

УДК 669

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЬНИХ ОБОЛОНОК ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

ВОРОБІЙОВА В. Г.¹, інж.,
КОТОВ М. А.^{2*}, к. т. н.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56

^{2*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

Анотація. Постановка проблеми. З кожним роком збільшується потреба у збільшенні житлового фонду держави, зростає кількість населення, що потребує житла. Сучасне будівництво ведеться, як правило, у вже забудованих центральних частинах міст, де вартість землі дуже велика, а площі під забудівлю малі, внаслідок чого зростає поверховість. Зараз в Україні будівельна галузь переживає не кращі часи. Це пов'язано не стільки з фінансовою кризою, скільки з відсутністю технічного переозброєння в усіх сферах будівництва. Навіть будівельний бум початку 2000-х років не зумів надати певного імпульсу для переходу нашої галузі на якісно новий рівень. У науково-технічних і дослідно-конструкторських інститутах не відбувається належного оновлення будівельних матеріалів, а діючі технології будівництва і проектування будівель давно застаріли. **Методика.** Проведено випробування механічних властивостей сталі, а саме міцність на розрив, зразків сталі марок: 10Г2ФБ; 09Г2; Ст3. Розривні зразки для випробування механічних властивостей сталі вирізували з листів товщиною 18 мм, виробництва Маріупольського металургійного комбінату ім. Ілліча. Ці листи отримують подвійним гарячим прокатуванням із неперервнוליких слябів із кінцевою товщиною 250 мм. **Результати.** Проведено порівняльні дослідження діаграм розтягнення трьох будівельних сталей. Встановлено, що найбільш стабільну діаграму розтягування має сталь 10Г2ФБ. Використання сталей 10Г2ФБ із застосуванням деформаційного зміцнення в межах пластичної деформації 4 % дозволяє зменшити поперечний переріз сталевих трубобетонних конструкцій на 39 % порівняно з недеформованими, в процесі твердіння бетону в трубах із тієї ж сталі, і на 110 % порівняно зі Ст3. **Наукова новизна** полягає в обґрунтуванні вибору марки сталі для труб, призначених для використання у трубобетонних конструкціях. **Практичне значення.** Підвищена ефективність трубобетонних конструкцій пояснюється тим, що бетон у них збільшує свій об'єм під час твердіння всередині сталеві труби. Ця особливість трубобетонної конструкції відкриває здатність пластичної деформації сталеві оболонки трубобетонних конструкцій бетоном, який розширюється. Така пластична деформація в межах не більше 10 % уже використовується в промисловості, а саме на заводах, які виробляють елементи збірного залізобетону. Арматуру та арматурний дріт часто піддають невеликій пластичній деформації, яка збільшує межу текучості арматурних стержнів, що дозволяє досягати значної економії металу за рахунок підвищення межі текучості. Також підвищення межі текучості за рахунок малої пластичної деформації досягають при роздачі парю сталевих труб середнього і великого діаметра. Однак цей ефект зміцнення на сталевих оболонках трубобетонних конструкцій цілеспрямовано не використовувався.

Ключові слова : трубобетон; діаграма розтягнення; деформаційне зміцнення; труба-оболонка

О ВОЗМОЖНОСТИ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ВОРОБЬЕВА В. Г.¹, инж.,
КОТОВ Н. А.^{2*}, к. т. н.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56

^{2*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

Аннотация. Постановка проблемы. С каждым годом увеличивается потребность в увеличении жилищного фонда государства, растет количество населения, нуждающегося в жилье. Современное строительство ведется, как правило, в уже застроенных центральных частях городов, где стоимость земли очень большая, а площади под застройку малые, в результате чего возрастает этажность. Сейчас в Украине строительная отрасль переживает не лучшие времена. Это связано не столько с действующим финансовым кризисом, сколько с отсутствием технического перевооружения во всех сферах

