

І.А. Соловйова, Ю.М. Николаєнко

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ І РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРАХУНКУ МАРШРУТІВ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ
БЕЗОПРАВОЧНИМ ВОЛОЧІННЯМ З УРАХУВАННЯМ ТОЧНОСТІ**

Анотація. Наведено приклади дослідження прогнозування різностінності і визначення товщини стінки заготовки для отримання труби певного розміру, що сприяє підвищенню точності труб з вуглецевих марок сталей при проектуванні маршрутів виробництва. Виконаний кореляційно-регресійний аналіз, визначені фактори, що впливають на зміну різностінності і побудовані регресійні моделі. Результати аналізу доповнили програмне забезпечення визначення розмірів заготовки при проектуванні маршрутів волочіння вуглецевих холоднотформованих труб безоправочним волочінням.

Ключові слова: труба, маршрут волочіння, товщина стінки, кореляційно-регресійний аналіз, точність, різностінність,

Вступ. Для проектування маршрутів безоправочного волочіння труб певного сортаменту необхідно правильно вибрати вихідні розміри заготовки, прорахувати допустимі деформації по діаметру і стінці.

Багато наукових робіт Бернштейна М.М, Смирнова-Аляєва Г.А. і Гуна Г.Я. та інших спрямовані на визначення товщини стінки після волочіння, тягового зусилля, вивчення: волочіння в блок волок; волочіння через волоку, що обертається; моделювання процесу волочіння, а також на вирішення питань, що дозволяють збільшити ступінь деформації при волочінні, зв'язати зміни товщини стінки з енергосиловими параметрами процесів.

В сучасних вимогах до точності труб виникає інтерес до проблеми визначення розмірів заготовки для отримання готової труби потрібного розміру, зміни різностінності труб після волочіння для прогнозування точності готових труб.

Метою даної роботи є дослідження впливу технологічних параметрів безоправочного волочіння труб та визначення факторів, що впливають на визначення розмірів заготовки при проектуванні маршрутів, зміну різностінності труб за допомогою кореляційно-регресійного аналізу.

Результати роботи. Безоправочне волочіння труб використовують після короткооправочного волочіння або прокатки на станах ХПТ або ХПТР, тому труби мають певну різностінність.

При конструюванні маршрутів волочіння необхідно заздалегідь передбачити величину і напрямок зміни товщини стінки.

Було проведено ряд експериментів (57 випадків) для уточнення даних по визначенню зміни товщини стінки залежно від параметрів процесу волочіння. Інтервали варіювання параметрів представлені в таблиці 1. Після волочіння і обрізки головки товщина стінки вимірювалася в 4-х точках і визначалася середня. Прийнято $\alpha = 13^\circ$, коефіцієнт тертя $f = 0,09$.

Таблиця 1

Інтервали варіювання вихідних даних для аналізу

Параметр	Діапазон варіювання параметрів для вуглецевих сталей (сталь 10, 20, 20А, 20Г)
t_0	0,80 ... 3,00
$\Delta D/D_0$	0,05 ... 0,4
t_{got}/D	0,025 ... 0,15
ε	0 ... 75

Проведено аналіз впливу та його характеру для кожного параметра на зміну товщини стінки. Враховуючи проведений аналіз і характер виявлених залежностей перевірили побудову множинної лінійної та нелінійної регресії для визначення товщини стінки заготовки від деформаційних параметрів t_{got} , t_{got}/D , t_0/D_0 , $\Delta D/D_0$, ε . Після повного регресійного аналізу з виявленням адекватного рівняння по критерію Фішера ($F < F_{розр}$) і значимими коефіцієнтами рівняння (P -значення Стьюдента) обрали оптимальне рівняння (коефіцієнт множинної регресії дорівнює 0,995), яке має вигляд:

$$t_0 = 0,01705 + 0,89844 \cdot t_{got} - 0,3243 \frac{\Delta D}{D_0} + 0,56072 \left(\frac{\Delta D}{D_0} \right)^2 + 1,44312 \frac{t_{got}}{D}. \quad (1)$$

В результаті порівняння розрахунків по моделі (1) отримали точніший результат, ніж по іншим відомим залежностям (рисунок 1). Треба підкреслити, що модель (1) має обмежений діапазон адекватності – сталь 10, 20, 20А, 20Г та вказані вище межі параметрів.

