

DOI: 10.34185/1991-7848.2024.01.01

УДК 621.774. 35

В.Ф. Балакін, І.А. Соловйова, Ю.М. Николаєнко

ПРОЄКТУВАННЯ МАРШРУТІВ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ НА СТАНАХ ХПТР

Анотація. Для проєктування варіантів маршрутів виробництва холоднокатних труб з титанових сплавів необхідно: використовувати в кожному проході маршруту всі можливі варіанти обладнання для холодної прокатки металу, обмежуватися уніфікованими розмірами діаметрів та товщини стінки заготовок, розміри вихідної заготовки обмежувати сортаментом заготовок та використовувати режими деформації, що забезпечують максимальне використання пластичних властивостей металу. Метою дослідження є аналіз методик розрахунку маршрутів, технологічних карт, технології, основного та допоміжного обладнання для виробництва труб на станах холодної прокатки труб роликками (ХПТР) з титанових сплавів. Розроблені алгоритми та програмне забезпечення дозволяють вирішити питання проєктування маршрутів виробництва холоднокатаних труб з титанових сплавів на станах ХПТР на базі математичних моделей процесів деформації.

Ключові слова: заготовка, труба, титановий сплав, абсолютне обтиснення, деформація, методика, математична модель, статистичний аналіз.

Постановка проблеми та мета дослідження

Виробництво холоднодеформованих труб одних і тих же видів, та розмірів призводить до використання різних технологічних схем їх виготовлення, із заготовки різних розмірів за різне число циклів деформації. Під час проєктування варіантів маршрутів виробництва холоднокатаних труб з титанових сплавів необхідно:

- використовувати в кожному проході маршруту всі можливі варіанти обладнання для холодної прокатки металу;
- обмежуватися уніфікованими розмірами діаметрів та товщини стінки заготовок;

© Балакін В.Ф., Соловйова І.А., Николаєнко Ю.М., 2024

- розміри вихідної заготовки обмежувати сортаментом заготовок та використовувати режими деформації, що забезпечують максимальне використання пластичних властивостей металу [1, 2].

Метою роботи є аналіз методик розрахунку маршрутів, технологічних карт, технології, основного та допоміжного обладнання для виробництва труб з титанових сплавів станах ХПТР. На підставі цих даних розробити алгоритм розрахунку маршрутів та технологічних карт для виробництва труб на станах ХПТР та відповідний програмний комплекс [2].

Матеріали і результати досліджень

Для розрахунку маршруту прокатки для виробництва холоднокатаних труб з титанових сплавів на станах ХПТР використовується удосконалена методика [3]. Абсолютне обтиснення по діаметру при прокатці труб з титанових сплавів на станах ХПТР наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Абсолютне обтиснення по діаметру при прокатці труб на станах ХПТР (титанові сплави ПТ-1М, ПТ-7М)

Діапазон діаметрів, мм		Абсолютне обтиснення по діаметру, ΔD , мм
мінімальне значення, D_1	максимальне значення, D_2	
3	18	2
19	32	3
33	58	4
59	75	5

На підставі практичних даних побудовані аналітичні залежності (лінії регресії) абсолютного обтиснення по діаметру від діаметру готових труб. Розглянуто два варіанта ліній регресії: лінійна, степенева. Статистичний аналіз залежностей (див. табл. 1 та рис. 1, показник детермінації) дає можливість вибору тієї функції, яка адекватно відображає практичні (експериментальні) дані, тобто розрахунок якої з округленням до цілих дає мінімальну похибку:

$$\begin{aligned} \Delta D &= 0,0494 \cdot D + 1,6549 \\ R^2 &= 0,90 \end{aligned} \tag{1}$$