строительства. Даже строительный бум начала 2000-х годов не сумел предоставить определенного импульса для перехода отрасли на качественно новый уровень. В научно-технических и опытно-конструкторских институтах не происходит должного обновления строительных материалов, а действующие технологии строительства и проектирования зданий давно устарели. **Методика.** Проведены испытания механических свойств стали, а именно прочность на разрыв, образцов стали марок: 10Г2ФБ; 09Г2; Ст3. Разрывные образцы для испытания механических свойств стали вырезали из листов толщиной 18 мм, производства Мариупольского металлургического комбината им. Ильича. Эти листы получают двойной горячей прокаткой с непрерывнолитых слябов с конечной толщиной 250 мм. **Результаты.** Проведены сравнительные исследования диаграмм растяжения трех строительных сталей. Установлено, что наиболее стабильную диаграмму растяжения имеет сталь 10Г2ФБ. Использование сталей 10Г2ФБ с применением деформационного упрочнения в пределах пластической деформации 4 % позволяет уменьшить поперечное сечение стальных трубобетонных конструкций на 39 %, в сравнении с недеформированными, в процессе твердения бетона в трубах из той же стали, и на 110 % по сравнению с Ст3. **Научная новизна** заключается в обосновании выбора марки стали для труб, предназначенных для использования в трубобетонных конструкциях. **Практическое значение.** Повышенная эффективность трубобетонных конструкций объясняется тем, что бетон увеличивает свой объем при затвердевании в середине стальной трубы. Эта особенность трубобетонных конструкций открывает способность к пластической деформации стальной оболочки трубобетонных конструкций бетоном, который расширяется. Такая пластическая деформация в пределах не более 10 % уже используется в промышленности, а именно на заводах, производящих элементы сборного железобетона. Арматуру и арматурную проволоку, часто подвергают небольшой пластической деформации, которая увеличивает предел текучести арматурных стержней, позволяет достигать значительной экономии металла за счет повышения предела текучести. Также повышение предела текучести за счет малой деформации достигают при раздате парой стальных труб среднего и большого диаметра. Однако этот эффект упрочнения на стальных оболочках трубобетонных конструкций целенаправленно не использовался.

Ключевые слова : трубобетон; диграма растяжения; деформационное упрочнение; труба-оболочка

ABOUT THE POSSIBILITY OF STRAIN HARDENING OF STEEL PIPE-CONCRETE SHELLS ELEMENTS

VOROBYOVA V.G.¹, eng.,
KOTOV M.A.^{2*}, Cand. Sc. (Tech.)

¹ Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56

^{2*} Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

Summary. Formulation of the problem. Every year the need to improve the state of the housing stock, increasing the number of people in need of housing. Modern construction is, as a rule, in an already built-up downtown area, where the land value is very large, and the small area for development, thereby increasing the number of storeys. Today in Ukraine the construction industry is going through hard times. This has less to do with the current financial crisis, but with the lack of technical modernization in all areas of construction. Even the beginning of the construction boom of the 2000-th was not able to provide a certain momentum to move the industry to a new level. In science and technology and development institutes is no proper renovation building materials, construction technology and existing buildings and design go back to the middle of the last century. **Methods.** The tests of mechanical properties of steel, namely tensile strength, the samples of steel grades: 10G2FB; 09G2; St3. Bursting test pieces cut from plates of thickness 18 mm steel mechanical properties, production Mariupol. Ilyich. These sheets obtain dual hot rolling of continuously cast slabs to the final 250 mm of thickness. **Results.** Comparative studies of stretching diagrams of three construction steels. It was found that the most stable tension diagram is 10G2FB steel. Using 10G2FB steels with work hardening within the plastic deformation of 4 % to reduce the cross-section of steel pipe-concrete structures by 39 % in comparison with non-deformed during concrete hardening in the pipes of the same steel, and 110 % as compared to St3. **Scientific novelty** lies in justifying the choice of the grade of steel pipes for use in pipe-concrete structures. **The practical significance.** Increased efficiency of pipe-concrete structures is largely explained by the fact that the concrete in the pipe-concrete structures increases its volume during solidification in the middle of the steel pipe. This feature offers the ability to pipe-concrete constructions of plastic deformation of the steel pipe-concrete shell structures with concrete, which is expanding. Such plastic deformation within no more than ten percent is already used in industry, namely in the factories that produce the elements of precast concrete. Fittings and reinforcing wire is often subjected to a small plastic deformation, which increases the yield strength of the reinforcing bars, achieves a significant saving of metal, by increasing the yield stress. Also, increasing the yield strength due to low strain achieved in the distribution of a pair of steel pipes of medium and large diameter. However, this effect is to strengthen the steel liner pipe-concrete constructions purposefully unused.