З метою оцінки точності труб після безоправочного волочіння були спроектовані та досліджені технологічні маршрути виробництва труб з вуглецевих марок сталей. За розробленими маршрутами та технологією виробництва протягалися партії труб [1], від кожної партії відбиралися зразки і проводилися виміри товщини стінки в рівновіддалених точках поперечного перерізу труби.

Регрессионная статистика								
Множест	0,99545							
R-квадрат	0,99093							
Нормиро	0,99023							
Стандарт	0,07318							
Наблюде	57							
		Frорзr=	2,54976	<F				
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	ачимость F			
Регрессия	4	30,4084	7,60209	1419,67	2,1E-52			
Остаток	52	0,27845	0,00535					
Итого	56	30,6868						
Коэффициентная статистика - Значения ниже 95%: верхние 95%, нижние 95%, средние 95,0%								
Y-пересеч	0,01705	0,05078	0,33574	0,73842	-0,0849	0,11895	-0,0849	0,11895
tgot	0,89844	0,02294	39,1695	2,9E-40	0,85241	0,94447	0,85241	0,94447
DD/DO	-0,3243	0,53427	-0,6071	0,54644	-1,3964	0,74775	-1,3964	0,74775
DD/DO^2	0,56072	1,22972	0,45597	0,65031	-1,9069	3,02833	-1,9069	3,02833
tgot/D	1,44312	0,52482	2,74975	0,00818	0,38999	2,49624	0,38999	2,49624

Рисунок 1 – Множинний регресійний аналіз для визначення залежності товщини стінки заготовки від параметрів деформації

Для кожного проходу волочіння розраховані: абсолютна $\Delta t = t_{max} - t_{min}$ і відносна різностінність заготовки $\delta_0 = \frac{\Delta t_0}{t_{0cp}}$ і готової труби $\delta = \frac{\Delta t}{t_{cp}}$; коефіцієнт обтиснення по діаметру D_0/D ; ступінь тонкостінності t_0/D_0 ; ступінь деформації ε ; коефіцієнт зміни різностінності $k = \frac{\delta}{\delta_0}$.

За результатами вимірювань виконаний кореляційно-регресійний аналіз, визначені фактори, що впливають на зміну різностінності і побудовані регресійні моделі [1, 3]. Інтервали варіювання вихідних даних наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Інтервали варіювання вихідних даних для аналізу

Параметр	Діапазон варіювання параметру для вуглецевих сталей
$\delta_0, \%$	1,2 ... 16,5
D_0/D	1,05 ... 1,6
t_0/D_0	0,02 ... 0,21
D_0	10, 16, 25, 36
t_0	0,97 ... 3,0

Як впливає з визначення:

- при $k < 1$ різностінність зменшується;

«Системні технології» 3 (134) 2021 «System technologies»

- при $k > 1$ різностінність готової труби більша різностінності заготовки.

Значимість коефіцієнтів отриманих рівнянь оцінювалася за критерієм Стюдента, а адекватність моделі за критерієм Фішера. Отримані моделі є адекватними зі значимими коефіцієнтами [1-3].

Регресійна статистика прогнозування різностінності для сталі 10 для різних моделей прогнозування різностінності предствлена на рисунку 2.

Регрессионная статистика					
Множест	0,996867415				
R-квадрат	0,993744643				
Нормиро	0,789991428				
Стандарт	0,655699047				
Наблюде	9				
			Fkrit=	5,192167773	
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	4	341,5087	85,37718	198,5787076	7,50654E-05
Остаток	5	2,1497062	0,429941		
Итого	9	343,65841			
Кoeffициенты					
	Кoeffициенты	дартная оитатисти	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 5
Y-пересеч	0	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
$\Delta D/D_0$	31,76484445	7,4444487	4,266917	0,007962142	12,62827972 50,90140
$\Delta D/D_0^2$	-66,55866535	17,805956	-3,738	0,013459297	-112,330332 -20,7869
tgot/D	8,695534779	5,8628802	1,483151	0,198143872	-6,37547858 23,76654
δ_0	0,340672675	0,0914905	3,723584	0,013661343	0,105488774 0,575856

$$\delta = 31,7648 \frac{\Delta D}{D_0} - 66,5587 \left(\frac{\Delta D}{D_0} \right)^2 + 8,6955 \frac{t_{got}}{D} + 0,3407 \delta_0$$