Розрахунок діаметра заготовки здійснюється відповідно залежності:

$$D \in [D_1; D_2] \rightarrow D_0 = D + \Delta D. \quad (2)$$

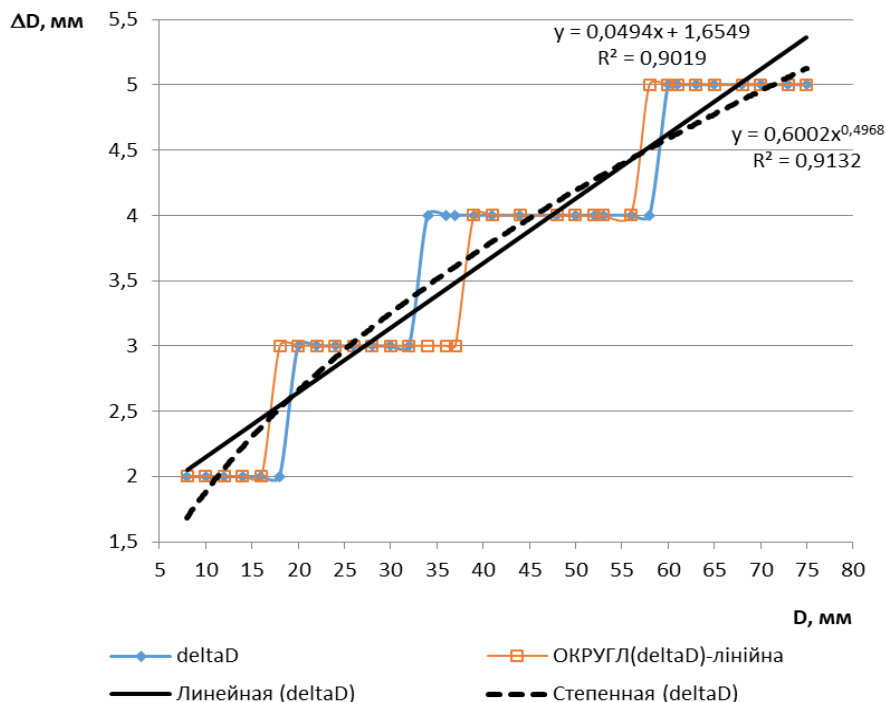


Рисунок 1 – Розрахунок ліній регресії для визначення ΔD по практичним даним

За результатами аналізу виявлено, що лінійна лінія регресії при округленні до цілих дає найменшу похибку (стандартне відхилення) при порівнянні практичних та статистичних даних.

На підставі даних (рис. 2) відповідно до типу сталі, товщини стінки труби та заготовки і типорозміру стана ХПТР виведені формули залежності максимально можливої товщини стінки труби від товщини стінки заготовки відповідно. Залежності мають вид лінійних функцій від t_{20m} , тобто $a \cdot t_{20m} + b$, де коефіцієнти a , b залежать від типорозміру стана (див. рис. 2, табл. 2).