Keywords: pipe-concrete; digrama stretching; hardening; tube-shell

Вступ

З кожним роком збільшується потреба у збільшенні житлового фонду держави, зростає кількість населення, що потребує житла. Сучасне будівництво ведеться, як правило, у вже забудованих центральних частинах міст, де вартість землі дуже велика, а площі під забудівлю малі, внаслідок чого зростає поверховість. Зараз в Україні будівельна галузь переживає не кращі часи. Це пов'язано не стільки з фінансовою кризою, скільки з відсутністю технічного переозброєння в усіх сферах будівництва. Навіть будівельний бум початку 2000-х років не зумів надати певного імпульсу для переходу нашої галузі на якісно новий рівень. У науково-технічних і дослідно-конструкторських інститутах не працюють над належним оновленням будівельних матеріалів, а діючі технології будівництва і проектування будівель йдуть своїми коренями в середину минулого століття. Досить сказати, що на сьогодні дуже багато житла в нашій державі будується зі збірного залізобетону.

Як відомо, збірний залізобетон не дозволяє зводити будинки вище 23–25 поверхів, а конструктивна система таких будівель не дає можливості архітекторам реалізовувати усі свої творчі думки.

У багатьох же розвинених країнах, таких як США, Японія, Китай, будівництво багатоповерхових будинків відбувається за каркасною конструктивною системою з використанням трубобетонних конструкцій. На відміну від традиційних конструкцій, трубобетон має підвищену несну здатність. Трубобетонні колони, наприклад, для 30-поверхової будівлі, можна виконати з труб діаметром 245 мм. Ці колони мають великий запас міцності, оскільки товщину стінок сталеві труби можна збільшувати до 50 мм. Колони таких габаритів нескладно розташувати в зовнішніх стінах і перегородках.

Аналіз публікацій

Використання трубобетону дозволяє зменшувати вагу будівлі в 1,5...1,8 раза [1–4]. Зменшується витрата металу і бетону. Окрім цього, для виготовлення колон з трубобетону не потрібна опалубка, що багато в чому знижує трудовитрати і зменшує тривалість будівництва.

Трубобетонна колона являє собою сталеву оболонку (металеву трубу), заповнену бетоном, що утворює внутрішнє ядро. Сталева обойма не лише відіграє роль і опалубки і, одночасно, подовжньої і поперечної арматури, а і створює ідеальні умови для роботи бетонного ядра під навантаженням. Будучи ізольованим від агресивного зовнішнього середовища, стиснутий вертикальним навантаженням бетон прагне збільшити свої розміри в радіальному напрямі.

В результаті металева оболонка забезпечує усебічне рівномірне обтискання бетонного масиву, тим самим підвищуючи несну здатність ядра і колони. При цьому очевидні не лише економія матеріалів (в першу чергу металу), а і спрощення технології виготовлення і монтажу таких колон під час зведення багатоповерхових будівель.

Несна здатність, підвищена за рахунок «трубобетонного ефекту», залежить як від характеристик міцності бетону (чим вища марка, тим вищий і верхній поріг утворення мікротріщин), так і від якості сталеві оболонки, яка стримує процес тріщиноутворення в ядрі навіть на початковій стадії плинності металу. Але несна здатність трубобетонної колони у будь-якому випадку дозволяє витримувати в екстремальних умовах значні навантаження тривалий час, тоді як залізобетонна колона в таких же умовах втрачає несну здатність миттєво.

Постановка проблеми

Підвищена ефективність трубобетонних конструкцій пояснюється тим, що бетон у трубобетонних конструкціях збільшує свій об'єм під час твердіння всередині сталеві труби. Ця особливість трубобетонної конструкції відкриває здатність до пластичної деформації сталеві оболонки трубобетонних конструкцій бетоном, який розширюється. Така пластична деформація в межах не більше 10 % уже використовується в промисловості, а саме на заводах, які виробляють елементи збірного залізобетону. Арматуру та арматурний дріт часто піддають невеликій пластичній деформації, яка збільшує межу текучості арматурних стержнів, що дозволяє досягати значної економії металу за рахунок підвищення межі текучості. Також підвищення межі текучості за рахунок малої пластичної деформації досягають під час роздачі парою сталевих труб середнього і великого діаметра. Однак цей ефект зміцнення на сталевих оболонках трубобетонних конструкцій цілеспрямовано не використовувався. Тому **метою цієї роботи** було обґрунтувати вибір марки сталі для труб, призначених для використання у трубобетонних конструкціях.

