

Міністерство освіти України
Державна металургійна Академія України

На засадах рукопису

СТОРОЖЕНКО Ігор Анатолійович

ВИБІР МАРКИ СТАЛІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ
ОБРОБКИ ПОЛЕГШЕНИХ БАЛОНІВ ВЕЛИКОГО ТИСКУ ДЛЯ
ЗБЕРІГАННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗОВОГО ВОДНЮ НА ПІДСТАВІ
ДОСЛІДЖЕНЬ СТАЛІ ПРОТИ ВОДНЕВОЇ КРИЖКОСТІ

Спеціальність 05.16.01

"Металознавство і термічна обробка металів"

Автореферат
дисертації на здобуття вченого
ступіня кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 1995

Роботу виконано у Державному трубному інституті, ДТІ
м. Дніпропетровськ

Науковий керівник: доктор технічних наук

В. Н. ЗІКЕЕВ

Офіційні опоненти: професор, доктор технічних наук

В. І. БОЛЬШАКОВ

професор, кандидат технічних наук

В. К. ФЛОРОВ

Провідне підприємство: Харцизький державний трубний

завод, м. Харцизьк

Захист відбудеться 21 марта 1995 р. о 13³⁰ годині
на засіданні спеціалізованої Ради технологічного факультету
К. 0580202 при Державній металургійній Академії України за
адресою, 320635, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державної
металургійної Академії України.

Автореферат розісланий "17" февраля 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради
кандидат технічних наук,
доцент

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

П. Л. КЛИМЕНКО

ЛНБ України ім. В. Стефаніка
00777416 (W)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Розвиток науки і промисловості потребує застосування газового водню в багатьох галузях народного господарства. Транспортування водню та його зберігання здійснюється, головним чином, за допомогою балонів.

Головним напрямком створення балонів залишається принцип максимально-можливого зниження їх відносної ваги на 1 м^3 вмісту газу при одночасному підвищенні робочого тиску, що здобувається, головним чином, підвищенням міцності застосованого матеріалу. Одночасно з цим матеріал повинен забезпечити високий опір розвитку тріщин в умовах складнонапруженого стану, ударних, циклічних та імпульсних навантажень. Умови роботи водневих балонів ускладнюються крихкістним впливом водню на метал, ступінь якого знаходиться у прямій залежності від характеристик міцності матеріалу та робочого тиску.

Незважаючи на наявні теоретичні розробки та значну кількість робіт прикладного характеру в питань водневої крихкості, вирішення проблеми створення полегшених балонів для газового водню потребує проведення подальших комплексних досліджень.

Окрім цього залишаються невирішеними питання стосовно наукового обґрунтування позитивного вітчизняного досвіду тривалої експлуатації водневих балонів, що використовуються у народному господарстві.

Мета роботи. Створення полегшених балонів великого обсягу для водню на робочий тиск 40,0 МПа.

В роботі поставлені й вирішені такі задачі:

- дослідження металу балонів вітчизняного виробництва після експлуатації протягом тривалого часу і оцінка впливу контакту водню високого тиску на їх механічні та експлуатаційні властивості;
- пошук можливого показника, що характеризує стійкість металу балонів проти водневої крихкості;
- дослідження і вибір високоміцної марки сталі та режиму термічної обробки для виготовлення полегшених балонів за допомогою встановленого показника;
- розробка технології виготовлення полегшених балонів великого обсягу для водню на робочий тиск 40,0 МПа.

Теоретична цінність досліджень та їх наукова новина.

Вперше проведено комплексне вивчення впливу тривалої експлуатації на механічні та експлуатаційні властивості металу балонів із сталі "Д"(45) і 38ХА відповідно при робочому тиску 15,0 та 20,0 МПа, стійкості проти водневої крихкості та характеру їх руйнування.

Виявлено показник, що характеризує експлуатаційну надійність матеріалу у водневомістному середовищі підвищеного тиску, коли наявність технологічних концентраторів напруги стає особливо небезпечною.

