

7. Пат. 61108410 Японія, МКИ В21 В 21/00. Пілігримовий стан холодної прокатки труб / Сумітомо кіндзоку кочо (Японія); Масами О., Масахиро К., Мунэкацу К. (Японія). – Опубл. 27.05.86.

Grigorenko V.U., Protsiv V.V., Kutsevol S.V.

DEVELOPMENT OF DRIVE GEARS WITH VARIABLE PITCH RADIUS IN PAIR WITH A FIXED GEAR RACK TO PROVIDE A NATURAL PROCESS OF COLD PIPE ROLLING

Cold pilger rolling mills are used in production to obtain high quality pipes. In Ukraine, many HPT mills of the old design and new modern cold pilger rolling mills of HPT8-40, KPV25, HPT6-20, HPT10-45, LG20 and LG40 operate.

All these mills have one significant drawback - the rotation of the rolls is carried out due to the contact of the teeth of the drive gear with the teeth of the fixed rack, which is located on the mill bed. In this case, the forced rolling radius, which is given by the dividing radius of the driving gear circle, does not coincide with the natural rolling radius in the sections of the working cone of deformation.

To solve this problem, an implementation of the proposal is presented where the driving gears have each tooth located in accordance with the change in the natural rolling radius, and each tooth of the stationary gear rack is located so that it is meshed with the gear teeth according to the laws present in the involute meshing of the gear teeth and the rack.

This ensures that the forced rolling radius, which is given by the dividing radius of the driving gear, corresponds to the natural rolling radius, which is given by the given mode of deformation of the pipe metal by the roll groove on a stationary mandrel.

This reduces the level of axial forces and friction forces on the surface between the roll groove and the pipe. What is deformed. In turn, this will increase the equipment's maintenance interval and the surface quality of finished pipes.

Keywords: Cold rolling mills, driving gear, fixed rack, forced and natural rolling radius, axial forces, equipment's maintenance interval, pipe surface quality.

Стаття надійшла 23.11.2025р.

УДК 621.774.2

doi.org/10.31498/2522-9990302025347108

Овсяников В.В.

ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОРДОННИХ МАРОК СТАЛЕЙ ДЛЯ ВІТЧИЗНЯНИХ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ

В Україні в 2019-2022 роках на підприємстві НВП УКРТРУБОІЗОЛ введена в експлуатацію сучасна імпортна лінія з повним технологічним циклом та з спеціалізованим обладнанням по виробництву зварних сталевих труб великого діаметру. Ця лінія забезпечує можливість виробництва за технічними вимогами відповідно сучасним міжнародним стандартам і нормам.

При виробництві сталевих зварних прямошовних труб великого діаметру за вітчизняною технічною документацією використовують товстолистовий прокат з низьковуглецевих та низьколегованих марок сталей.

Зараз багато споживачів зіткнулися із проблемою отримання зварних труб великого діаметру труб з прокату виготовленого зі сталей за вітчизняною нормативною документацією. Доводиться замовляти лист іноземних виробників. Оскільки системи трубопровідного транспорту є небезпечними техногенними об'єктами, вибір сталевих листів є вкрай важливим завданням.

В світі для виробництва зварних труб великого діаметра застосовують товстолистовий прокат з низьковуглецевих і низьколегованих сталей та лист з низьколегованих сталей після термомеханічної обробки (за контрольованої прокатки). При виборі потрібного листа виникають значна кількість питань, щодо вибору показників з механічних властивостей сталі. Ці питання треба вирішувати.

Стаття спрямована на висвітлення питань, що стосуються шляхів вирішення проблем із застосуванням зарубіжних марок сталей для вітчизняних магістральних трубопроводів.