У зв'язку з цим проведено дослідження особливостей пластичної деформації при розтягуванні трьох найбільш використовуваних у будівництві марок сталі: Ст3, 09Г2, 10Г2ФБ.

Ст 3 широко використовується в будівництві (сталь з нормальною міцністю $\sigma_s \geq 234$ МПа). Сталь 09Г2 входить до переліку будівельних сталей підвищеної міцності.

Сталь 10Г2ФБ – широко використовується у спорудженні газопроводів високого тиску та характеризується підвищеною міцністю в поєднанні з високою пластичністю та холодостійкістю.

Сталь 09Г2 конструкційна низьколегована для зварних конструкцій застосовується для стійок ферм, верхніх об'язувань вагонів, хребтових балок, двотаврів та інших деталей вагонобудування, деталей екскаваторів, елементів зварних металоконструкцій та інших деталей, які працюють за температур від – 40 до +450 °С (табл. 1).

Таблиця 1

**Хімічний склад (у %) матеріалу 09Г2
ГОСТ 19282-73, стандарт замінений на
ГОСТ 19281-89 /**

**The chemical composition of the material (in%) 09Г2
GOST 19282-73, standard replaced
GOST 19281-89**

C	Mn	S	Cr	Cu
до 0.12	1.4...1.8	до 0.04	до 0.3	до 0.3
Si	Ni	P	N	As
0.17... 0.37	до 0.3	до 0.035	до 0.008	до 0.08

Сталь 10Г2ФБ конструкційна низьколегована використовується для виготовлення неперервно литих слябів, рулонного і товстолистого прокату; спіральшовних труб електрозварювання зовнішнім діаметром 1 420 мм для спорудження магістральних газопроводів на робочий тиск до 7,4 МПа (75 кгс/см²), призначених для транспортування некорозійноактивного газу (табл. 2).

Таблиця 2

**Хімічний склад (у %) сталі 10Г2ФБ /
The chemical composition (in %) steel 10Г2ФБ**

C	Mn	Si	Cr	Ni
0.10	1.83	0.18	0.17	0.02
S	Cu	Ti	Nb	V
0.005	0.01	0.023	0.022	0.088
Mo	As	Al		
0.006	0.002	0.024		

Сталь 3 – це сталь конструкційна вуглецева звичайної якості (табл. 3). Вона використовується для елементів зварних і незварних конструкцій і деталей, що працюють за плюсових температур, для фасонного і листового прокату (5-ї категорії) завтовшки до 10 мм, для елементів зварних конструкцій, які працюють в умовах змінних навантажень в інтервалі від –40 до +425 °С. Прокат від 10 до 25 мм – для елементів зварних конструкцій, що працюють за температур від –40 до +425 °С.

За кордоном сталі типу 10Г2ФБ використовуються у будівництві об'єктів підвищеної

сейсмостійкості та спорудженні об'єктів відповідального призначення (мости, хмарочоси).

Розривні зразки для випробування механічних властивостей сталі 10Г2ФБ вирізували з листів товщиною 18 мм виробництва Маріупольського металургійного комбінату ім. Ілліча. Ці листи отримують подвійним гарячим прокатуванням із неперервнолитих слябів із кінцевою товщиною 250 мм. Перед першим гарячим (чорновим) прокатуванням сляби піддають гомогенізації (за t° 1 150 °С, протяжів 4 год.). Чорнове плющення робиться за сім проходів та починається від температури 1 100 °С, після закінчення чорнового прокатування сляби транспортують за 8...10 хвилин, до стану чистового плющення, де кінцево прокатують із товщини порядку 55 мм до 18 мм, температура чистового плющення близько 730 °С, після чого листи складають у пачки, де вони остигають до кімнатної температури. Для випробувань виточували зразки на токарному верстаті.