Регрессионная статистика					
Множест	0,986834341				
R-квадрат	0,973842017				
Нормиров	0,758147228				
Стандарт	0,199669087				
Наблюде	9				
			Fkrit=	5,192168	
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	4	7,4212307	1,855308	46,53656	0,001308977
Остаток	5	0,1993387	0,039868		
Итого	9	7,6205694			
Кoeffициенты					
	Кoeffициенты	дартная оитатисти	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 5
Y-пересеч	0	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
DD/D0	12,45630058	2,2669337	5,494779	0,002726424	6,628961901
DD/D0^2	-27,31606583	5,4221505	-5,03787	0,003974107	-41,25414746
tgot/D	6,566367064	1,7853251	3,677967	0,014323908	1,977042896
δ_0	-0,082165514	0,0278601	-2,94922	0,031914186	-0,153782142

$$k = 12,4563 \frac{\Delta D}{D_0} - 27,3161 \left(\frac{\Delta D}{D_0} \right)^2 + 6,5664 \frac{t_{got}}{D} - 0,0822 \delta_0$$

$$k = 0,3584 + \frac{2,3235}{\delta_0}$$

Рисунок 2 – Регресійна статистика прогнозування різностінності

Порівняння розрахунку k по отриманій моделі з експериментальними даними приведено на рисунку 3.

Спостереж	Передбачене k	Залишки	k експериментальне
1	1,4447	0,1499	1,5946
2	0,9031	-0,0684	0,8347
3	1,0810	-0,0773	1,0038
4	0,7916	0,0169	0,8086
5	0,7978	0,0542	0,8520
6	0,4133	0,3063	0,7196
7	0,7874	-0,0508	0,7367
8	0,8976	-0,2570	0,6406
9	0,7001	0,0231	0,7231

Рисунок 3 - Порівняння розрахункових значень k та експериментальних даних

$$\text{для моделі } k = 12,4563 \frac{\Delta D}{D_0} - 27,3161 \left(\frac{\Delta D}{D_0} \right)^2 + 6,5664 \frac{t_{got}}{D} - 0,0822 \delta_0$$

При малій різностінності заготовки (менше 3%) різностінність готових труб зростає, при різностінності заготовки 3...4% різностінність готових труб змінюється мало і при $\delta_0 > 4\%$ різностінність готових труб зменшується. Інтенсивність виправлення ($k < 1$) залежить від коефіцієнта обтиснення по діаметру D_0/D : чим більше значення D_0/D , тим інтенсивніше виправлення різностінності. Тобто з метою виправлення різностінності ($\delta_0 > 4\%$) при безоправочному волочінні необхідно збільшувати коефіцієнт витяжки.

При малих значеннях δ_0 коефіцієнт k досягає величини 3,5, тобто різностінність збільшується в 3,5 рази, а при великих значеннях δ_0 інтенсивніше її виправлення.

Результати аналізу доповнили програмне забезпечення визначення розмірів заготовки при проектуванні маршрутів волочіння вуглецевих холоднодеформованих труб безоправочним волочінням. Фрагмент програми проектування маршрутів волочіння представлений на рисунку 4.

Висновок. Результати досліджень впроваджені в розрахунки маршрутів та технологічних карт виробництва з метою прогнозування різностінності готових труб при волочінні та доповнили програмне забезпечення визначення розмірів заготовки при проектуванні маршрутів волочіння вуглецевих холоднодеформованих труб безоправочним волочінням.

**Визначення розмірів заготовки при
безоправочном волочінні труб з вуглецевої
сталі**

Марка сталі		Група сортаменту труб	
10		1	
Размір готової труби		Мастило	Коефіцієнт тертя
D	S	Редкое мыло	0,09
20	1,00	Кут нахилу стінки волоки до осі волочіння	
			13 град.
Допустиме обтиснення		Прогнозування різностінності	
ΔD		δ_0	δ прогноз
7		7,15%	6,24%
		δ експерим	6,67%
Ф-ла Смирнова-Аляєва		Регресійна модель	
Размір заготовки			
D_0	S_0	S_0	Експериментальні дані
27	1,01	0,91	0,91

Рисунок 4 – Фрагмент програми проектування маршрутів волочіння

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьева И.А. Разработка многовариантной технологии, исследование и внедрение рациональных режимов производства холоднодеформированных труб: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 / Соловьева Инна Анатольевна. – Днепропетровск, 1987. – 200 с.
2. Соловйова І.А. Проектування комбінованих маршрутів виробництва холоднодеформованих труб / І.А. Соловйова, В.Ф. Балакін, Ю.М. Николаєнко, К.С. Білан // Системні технології. – 2017. – № 4. – С. 56-62.
3. Соловйова І.А. Прогнозування точності труб при безоправочному волочінні / І.А. Соловйова, Ю.М. Николаєнко // Системні технології.–2020. –№5. – С. 30-36.

