

О.В. Соболенко, П.В. Дрожжа, Н.Л. Дорош, Л.М. Петречук

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ТОВЩИНИ СТІНКИ ГАРЯЧЕДЕФОРМОВАНИХ ТРУБ

Виконано статистичний аналіз розкиду товщини стінки обсадних труб, прокатаних на трубопрокатному агрегаті з автоматстаном. Доведено, що ефективним способом мінімізації симетричної компоненти різностінності є оптимізація режимів деформації вздовж стінки труб.

Ключові слова: статистична обробка, товщина стінки труби, кінцеві ділянки труби, поперечна різностінність.

Постановка проблеми

Найважливішою характеристикою гарячедеформованих труб є точність їх товщини стінки, яка розділяється на декілька складових: поперечна (ексцентрична або симетрична) різностінність, розкид товщини стінки за поперечним перерізом і вздовж труби, повздовжня різностінність і таке інше. Технологічні особливості виробництва гарячекатаних труб, а саме прошивка заготовки та формозмінення її за рахунок деформації при обкатці та калібруванні, істотно впливають на точність їх геометричних розмірів. Це потребує від виробників цього виду металопродукції проводити постійний контроль за розподілом товщини стінки та виконувати розрахунки точності труб для кожної конкретної партії виробленої продукції.

Відомо [1, 2], що найбільший рівень різностінності спостерігається на передній і задній ділянках труби, при цьому, максимальна різностінність утворюється на передньому кінці, що обумовлене технологічними особливостями процесу прокатки на трубопрокатному агрегаті (ТПА). Наявність різностінності і істотного поля розсіяння стінки по довжині і в партії труб ускладнюють здобуття на їх кінцевих ділянках якісного різьблення. Для нарізних труб ця обставина є визначальною і вимагає постійного контролю величини середньої товщини стінки, а також поперечної різностінності на кінцевих ділянках. Тому визначення кількісних показників рівня різностінності обсадних труб, які виробляються на ТПА з автоматстаном, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для аналізу точності гарячедеформованих труб і оцінювання величини їх різностінності застосовуються методи статистичного аналізу [1]. Застосування методів статистичної обробки даних дає можливість отримати не тільки тривіальні значення розподілу товщини стінки в поперечному перерізі або повздовж труби, а й за рахунок вживання методів математичного моделювання розробляти моделі та алгоритми зміни різностінності безшовних труб [3 – 5] для прогнозування її показників. Статистичні дослідження та результати оцінки точності гарячекатаних труб показані в роботі [6] за допомогою побудови полігонів частот відносної і абсолютної поперечної різностінності. Аналіз даних, виконаний в роботі [7], показав розподіл ексцентричної складової поперечної різностінності по станах ТПА. Для обсадних труб проведення статистичної обробки даних з товщини стінки надає можливість отримати кількісні характеристики розкиду середньої стінки на кінцевих ділянках. В перспективі, при отриманні достатнього об'єму інформації з'являється можливість створити математичні моделі визначення точності труб.

Мета дослідження

Одним з основних параметрів, що характеризує точність труб, є їх поперечна різностінність, точніше величина та характер розподілу товщини стінки в поперечному перетині. Умови деформації металу на ТПА з автоматстаном не виключають наявності різних періодичних складових коливання товщини стінки труб. Найкращою характеристикою точності готових труб буде знання кількісних показників поперечної різностінності кінцевих ділянок обсадних труб. Метою даної роботи було визначення величини розкиду товщини стінки гарячекатаних обсадних труб за допомогою методів математичної статистики.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для дослідження характеру зміни розкиду товщини стінки обсадних труб, прокатаних на ТПА з автоматстаном, застосовувалися методи статистичного аналізу даних [8]. Статистичний аналіз виконаний по вимірах товщини стінки обсадних труб, взятих з технологічного потоку після раскатного і калібрувального станів агрегату. Як об'єкт статистичного дослідження – вибрані обсадні труби розміром 244x10,0 мм і 177x9,0 мм із сталі 26Г2ТР, прокатані згідно з вимогами стандарту API 5CT [9]. Згідно з вказаним стандартом допуск по товщині стінки обсадних труб розміром 244x10,0 мм складає +8/-2 % або розміри товщини стінки обсадних труб повинні