Ключові слова: *Магістральні зварні труби великого діаметру, низьковуглецеві та низьколеговані сталі, низьколеговані сталі з термо-механічної обробки, межа міцності, межа плинності, відносне подовження, ударна в'язкість.*

Постановка проблеми. Зараз багато споживачів трубої продукції зіткнулися із проблемою отримання труб із прокату виготовленого зі сталей за вітчизняною нормативною документацією. Це обумовлено тим, що при проектуванні нових і реконструкції магістральних трубопроводів базовими нормативними вітчизняними документами на сьогодні є :

- СНиП 2.05.06-85 «Будівельні норми і правила. Магістральні трубопроводи»;
- ДСТУ 9219:2023 (на заміну ГОСТ 20295-85) Труби сталеві зварні для магістральних газонафтопроводів. Технічні умови.;
- ДСТУ 9218:2023 (на заміну ГОСТ 10706-76) «Труби сталеві зварні прямошовні. Технічні умови».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш затребувані класи міцності та марки сталі товстолистого прокату для труб представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Затребувані класи міцності та марки сталі товстолистого прокату для труб

Вуглецеві	Низьколеговані
К38-К42 СтЗсп, СтЗпс, сталь 20	К48-К50 09Г2С
	К52 13ГС, 17ГС, 17Г1С, 17Г1С-У
	К55 13Г1С-У
	К56 09Г2ФБ
	К60 10Г2ФБ, 10Г2ФБЮ

Характеристики прокату нерозривно пов'язані з технічними вимогами, що пред'являються до основного металу труб. Замовити прокат за кордоном за національним нормативним документом ДСТУ проблематично. Оскільки методи випробування та контролю продукції відрізняються від наших.

Можливо хтось вважає, що проблеми немає в заміні ГОСТовських марок на закордонні аналоги. Можна придбати прокат за Єврономами або ж самі труби зі сталей за іноземними стандартами. Але проблема полягає в тому, що зарубіжні сталі не є повними аналогами трубним сталям за вітчизняною документацією.

Металургія

Це зумовлено системою легування, технологією виробництва прокату, вимогами до металу труб з урахуванням надійності, призначення і ступеня відповідності трубопроводів.

І коли потрібно реконструювати ділянку трубопроводу, а за існуючою проєктною документацією на цій об'єкт регламентована ГОСТовська марка сталі, то для проєктантів це є формальною проблемою.

Мета дослідження. Метою статті є представлення і порівняння вимог до механічних властивостей закордонних марок сталей для ТВД з вимогами за вітчизняною нормативною документацією і представлення шляхів вирішення проблем за вибором закордонних марок сталей.

Основний матеріал дослідження. З Таблиці 2 за аналізом хімічного складу вуглецевих марок сталей з європейськими є відмінність за вмістом масової частки марганцю, проте це не є відхиленням, оскільки вміст марганцю до 1,4% сприяє стабільності механічних властивостей за умови забезпечення гарантії зварюваності.

Таблиця 2 - Порівняння хімічного складу вуглецевих сталей за вітчизняною документацією СтЗсп, 20, з європейськими марками сталі (за закордонною документацією) S235, S355 X42 L245

Нормативний документ	Марка сталі	Масова частка хімічних елементів, %, не більше								
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N
ДСТУ 2651	СтЗсп	0,22	0,65	0,15-0,30	0,050	0,040	0,30	0,30	0,30	0,010
ДСТУ 7809	20	0,17-0,24	0,35-0,65	0,17-0,37	0,040	0,035	0,25	0,30	0,30	0,010
ДСТУ EN 10025-2:2022	S235	0,17	1,40	-	0,025	0,025	-	-	0,55	0,012
ДСТУ EN 10025-2:2022	S355	0,20	1,60	0,55	0,025	0,025	-	-	0,55	0,012
API Spec 5L	X42 L245	0,22	1,20	0,45	0,015	0,025	0,30	0,30	0,50	-

З Таблиці 3 за аналізом фізико-механічних властивостей сталь S235 найближчий аналог до сталі 20 та СтЗсп. Сталі S355, X42 L245 відповідають міцним характеристикам для сталі марки 20 і СтЗсп та перевищують їх.