Вивчено залежність змінення механічних властивостей і показника експлуатаційної надійності сталі марок 35ХНЗМФА, 35ХМБФ, 45ХМБФ у середовищі газового водню тиском до 40,0 МПа.

Для виробництва балонів великого обсягу розроблено і запропоновано термічнополіпшені марки сталі 35ХМБФ і 45ХМБФ, а також режими їх термічної обробки, що дозволяють

отримати високі показники механічних властивостей та високий опір водневій крихкості у середовищі газового водню під робочим тиском $P=40,0$ МПа.

Практична цінність. На основі експериментальних досліджень запропоновано нову технологію виробництва балонів великого обсягу для газового водню на робочий тиск $P=40,0$ МПа, що дозволяє використовувати засіб кування попередньо нагрітих кінців безшовних труб у штампах на пневматичному молоті для формостворення днищ та горловин із високоміцної конструкційної сталі 35ХНЗМФА.

Розроблено технологічні заходи, що підвищують експлуатаційну надійність балонів великого обсягу в умовах тривалої експлуатації.

Рівень реалізації та впровадження наукових розробок.

На виробничому об'єднанні "Барикади" впроваджено розроблену технологію виробництва полегшених балонів великого обсягу із сталі 35ХНЗМФА на робочий тиск газового водню 40,0 МПа. Це дозволило підвищити працездатність балонів мінімум на 40 %, але повного ресурсу ще не визначено.

Апробація роботи. Основні матеріали дисертації доповідались, обговорювались та отримали позитивну оцінку на таких наукових столах:

1. Всесоюзна конференція "Основні напрямки створення і удосконалення судів, апаратів, котлів і трубопроводів високого тиску", м. Іркутськ, 1991 р.
2. Науковий семінар Державного науково-дослідного і кон-

структорсько-технологічного трубного інституту (ДТІ), м. Дніпропетровськ (1992-1993 р.).

3. Науковий семінар СКТЕ ФМІ ім. Карпенка АН України, м. Львів. (1992 р.).

4. 1 Міжнародний семінар "Системи Метал-водень" (м. Донецьк, жовтень 1992 р.).

5. Об'єднаний науковий семінар кафедри МТО Державної металургійної академії України та відділу термічної обробки труб Державного науково-дослідного і конструкторсько-технологічного трубного інституту (ДТІ), м. Дніпропетровськ 1994р.

Публікації. Зміст головних розділів дисертації опубліковано в 2 статтях та 2-х тезах доповідей. Оригінальні технічні рішення захищено позитивним рішенням та отримано патент.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів (глав), висновків, списку літератури із 114 найменувань та 2 додатків. Роботу викладено на 139 сторінках друкованого тексту, вона вміщує 15 таблиць та 36 малюнків.

Декларація конкретного особистого вкладу дисертанта в розробку наукових результатів, що виносяться на захист.
Автором особисто виконані теоретичні та експериментальні дослідження, що дозволили винести на захист наступні положення:

1. Встановлено вплив тривалої експлуатації балонів із сталі "Д"(45) і 38ХА на механічні та експлуатаційні властивості, стійкості проти водневої крихкості та характеру їх

руйнування.

2. Вивчено залежність змінення механічних властивостей сталі марок "Д"(45), 38ХА, 35ХНЗМФА, 35ХМБФ, 45ХМБФ у середовищі газового водню при підвищенні тиску до 40,0 МПа.

3. Розроблено науково обгрунтовану методику оцінки експлуатаційної надійності матеріалу у водневовмісному середовищі високого тиску.

4. Вперше для виробництва полегшених водневих балонів запропоновано використання диференційної термічної обробки.

5. Запропоновані нові рішення для проведення термічної обробки балонів, що захищені 2-ма позитивними рішеннями Держкомвинаходів на видання авторських свідоцтв.

Характеристика методології, методів досліджень та об'єкта.