знаходиться в діапазоні $+10,83/-9,83$ мм, а для труб розміром $177 \times 9,0$ мм відповідно $+12,5/-0\%$ ($+10,33/-9,19$ мм) – на вимогу замовника. Труби вказаних розмірів займають значну долю в загальному обсязі виробництва. Для виробництва обсадних труб вказаних розмірів використовувалася безперервно лита заготівка діаметром 210 та 170 мм відповідно.

Вживані методи обробки статистичних даних засновані на незалежних спостереженнях, тому кількість точок виміру товщини стінки на кінцевих ділянках труб вибиралася з умови їх незалежності шляхом розрахунку кореляційної функції [8]. Виміри проводилися по твірним, відповідним вершині і випуску калібру, а також в точках, розташованих під кутом 45° до осей калібру. Проаналізовані вибіркові дані по вимірах товщини стінки семи труб, узятих відповідно після раскатного і калібрувального станів ТПА.

Для аналізу точності гарячедеформованих труб і оцінювання величини їх різностінності застосовуються методи статистичного аналізу [1]. Застосування методів статистичної обробки даних дає можливість отримати не тільки тривіальні значення розподілу товщини стінки в поперечному перерізі або повздовж труби, а й за рахунок вживання методів математичного моделювання розробляти моделі та алгоритми зміни різностінності безшовних труб [3 – 5] для прогнозування її показників. Статистичні дослідження та результати оцінки точності гарячекатаних труб показані в роботі [6] за допомогою побудови полігонів частот відносної і абсолютної поперечної різностінності. Аналіз даних, виконаний в роботі [7], показав розподіл ексцентричної складової поперечної різностінності по станах ТПА. Для обсадних труб проведення статистичної обробки даних з товщини стінки надає можливість отримати кількісні характеристики розкиду середньої стінки на кінцевих ділянках. В перспективі, при отриманні достатнього об'єму інформації з'являється можливість створити математичні моделі визначення точності труб.

При проведенні первинної статистичної обробки здійснювалася перевірка на приналежність вибіркам максимальних і мінімальних значень, перевірка однорідності математичних очікувань і дисперсій, побудова експериментальних законів розподілу і перевірка гіпотез відносно типа закону розподілу.

Перевірка на належність вибіркам екстремальних значень показала, що для всіх досліджуваних труб виключати з вибірки будь-які значення немає необхідності. Перевірка однорідності дисперсій проводилася по критеріях Кочрена і Фішера. Перевірка однорідності математичних сподівань проводилася з відповідними трубами, що і перевірка однорідності дисперсій. При порівнянні математичних сподівань використовували критерій

Стьюдента. Аналіз результатів розрахунків показав, що представлені вибірки однорідні.

Однорідність математичних сподівань і дисперсій дозволила об'єднати вибірки по перетинах і використовувати для аналізу законів розподілу товщини стінки в поперечному перетині. Для всіх досліджених труб з об'ємом вибірки $n=56$ значень побудовані гістограми (рисунок 1) і проведена перевірка гіпотези відносно типу закону розподілу по критерію Пірсона.

