

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ імені адмірала Макарова**

НОВОШИЦЬКИЙ Антон Володимирович

УДК 629.5.042: 621.981

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ
ГНУТИХ ПРОФІЛІВ ДЛЯ СУДЕН**

**Спеціальність 05.08.03 - конструювання та будування
суден**

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук**

Миколаїв - 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник кандидат технічних наук, професор
Соловков Станіслав Миколайович,
Національний університет
кораблебудування імені адмірала Макарова,
професор кафедри технології суднового
машинобудування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тітов Вячеслав Андрійович,
Національний технічний університет
України "Київський політехнічний
інститут", завідувач кафедри механіки
пластичності матеріалів та
ресурсозберігаючих процесів

доктор технічних наук, професор **Коробанов
Юрій Миколайович**,
Національний університет
кораблебудування імені адмірала Макарова,
завідувач кафедри конструкції корпусу
корабля

Захист відбудеться 23 травня 2011 р. о 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.02 Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграда, 9, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграда, 9.

Автореферат розісланий "22" квітня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
Доктор технічних наук, доцент

Коростильов Л.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основним напрямком розвитку сучасного суднобудування є створення автоматизованого суднокорпусного виробництва на базі нових високопродуктивних і ресурсозберігаючих технологій, які забезпечують кардинальне підвищення точності та якості виготовлення деталей судових конструкцій.

Впровадження нових технологій на суднобудівних підприємствах дозволяє знизити трудомісткість, зменшити металомісткість, витрати на електроенергію, раціонально використовувати виробничі площі, скоротити терміни побудови суден, підвищити рентабельність і конкурентоспроможність вітчизняного суднобудування.

Значне зменшення металомісткості суден, зниження тривалості й трудомісткості робіт з опорядження та обладнання судових приміщень можливо при використанні модульних систем захиття судових приміщень, в яких тонкостінні профілі набули широкого застосування. Відомими зарубіжними модульними системами є "TNF" (Данія), "Isolamin" (Швеція), "Norac" (Норвегія), "RosUN" (Росія). Розробкою вітчизняних модульних систем захиття судових приміщень займалися Л.Ц. Адлерштейн, В.Д. Босий, О.О. Мільто, О.С. Рашковський, О.В. Щедролосев та ін.

Суднобудівному виробництву характерно використання широкої номенклатури і невеликих партій гнутих профілів, які виготовляються з високоміцних корозійностійких сталей, конструкційних і легованих сталей, солюмінієвих сплавів.

ЛО За останні десятиліття спостерігається стійка тенденція змінюваності виробів суднобудування і зниження серійності. Малосерійність будівництва суден спричиняє певні проблеми централізованого постачання гнутих профілів у відносно невеликих обсягах при досить широкій номенклатурі. У таких умовах уряді випадків виявляється доцільним виробництво гнутих профілів безпосередньо на суднобудівному підприємстві.

Виробництво гнутих тонкостінних профільних елементів, що формують судові конструкції, на існуючому заводському технологічному устаткуванні не завжди можливо і раціонально. Зі зменшенням товщини заготовок традиційні технології формоутворення не забезпечують необхідної якості гнутих профілів.

Одним з напрямків удосконалювання процесів формоутворення судових деталей є використання при їх виготовленні локального силового впливу. Така схема деформування дозволяє уникнути застосування потужного пресового устаткування і спеціального великогабаритного штампового оснащення.

Виробництво гнутих профілів дрібними серіями широкої номенклатури безпосередньо на суднобудівному підприємстві можливе на основі запропонованої технології профілювання гнуттям з повздовжнім розтягом.

Технологія передбачає послідовну локальну формозміну заготовки при дії на неї поздовжнього навантаження розтягу.

Для розрахунку параметрів технологічного процесу виготовлення суднових тонкостінних гнутих профілів необхідне розв'язання задачі пружнопластичного згину штаби з поздовжнім розтягом. Методи розв'язання задач пружнопластичного згину штаби розглянуті в роботах Г.О. Смирнова-Аляєва, О.А. Ільюшина, І.С. Тришевського, М.В. Сторожева, Є.М. Мошніна та інших. Однак вплив попереднього поздовжнього пружного розтягу на пружнопластичний згин штаби не розглядався.

У зв'язку з викладеним вище розробка технології виготовлення суднових тонкостінних гнутих профілів гнуттям з поздовжнім розтягом і устаткування для її здійснення в умовах дрібносерійного виробництва є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки України "Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі" і Міжвузівської науково-технічної програми "Енергоресурси та енергозбереження на водному транспорті України".

Мета і задачі дослідження. *Метою дисертації* є розробка раціональної технології виготовлення тонкостінних профілів для суднобудівної галузі в умовах дрібносерійного виробництва.

У зв'язку з цим у дисертації поставлені та розв'язані наступні задачі:

1.Розробити та науково обґрунтувати технологію виготовлення суднових тонкостінних гнутих профілів гнуттям з поздовжнім розтягом. Провести експериментальні дослідження технології виготовлення тонкостінних гнутих профілів.

2.Провести теоретичні дослідження пружнопластичного згину штаби з попереднім поздовжнім розтягом. Виконати експериментальну перевірку отриманих теоретичних залежностей. Дати оцінку енергетичній ефективності процесу гнуття з поздовжнім розтягом.

3.Розробити науково обґрунтовану методику розрахунку енергосилових параметрів технологічного процесу гнуття з поздовжнім розтягом.

4.Розробити нові технологічні схеми виготовлення суднових тонкостінних профілів для різних суднових конструкцій, у тому числі для опорядження та обладнання суднових приміщень.

5.Розробити експериментальну установку для досліджень технологічних процесів виготовлення суднових тонкостінних профілів. Сформулювати на основі проведених досліджень технічні вимоги до устаткування для виготовлення суднових тонкостінних профілів.

6.З метою апробації та удосконалення запропонованої технології розробити дослідно-промислову установку для виготовлення суднових тонкостінних профілів.

Об'єкт дослідження - методи і технологічні процеси виготовлення гнутих профілів.

Предмет дослідження - вплив поздовжнього розтягу на параметри формоутворення тонкостінних гнутих профілів для суден та технологія на цих засадах

Методи дослідження. При розробці та дослідженні технології виготовлення суднових тонкостінних профілів використовувалися методи системного аналізу і синтезу. Теоретичні дослідження пружнопластичного згину штаби з попереднім поздовжнім розтягом здійснювалися на основі деформаційної теорії пластичності. Адекватність теоретичних результатів підтверджена експериментальними дослідженнями пружнопластичного згину зразків при різних величинах поздовжніх напружень розтягу. Статистична обробка даних виконувалася з використанням ЕОМ. Відпрацьовування технології профілювання здійснювалося на виготовлених експериментальній і дослідно-промисловій профілювальних установках.

Наукова новизна отриманих результатів

1. На основі постановки та розв'язання оригінальної задачі пружнопластичного деформування штаби вперше розроблена і випробувана нова технологія виготовлення тонкостінних профілів широкої номенклатури в умовах дрібносерійного виробництва суднобудівної галузі.

2. Вперше на основі деформаційної теорії пластичності розв'язана задача пружнопластичного згину з поздовжнім розтягом штаби з ідеального пружнопластичного матеріалу і матеріалів з лінійним та степеневим зміцненням. Одержані аналітичні залежності величин згинального моменту і пружинення свідчать, що при дії поздовжнього розтягу згинальний момент і пружинення зменшуються на 15...45 %.

3. Вперше отримано аналітичні залежності для визначення роботи внутрішніх сил при деформуванні розтягнутої штаби та встановлено, що енерговитрати при гнутті штаби з попереднім поздовжнім розтягом менші, ніж при простому згині на 20...55 %.

4. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблено метод розрахунку параметрів, необхідних для проектування і налаштування профілювального устаткування, зокрема сил, діючих на заготовку і профілювальні ролики, геометрії робочих поверхонь профілювальної оснастки, енергетичних витрат.

Практичне значення отриманих результатів

1. Розроблено нову технологію виготовлення тонкостінних профілів гнуттям з поздовжнім розтягом, що дозволяє в умовах дрібносерійного виробництва здійснювати випуск тонкостінних гнутих профілів широкої номенклатури безпосередньо на суднобудівному підприємстві, виключити витрати на транспортування профілів централізованого постачання та подальшу їх правку, знизити вартість профілів на 15...20 %.

2. Аналітичні залежності, які отримані при розв'язанні задачі пружнопластичного згину штаби з поздовжнім розтягом, дозволяють

здійснювати розрахунки енергосилових параметрів розробленої технології виготовлення суднових тонкостінних профілів.

