник, коло, кільце, тощо). Перший варіант розрахунку передбачає використання додатково заданої висоти еластомірного елемента (мається на увазі наявність на складі заготовок у вигляді технічних пластин). Другий варіант розрахунку передбачає використання додатково заданої висоти конектору (при можливості використання готового універсального елемента компенсуючого оснащення – за аналогією з УСШ).