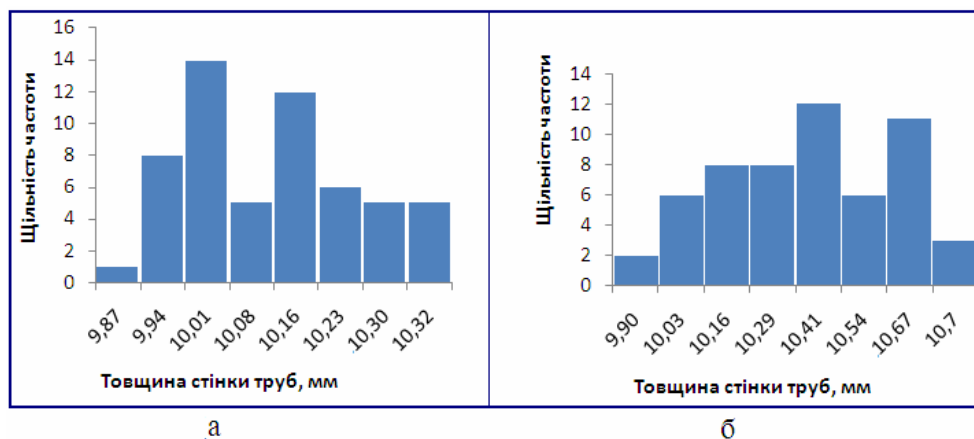


Рисунок 1 – Статистичний розподіл товщини стінки обсадних труб після раскатного стану агрегату (а – передня ділянка труби, б – кінцева ділянка труби)

Розподіл товщини стінки на кінцевих ділянках обсадних труб після раскатного стану є бімодальним (рисунок 1) і підкоряється логарифмічному нормальному закону розподілу. Наявність другого екстремуму пояснюється істотним впливом випусків калібру при деформації на короткій оправці безпосередньо в автоматстані.

Для труб після калібрувального стану розподіл товщини стінки на кінцевих ділянках можна вважати нормальним (рисунок 2).

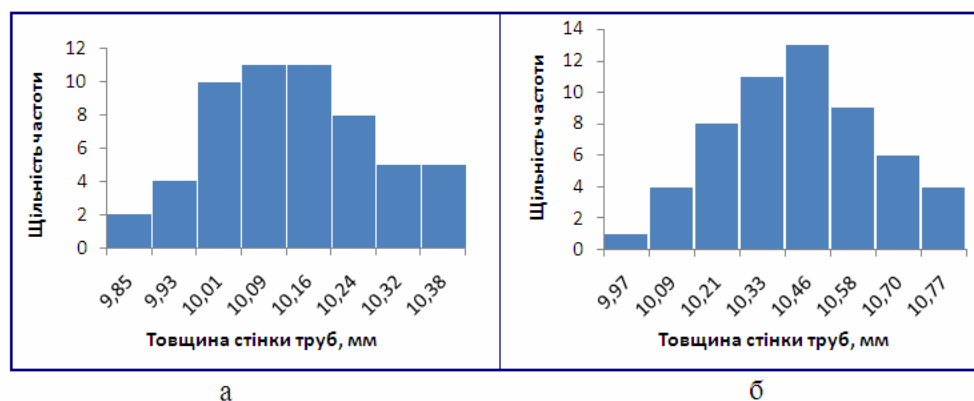


Рисунок 2 – Статистичний розподіл товщини стінки обсадних труб після калібрувального стану (а – передня ділянка труби, б – кінцева ділянка труби)

Перевіркою встановлено, що завдяки нормальному розподілу гарантована товщина стінки обсадних труб розміром 244x10,0 мм після калібрувального стану складає $10,0 \pm 0,49$ мм, а труб розміром 177x9,0 мм – $9,0 \pm 0,67$ мм.

На рисунку 3 представлені типові графіки зміни товщини стінки в поперечному перетині кінцевих ділянок труб, прокатаних на раскатному та калібрувальному станах агрегату. З графіків виходить, що характер розподілу товщини стінки на трубах після калібрувального стану свідчить про наявність систематичних змін в певних перетинах, що обумовлене технологічними чинниками процесу деформації металу на різних станах ТПА з автоматстаном. З одного боку, джерелом їх є умови деформації металу в калібрах, оскільки зміна товщини стінки в перетині повторює характер обтискання металу в різних зонах калібру (симетричний характер різностінності). З іншого боку, відомо [2], що найбільший рівень різностінності спостерігається на передній ділянці гільзи в період несталого процесу прошивки суцільної заготовки. Ця обставина прямо пов'язана з наявністю значної величини різностінності (розкиду товщини стінки) на готових трубах (ексцентричний характер розподілу товщини стінки по перетину труби).