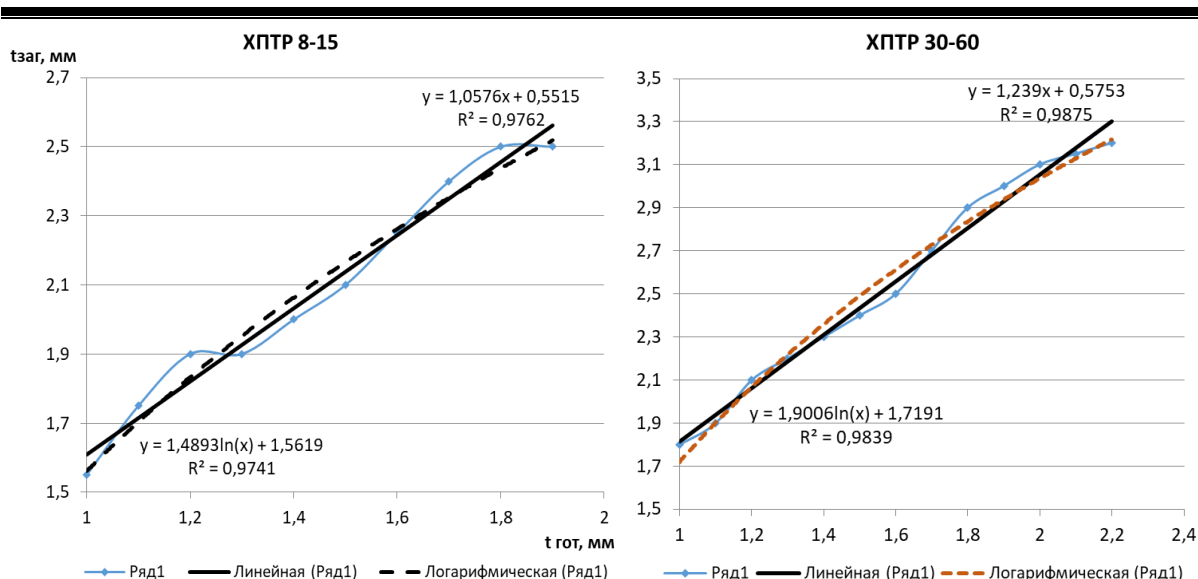


Рисунок 2 – Розрахунок ліній регресії для визначення товщини стінки заготовки з титанового сплаву

Таблица 2

Апроксимація функціями значень товщини стінки заготовки з титанового сплаву

Стан ХПТР	Рівняння регресії
ХПТР 8-15	$t_0 = 1,0576 \cdot t + 0,5515$
ХПТР 15-30	$t_0 = 1,3 \cdot t + 0,39$
ХПТР 30-60	$t_0 = 1,239 \cdot t + 0,5753$
ХПТР 60-120	$t_0 = 1,1196 \cdot t + 1,1321$

Це дає можливість автоматизувати розрахунок маршруту прокатки на станах ХПТР (рис. 3) по моделям та використовувати отримані розраховані величини для автоматизованого розрахунку технологічної карти по маршруту (рис. 4). Всі розрахунки об'єднані в одній програмі.

	A	B	C	D	E	F
1	Розрахунок маршруту	Тип проходу	Готова		До вибору розрахунків	
2	Вхідні дані			Позначення		
3	Діаметр готової труби			D	8	Перевірка вихідних дани
4	Товщина стінки готової труби			T	1,1	Перевірка вихідних дани
5	Пропонується тип стану				8 8-15	
6	Розрахункові дані			Розрахунок		
7	Розрахунок максимально допустимого deltaD				2,0	$=0,0494 \cdot D^3 + 1,6549$
8	Розрахунок товщини стінки заготовки			Tz	1,7	To
9						
10	Діаметр заготовки			Dz=D+deltaD	10	$=1,0576 \cdot D^4 + 0,5515$
11	Товщина стінки заготовки			Tz	1,7	$= (D_{10} - D_{11}) \cdot D_{11} / ((D_3 - D_4) \cdot D_4)$
12						
13	Коефіцієнт витяжки по проході			μ	1,87	$= 1 - D_{13}$
14						
15	Ступінь деформації за проход			ε	0,47	
16						
17	Допустиме значення середнього частного витягу на станах ХПТР			μ _{ср}	1,04	
18	strok				2	
19	ctov				1	
20	Довжина ділянки обтиску			l _{обт}	170	

Визначення розмірів заготовки

Визначення розмірів заготовки про прокатці труб на станах ХПТР

<p>Вхідні дані</p> <p>Тип змазки: Рідке мило</p> <p>Коефіцієнт тертя: 0.09</p> <p>Марка сталі: ПТ-1М</p> <p>Діаметр готової труби: 8</p> <p>Товщина стінки труби: 1</p> <p style="text-align: right;">Справка</p>	<p>Розрахункові дані</p> <p>Тип стану: ХПТР 8-15</p> <p>Діаметр заготовки: 10</p> <p>Товщина стінки заготовки: 1.67</p> <p>Допустиме обтискання: 2</p> <p style="text-align: center;">Розрахунок ✖</p>
--	--

Рисунок 3 – Розрахунок маршруту прокатки на стані ХПТР

При проектуванні технологічних карт перед користувачем з'являється вікно, у якому можна вибрати один з трьох варіантів технологічних схем для даного маршруту виробництва, що формує список допоміжних операцій в технологічній карті (див. рис. 4):

- після ХПТР перед волочінням;
- після ХПТР перед ХПТР;
- після ХПТР перед здачею.

При виборі відповідного маршруту з'являється вікно (див. рис. 4 а) яке містить у собі список операцій відповідний даному маршруту, та списки з обладнанням і поля з критеріями вибору даного обладнання, що передбачають вибір за умовами:

- витратний коефіцієнт металу;
- вартість операції на тонну продукції;
- продуктивність обладнання.