Таблиця 3

**Хімічний склад (у %) сталі 3
The chemical composition (in %) steel 3**

C	Si	Mn	Ni
0.14 – 0.22	0.05 – 0.17	0.4 – 0.65	до 0.3
P	Cu	As	S
до 0.04	до 0.3	до 0.3	до 0.05

Результати випробувань сталей на розтяг

У результаті випробування отримано дев'ять діаграм розтягування досліджуваних сталей.

На зразках сталі 09Г2 на поверхні чітко видно тріщини.

Зразки сталі 09Г2 можна характеризувати нестабільністю поведінки в процесі розтягнення, більша частина зразків розірвалася біля головки (розрив був поза шийкою) і великою різницею в механічних властивостях визначених у результаті обмірювання зразків (рис. 1).

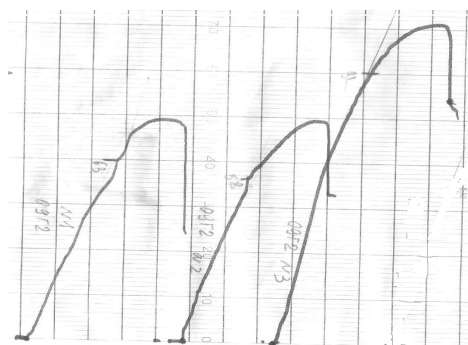


Рис. 1. Діаграма на розтяг зразків із сталі 09Г2 /
Fig. 1. Chart tensile steel samples 09Г2

Зразки Ст3 розірвалася з утворенням шийки. Механічні властивості цієї сталі значно більш стабільні порівняно зі сталлю 09Г2.

Під час механічного розтягування на цій сталі не виникали тріщини, криві розтягування Ст3 у двох випадках мали чітко виражену площу плинності. Три криві розтягування свідчать про достатню однорідність цієї сталі, але значно нижчі властивості міцності порівняно зі сталлю 09Г2, яка характеризується істотною відмінністю механічних властивостей, однакових по геометрії зразків (рис. 2).

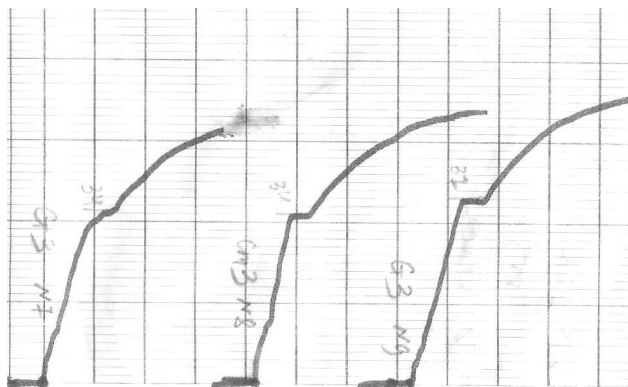


Рис. 2. Діаграма на розтяг зразків із сталі 3 /
Fig. 2. Chart tensile steel 3 samples

Сталь 10Г2ФБ мала практично збіжні діаграми розтягування із чітко вираженою областю зміцнення після закінчення пружної деформації. Пружна деформація на всіх діаграмах розтягування характеризується прямою похилою лінією, кут нахилу якої до горизонтальної осі характеризує модуль Юнга.

Зразки розірвалися посередині, при цьому мали відносне звуження, про що свідчать показники в таблиці 4 та візуальне спостереження.

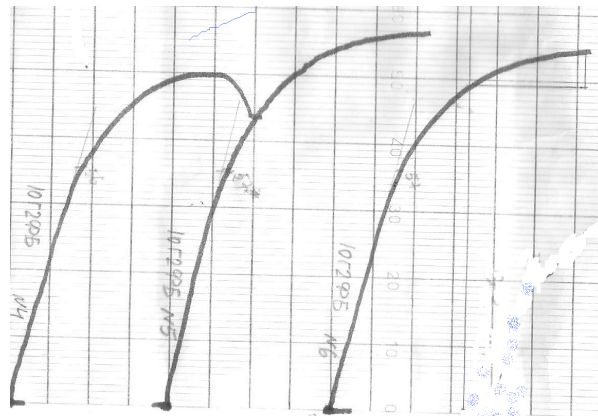


Рис. 3. Діаграма на розтяг зразків із сталі 10Г2ФБ /
Fig. 3. Chart tensile steel samples 10Г2ФБ