Значна частина роботи пов'язана з проведенням експериментальних досліджень. Об'єктом для дослідження були використані балони із сталі "Д"(45) і 38ХА після різних строків експлуатації (табл. 1,2). Матеріалом для перспективного виготовлення балонів були досліджені сталі марок 35ХМБФ та 45ХМБФ, розроблені спільно із ЦНДІЧорМет (м. Москва) і опанованої сталі 35ХНЗМФА у виробництві балонів.

Зразки для досліджень були виготовлені з промислових та лабораторних марок сталей, хімічний склад яких приведений у табл. 3. Дослідні сталі плавили у відкритій 50-кг індукційній печі. Зливки вагою 17 кг кували на прутки $d=14$ мм, різали на заготовки під розривні, ударні та корозійні зразки, що підлягали термічній обробці.

Механічні властивості і їх змінення після експлуатації оцінювали при стандартних випробуваннях зразків на розтяг

за ГОСТ 1497-73 та ударний вигин за ГОСТ 9454-78.

Випробування зразків у середовищі газового водню проводили на іспитових машинах типу ЕИ-40, сконструйованих і виготовлених в ДІМІ АН України спеціально для проведення випробувань на розтяг у газових середовищах високого тиску. Середовищем для випробувань використовували водень марки "А" за ГОСТ 3022-80.

Структуру досліджували за допомогою оптичного та електронного мікроскопів, поверхню руйнування - растрового електронного мікроскопу.

Вміст водню у метали визначали за методом вакуумної екстракції водню із зразка (атомний водень у незв'язаному стані) та методом відновлювального плавлення у вакуумі (повний вміст водню у метали).

Отримані результати оброблялись на ПЕОМ за допомогою інженерного пакету програм "SigmaPlot Scientific Cropping System" Version 4.01, Copyright(c) Sandel Corporation, 1986-1990.

Таблиця 1

Характеристика дослідних балонів

Роб. тиск, НГД	Марка МПа	Об'єм, стали	Об'єм, л	Розміри, м діам.	Розміри, м тов. ст.	Розміри, м довж.	Час, експ., р
ГОСТ 949-73	15,0	"Д" (Ст. 45)	40	0,219	0,0068	1,370	5,27,53
ГОСТ 9731-79	20,0	"З8ХА"	400	0,465	0,013	3,040	5,8,15

Таблиця 2

Хімічний вміст елементів металу балонів

Марка сталі	Масова частина елементів, %							
	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni	Cu
	0.486	0.64	0.20	0.078	0.020	0.016	0.023	0.08
"Д"	0.455	0.74	0.24	0.083	0.029	0.012	0.034	0.08
(Ст. 45)	0.505	0.55	0.22	0.10	0.028	0.023	0.15	0.6
ГОСТ 1050-74	0.42-0.50	0.50-0.80	0.17-0.37	н.б.	-	-	-	-
	0.424	0.76	0.25	0.93	0.022	0.012	0.04	0.07
38ХА	0.407	0.80	0.31	1.15	0.019	0.013	0.078	0.10
	0.428	0.64	0.33	1.10	0.018	0.013	0.05	0.12
ГОСТ 4543-71	0.35-0.42	0.50-0.80	0.17-0.35	0.80-1.00	-	-	-	-

Таблиця 3

Хімічний склад дослідних сталей

Марка сталі	Масова частина елементів, %											
	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	S	P	Nb	Ti	Al	Ni
35ХН3МФА	0.38	0.45	0.28	1.29	0.13	0.35	0.015	0.018	-	-	0.04	3.0
35ХМБФ	0.38	0.45	0.41	1.33	0.07	0.75	0.007	0.010	0.04	0.03	0.03	-
45ХМБФ	0.46	0.47	0.38	1.31	0.07	0.81	0.007	0.009	0.04	0.03	0.04	-

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність роботи, її мету та череду дослідних задач.