3.Для виготовлення суднових тонкостінних профілів різної конфігурації розроблені технологічні схеми гнуття з поздовжнім розтягом, які дозволяють одержувати тонкостінні профілі підвищеної точності та жорсткості, рифлені профілі, профілі з криволінійними гофрами, з поздовжньою кривизною, а також зі складною поздовжньою кривизною.

4.Сформульовані технічні вимоги до устаткування для виготовлення суднових тонкостінних профілів. Розроблені та виготовлені експериментальна та дослідно-промислова установки для виробництва тонкостінних профілів із заготовок шириною відповідно 100 та 200 мм.

5.На основі проведених досліджень отримані захищені патентами нові технічні рішення, які дозволяють розширити технологічні можливості профілювального устаткування для випуску профілів, що відповідають вимогам сучасного суднобудування.

Використання результатів роботи. Результати роботи впроваджені на ДП ЦКБ "Чорноморець", ЗАТ "Миколаївський машинобудівний завод" і при викладанні дисциплін "Суднові пристрої", "Технологія спеціального суднового машинобудування" у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при проектуванні та експлуатації профілювального устаткування для виготовлення тонкостінних гнутих профілів для суден.

Особиста участь автора в одержанні наведених у дисертації наукових результатів полягає у розробці нової технології виготовлення тонкостінних гнутих профілів гнуттям з поздовжнім розтягом; розв'язанні задачі пружнопластичного згину з поздовжнім розтягом; встановленні залежності згинального моменту і пружинення від кривизни згину штаби і від попереднього пружного поздовжнього розтягу; обґрунтуванні енергетичної ефективності розробленої технології; проведенні експериментальних досліджень згину зразків з поздовжнім розтягом; розробці профілювальної установки й відпрацюванні технології; розробці наукової методики розрахунку параметрів технологічного процесу виготовлення тонкостінних профілів гнуттям з поздовжнім розтягом; розробці нових технологічних схем профілювання.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи розглянуті та обговорені на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу УДМТУ, нині Національний університет кораблебудування (1998-2004 рр.); 2-й і 3-й Міжнародних конференціях "Проблеми енергозбереження та екології в суднобудуванні" (Миколаїв, 1998 р., 2002 р.); Міжнародній конференції "Кораблебудування: освіта, наука, виробництво" (Миколаїв, 2002 р.); 6-му міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові (Львів, 2003 р.); Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів, молодих учених, молодих спеціалістів "Сучасні проблеми суднової енергетики" (Миколаїв, 2003 р.); Міжнародній науково-технічній

конференції студентів, аспірантів, молодих учених та спеціалістів "Суднова енергетика: стан та проблеми" (Миколаїв, 2005 р.); II Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми триботехніки" (Миколаїв, 2007 р.); науковому семінарі кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ "КШ" (Київ, 2010 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації викладений у 20 роботах: 9 статтях (7 без співавторів) у виданнях, що входять у перелік ВАК, 4 публікаціях тез доповідей, 3 патентах України на винахід, 4 деклараційних патентах України на винахід.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, додатків і списку використаних джерел з 120 найменувань. Загальний обсяг роботи - 205 машинописних сторінок, у тому числі 145 сторінок основного тексту з 83 рисунками і 4 таблицями, 47 сторінок додатків, 13 сторінок списку використаних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність вибраної теми дисертації, відзначено її наукову новизну, практичне значення, особистий внесок автора, наведено інформацію про апробацію, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі проведено огляд літературних джерел з обраного напрямку досліджень. Виконано системний аналіз існуючих способів виготовлення гнутих профілів. В основі аналізу покладені технологічні ознаки різних процесів гнуття. Показано, що для виготовлення суднових тонкостінних профілів раціональними є способи гнуття з поздовжнім розтягом. Виконано критичний огляд робіт, присвячених теоретичному та експериментальному дослідженню процесів гнуття. Вказано на відсутність робіт щодо розв'язання задачі пружнопластичного згину штаби з попереднім поздовжнім розтягом для визначення технологічних параметрів гнуття. З урахуванням стану існуючих технологій виготовлення гнутих профілів у розділі сформульовані задачі дослідження.

Другий розділ присвячений теоретичному дослідженню пружнопластичного згину штаби з поздовжнім розтягом і встановленню теоретичних залежностей, необхідних для визначення основних технологічних параметрів процесу виготовлення тонкостінних гнутих профілів, таких, як згинальний момент, пружинення, сила розтягу, геометричні параметри профілювального інструменту. Проведено аналіз робіт внутрішніх сил при різних варіантах деформування штаби.

При теоретичному аналізі процесу деформування штаби використані гіпотези і припущення, які застосовуються при дослідженнях пружнопластичного згину і засновані на деформаційній теорії пластичності. Використовується гіпотеза плоских перерізів. Прийнято, що напружено-деформований стан штаби плоский. Осьові напруження від попереднього розтягу σ_z і тангенціальні напруження від дії згинального моменту σ_φ є головними, радіальні напруження не враховуються. Осьові

напруження розтягу не перевищують границі текучості матеріалу заготовки для запобігання її неконтрольованого розтягу. Використано умову пластичності Тріска-Сен-Венана.

Поставлена задача розглядалася для ідеального пружнопластичного матеріалу і матеріалів з лінійним та степеневим зміцненням.

Аналіз закономірностей пружнопластичного згину штаби проводився у відносних безрозмірних величинах $\tilde{M} = f(\tilde{\varphi})$, де $\tilde{M} = M/M_T$ - відносний згинальний момент; $\tilde{\varphi} = \varphi/\theta$ - відносна кривизна згину; $\varphi = 1/\rho$ - кривизна згину, ρ - радіус нейтрального шару; $\theta = 2\sigma_T/EH$ - найбільша кривизна пружного згину; $M_T = \sigma_T H^2/6$ - найбільший момент пружного згину штаби одиничної довжини, σ_T - границя текучості матеріалу штаби, H - товщина штаби, E - модуль нормальної пружності матеріалу штаби; $\tilde{\sigma}_z = \sigma_z/\sigma_T$ - відносні напруження розтягу.

Якщо штаба попередньо розтягнута, коли поздовжні напруження розтягу σ_z менші границі текучості, а потім згинається, то пластичні деформації в стиснутій зоні виникають раніше, ніж у розтягнутій, та при меншій кривизні. Це обумовлено тим, що у стиснутій зоні діють напруження різного знака: тангенціальні напруження стиску σ_c від згину та напруження розтягу від поздовжньої сили σ_z , а в розтягнутій зоні діють напруження одного знака: тангенціальні напруження розтягу σ_p від згину та напруження розтягу від поздовжньої сили σ_z (рис. 1, а).

При пружному згині (див. рис. 1, б, д) залежність між відносним згинальним моментом $\tilde{M}$ і відносною кривизною $\tilde{\varphi}$ лінійна: $\tilde{M} = \tilde{\varphi}$. При $\tilde{\varphi} \geq \lambda$ в стиснутій зоні виникають пластичні деформації, де $\lambda = (1 - \tilde{\sigma}_z)$ коефіцієнт, що враховує вплив поздовжніх напружень розтягу. При цьому нейтральний шар напружень зміщується в напрямку зовнішньої поверхні штаби (див. рис. 1, в, е). При подальшому збільшенні кривизни штаби пластичні деформації виникають також у розтягнутій зоні (див. рис. 1, г, ж).

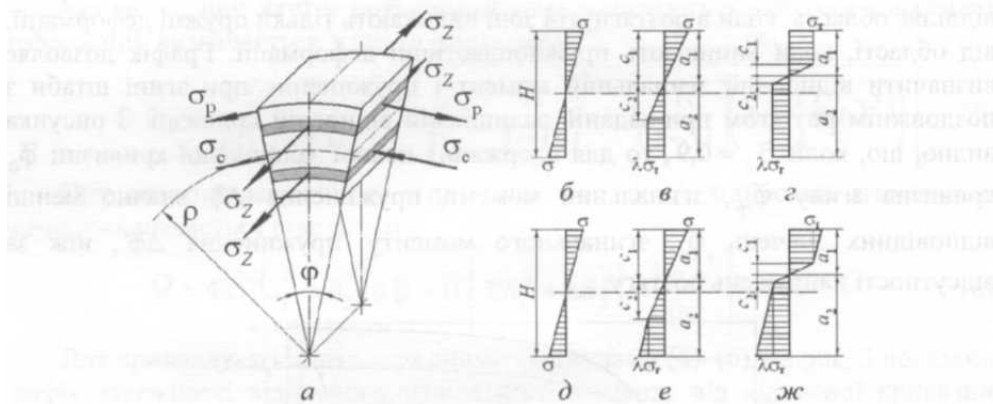


Рис. 1. Схема деформацій та напружень при згині штаби з поздовжнім розтягом

a - напружено-деформований стан елемента штаби; b, v, z - епюри тангенціальних напружень при згині розтягнутої штаби з ідеального пружнопластичного матеріалу; $d, e, ж$ - з матеріалу з лінійним зміцненням

При розв'язанні задачі згину штаби з поздовжнім розтягом одержані формули для визначення положення нейтрального шару напружень a_1, a_2 , розмірів пружних зон c_1, c_2 , згинальних моментів у залежності від величини напружень розтягу та кривизни згину.