Таблиця 4

Значення випробувань циліндричних зразків із сталей 3, 09Г2 та 10Г2ФБ на розтяг /
Value cylindrical test samples of tensile steel 3, 09Г2 end 10Г2ФБ

Маркірування зразків	Темп. випр., °С	Межа міцності, МПа	Межа плинності, МПа	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Примітка
Ст. 09Г2						
1	+18	606	491	—	32.5	Розрив біля головки
2	+18	611	455	—	—	Розрив біля головки
3	+18	904	735	—	—	Розрив Біля головки
Ст. 10Г2ФБ						
4	+18	661	433	—	59	Розрив біля головки
5	+18	668	420	23	56	—
6	+18	668	435	24	58	—
Ст. 3						
7	+18	458	281	25.5	64	—
8	+18	451	280	25	53.5	—
9	+18	451	293	25	59.5	—

Аналіз кривих розтягувань досліджуваних сталей показав, що тільки сталь 10Г2ФБ має добре виражену область деформаційного зміцнення, яке дозволяє кількісно визначити підвищення межі текучості, яка може бути досягнена за рахунок пластичної деформації металу труби під час твердіння бетону усередині нього. Для кількісного розрахунку цього підвищення виходили з припущень, що ступінь пластичної деформації може складати приблизно 4 %, як це має місце у разі деформаційного зміцнення арматури.

Окрім економії металу, деформаційне зміцнення дозволяє підвищити ступінь стислості бетону в труобетонних конструкціях, за рахунок цього повинна підвищитись несна здатність труобетону. Кількісне підвищення несної здатності буде залежати від конкретного виду бетону, що заповнює трубу.

Область зміцнень деформації на рисунку 4 будемо вважати відповідною від початку запису кривої до точки, що відповідає межі текучості $\sigma_{0,2}$. Для пружної області максимальний ступінь деформації визначається за формулою $\delta = \sigma_{0,2}/E$ – модуль Юнга дорівнює 22 000 кг/мм², звідки отримуємо $\delta = 2$ %.

Цей розрахунок дозволяє нанести шкалу деформацій на горизонтальній осі рисунку 4.

Для визначення ступенів загальної деформації 2, 4 та 6 % на рисунку 4 проведено вертикальні лінії. Вертикалі СС' відповідає ступінь пластичної деформації 4 % та ступінь загальної деформації, який включає пружну 6 %. Для цього ступеня пластичної деформації запас міцності, який визначається величиною відрізка ДД', буду дорівнювати $7,72 \text{ кгс/мм}^2 * 8,2 \text{ мм} = 63,3 \text{ кг}$, що складає $63,3/438 = 14,4$ %.

Точці С відповідає межа текучості σ деформованою на 4 % сталі 10Г2ФБ, рівний $79 \text{ мм} * 7,72 \text{ кгс} = 609,88 \text{ кгс/мм}^2$. Це відповідає підвищенню межі текучості на $(609,88 - 438) / 438 = 0,39 = 39$ %. Це дозволяє суттєво зменшити витрату металу на виготовлення сталевих труб для труобетонних конструкцій. Підвищення межі плинності дозволяє зменшити на 39 % площу поперечного перерізу труби (рис. 4).

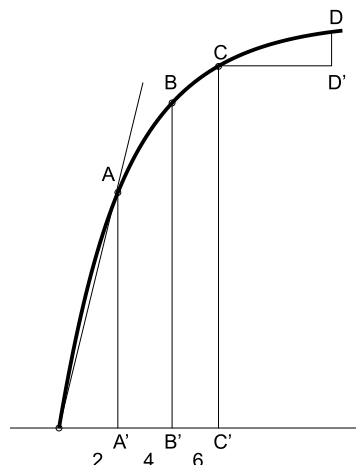


Рис. 4. Розрахунок виграву межі плинності сталевій труби труобетонної конструкції, за рахунок її пластичної деформації твердіючого бетону /
Fig. 4. Calculation of winnings limits yield trubobetonnoyi steel tube construction, due to its plastic deformation hardening concrete

Тому витрати металу на одиницю довжини труобетонної конструкції зменшуються на 39 %, що дозволяє суттєво понизити собівартість труобетонних конструкцій.