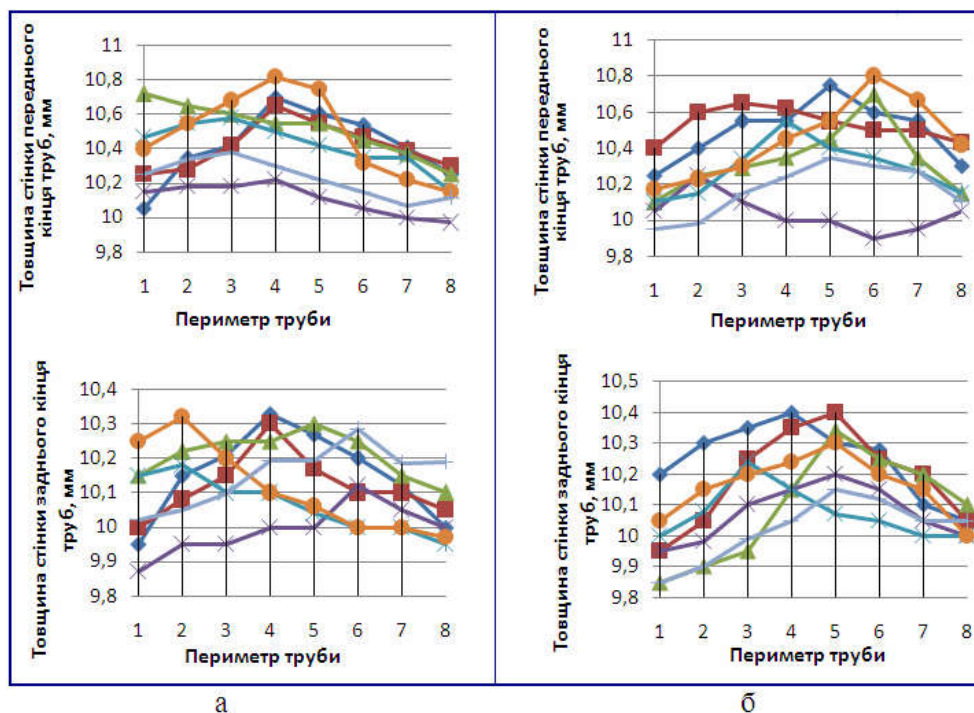


Рисунок 3 – Зміна стінки в поперечному перетині переднього і заднього кінців обсадних труб після раскатного (а) і калібрувального (б) станів

Наявність періодичних складових, наведених графічним аналізом, вказує на необхідність детального вивчення характеру зміни різностінності. Кількісні

характеристики періодичних складових можуть бути визначені за допомогою гармонійного аналізу. Проведена статистична обробка і аналіз характеру зміни товщини стінки в поперечному перетині обсадних труб дозволили визначити величину розкиду товщини стінки, яка з урахуванням нормальності розподілу товщини стінки з 95-ти відсотковим рівнем надійності знаходиться в межах $10,0 \pm 0,49$ мм на трубах діаметром 244 мм і $9,0 \pm 0,67$ мм на трубах діаметром 177 мм.

Висновки

Виконаний статистичний аналіз розкиду товщини стінки кінцевих ділянок обсадних труб, прокатаних на ТПА з автоматстаном, показав високий рівень симетричної складової різностінності. Ефективним способом мінімізації симетричної компоненти різностінності буде оптимізація режимів деформації по стінці труби. При цьому, графічний аналіз розподілу товщини стінки показав, що фактична різностінність змінюється по стохастичній залежності. Для уточнення загального вигляду випадкової періодичної складової такої залежності доцільно застосувати методи гармонійного аналізу, що дозволить розробити математичну модель визначення точності труб.