Для ідеального пружнопластичного матеріалу штаби залежність між відносним згинальним моментом та відносною кривизною згину (див. рис. 1,в) визначається рівнянням

$$\tilde{M} = 4\tilde{\varphi} \left[\left(\sqrt{\frac{\lambda}{\tilde{\varphi}}} - \frac{\lambda}{2\tilde{\varphi}} \right)^3 + \left(\frac{\lambda}{2\tilde{\varphi}} \right)^3 \right] + 3\lambda \left[\left(1 + \frac{\lambda}{2\tilde{\varphi}} - \sqrt{\frac{\lambda}{\tilde{\varphi}}} \right)^2 - \left(\frac{\lambda}{2\tilde{\varphi}} \right)^2 \right]. \quad (1)$$

Кривизна, при якій у розтягнутій зоні з'являються пластичні деформації, визначається згідно з формулою

$$\tilde{\varphi}_n = \frac{(1+\lambda)^2}{4\lambda}. \quad (2)$$

При пружнопластичному згині (див. рис. 1,з) відносний згинальний момент визначається рівнянням

$$\tilde{M} = \frac{3\lambda}{1+\lambda} - \frac{(1+\lambda)^3}{16\tilde{\varphi}^2}. \quad (3)$$

Графік залежності відносного згинального моменту від відносної кривизни згідно з формулами (1)-(3) наведено на рис. 2. Верхня крива характеризує опір штаби згину при відсутності розтягу. Нижні криві відображають опір штаби згину при різних значеннях $\tilde{\sigma}_z$. Штрихова лінія відділяє область, коли в розтягнутій зоні виникають тільки пружні деформації, від області, коли виникають пружнопластичні деформації. Графік дозволяє визначити відносний згинальний момент і пружинення при згині штаби з поздовжнім розтягом при заданій залишковій відносній кривизні. З рисунка

Кривизна, при якій у розтягнутій зоні починають з'являтися пластичні деформації, визначається згідно з формулою

$$\tilde{\varphi}_n = \frac{1-\tilde{\Pi}}{2\tilde{\Pi}} \left[\frac{\tilde{\Pi}}{1-\tilde{\Pi}} - \lambda + \sqrt{\left(\lambda - \frac{\tilde{\Pi}}{1-\tilde{\Pi}} \right)^2 + 2 \left(\frac{\tilde{\Pi}}{1-\tilde{\Pi}} \right) \left(\lambda + \frac{1}{2}(1+\lambda^2) \right)} \right]. \quad (5)$$

При пружнопластичному згині (див. рис. 1,ж) відносний згинальний момент визначається рівнянням

$$\tilde{M} = 4\tilde{\varphi}\tilde{\Pi}(\tilde{a}_1^3 + \tilde{a}_2^3) + (1-\tilde{\Pi}) \left[3(\tilde{a}_1^2 + \lambda\tilde{a}_2^2) - \frac{1+\lambda^3}{4\tilde{\varphi}^2} \right]. \quad (6)$$

Для прикладу, згідно з одержаними формулами (4)–(6), на рис. 3 показано графік залежності відносного згинального моменту від відносної кривизни при значенні модуля зміцнення $\tilde{\Pi} = 0,07$.

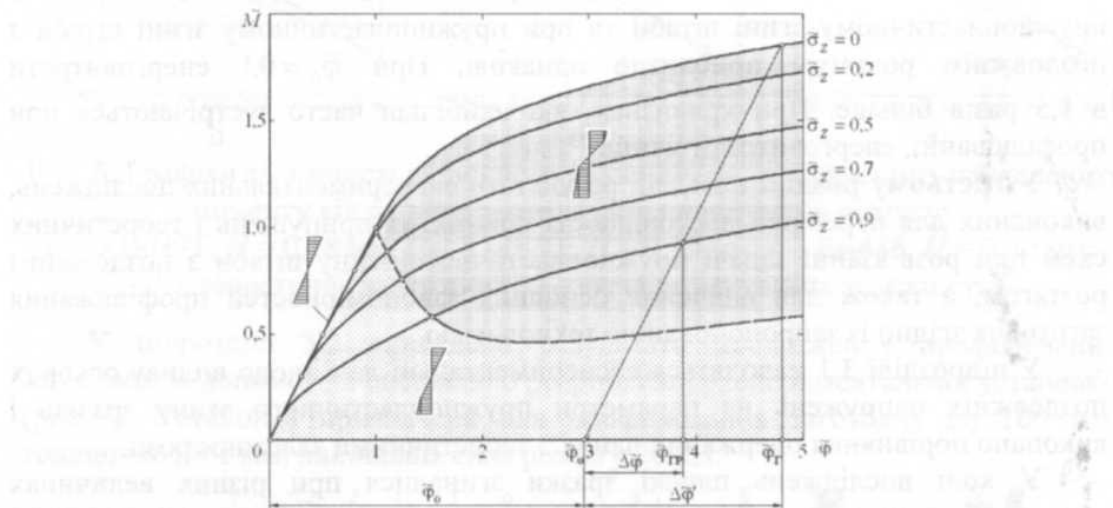


Рис. 3. Графік залежності відносного згинального моменту від відносної кривизни (матеріал штаби з лінійним зміцненням)

Розв'язано також задачу пружнопластичного згину з позовжнім розтягом штаби з матеріалу зі степеневим зміцненням.

Аналітичні залежності, одержані при розв'язанні задач пружнопластичного згину штаби, використовувалися при розробці методу розрахунку параметрів технологічного процесу виготовлення тонкостінних профілів гнуттям з позовжнім розтягом. Одержані формули для розрахунку роботи деформації при різних варіантах деформування штаби.

Проведено порівняння енерговитрат при різних варіантах деформування штаби. Графіки співвідношення відносних робіт при згині штаби з позовжнім розтягом $\tilde{A}_{\Sigma p}$ та при простому згині $\tilde{A}_{\Sigma}$ показано на рис. 4.

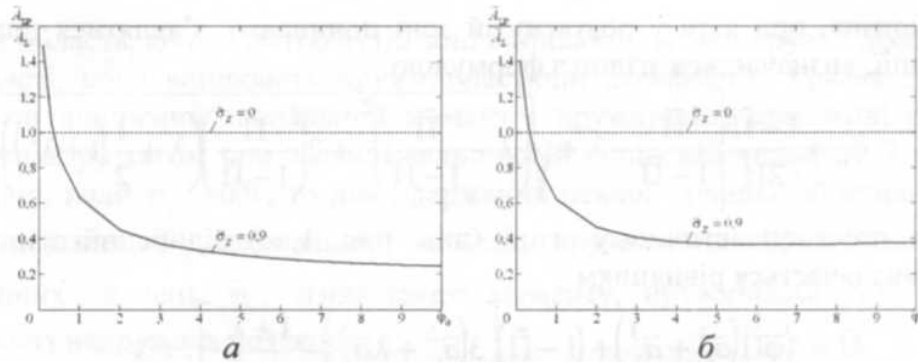


Рис. 4. Графіки співвідношення робіт при деформуванні штаби:

a – матеріал штаби ідеальний пружнопластичний;

б – матеріал штаби з лінійним зміцненням ($\tilde{\Pi} = 0,02$)

Наведені дані показують, що при $\tilde{\varphi}_0 \approx 0,3$ енерговитрати при простому пружнопластичному згині штаби та при пружнопластичному згині штаби з поздовжнім розтягом приблизно однакові. При $\tilde{\varphi}_0 = 0,1$ енерговитрати в 1,5 разів більше. При кривизнах, які найбільш часто зустрічаються при профілюванні, енерговитрати менші.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень, виконаних для перевірки достовірності прийнятих припущень і теоретичних схем при розв'язанні задачі пружнопластичного згину штаби з поздовжнім розтягом, а також для вивчення основних закономірностей профілювання заготовок згідно із запропонованою технологією.

У підрозділі 3.1 наводяться експериментальні дані щодо впливу осьових поздовжніх напружень на параметри пружнопластичного згину зразків і виконано порівняння одержаних даних з теоретичними залежностями.