Таблиця 3 – Порівняння механічні властивостей вуглецевих сталей за вітчизняною документацією СтЗсп, 20, з європейськими марками сталі (за закордонною документацією) S235, S355 X42 L245

Нормативний документ	Марка сталі	Механічні властивості, не менше				
		границя плинності, σ_t , Н/мм ² (кгс/мм ²)	границя міцності, σ_b , Н/мм ² (кгс/мм ²)	відносне видовження, δ_5 , %	ударна в'язкість	
					KV, Дж	KCU Дж/м ²
ГОСТ 10706	СтЗсп	245 (25)	372 (38)	20	-	29
ДСТУ 9218		245 (25)	410 (42)	25	-	-
ДСТУ 7809		216 (22)	353 (36)	15	-	39,2
ДСТУ EN 10025-2:2022	S235	235	360	26 24	27	-
ДСТУ EN 10025-2:2022	S355	355	470	22 20	27	-
API Spec 5L	X42 L245	245	415	-	27	-

З таблиць 4 та 5 видно, що слід вважати, що сталь S355J2 та P355N є найближчим закордонним аналогом сталей 17Г1С та 17Г1С-У.

При замовленні товстолистового прокату із сталі марки S355J2 та X56 L390 для виробництва труб класу міцності K52 необхідно обумовлювати додаткову вимогу за границею міцності - не менше 510 Н/мм².

Металургія

Таблиця 4 – Порівняння плавочного хімічного складу низьколегованих сталей марок 17Г1С, 09Г2С за вітчизняною документацією з європейськими марками сталі (за закордонною документацією) P355, S355, X56 L390, X60 L415.

Нормативний документ	Марка сталі	Масова частка хімічних елементів, %, не більше														Cr+Cu+Mo+Ni
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb	Ti	V	Al	N	
ДСТУ 8541:2015	17Г1С	0,15-0,20	1,15-1,60	0,40-0,60	0,040	0,035	0,30	0,30	0,30	-	-	0,03	-	0,05	0,012	-
ДСТУ 8541:2015	09Г2С	0,12	1,30-1,70	0,50-0,80	0,040	0,035	0,30	0,30	0,30	-	-	0,03	-	0,05	0,012	-
ДСТУ EN 10028-2:2018	P355GH	0,10-0,22	1,10-1,70	0,60	0,025	0,010	0,30	0,30	0,30	0,08	0,040	0,03	0,02	0,02	0,012	0,70
ДСТУ EN 10025-2:2022	S355JR	0,24	1,60	0,55	0,035	0,035	0,29	0,42	0,55	0,11	-	-	-	-	-	-
	S355J0	0,20	1,60	0,55	0,030	0,030	0,29	0,42	0,55	0,11	-	-	-	-	0,012	-
	S355J2	0,20	1,60	0,55	0,025	0,025	0,29	0,42	0,55	0,11	-	-	-	-	0,012	-
ДСТУ EN 10025-3:2022	S355N	0,20	0,90-1,65	0,50	0,030	0,025	0,30	0,50	0,55	0,10	0,05	0,05	0,12	0,02	0,015	-
	S355NL	0,18	0,90-1,65	0,50	0,025	0,020	0,30	0,50	0,55	0,10	0,05	0,05	0,12	0,02	0,015	-
ДСТУ EN ISO 3183 API Spec 5L	X56 L390	0,22	1,40	0,45	0,025	0,015	0,30	0,30	0,50	0,15	-	-	-	-	-	-
ДСТУ EN ISO 3183 API Spec 5L	X60 L415	0,12	1,60	0,45	0,025	0,015	0,50	0,50	0,50	0,50	-	-	-	-	-	-

Таблиця 5 – Порівняння механічних властивостей низьколегованого прокату за вітчизняною та закордонною документацією