ЛІТЕРАТУРА

1. Столетний М.Ф. Точность труб / М.Ф. Столетний, Е.Д. Клемперт. – М.: Металлургия, 1975. – 240с.
2. Ханин М.И., Бойко И.П., Бражник О.В., Донской И.В. Новая технология прошивки сплошных заготовок в стане винтовой прокатки, реализующая получение гильз и труб повышенной точности // Пластическая деформация металлов: сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ИП «Акцент», 2014. – Т.1. – С.75-76.
3. Міщенко А.В. Розвиток методу прогнозування зміни поперечної різностінності при багатопрхідній прокатці труб зі сплавів на основі титану на станах холодної прокатки/ А.В. Міщенко, В.У. Григоренко // Обробка матеріалів тиском. Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія, 2016. – №1(42). – С.199-202.
4. Дрожжа П. В. Математическое моделирование показателей механических свойств насосно-компрессорных труб/ П.В. Дрожжа, А.В. Соболенко, Е.Н. Сало // XV Міжнародна конференція «Стратегія якості в промисловості і освіті». Матеріали. – Дніпро – Варна, 2019. – С. 62 – 66.
5. Сокурєнко В. П. Экспериментальное исследование и математическая модель изменения поперечной разностенности в процессе холодной прокатки труб высокой точности/ В.П. Сокурєнко, И.В. Маркович // Математичне моделювання: наук. журнал. – ДДТУ. – Дніпродзержинськ, 2017. – № 1(36). – С. 32 – 36.
6. Дрожжа П. В. Статистичне дослідження величини різностінності труб, прокатаних на безперервному стані/ П. В. Дрожжа, С. В. Пилипенко // XI Міжнародна науково-практична конференція «Пластична деформація металів». НМетАУ. – Дніпро, 2017. – С. 26.
7. Сокурєнко В. П. Дослідження алгоритму зміни поперечної різностінності на трубопрокатному агрегаті з автоматичним станом/ В. П. Сокурєнко, П. В. Дрожжа, К. М. Биковець // Математичне моделювання: наук. журнал. – ДДТУ. – Дніпродзержинськ, 2017. – № 1(36). – С. 26 – 32.
8. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Металлургия, 1977. – 478с.

9. API 5CT. Обсадные и насосно-компрессорные трубы. Технические условия. Девятое издание., июль 2011. Дата введения: 1 января 2012.

REFERENCES

1. Stoletniy M.F. Tochnost trub / M.F. Stoletniy, E.D. Klempert. – M.: Metallurgiya, 1975. – 240s.
2. Hanin M.I., Boyko I.P., Brazhnik O.V., Donskoy I.V. Novaya tehnologiya proshivki sploshnyih zagotovok v stane vintovoy prokatki, realizuyuschaya poluchenie gilz i trub povyishennoy tochnosti// Plasticheskaya deformatsiya metallov: sb. nauchn. trudov. – Dnepropetrovsk: PP «Aktsept», 2014. – Т.1. –S.75-76.
3. Mishchenko A.V. Rozvytok metodu prohnozuvannia zminy poperechnoi riznostinnosti pry bahatoprokhidnii prokattsi trub zi splaviv na osnovi tytanu na stanakh kholodnoi prokatky/ A.V. Mishchenko, V.U. Hryhorenko // Obrobka materialiv tyskom. Kramatorsk: Donbaska derzhavna mashynobudivna akademiia, 2016. – №1(42). – S.199-202.
4. Drozhzha P.V. Matematicheskoe modelirovanie pokazately mehanicheskikh svoystv nasosno-kompressornykh trub / P.V. Drozhzha, A.V. Sobolenko, E.N. Salo // XV Mizhnarodna konferentsiia «Stratehiia yakosti v promyslovosti i osviti». Materialy. – Dnipro – Varna, 2019. – S. 62 – 66.
5. Sokurenko V. P. Eksperimentalnoe issledovanie i matematicheskaya model izmeneniya poperechnoy raznostennosti v protsesse holodnoy prokatki trub vyiskoy tochnosti/ V.P. Sokurenko, I.V. Markovich// Matematychni modeliuvannia: nauk. zhurnal. – DDTU. – Dniprodzerzhynsk, 2017. – № 1(36). – S. 32 – 36.
6. Drozhzha P. V. Statystychni doslidzhennia velychyny riznostinnosti trub, prokatanykh na bezperervnomu stani/ P. V. Drozhzha, S. V. Pylypenko // XI Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia «Plastychna deformatsiia metaliv». NMetAU. – Dnipro, 2017. – S. 26.
7. Sokurenko V. P. Doslidzhennia alhorytmu zminy poperechnoi riznostinnosti na truboprokatnomu ahrehati z avtomatychnym stanom/ V.P. Sokurenko, P.V. Drozhzha, K.M. Bykovets // Matematychni modeliuvannia: nauk. zhurnal. – DDTU. – Dniprodzerzhynsk, 2017. – № 1(36). – S. 26 – 32.
8. Gmurman V. E. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika/ V.E. Gmurman. – M.: Metallurgiya, 1977. – 478s.
9. API 5CT. Обсадные и насосно-компрессорные трубы. Технические условия. Девятое издание., июль 2011. Дата введения: 1 января 2012.