Теоретичні та практичні аспекти експлуатації матеріалів у середовищі газowego водню, технології виробництва та експлуатації балонів.

В першому розділі роботи наведено основні положення явища водневої крихкості металів та сплавів, приведена її структурна класифікація. Наведено дані про вплив кількості вмісту легованих елементів сталі та режиму термічної обробки на її стійкість проти водневої крихкості. Наведено марки сталі, їх склад, види термічної обробки, механічні властивості, що використовуються для виробництва водневих балонів у США і Англії. Обговорено можливі заходи, щодо підвищення стійкості сталі до водневої крихкості.

Виконано аналіз існуючих технологій виробництва безшовних балонів, їх особливості та вимоги до умов експлуатації водневих балонів у складі пересувних газових заправників.

Дослідження водневих балонів із сталі "Д"(45) і 38ХА після різних строків експлуатації.

Для вирішення поставленої задачі з газових заправників були зняті балони із сталі "Д"(45) і 38ХА на робочий тиск, відповідно, 15,0 і 20,0 МПа, що знаходились у експлуатації тривалий час. На зразках, що були вирізані із металу балонів, вивчали структуру, вміст водню, властивості при статичному розтягні та динамічному вигині у середовищі повітря, характеристики експлуатаційної надійності, механічні властивості.

вості у середовищі водню під тиском 40,0 МПа та у середовищі водню під тиском 40 МПа після попереднього наводнення.

В результаті дослідів встановлено, що в зразках металу балонів спостерігається чітка пропорційна залежність вмісту водню від рівня міцності використаної сталі, робочого тиску та часу їх експлуатації, але усі механічні властивості металу залишились відповідними до вимог стандартів. Також не було виявлено впливу водню, адсорбованого металом, при зниженні швидкості випробування зразків до $V_{сп} = 0,01$ мм/хв.

Випробування у середовищі водню показали, що з підвищенням тиску водню відбувається зниження характеристик міцності гладких зразків і особливо зразків із концентратором напруги. Найбільш стрімке зниження характеристик міцності (до 70 % загального зниження властивостей) спостерігається в області низького тиску (до 4 МПа). Комплексний аналіз результатів випробувань гладких зразків і зразків з надрізом (концентратором) у середовищі водню дали можливість запропонувати критерій оцінки експлуатаційної надійності використаного матеріалу. На зразках із дослідних марок сталі показник чутливості сталі до надрізу (σ_B^H / σ_B) був нижче одиниці при підвищенні тиску водню більш 25,0 МПа, що характеризувало стан металу, при якому наявність концентраторів напруги була особливо небезпечною.

Порівнянне визначення ступіню впливу водню, що контактує із поверхнею і водню, адсорбованого металом, показало, що попереднє наводнення металу менш впливає на розвиток процесу крихкості, ніж безпосередній контакт металу із воднем під високим тиском. Однак, неможливо виключити можливість того, що під час тривалої експлуатації балонів концентрація

дифузійнорухомого водню у матриці металу буде достатньою для розвитку процесу руйнування.

Вибір марки сталі і оптимальних режимів термічної обробки для водневих балонів.

Дослідження і вибір сталі для виробництва балонів проводили за результатами випробувань тривалої стійкості на зразках із сталі 35ХНЗМФА, 35ХМБФ, 45ХМБФ після електролітичного наводнення. Отримані результати свідчать, що тривала стійкість, по-перше, залежить від рівня міцності сталі і величини навантаження, по-друге, від системи легування. На підставі цього висновку, а також освоєння технології виробництва заготовки, труб і балонів із сталі 35ХНЗМФА, вирішили запропонувати її для виробництва водневих балонів. Сталі 35ХМБФ, 45ХМБФ запропоновано використовувати після освоєння технології виготовлення заготовок і труб із них.