У ході досліджень плоскі зразки згиналися при різних величинах поздовжніх напружень на заданий радіус кривизни і після розвантаження замірявся залишковий радіус кривизни та розраховувалася величина пружинення. При деформуванні зразків напруження розтягу задавалися від 0 до σ_t з рівними інтервалами. Дослідження зразків при згині здійснювалося на

універсальній випробувальній машині ИР-10/1 (Німеччина) за допомогою спеціально виготовленого пристрою.

Згідно з теоретичними залежностями для досліджених зразків, виготовлених з різних матеріалів, побудовано графіки залежностей залишкових прогинів зразків від поздовжніх напружень розтягу (рис. 5) та графіки залежностей відносного згинального моменту і відносного пружинення від поздовжніх напружень розтягу (рис. 6). На графіках нанесені результати експериментального дослідження згину плоских зразків при різних величинах попередніх напружень розтягу. Теоретичні залежності задовільно погоджуються з результатами експериментального дослідження.

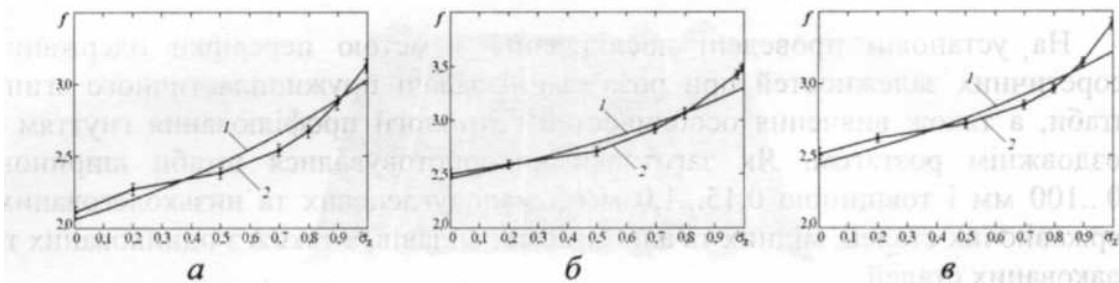


Рис. 5. Графіки залежності залишкового прогину від величини поздовжніх напружень розтягу:
 а – X18H9T, $H = 0,18$ мм; б – X18H9T, $H = 0,19$ мм; в – EI-435, $H = 0,30$ мм;
 1 – теоретична залежність; 2 – експериментальна залежність

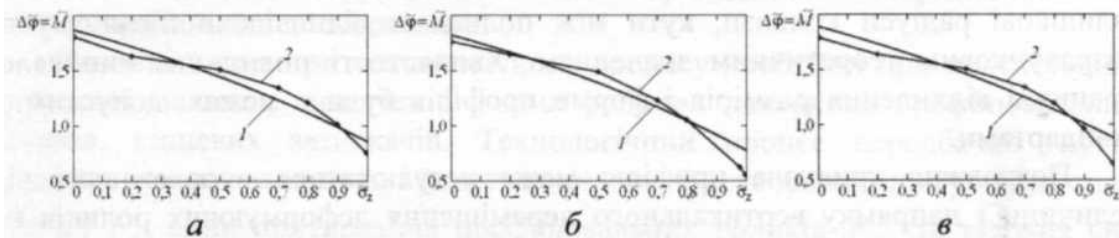


Рис. 6. Графіки залежності відносного пружинення та відносного згинального моменту від величини поздовжніх напружень розтягу:
 а – X18H9T, $H = 0,18$ мм; б – X18H9T, $H = 0,19$ мм; в – EI-435, $H = 0,30$ мм;
 1 – теоретична залежність; 2 – експериментальна залежність

У підрозділі 3.2 викладено результати дослідження профілювання заготовок за допомогою спеціально розробленої експериментальної установки (рис. 7). Установка призначена для профілювання заготовок до 100 мм, товщиною до 1 мм, найбільша сила розтягу 20 кН.

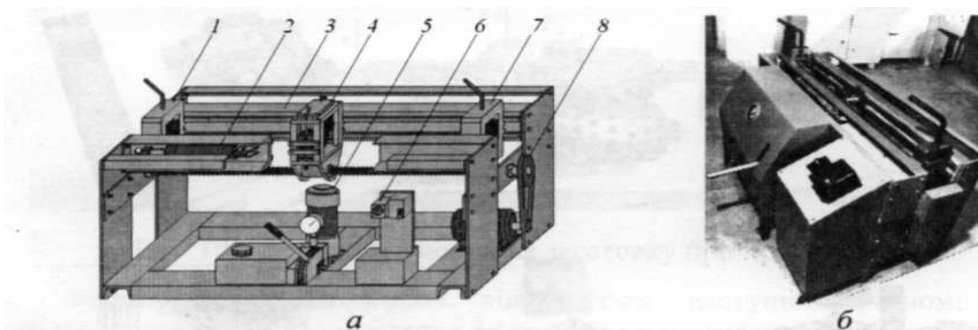


Рис. 7. Експериментальна профілювальна установка:
 а – схема; б – загальний вигляд;
 1 – головка затискна тягнуча; 2 – гідроциліндри; 3 – корпус; 4 – каретка;
 5 – гідростанція; 6 – пульт керування; 7 – головка затискна нерухома;
 8 – механізм переміщення каретки

На установці проведені дослідження з метою перевірки одержаних теоретичних залежностей при розв'язанні задачі пружнопластичного згину штаби, а також вивчення особливостей технології профілювання гнуттям з поздовжнім розтягом. Як заготовки використовувалися штаби шириною 20...100 мм і товщиною 0,15...1,0 мм з маловуглецевих та низьколегованих, нержавіючих сталей, мідних та алюмінієвих сплавів, а також з оцинкованих та плакованих сталей.

У ході досліджень були виготовлені кутники, швелери, коритоподібні, С-подібні, гофровані профілі з різною формою гофрів, профілі з несиметричним поперечним перерізом.

У результаті досліджень встановлено, що при напруженнях розтягу $0,9\sigma_T$ залишкові радіуси кривизн, кути між полицями відповідали після гнуття розрахунковим теоретичним значенням. Хвилястості полиць не виникало. Граничні відхилення розмірів і форми профілів були в межах, допустимих стандартами.

Поздовжня кривизна профілю може регулюватися в залежності від величини і напрямку вертикального переміщення деформуючих роликів по ходу їх переміщення.

Для виготовлення профілів підвищеної жорсткості виконувалося попереднє гофрування місць майбутнього згину і розташування поздовжніх ребер жорсткості. Попередня правка штабової заготовки не потрібна. На експериментальній установці проведено виготовлення профілів з різною формою поперечного перерізу в безперервно-послідовному режимі при подачі штабової заготовки з рулону. Тонкостінні гнуті профілі та відповідне технологічне оснащення подано на рис. 8 і 9.

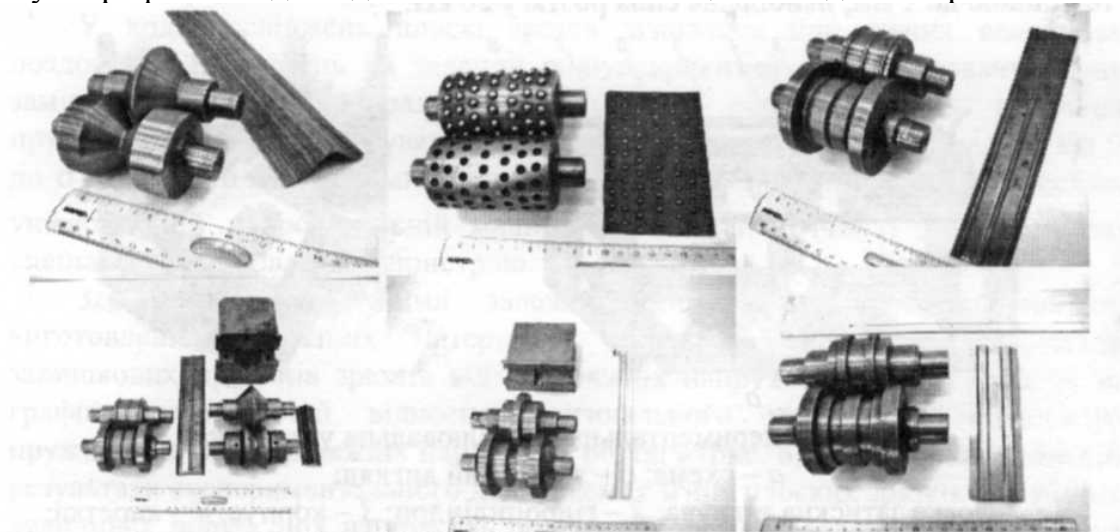


Рис. 8. Гнуті профілі та відповідне технологічне оснащення



Рис. 9. Тонкостінні гнуті профілі

У четвертому розділі викладений метод розрахунку параметрів технологічного процесу виготовлення профілів гнуттям з поздовжнім розтягом. Метод ґрунтується на проведених теоретичних та експериментальних дослідженнях.