Висновки

Проведено порівняльні дослідження діаграм розтягнення трьох будівельних сталей.

1. Установлено, що найстабільнішу діаграму розтягування має сталь 10Г2ФБ.

2. Сталь 10Г2ФБ має найчіткіше виражену область деформаційного зміцнення.

3. Використання сталей 10Г2ФБ із застосуванням деформаційного зміцнення в межах пластичної деформації 4 % дозволяє зменшити поперечний переріз сталевих труобетонних конструкцій на 39 % порівняно з недеформованими, у процесі твердіння бетону в трубах із тієї ж сталі, і на 110 % порівняно зі Ст3.

4. При середній вартості однієї тонни Ст3 8 тис. грн і сталі 10Г2ФБ – 10 тис. грн застосування 1 т деформаційно зміцненої сталі 10Г2ФБ у труобетонних елементах дозволяє отримати економічний ефект 6 800 грн, тобто 68 % її вартості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шишков М. М. Марочник сталей и сплавов : Справочник. Изд. 3-е, дополненное / М. М. Шишков. — Донецк : Юго-Восток, 2002. — 456 с.
2. Труобетонные конструкции : монография / Л. И. Стороженко. — Киев : Будівельник, 1978. — 82 с.
3. Труобетонні конструкції промислових будівель : монографія / Л. И. Стороженко, В. Ф. Пенц, С. Г. Коршун. — Полтава : ПолтНТУ, 2008. — 202 с.
4. Труобетон : монографія / Л. И. Стороженко, Д. А. Єрмоленко, О. І. Лапенко. — Полтава : АСМІ, 2010. — 306 с.
5. Ефименко В. И. Определение оптимальных параметров труобетонных конструкций / В. И. Ефименко. — Криворіж. техн. ун-т. — Кривий Ріг, 2004. — С. 155–163.
6. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій : монографія / О. В. Семко, О. П. Воскобійник. — Полтава : ПолтНТУ, 2012. — 514 с.

7. Семко О. В. Особливості роботи трубобетонних конструкцій з локальними пошкодженнями труби-оболонки / О. В. Семко, О. П. Воскобійник, І. О. Пархоменко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. / Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. – Рівне, 2013. – Вип. 27. – С. 207–214.

REFERENCES

1. Shishkov M.M. *Marochnik stalej i splavov : Spravochnik* [Database of steels and alloys]. Donetsk : South-East Publ., 2002, 456 p. (in Russian).
2. Storozhenko L.I. *Trubobetonne konstrukcii* [Pipe-concrete constructions]. Kiev : Budivelnik Publ., 1978, 82 p. (in Russian).
3. Storozhenko L.I., Penc V.F. and Korshun S.G. *Trubobetonne konstrukcii promislovih budivel* [Pipe-concrete construction of industrial buildings]. Poltava : PoltNTU Publ., 2008, 202 p. (in Ukrainian).
4. Storozhenko L.I., Yermolenko D.A. and Lapenko O.I. *Trubobeton* [Pipe-concrete]. Poltava : ASMI Publ., 2010, 306 p. (in Russian).
5. Yefimenko V.I. *Opredelenie optimalnyh parametrov trubobetonnih konstrukcij* [Determination of the optimal parameters of pipe-concrete constructions]. Krivorizh. tehn. un-t, Krivij Rig, 2004, pp. 15–163. (in Russian).
6. Semko O.V. *Keruvannya rizikami pri proektuvanni ta ekspluatacii stalezalizobetonnih konstrukcij* [Risk management in the design and operation of structures of steel pipe-concrete constructions]. Poltava : PoltNTU Publ., 2012, 514 p. (in Ukrainian).
7. Semko O.V., Voskobijnik O.P. and Parhomenko I.O. *Osoblivosti roboti trubobetonnih konstrukcij z lokalnimi poshkodzhenniyami trubi-obolonki* [Features of pipe-concrete designs from local injuries pipe-shell]. Rivne, 2013, vol. 27, pp. 207–214. (in Ukrainian).

Стаття рекомендована до публікації д-ром техн. наук М. В. Савицьким (Україна); д-ром техн. наук, проф. С. А. Щербаком (Україна)

Надійшла до редколегії 17.01.2016

Прийнята до друку 01.02.2016