З метою вибору оптимальних режимів термічної обробки балонів, проводили дослідження змін мікроструктури, механічних властивостей та схильність до водневої крихкості сталі 35ХНЗМФА після гартування і відпускання при температурах 610, 650, 680, 750 °С в середовищі водню під тиском до 40,0 МПа. Найбільший опір водневій крихкості чинила структура, здобута після гартування та відпускання 680 °С, що характеризувалась рівномірним розподілом дрібнодисперсних карбідів сферичної форми.

Конструкція безшовного балону, що виготовлений засобом кування, обумовлює різну товщину стінки по довжині виробу. Цей факт, а також відомі знижені навантаження у сферичній частині балону дали можливість запропонувати диференціальну

термічну обробку балонів.

Оцінка можливості та доцільності введення диференційної термічної обробки в технологічний процес виробництва водневих балонів із сталі З5ХНЗМФА проводили на виробничому об'єднанні "Барикади".

Одним із можливих шляхів підвищення працездатності водневих балонів є отримання високоякісної внутрішньої поверхні. Внутрішню поверхню горловин дослідних балонів розточували на глибину, що забезпечувало повне усунення аморшок. Всі балони витримали виробничі випробування.

Досконале дослідження по визначенню режимів десорбції водню із металу балонів при підвищених температурах дозволило розробити технологію десорбції водню із балонів і запропонувати її періодичне проведення під час експлуатації, що може бути ефективним засобом підвищення їх працездатності.

Натурні випробування балонів, що виготовлені за новою та існуючою технологіями та встановлення причин їх руйнування.

Оцінку ефективності застосування диференційної термічної обробки балонів, а також механічної обробки горловин проводили за результатами натурних статичних та циклічних випробувань. Проведення натурних випробувань балонів та комплексної оцінки їх працездатності здійснювали у складі газових заправників в умовах експлуатації споживача. Як прототип для порівняння використовували партію балонів, виготовлених за існуючою технологією виробництва для повітря на робочий тиск 40,0 МПа.

Особливу увагу приділяли випробуванням циклічного змінення тиску газового водню (1,0-40,0 МПа) у системі балонів

двох газових заправників. За базу випробувань було прийнято 250 циклів, що відповідає максимально-можливому числу циклів навантаження на протязі 10 років експлуатації. Усі балони, виготовлені за новою технологією, витримали випробування у повному обсязі. Випробування були припинені після 250 циклів, тому повного ресурсу працездатності балонів визначити не вдалось.

Із 7 балонів, що випробувались як прототип, 4 - руйнувалися на 84,115,178 та 189 циклі, після чого випробування на цьому заправнику були припинені.

Дослідження руйнованих балонів показали, що вміст водню у металі циліндричної частини досягав 12 мл/100 г, але механічні властивості повністю відповідали вимогам ТУ 14-3-883-79. Тільки зниження швидкості навантаження зразків дозволило визначити шкідливий вплив відносно високого вмісту адсорбованого водню у металі (відносне звуження сталі було знижено на 5-10 %).

Таким чином, дослідження металу горловин руйнованих балонів дозволило визначити причини їх руйнування та встановити такі закономірності: всі балони зруйновані по зморшках кування; глибина зморшок та ступінь їх розкриття не виявляється обумовленим фактором процесу руйнування; характер поверхні руйнування свідчить про уповільнений процес руйнування, що відбувається поступово; корозійне окислення поверхні зломів, а також сліди конденсату свідчать про присутність вологи у балонах, що при циклічних навантаженнях звичайно викликає електрохімічні процеси, що мають схильність до розвитку руйнування.

Загальні висновки.

1. На підставі вивчення механічних та експлуатаційних властивостей сталей, що освоєні у виробництві балонів та перспективних марок, розроблено нову технологію виробництва балонів великого обсягу на робочий тиск газового водню 40,0 МПа з обумовленим значенням відносної ваги.

Експлуатація полегшених балонів великого обсягу у складі пересувних газових заправників дала змогу більш ефективно вирішувати питання транспортування та зберігання газового водню, наповнення газом різних об'єктів у споживачів та його тривалого зберігання без застосування спеціального устаткування.