Основні параметри технологічного процесу необхідні при проектуванні розтяжної машини, визначенні форми робочих поверхонь профілювальних роликів, кінцевих затискачів. Технологічний процес передбачає гнуття кінцевих ділянок заготовки і їх затиск силою F_n , створення попередньої сили розтягу F_z , сили притискання профілювальних роликів F_{np} та тягових сил для їх переміщення F_t . Схема сил, діючих на заготовку, зображена на рис. 10.

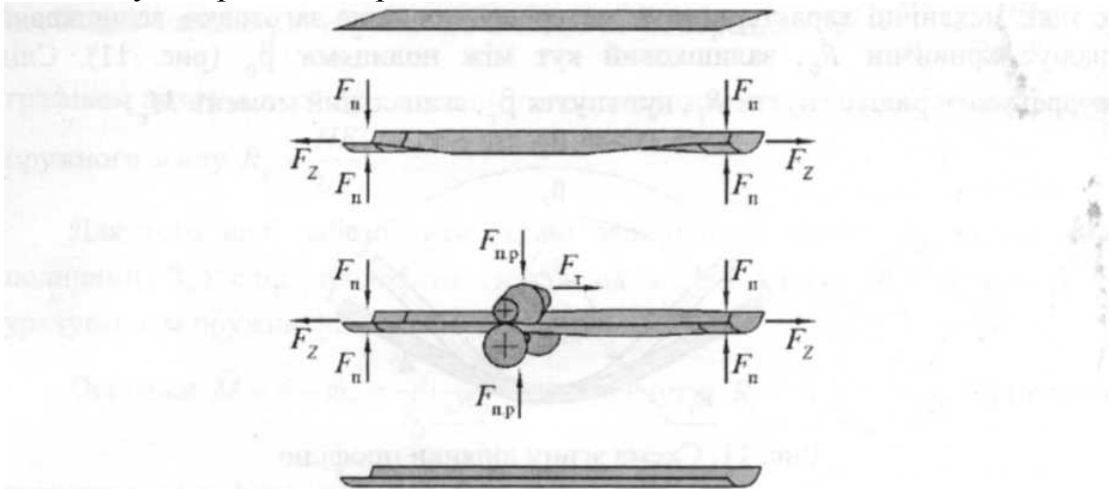


Рис. 10. Схема сил, діючих на заготовку при профілюванні

Формоутворення профілів відбувається наступним чином: після місцевого згину кінцевих ділянок заготовки і прикладання поздовжньої сили деформації згину розповсюджуються по частині довжини заготовки з обох кінців, унаслідок переміщення профілювальних роликів формується профіль. Необхідна форма профілів утворюється в момент проходження профілювальних роликів. У зоні розвантаження після проходження роликів процес формоутворення профілю супроводжується пружиненням, тому форму робочих поверхонь роликів та кінцевих затискачів необхідно розраховувати відповідним чином. У результаті прикладання сили розтягу до заготовки значно зменшуються згинальний момент, пружинення. Формозміна заготовки обумовлена переважно тангенціальними пластичними деформаціями стиску, тому в місцях згину не виникає

стоншення заготовки. Після попереднього деформування кінцевих ділянок заготовки і наступного прикладання поздовжньої сили на ділянці між кінцевими затискачами і роликами виникає поздовжній згинальний момент, що прагне надати заготовці необхідну форму. Формозміна заготовки проводиться за один прохід деформуючих роликів без виникнення хвилястості полиць.

Створення попереднього поздовжнього розтягу заготовки забезпечує оптимальні умови для формоутворення профілю. Запобігається виникнення поздовжньої зігнутості, а також скрученості.

Сила попереднього розтягу визначається в залежності від розмірів поперечного перерізу заготовки і механічних характеристик її матеріалу.

Будь-яка форма поперечного перерізу профілю може бути представлена як сполучення плоских та криволінійних ділянок. Для визначення сукупних силових дій на заготовку необхідний послідовний силовий та геометричний розрахунок кожної криволінійної ділянки. Вихідними даними для розрахунку є такі: механічні характеристики матеріалу, товщина заготовки, залишковий

радіус кривизни R_0 , залишковий кут між полицями β_0 (рис. 11). Слід розрахувати радіус гнуття R_r , кут гнуття β_r , згинальний момент M_r .

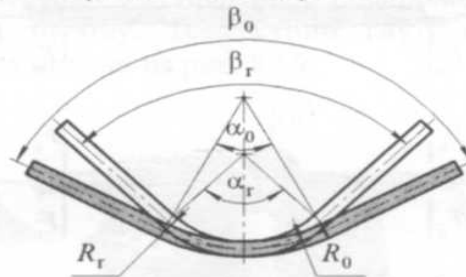


Рис. 11. Схема згину ділянки профілю

При теоретичному аналізі одержані залежності відносного згинального моменту від відносної кривизни. Раціональним для розрахунку є використання залежності відносного згинального моменту від заданої залишкової кривизни. Для одержання такої залежності необхідно розв'язання системи рівнянь:

рівняння згинального моменту $\tilde{M} = f(\tilde{\varphi})$ та рівняння пружного розвантаження $\tilde{M} = \tilde{\varphi} - \tilde{\varphi}_0 = \Delta\tilde{\varphi}$. Унаслідок розв'язання системи рівнянь визначається $\tilde{M}$ від $\tilde{\varphi}_0$.

Для практичних розрахунків на рис. 12 зображено графік залежності відносного згинального моменту $\tilde{M}$ від відносної залишкової кривизни $\tilde{\varphi}_0$, побудований при розв'язанні системи рівнянь для різних значень відносного коефіцієнта зміцнення $\tilde{\Pi}$, коли $\tilde{\sigma}_z = 0,9$ ($\lambda = 0,1$).

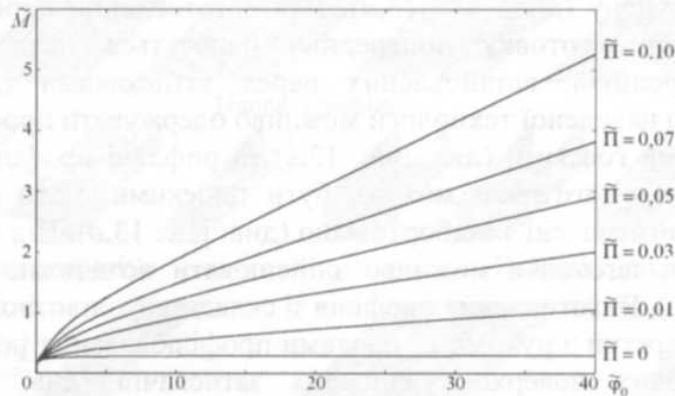


Рис. 12. Графік залежності відносного згинального моменту від залишкової відносної кривизни

Графік дозволяє визначати відповідно до заданих вихідних даних необхідні параметри гнуття. Обчислюючи попередньо $\tilde{\varphi}_0 = \frac{R_y}{R_0} = \frac{HE}{2\sigma_\tau R_0}$, за графіком визначається необхідний згинальний момент $\tilde{M}$. Найбільший радіус пружного згину $R_y = \frac{HE}{2\sigma_\tau}$.

Для того щоб забезпечити задані залишковий радіус R_0 та кут між полицями β_0 , слід проводити гнуття на менші радіус R_r та кут β_r з урахуванням пружинення.

Оскільки $\tilde{M} = \tilde{\varphi} - \tilde{\varphi}_0 = \frac{R_y}{R_r} - \frac{R_y}{R_0}$, радіус гнуття $R_r = R_y \frac{1}{\tilde{\varphi}_0 + \tilde{M}}$. Кут гнуття визначається за формулою $\beta_r = \beta_0 \left(1 + \frac{\tilde{M}}{\tilde{\varphi}_0} \right) - \pi \frac{\tilde{M}}{\tilde{\varphi}_0}$.

У розділі наведено алгоритм розрахунку сили затиску кінцевих ділянок заготовки, сили розтягу, сил, діючих на профілювальні ролики, геометричних параметрів профілювальних роликів і кінцевих затискачів. У додатку наведено приклад розрахунку параметрів технологічного процесу. Показано, що при профілюванні гнуттям з поздовжнім розтягом згинальний момент на 32 %, а робота для формозміни на 40 % менші, ніж при виготовленні профілів штампуванням.