Нормативний документ	Марка сталі	Механічні властивості для товщини прокату від 3 мм до 16 мм включно, не менш			
		границя плинності, σ_T , Н/мм ²	границя міцності, σ_B , Н/мм ²	відносне видовження, δ_5 , %	KCV _{-5°C} , Дж/см ² KV _{-20°C} , J
ДСТУ 9219:2023	K48	295	471	20	29,4
ДСТУ 9219:2023	K50	343	485	20	29,4
ДСТУ 9219:2023	K52	353	510	20	29,4
ДСТУ EN 10028-2:2018	P355GH	355	510-650	20	27
ДСТУ EN 10025-2:2022	S355JR0 S355J0	355	470-630	22	27
	S355J2			20	
ДСТУ EN 10025-3:2022	S355N, S355NL	355	470-630	22	40
API Spec 5L	X56 L390	390-545	490-760	$A_f = C \frac{A_{xc}^{0,2}}{U^{0,9}}$	27, 40
API Spec 5L	X60 L415	415-564	520-760		27, 40

Таблиця 6 – Порівняння механічних властивостей високоміцних сталей K55 та K60

Нормативний документ	Марка сталі	Механічні властивості для товщини прокату від 3 мм до 16 мм включно, не менш			
		границя плинності, σ_T , Н/мм ²	границя міцності, σ_B , Н/мм ²	відносне видовження, δ_5 , %	KCV _{-5°C} , Дж/см ² KV _{-20°C} , J
ДСТУ 9219:2023	K55	372	539	20	29,4
ДСТУ EN 10025-3:2022	S460N	460	540	17	27 ₋₂₀
EN 10025-4:2019	S460M	460	540	17	27 ₋₂₀
ДСТУ EN 10028-5:2018	P460M	460	530	17	27 ₋₂₀
ДСТУ EN ISO 3183	X65ME L450ME	450	535	18	від 40
ДСТУ 9219:2023	K60	412	588	16	29,4
ДСТУ EN ISO 3183	X70ME L485ME	485	570	18	від 40

Шляхи вирішення проблем:

1. *Розробка окремих технічних вимог на товстолистовий прокат зі сталі марки за ГОСТ.* Це актуально тільки для великих замовлень, від 100 тон де потрібно хоча б 1 і більше плавок.

Якщо обсяг замовлення становить 20-50 тон, то закордонні металургійні комбінати відмовляються розробляти окрему технологію для виплавки і прокатки менше однієї плавки металу.

Комбінувати плавки в очікуванні подібного замовлення теж не варіант, це вимагає більше часу, а він у замовника не завжди є.

2. *Підбір найближчих закордонних аналогів.* При розробці технічних вимог до прокатної/ тендерної документації враховувати механічні властивості (межа плинності, межа міцності, ударна в'язкість, відносне видовження) та зазначати найближчі аналоги закордонних марок сталей, навіть якщо є незначні відхилення за хімічним складом (кремній, марганець, вуглець), але дотримані вимоги щодо зварювання (вуглецевий еквівалент).

3. *Будівництво нових ділянок трубопроводів за гармонізованими стандартами ДСТУ ISO, ДСТУ EN.* Це потребує комплексного підходу з урахуванням досвіду і можливостей вітчизняних трубних підприємств і погодження проєктних організацій. Не всі вимоги можливо забезпечити на обладнанні українських підприємств.

4. *Внесення змін до діючої нормативної документації.* Внесення зарубіжних марок сталей в ДСТУ. Комплексний підхід з урахуванням вітчизняної НД. Це завдання для технічних комітетів зі стандартизації, проєктних та наукових організацій.

Для реалізації цих заходів потрібна співпраця замовника, постачальника, проєктних організацій, науково-дослідних інститутів, технічних комітетів зі стандартизації.

Щодо підбору найближчих закордонних аналогів марок сталей товстолистого прокату до вітчизняних класів міцності труб підготовлені порівняльні Таблиця 7 та Таблиця 8 з механічних властивостей вітчизняних та закордонних марок сталей, категорій та класів міцності. Таблиці рекомендовані в застосуванні при підборі та замовленні товстолистого прокату для виробництва труб для проєктування, реконструкції, заміні трубопроводів:

Таблиця 7 – Порівняння механічних властивостей труб (межа міцності/межа плинності/відносне подовження) та вуглецевого еквівалента за класами міцності та марками сталі на прокат товщиною до 16 мм включно за EN 10025-2 (конструкційна), EN 10025-3(нормалізована) та EN 10025-4 (термомеханічна прокатка)