Такий підхід дає можливість оптимізувати вибір обладнання при вдосконаленні існуючого або проектуванні нового виробництва.

Розрахунок технологічної карти після ХПТР перед

Стр.1	Стр.2
Огляд зовнішньої поверхні 100% труб	Стелаж інспекційний L=5м 1
Ремонт дефектів	Безцентрово-шліфувальний верстат для діаме: 2
Контроль геометричних розмірів 100% труб	Комплекс приладів для у/з контр. труб D = 3,4 2
Піскоструминна обробка	Машина для поштучн. обробки труб з внутр. і 2
Гідро-, пневмо-і інші випробування труб	Оборудование для отбора образцов 4 2
Пасивування	Ванна для пасивуючого розчину 1 4
Порізка труб, обрізка кінців	Трубообрічний станок МП-65 2
Огляд зовнішньої поверхні 100% труб	Стелаж інспекційний L=5м 1
Ремонт дефектів	Безцентрово-шліфувальний верстат для діаме: 2
Продування стисненим повітрям	Оборудование для продувки 4 2
Стилюскопіювання	Стилюскоп "Спектр" L<=5 м 2
Упаковка;	Пакувальна машина ПМЦ L<=10 м 2
Зважування	Ваги стаціонарні платформені 86 П-5т 2

а

№	Дт, мм	Ст, мм	Fт, мм²	Довжина труб	Коеф. Витігання	Тип сталю ХПТР	Проміжні операції	Кількість труб	Вага			Витрати по масі	
77	Розмір труби								1м	1труба	Усіх труб	%	кг
78	0	10,0	1,7	44,82	m		ХПТР-здача	1	0,34941	1,40	1,39763		
79	1	8	1,1	23,84	7,17	8-15	порізка труб, обрізка кінців	1	0,18671	1,34	1,33823	4,25%	0,05939911
80	2	8	1,1	23,84	6,61		Торшования і зняття фаски труб; Знежирення (видалення мастила); Піскоструминна обробка;	1	0,19	1,23	1,23451	7,75%	0,1037128
81							Огляд внутрішньої поверхні 100% труб з пакету;						
82							Термообробка; правка;						
83							Відбір зразків для випробувань;						
84							Торшования і зняття фаски труб						
85							Травлення; правка						
86							Електропідігрівка;						
87							Пасивування;						
88							Огляд внутрішньої поверхні 100% труб з пакету;						
89							Огляд зовнішньої поверхні 100% труб з пакету;						
90							Ремонт дефектів;						
91							Контроль геометричних розмірів 100% труб з пакету;						
92							Піскоструминна обробка;						
93							Гідро-, пневмо-і інші випробування труб;						
94							пасивування;						
95							Порізка труб, обрізка кінців;						
96							Огляд зовнішньої поверхні 100% труб з пакету;						
97							Ремонт дефектів						
98							Продування стисненим повітрям;						
99							Стилюскопіювання;						
100							Упаковка; зважування						
101													
102													

б

Рисунок 4 – Технологічна карта по маршруту:
а – операція – обладнання; б – розрахунок параметрів технологічної карти

Висновки

Проведено аналіз методик розрахунку маршрутів, технологічних карт, технології, основного та допоміжного обладнання для виробництва холоднокатаних труб на станах ХПТР. Розроблені алгоритми та програмне забезпечення дозволяють вирішити питання проектування маршрутів виробництва холоднокатаних труб з титанових сплавів на станах ХПТР на базі математичних моделей процесів деформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соловійова І.А. Розроблення багатоваріантної технології, дослідження та впровадження раціональних режимів виробництва холоднодеформованих труб: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 / Соловійова Інна Анатоліївна. - Дніпропетровськ, 1987. - 200 с.
2. Розробка алгоритмів і програмного забезпечення розрахунку параметрів виробництва холоднодеформованих труб прокаткою на станах ХПТР / В.Ф. Балакін, О.Н. Земляна, І.А. Соловійова, Ю.М. Ніколаєнко // X міжнародна науково-технічна конф. «Пластична деформація металів». - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2014. - Т. 2. - С. 215-218.
3. Проектування комбінованих маршрутів виробництва холоднодеформованих труб. В.Ф. Балакін, І.А. Соловійова, Ю.М. Ніколаєнко, К.С. Білан // Системні технології. Системні технології. - 2017. - №4. - С. 56-62.