У п'ятому розділі наводиться опис технології та обладнання для виготовлення суднових тонкостінних профілів з урахуванням встановлених закономірностей технології профілювання. Розроблені технологічні схеми виготовлення профілів з різною конфігурацією (рис. 13).

Найбільш оптимальним є виготовлення профілів при подачі штабової заготовки з рулону (див. рис. 13,а). Для виготовлення профілів

підвищеної жорсткості на заготовку попередньо наносяться поздовжні гофри за допомогою роликів, встановлених перед затискачами (див. рис. 13,б). Відповідно до наведеної технології можливо одержувати профілі з періодично повторюваними гофрами (див. рис. 13,е) та рифлені профілі (див. рис. 13,г). Кінцеві ділянки заготовки можуть бути плоскими, мати поперечні ребра жорсткості, виготовлені з відбортовкою (див. рис. 13,д). Під час послідовного згину ділянки заготовки можливо здійснювати поздовжнє гнуття профілю (див. рис. 13,е). Виготовлення профілів зі складною кривизною проводиться за допомогою каретки з рухомими блоками профілювальних роликів при різних формах робочих поверхонь кінцевих затискачів (див. рис. 13,ж). Для виготовлення гнутих профілів з поздовжніми криволінійними гофрами блоки роликів можуть переміщуватися в поперечному напрямку (див. рис. 13,з).

Розроблені способи профілювання дозволяють одержувати різноманітні судові гнуті профілі підвищеної точності та жорсткості, будь-якої довжини.

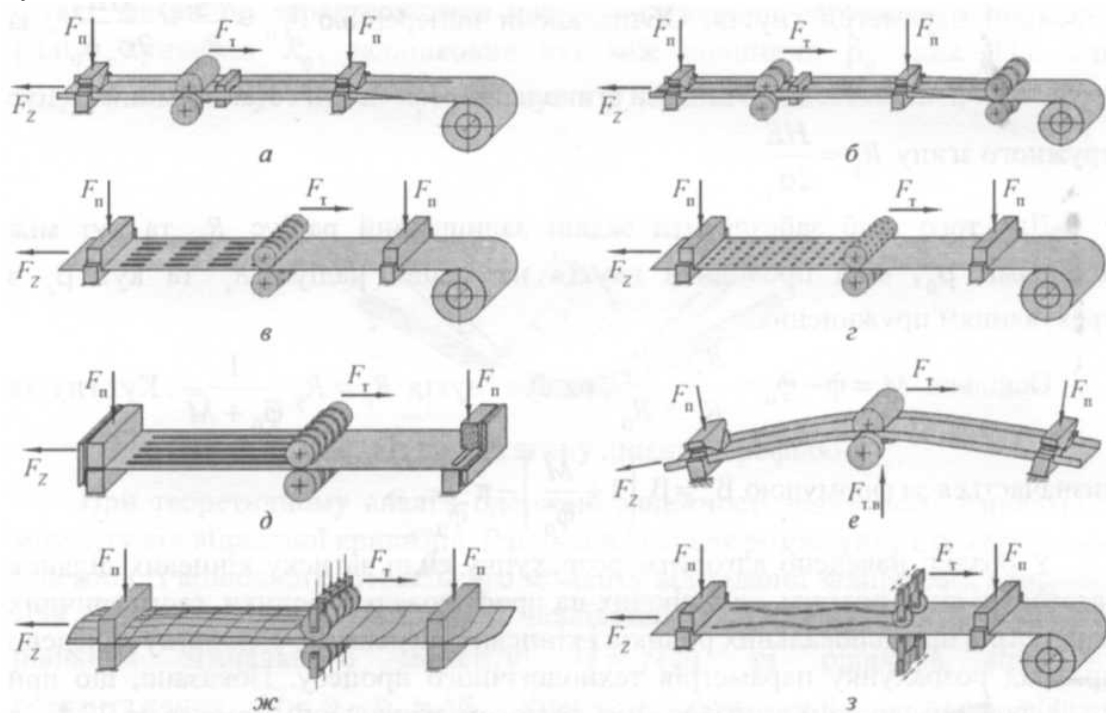
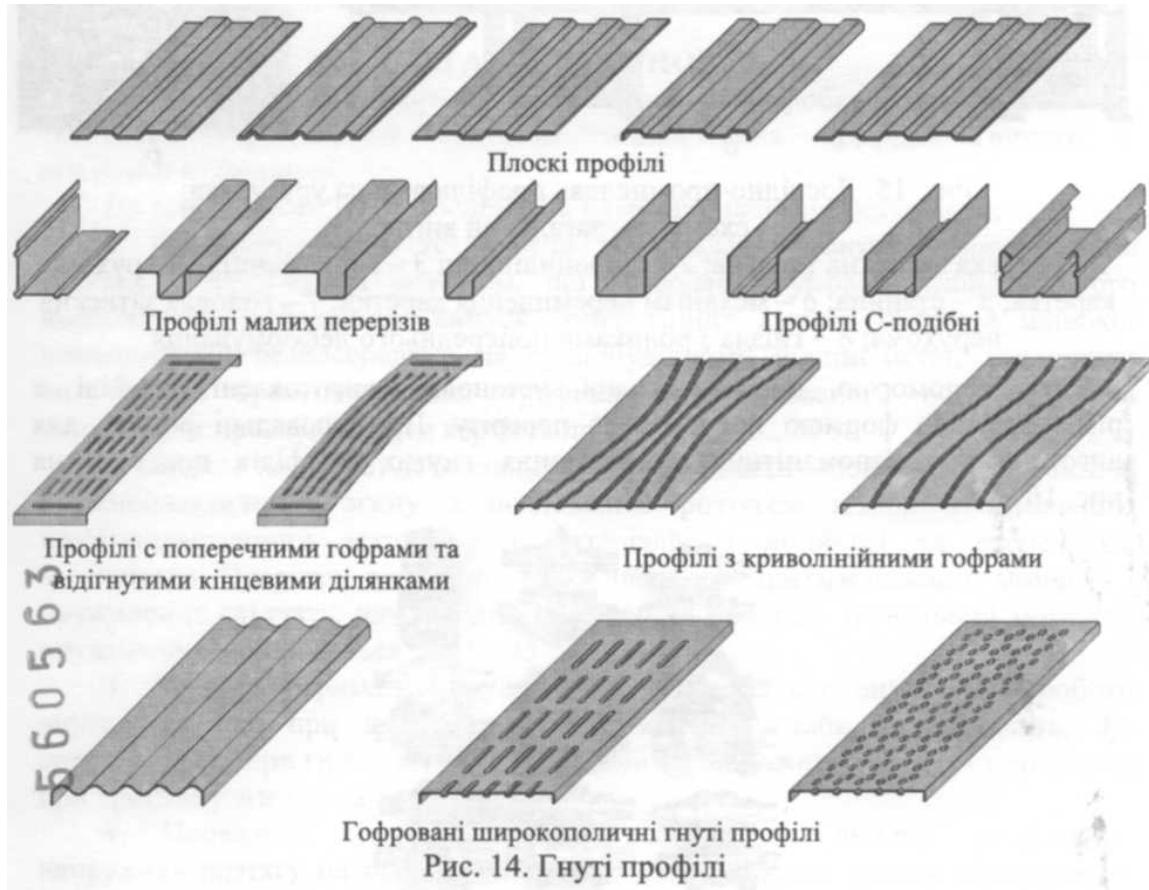


Рис. 13. Технологічні схеми виготовлення профілів

У системах модульного захисту судових приміщень, системах вентиляції, деталях шлюсарно-корпусного насичення суден можуть використовуватися тонкостінні гнуті профілі з різною конфігурацією (рис. 14).



Розглянуті тонкостінні профілі дозволяють проектувати та виготовляти суднові конструкції, які відрізняються меншою масою.

Основні галузі використання тонкостінних гнутих профілів у суднобудуванні можливо визначити таким чином:

- гнуті профілі для модульного захиття суднових приміщень;
- гнуті профілі спеціальної конфігурації для формування плоских та криволінійних тришарових панелей;
- гнуті профілі для виготовлення елементів суднового обладнання, кожухів кабельних трас, жолобів, виробів слюсарно-корпусного насичення;
- гнуті профілі для виготовлення елементів суднового устаткування, суднових меблів.

Для застосування запропоновано технології сконструйовано та виготовлено дослідно-промислову установку для виробництва профілів із шириною заготовки до 200 мм (рис. 15).