Марка сталі	Клас міцності										Секв. ≤ 0,46%
	K34 (333/206/24)	K38 (372/235/22)	K42 (412/245/21)	K48 (471/295/20)	K50 (490/343/20)	K52 (510/353/20)	K54 (529/363/20)	K55 (539/372/20)	K56 (549/382/20)	K60 (588/412/16)	
S235 (360/235/24)											0,35 %
S275 (410/275/21)											0,40 %
S275N (370/275/24)											0,40 %
S275M (370/275/24)											0,34%
S355 (470/355/20)											0,45%
S355N (470/355/22)											0,43%

Металургія

S355M (470/355/22)											0,39%
S420N (520/420/19)											0,48 %
S420M (520/420/19)											0,43%
S460 550/460/17											0,47 %
S460N 540/460/17											0,53 %
S460M 540/460/17											0,45%
Пояснення											
Колір	Відповідає	Не відповідає подовження	Не відповідає подовження і міцності	Не відповідає	-						

Таблиця 8 – Порівняння механічних властивостей труб (межа міцності/межа плинності/відносне подовження) та вуглецевого еквівалента за класами міцності та марками сталі на прокат товщиною до 16 мм включно за EN 10028-2 (підвищені температури), EN 10028-3 (нормалізована) та EN 10028-5 (термомеханічна прокатка)

Марка сталі/ Клас міцності	K34 (333/206/24)	K38 (372/235/22)	K42 (412/245/21)	K48 (471/295/20)	K50 (490/343/20)	K52 (510/353/20)	K54 (529/363/20)	K55 (539/372/20)	K56 (549/382/20)	K60 (588/412/16)	Сєкв. ≤ 0,46%
P235GH (360/235/24)											За узгодж. 0,46%
P265GH (410/265/22)											За узгодж. 0,46%
P275N (390/275/24)											0,40%
P295GH (460/295/21)											За узгодж. 0,46%
P355GH (510/355/20)											За узгодж. 0,46%
P355N (490/355/22)											0,43%
P355M (450/355/22)											0,39%
P420N (540/420/19)											не відпов. 0,48 %
P420M (500/420/19)											0,43%
P460 N (570/460/16)											не відпов. 0,53 %
P460M (530/460/17)											0,45 %
Пояснення											
Колір	Відповідає	Не відповідає подовження	Не відповідає за міцністю та подовженням	Не відповідає	-						

ВИСНОВКИ

Виконано представлення і порівняння хімічного складу вуглецевих сталей за вітчизняною документацією СтЗсп, 20, з європейськими марками сталі S235, S355, X42 та L245 за закордонною документацією.

Металургія

Виконано представлення та порівняння механічних властивостей вуглецевих сталей за вітчизняною документацією СтЗсп, 20, з європейськими марками сталі S235, S355, X42 та L245 за закордонною документацією.

Щодо підбору найближчих закордонних аналогів марок сталей товстолистового прокату до вітчизняних класів міцності труб підготовлені порівняльні таблиці механічних властивостей вітчизняних та закордонних марок сталей, категорій та класів міцності. Таблиці рекомендовані в застосуванні при підборі та замовленні товстолистового прокату для виробництва труб для проєктування, реконструкції, заміні трубопроводів.