Received 13.01.2020.

Accepted 17.01.2020.

UDC 681.3.06

O.V. Sobolenko, P.V. Drozhzha, N.L. Dorosh, L.M. Petrechuk

ACCURACY WALL SICKNESS OF HOT-DEFORMED PIPES STATISTICAL ANALYSIS

Pipe-rolling units with an automatic mill are a aggregate production complex that produces hot-rolled pipes of various sizes. The technological process of seamless pipes production, has many stages: flashing the billet into a sleeve, longitudinal rolling in gauge, running in a oblique rolling mill, calibrating and reducing the diameter. Each stage significantly affects the accuracy of the geometric dimensions of the pipes. One of the main parameters characterizing the accuracy of the pipes is their transverse difference namely the size and the nature of the distribution of the pipe wall thickness in the cross section. A significant reserve for saving metal is increasing the accuracy of seamless pipes to avoid different pipe wall thickness. Different pipe wall thickness makes it difficult to get quality pipe screw-thread.

The conditions of metal deformation at an injection molding machine with an automatic machine do not exclude the presence of fluctuation of the pipe wall thickness. The best characteristic of the accuracy of finished pipes will be the knowledge of quantitative indicators of the transverse difference of their end sections. The purpose of this work is to determine the variation in wall thickness of hot-rolled casing by means of mathematical statistics methods.

The use of statistical data processing methods makes it possible to predict the seamless pipe difference indicator. A statistical analysis of the wall thickness indicator of the end sections showed a high ratio of wall thickness symmetry. An effective way to minimize the symmetric difference component is to optimize the deformation modes along the pipe wall. In this case, a graphical analysis of the distribution of wall thickness showed that the actual difference varies in stochastic dependence. To clarify the general form of the random periodic component of such a dependence, it is advisable to apply methods of harmonic analysis, which will allow us to develop a mathematical model for determining the accuracy of pipes.

Keywords: statistical processing, pipe wall thickness, pipe end sections, transverse shearing.

Соболенко Олександр Вікторович – к.т.н., доцент, кафедра прикладної математики та обчислювальної техніки, Національна металургійна академія України.

Дрожжа Петро В'ячеславович – к.т.н., доцент, ІНІФН, Національна металургійна академія України.

Дорош Наталія Леонідівна – к.т.н., доцент, кафедра інформаційних технологій і систем, Національна металургійна академія України.

Петречук Ліна Миколаївна – старший викладач, кафедра прикладної математики та обчислювальної техніки, Національна металургійна академія України.

Sobolenko Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Mathematics and Computer Engineering, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Drozhzha Petro – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, INIFN, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Dorosh Nataliia – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Technologies and Systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Petrechuk Lina – Senior Lecturer, Department of Applied Mathematics and Computer Engineering, National Metallurgical Academy of Ukraine.