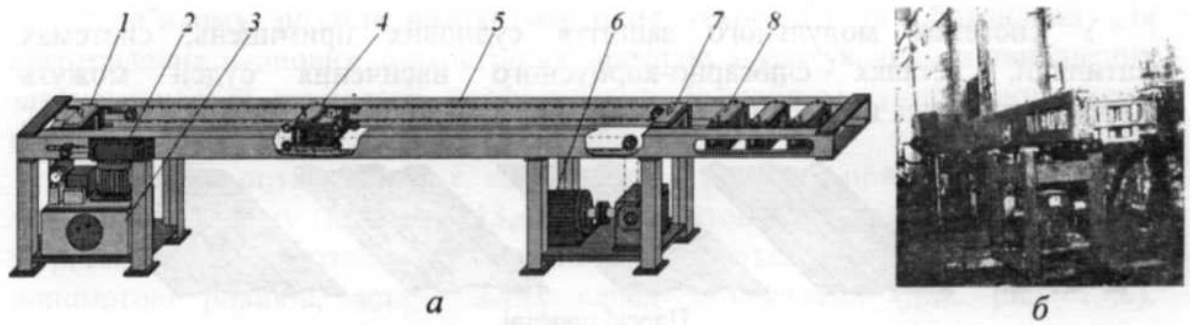


Рис. 15. Дослідно-промислова профілювальна установка:

а – схема; *б* – загальний вигляд;

1 – головка затискна тягнуча; *2* – гідроциліндри; *3* – гідростанція; *4* – рухома каретка; *5* – станина; *6* – механізм переміщення каретки; *7* – головка затискна нерухома; *8* – гнізда з роликами попереднього деформування

За допомогою профілювальної установки виготовлені профілі з різноманітною формою поперечного перерізу. Профілювальні ролики для виготовлення різноманітних тонкостінних гнутих профілів показано на рис. 16.

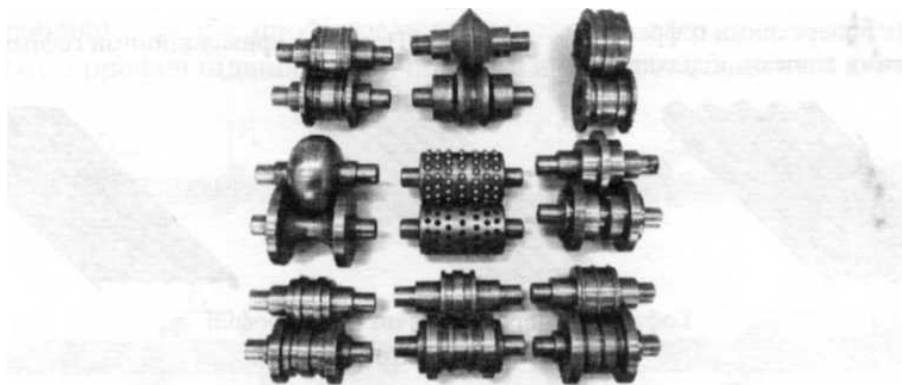


Рис. 16. Профілювальні ролики

Розроблена технологія в умовах суднобудівного виробництва має переваги в порівнянні з традиційними технологіями.

Технологія забезпечує можливість виготовлення гнутих профілів мінімальної товщини та металомісткості з різних матеріалів, у тому числі з перспективних низькопластичних корозійностійких сталей, алюмінієвих сплавів та металопласту.

Технологія є менш енергоємною. Енерговитрати для формоутворення профілю при прикладанні поздовжніх напружень розтягу суттєво менші, ніж при існуючих способах профілювання.

Процес профілювання характеризується локальним прикладанням навантажень при формозміні заготовки. За наявності поздовжнього навантаження знижуються силові дії на заготовку, що призводить до значного зменшення потужності профілювального устаткування.

Установка має можливість швидкого переходу на виготовлення профілів іншої номенклатури шляхом заміни профілювальної оснастки, має можливість автоматизації, а також менші габарити і масу в порівнянні з пресами та роликовими профілювальними машинами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації розглянуті задачі, пов'язані з розробкою наукових основ технології виготовлення суднових тонкостінних профілів гнуттям з поздовжнім розтягом.

На основі проведених досліджень одержані наступні результати:

1. Розроблено нову технологію виготовлення тонкостінних профілів гнуттям з поздовжнім розтягом, що дозволяє в умовах дрібносерійного

виробництва здійснювати випуск тонкостінних гнутих профілів широкої номенклатури безпосередньо на суднобудівному підприємстві, виключити витрати на транспортування профілів централізованого постачання та подальшу їх правку, знизити вартість профілів на 15...20 %.

2. Вперше на основі деформаційної теорії пластичності розв'язана задача пружнопластичного згину з поздовжнім розтягом штаби з ідеального пружнопластичного матеріалу і матеріалів з лінійним та степеневим зміцненням. Одержані аналітичні залежності величин згинального моменту і пружинення свідчать, що при дії поздовжнього розтягу згинальний момент і пружинення зменшуються на 15...45 %.

3. Вперше отримані аналітичні залежності для визначення роботи внутрішніх сил при деформуванні розтягнутої штаби, які свідчать, що енерговитрати при гнутті штаби з попереднім поздовжнім розтягом менші, ніж при простому згині на 20...55 %.

4. Проведені експериментальні дослідження впливу поздовжніх напружень розтягу на пружнопластичний згин плоских зразків підтвердили встановлену закономірність зменшення пружинення і згинального моменту при дії поздовжнього розтягу в порівнянні з простим згином.

5. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблено метод розрахунку параметрів, необхідних для проектування і налаштування профілювального устаткування, зокрема сил, діючих на заготовку і профілювальні ролики, геометрії робочих поверхонь профілювальної оснастки, енергетичних витрат.

6. Для виготовлення суднових тонкостінних профілів різної конфігурації розроблені технологічні схеми гнуття з поздовжнім розтягом, які дозволяють виготовляти тонкостінні профілі підвищеної точності та жорсткості, рифлені профілі, профілі з криволінійними гофрами, з поздовжньою кривизною, а також зі складною поздовжньою кривизною.

7. Сформульовані технічні вимоги до устаткування для виготовлення суднових тонкостінних профілів. Розроблені та виготовлені експериментальна і дослідно-промислова установки для виробництва тонкостінних профілів із заготовок шириною відповідно 100 та 200 мм.

8. На основі проведених досліджень отримані захищені патентами нові технічні рішення, які дозволяють розширити технологічні можливості профілювального устаткування для випуску профілів, що відповідають вимогам сучасного суднобудування.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Соловьев С. Н. Упругопластический изгиб полосы с продольным растяжением [Текст] / С. Н. Соловьев, А. В. Новошицкий // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв : УДМТУ, 2001. - № 2 (374). - С. 91-96.

2. Новошицкий А. В. Изготовление тонкостенных профилей гибкой с продольным растяжением [Текст] / А. В. Новошицкий // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв : УДМТУ, 2003. - № 3 (389). - С. 81-86.

3. Новошицкий А. В. Упругопластический изгиб с продольным растяжением полосы с учетом упрочнения материала [Текст] / А. В. Новошицкий // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв : УДМТУ, 2003. - № 5 (391). - С. 81-87.

4. Новошицкий А. В. Пружно-пластичний згин штаби з поздовжнім розтягом [Текст] / А. В. Новошицкий // Машинознавство. - Л. : Кінпатрі ЛТД, 2003. - № 12(78). - С. 14-16.

5. Новошицкий А. В. Упругопластический изгиб с продольным растяжением полосы из материала со степенным упрочнением [Текст] / А. В. Новошицкий // 36. наук, праць НУК. - Миколаїв : НУК, 2007. - № 4(415). - С. 94-100.

6. Новошицкий А. В. Работа при упругопластическом изгибе полосы с продольным растяжением [Текст] / А. В. Новошицкий // 36. наук, праць НУК. - Миколаїв : НУК, 2008. - № 5 (422). - С. 60-65.

7. Новошицкий А. В. Технология изготовления тонкостенных гнутых элементов теплообменных аппаратов ГТУ гибкой с продольным растяжением [Текст] / А. В. Новошицкий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2009. - № 4/5 (40). - С. 42-45.

8. Соловьев С. Н. Экспериментальное исследование технологии изготовления судовых тонкостенных профилей гибкой с продольным растяжением [Текст] / С. Н. Соловьев, А. В. Новошицкий // 36. наук, праць НУК. - Миколаїв : НУК, 2010. - № 1 (430). - С. 57-64.

9. Новошицкий А. В. Технология изготовления тонкостенных профильных элементов судовых конструкций [Текст] / А. В. Новошицкий // 36. наук, праць НУК. - Миколаїв : НУК, 2010. - № 2 (431). - С. 45-52.

10. Декл. пат. 43149А Україна, МПК7 В 21 Б 5/00, В 21 О 11/20. Розтяжна машина [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицкий ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. - № 2001031675 ; заявл. 12.03.01 ; опубл. 15.11.01, Бюл. № 10.