Список використаних джерел

1. Виробництво труб - НВП УКРТРУБОІЗОЛ. Режим доступу: <https://uti.ua/virobnitstvo-trub/>.
2. Проців В.В., Григоренко В.У. Особливості процесу експандування в технологіях виробництва труб великого діаметра для магістральних нафто та газопроводів. *Метал та лиття України*. 2021. № 3(326). С. 64-69. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2021.03.087>.
3. О.Ю. Лоскутов, В.В. Овсяников, В.В. Проців, В.У. Григоренко. (2021). Процес експандування в технологіях виробництва труб великого діаметра для магістральних нафто- і газопроводів та металознавчі аспекти його використання / // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2021. № 52 – Збірник наукових праць НГУ, с. 99-106: DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.099>.
4. Григоренко В.У., Овсяников В.В. Розвиток методу визначення параметрів деформування і залишкових напружень металу у виробництві прямошовних труб великих діаметрів з застосуванням експандування // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. Серія: Технічні науки. Дніпро: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2023. Вип. 47. С.207: DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300060>.
5. Дмитрах І. М., Сиротюк А. М., Овсяников В. В., Лецак Р. Л. Вплив технологічної операції експандування на механічні характеристики та тріщиностійкість металу зварних прямошовних труб. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2025. Т. 61, № 2. С. 103-110. DOI: <https://doi.org/10.15407/pcmm2025.02.103>
6. Руйнування та міцність трубних сталей у водневовмісних середовищах / І. М. Дмитрах, А. М. Сиротюк, Р. Л. Лецак – Львів : ПРОСТІР-М, 2020. – 222 с. URI: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/135913>
7. Study on the residual stress relaxation in girth-welded steel pipes under bending load using diffraction methods / N. Hempela, J.R. Bunnb, T. Nitschke-Pagela, E.A. Payzanth, K. Dilger. *Materials Science and Engineering: A*. 2017. Volume 688. Pp. 289-300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.02.005>.
8. McClung R.C. A literature survey on the stability and significance of residual stresses during fatigue. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 2007. Vol. 30. Iss. 3. Pp. 173205. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2695.2007.01102.x>.

ON THE ISSUE OF USING FOREIGN STEEL BRANDS FOR DOMESTIC MAIN PIPELINES

In Ukraine, in 2019-2022, a modern imported line with a full technological cycle and specialized equipment for the production of large-diameter welded steel pipes was put into operation at the enterprise NPP UKRTRUBOIZOL. This line provides the possibility of production according to technical requirements in accordance with modern international standards and norms.

In the production of large-diameter welded straight-seam steel pipes according to foreign technical documentation, thick-sheet rolled products from low-carbon and low-alloy steel grades are used.

Now many consumers are faced with the problem of obtaining large-diameter welded pipes from rolled products made of steel according to domestic regulatory documentation. They have to order sheet from foreign manufacturers. Since pipeline transport systems are dangerous man-made objects, the choice of steel sheet is an extremely important task.

In the world, for the production of large-diameter welded pipes, thick-sheet rolled products from low-carbon and low-alloy steels and sheets from low-alloy steels after thermomechanical treatment (under controlled rolling) are used. When choosing the right sheet, a significant number of questions arise regarding the selection of indicators of the mechanical properties of steel. These questions must be resolved.

The article is aimed at highlighting issues regarding ways to solve problems with the use of foreign steel grades for foreign-made main pipelines

Keywords: *Large-diameter welded main pipes, low-carbon and low-alloy steels, low-carbon steels with thermomechanical treatment, tensile strength, yield strength, relative elongation, impact toughness.*

Стаття надійшла 09.09.2025р.

УДК 669.162.22

doi.org/10.31498/2522-9990302025347109

Черевко О.О., Лубкін Б.В.

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЮ І МАСИ МЕТАЛУ ТА ШЛАКУ В ПРОМІЖНОМУ КОВШІ МБЛЗ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті представлено математичну модель визначення рівня і маси металу та шлаку в проміжному ковші машини безперервного лиття заготовок. Розглянуті методи вимірювання рівня розплаву в ковші, включаючи тензометричні, індукційні, ультразвукові датчики. Проаналізовано важливість контролю і регулювання співвідношення рівнів металу і шлаку, та вплив цих параметрів на якість вихідної продукції.

Запропонована в статті модель базується на використанні індукційного датчика, вмонтованого у футеровку ковша, для безперервного вимірювання рівнів металу і шлаку шляхом аналізу електричних параметрів вимірювального контуру. Струм та індуктивність контуру електричного ланцюга датчика змінюються в залежності від рівня металу та шлаку, що дозволяє точно визначати їх співвідношення.

Для розрахунку маси металу та шлаку в моделі використовується залежність їх об'ємів від висоти заповнення ковша, з урахуванням температури розплаву і змін у щільності металу