REFERENCES

1. Solovyova I.A. Development of multivariate technology, research and implementation of rational production modes of cold-deformed pipes: dis. ... cand. tech. Sciences: 05.16.05 / Soloveva Inna Anatolevna. - Dnepropetrovsk, 1987.- 200 p.
2. Solovyova I.A. Designing of combined routes of production of cold-deformed pipes / I.A. Solovyova, V.F. Balakin, Yu.M. Nykolayenko, K.S. Bilan // System technologies. - 2017. - № 4. - P. 56-62.
3. Solovyova I.A. Predicting the accuracy of pipes at sinking / I.A. Solovyova, Yu.M. Nykolayenko // System technologies. – 2020. – №5. – P. 30-36.

Received 15.03.2021.

Accepted 18.03.2021.

Совершенствование методики и разработкой программного обеспечения расчета маршрута производства труб безправочным волочения с учетом точности

Приведены примеры исследования прогнозирования ризностинности и определения толщины стенки заготовки для получения трубы определенного размера, способствует повышению точности труб из углеродистых марок сталей при проектировании маршрутов производства. Выполненный корреляционно-регрессионный анализ, определены факторы, влияющие на изменение ризностинности и построены регрессионные модели. Результаты анализа дополнили программное обеспечение определения размеров заготовки при проектировании маршрутов волочения углеродных холоднодеформированных труб безправочным волочением.

Improvement of methodology and development of software calculation of routes production of pipes by sink drawing taking into account accuracy

For designing routes of sink drawing pipes a certain assortment it is necessary to choose correctly the initial sizes of preparation, to calculate admissible deformations on diameter and a wall. Sink drawing to pipes after short-drawing drawing or rolling on cold rolling mills, ie pipes having a certain difference.

When designing routes to drawing it is necessary to predict in advance the size and direction of change wall thickness. The analysis of influence and its character for each parameter on change of wall thickness is carried out. Taking into account the analysis and the nature of the identified dependences, tested the construction of multiple linear and nonlinear regression to determine the wall thickness of the workpiece by t_{got} , t_{got}/D , t_0/D_0 , $\Delta D/D_0$, ε .

To order to assess the accuracy of the pipes after sink drawing, technological routes of pipes production from carbon steel grades were developed and investigated. According to the developed routes by the production technology, batches of tubes were drawn, samples were taken from each batch and wall thickness measurements were made at equally distant points of pipe cross-section.

According to the results of measurements, correlation-regression analysis was performed, factors influencing the variation of difference were determined and regression models were built.

With a small diversity of the workpiece (less than 3%) the diversity of the finished pipes increases, with a diversity of the workpiece 3 ... 4% the diversity of the finished pipes changes little and $\delta_0 > 4\%$ the diversity of the finished pipes decreases.

The intensity of the correction ($k < 1$) depends on the compression ratio in diameter $\frac{D_0}{D}$: the larger the value $\frac{D_0}{D}$, the more intense the correction of the difference. That is, to correct the difference ($\delta_0 > 4\%$) in the sink drawing, it is necessary to increase the coefficient of extraction.

The results of research are introduced into the calculations of routes and technological maps of production in order to predict the diversity of finished pipes during drawing and supplemented the software for determining the size of the workpiece when designing routes for drawing carbon cold-formed pipes by sink drawing.

Соловйова Інна Анатоліївна - к.т.н., доцент кафедри якості, стандартизація сертифікація Національної металургійної академії України.

Николаєнко Юлія Миколаївна - старший викладач кафедри якості, стандартизація сертифікація Національної металургійної академії України.

Соловьева Инна Анатольевна - к.т.н., доцент кафедры качество, стандартизация сертификация Национальной металлургической академии Украины.

Николаенко Юлия Николаевна - старший преподаватель кафедры качество, стандартизация сертификация Национальной металлургической академии Украины.

Solovyova Inna - Ph.D., candidate of technical science, Assistant Professor, Department of Quality, Standardization and Certification of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Nykolayenko Yulia - Senior Teacher, Department of Quality, Standardization and Certification of the National Metallurgical Academy of Ukraine.