11. Декл. пат. 44451А Україна, МПК7 В 21 D 5/00, В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицкий ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. - № 2001031674 ; заявл. 12.03.01 ; опубл. 15.02.02, Бюл. № 2.

12. Декл. пат. 55029А Україна, МПК7 В 21 D 5/00, В 21 D 11/20, В 21 D 53/00. Розтяжна машина [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. - № 2002064965 ; заявл. 17.06.02 ; опубл. 17.03.03, Бюл. № 3.

13. Декл. пат. 55030А Україна, МПК7 В 21 D 5/00, В 21 D 11/20, В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів з поздовжньою кривизною [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. - № 2002064966 ; заявл. 17.06.02 ; опубл. 17.03.03, Бюл. № 3.

14. Пат. 79278 Україна, МПК (2006) В 21 D 5/00, В 21 D 11/20 (2007.01), В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення рифлених профілів [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. - № 20041008663 ; заявл. 25.10.04 ; опубл. 11.06.07, Бюл. № 8.

15. Пат. 79279 Україна, МПК (2006) В 21 D 5/00, В 21 D 11/20 (2007.01), В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів з поздовжніми криволінійними гофрами [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. - № 20041008666 ; заявл. 25.10.04 ; опубл. 11.06.07, Бюл. № 8.

16. Пат. 79280 Україна, МПК (2006) В 21 D 5/00, В 21 D 11/20 (2007.01), В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих профілів із складною поздовжньою кривизною [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. - № 20041008669 ; заявл. 25.10.04 ; опубл. 11.06.07, Бюл. № 8.

17. Новошицький А. В. Пружно-пластичний згин штаби з поздовжнім розтягом [Текст] / А. В. Новошицький // 6-й міжнар. симпозіум укр. інженерів-механіків у Львові, 21-23 травня 2003 р. : тези доп. - Л. : Кінпатрі ЛТД, 2003. - С. 39-40.

18. Соловьев С. Н. Энергосберегающая технология изготовления элементов тонкостенных конструкций судового оборудования [Текст] / С. Н. Соловьев, А. В. Новошицкий // Сучасні проблеми суднової енергетики: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених та молодих спеціалістів, 20-21 листопада 2003 р. : тези доп. - Миколаїв : УДМТУ, 2003. - С. 177-178.

19. Новошицкий А. В. Методика расчета параметров технологии профилирования гибкой с продольным растяжением [Текст] / А. В. Новошицкий // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених та спеціалістів, 19-20 жовтня : тези доп. - Миколаїв : НУК, 2005. - С. 172-173.

20. Новошицкий А. В. Перспективы применения технологии изготовления судовых гнутых профилей гибкой с продольным растяжением [Текст] / А. В. Новошицкий // Сучасні проблеми

триботехніки: Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції, 27-29 вересня : тези доп. - Миколаїв : НУК, 2007. - С. 112-113.

АНОТАЦІЯ

Новошицький А.В. Розробка технології та устаткування для виготовлення тонкостінних гнутих профілів для суден. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 - "Конструювання та будування суден". - Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2011.

Дисертація присвячена розробці технології та устаткування для виготовлення тонкостінних гнутих профілів для суден. Для розв'язання задачі розроблена принципово нова технологія виготовлення тонкостінних гнутих профілів гнуттям з поздовжнім розтягом. На основі деформаційної теорії пластичності розв'язана задача пружнопластичного згину з поздовжнім розтягом штаби з ідеального пружнопластичного матеріалу і матеріалів з лінійним та степеневим зміцненням. Отримано аналітичні залежності для визначення величин згинального моменту і пружинення при згині з поздовжнім розтягом штаби. Визначена робота внутрішніх сил при деформуванні штаби. Проведена експериментальна перевірка теоретичних залежностей. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблено метод розрахунку параметрів, необхідних для проектування і налаштування профілювального устаткування, зокрема сил, діючих на заготовку і профілювальні ролики, геометрії робочих поверхонь профілювальної оснастки, енергетичних витрат. Розроблені технологічні схеми гнуття для виготовлення судових тонкостінних гнутих профілів з різною конфігурацією. Запропоновані рекомендації щодо їх використання для проектування менш металомістких судових конструкцій. Сконструйована та виготовлена дослідно-промислова установка.

Ключові слова: судові тонкостінні профілі, пружнопластичний згин штаби, технологічні схеми профілювання, профілювальна установка.

АННОТАЦИЯ

Новошицкий А.В. Разработка технологии и оборудования для изготовления тонкостенных гнутых профилей для судов. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.08 - "Конструирование и постройка судов".

- Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, 2011.

Диссертация посвящена разработке технологии и оборудования для изготовления судовых тонкостенных профилей. Для решения этой задачи разработана и обоснована технология изготовления судовых тонкостенных гнутых профилей гибкой с продольным растяжением. Технология обеспечивает возможность изготовления тонкостенных гнутых профилей

повышенной точности и жесткости из разных сталей, металлопласта, алюминиевых и современных коррозионно-стойких сплавов.

На основе деформационной теории пластичности решена задача упругопластического изгиба полосы с предварительным продольным растяжением полосы из идеального упругопластического материала и материалов с линейным и степенным упрочнением.

Получены аналитические зависимости для определения положения нейтрального слоя напряжений, изгибающего момента и пружинения при деформировании полосы. Проведенное сравнение теоретических зависимостей с результатами экспериментального исследования показало их удовлетворительное согласование.

Определена работа внутренних сил при разных вариантах формоизменения полосы. Установлено, что энергозатраты для гибки полосы с предварительным продольным растяжением меньше, чем при простом изгибе.

Проведенные исследования технологии изготовления профилей с предварительным упругим растяжением на экспериментальной установке показали, что предложенная технология позволяет получать тонкостенные профили повышенной точности и жесткости с разнообразной конфигурацией.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан метод расчета основных энергосиловых параметров технологического процесса изготовления профилей гибкой с продольным растяжением.

Разработаны технологические схемы гибки с продольным растяжением для получения судовых тонкостенных профилей повышенной точности и жесткости, профилей с периодически повторяемыми гофрами, с криволинейными гофрами, с продольной кривизной, а также со сложной продольной кривизной. Приведены рекомендации по использованию профилей для проектирования менее металлоемких судовых конструкций.

Сформулированы технические требования к оборудованию для производства судовых тонкостенных профилей. Сконструирована и изготовлена опытно-промышленная установка для изготовления профилей разнообразной конфигурации, с шириной заготовки до 200 мм.

Рассматриваемая технология обеспечивает возможность изготовления судовых гнутых тонкостенных профилей с различной конфигурацией, что позволяет создавать менее металлоемкие судовые конструкции с более рациональной формой.

Ключевые слова: судовые тонкостенные профили, упругопластический изгиб полосы, технологические схемы профилирования, профилирующая установка.

ANNOTATION

Novishitsky A.V. The development of technology and equipment for manufacturing of the thin-walled roll-formed profiles for ships. - The Manuscript.

The dissertation on the competition of a scientific degree of Candidate Technical Sciences on a speciality 05.03.08 - "Design and construction of ships". -Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, 2011.

The dissertation is devoted to the development of technology and equipment for manufacturing of the ship thin-walled profiles. The new technology for the manufacturing of the ship thin-walled roll-formed profiles of the bending with longitudinal tension is developed for the solution of this problem.

On the basis of the deformation theory of plasticity the problem of an elastoplastic bend of a strip with preliminary longitudinal tension of the strip which is made of an ideal elastoplastic material and the materials with linear and gradual hardening is solved. Analytical dependences for the determination of the bending moment and the springing at deformation of the strip are received. Experimental check of theoretical dependences is conducted. The operation of internal forces in forming different variants of the strip is determined. The calculative method of the main energy-power parameters of technological process of manufacturing profile of the bending with longitudinal tension is developed. Technological schemes of the bending longitudinal tension for reception of ship thin-walled profiles with a various configuration are worked out. The recommendations on the use of the profiles for the design of less metal-intensive ship constructions are given. The trial plant is constructed and manufactured.

Keywords: ship thin-walled profiles, elastoplastic bending of strip, technological schemes of profiling, main plant.

Замовлене. Підписано до друку 21.04.2011. Формат 64x90/16. Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Тайме. Наклад 100 прим. Замовлення № 58.

Друк: ГЕП «РАЛ-поліграфія», 54052, м. Миколаїв, пр. Корабелів, 2/2, тел.: (0512) 67-62-88, 67-08-28, ел. пошта: ral.print@gmail.com

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 2850 від 15.05.2007 р.