REFERENCES

1. Soloviova I.A. Razrabotka mnogovariantnoy tehnologii, issledovanie i vnedrenie ratsionalnykh rezhimov proizvodstva holodnodeformirovannykh trub: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.16.05 / Soloviova Inna Anatolevna. – Dnepropetrovsk, 1987. – 200 s.
2. Razrabotka algoritmov i programmogo obespecheniya rascheta parametrov proizvodstva holodnodeformirovannykh trub prokatkoj na stanah HPTR / V.F. Balakin, O.N. Zemlyanaya, I.A. Soloviova, Yu.N. Nykolayenko // X mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konf., «Plastichnaya deformaciya metallov». – Dnepropetrovsk: NMetAU, 2014. - T. 2. – S. 215-218.
3. Proektuvannia kombinovanykh marshrutiv vyrobnystva kholodnodeformovanykh trub / V.F. Balakin, I.A. Soloviova, Yu.M. Nykolayenko, K.S. Bilan // Systemni tekhnolohii. – 2017. - №4. – S. 56-62.

Received 05.02.2024.

Accepted 25.03.2024.

UDC 621.774.35

V. Balakin, I. Soloviova, Yu. Nykolayenko

DESIGN OF PIPE PRODUCTION ROUTES MADE OF TITANIUM ALLOYS ON MILLS OF COLD ROLLING OF PIPES WITH ROLLERS

In order to design variants of routes for the production of cold-rolled pipes from titanium alloys, it is necessary to: use in each pass of the route all possible variants of equipment for cold rolling of metal, be limited to uniform dimensions of the diameters and wall thickness of the blanks, limit the dimensions of the initial blank to the range of blanks

and use deformation modes that ensure maximum use plastic properties of metal. The purpose of the study is to analyze the method of route calculation, technological maps, technology, main and auxiliary equipment for the production of pipes from titanium alloys on mills of cold rolling of pipes with rollers. On the basis of these data, develop an algorithm for calculating routes and technological maps for the production of pipes on mills for cold rolling of pipes with rollers and the corresponding software complex. The work uses an improved method of calculating the rolling route for the production of cold-rolled titanium alloys from pipes on a cold rolling mill with rollers. On the basis of practical data, analytical dependences of the absolute compression along the diameter on the diameter of the finished pipes were constructed. Two variants of regression lines are considered: linear, power. Statistical analysis of dependencies makes it possible to choose the function that adequately reflects the experimental data, that is, the calculation of which with rounding to integers gives the minimum error. Derived formulas of dependence of the maximum possible thickness of the pipe wall on the wall thickness of the workpiece according to the type of steel, the thickness of the pipe wall and the workpiece, and the standard size of the mill for cold rolling of pipes with rollers. The developed algorithms and software make it possible to solve the issue of designing routes for the production of cold-rolled pipes from titanium alloys on the mills of cold rolling of pipes with rollers on the basis of mathematical models of deformation processes.

Keywords: workpiece, pipe, titanium alloy, absolute compression, deformation, mathematical model, statistical analysis

Балакін Валерій Федорович, професор кафедри теорії, технології та автоматизації металургійних процесів, Український державний університет науки і технологій
Соловійова Інна Анатоліївна, доцент кафедри теорії, технології та автоматизації металургійних процесів, Український державний університет науки і технологій
Николаєнко Юлія Миколаївна, ст. викладач кафедри теорії, технології та автоматизації металургійних процесів, Український державний університет науки і технологій

Balakin Valeryh, professor of the Department of Theory, Technology and Automation of Metallurgical Processes, Ukrainian State University of Science and Technology

Soloviova Inna, associate professor of the Department of Theory, Technology and Automation of Metallurgical Processes, Ukrainian State University of Science and Technology

Nykolayenko Yulia, senior lecturer of the Department of Theory, Technology and Automation of Metallurgical Processes, Ukrainian State University of Science and Technology