2. Після тривалої експлуатації балонів із сталі "Д"(45) Рроб-15,0 МПа, сталі 38ХА Рроб-20,0 МПа та їх вилежування в умовах відкритого парку, встановлено чітку пропорційну залежність вмісту адсорбованого водню у металі від часу їх експлуатації. Темпи приросту адсорбованого водню у металі балонів за кожні 5 років експлуатації складають відповідно 0,3 та 2 мл/100 г для сталі "Д"(45) та 38ХА.

Тривалість контакту металу сталі "Д"(45) та 38ХА з воднем під високим тиском не виявила помітного впливу на стандартні механічні властивості ($\sigma_s, \sigma_{0.2}, \delta_5, \psi$).

3. У середовищі газового водню на зразках із сталі "Д"(45) та 38ХА визначені основні закономірності впливу тиску газового водню на властивості сталі. Істотне зниження механічних властивостей дослідних марок сталі встановлено в області низького тиску водню (до 4,0 МПа), після чого їх значення стабілізується. Як що у сталі "Д"(45) зниження властивостей складає до 30 %, то у сталі 38ХА воно було до

60 % від загального зниження механічних властивостей.

4. Вивчення закономірностей впливу газового водню на механічні властивості дослідних марок сталі дало змогу визначити показник чутливості сталі до надризу, що характеризує конструкційну надійність матеріалу у середовищі водню підвищеного тиску, коли наявність технологічних концентраторів напруги стає особливо небезпечною.

Показник чутливості сталі до надризу у середовищі водню під тиском 40,0 МПа для сталі "Д"(45) та 38ХА, відповідно, складає $\sigma_s^H/\sigma_s = 0,98$, та $\sigma_s^H/\sigma_s = 0,85$.

5. На підставі вивчення закономірностей впливу легуючих елементів та структури на опір водневій крихкості, для водневих балонів розроблені леговані термічнопокрашені марки сталі 35ХМБФ, 45ХМБФ і режими їх термічної обробки (Г. 880 + Відп. 680 °С), що дають змогу отримати більш високі та стабільні механічні властивості у середовищі газового водню під тиском 40,0 МПа відповідно ($\sigma_s = 1050 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_s = 1140 \text{ Н/мм}^2$).

6. В результаті проведення досліджень запропонована технологія виробництва балонів великого обсягу із освоєної сталі 35ХМБФ; формостворення днищ та горловин балонів здійснюється способом кування; термічна обробка балонів - Г. 880 + Відп. 610 °С, для забезпечення стійкої мікроструктури в області горловини проводиться їх відпускання на довжині $l=400 \text{ мм}$, $t=500 \text{ °С}$; механічна обробка внутрішньої поверхні горловин - для виведення технологічних концентраторів.

7. В результаті проведених досліджень на виробничому об'єднанні "Барикади" вперше за розробленою технологією освоєно виробництво полегшених балонів великого обсягу із сталі 35ХМБФ на робочий тиск газового водню 40,0 МПа. Ви-

робництво балонів із сталі 35ХМБФ та 45ХМБФ запропоновано провести після освоєння виробництва заготовок та труб.

8. Дослідження адібності сталі 35ХНЗМФА до десорбції водню, інтенсифікованого при підвищених температурах, дозволило запропонувати засіб підвищення працездатності балонів у процесі тривалої експлуатації.

Режим вилежування ($t=500^{\circ}\text{C}$, $\tau=40$ хв.) балонів великого обсягу при підвищених температурах розроблено і освоєно на устаткуванні термічних засобів виробничого об'єднання "Барикади".

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

ОПУБЛІКОВАНО У НАСТУПНИХ РОБОТАХ:

1. Бейлинова Т. А., Стороженко И. А., Белосточный В. В. и др. Исследование металла автомобильных баллонов после эксплуатации в различных регионах. МИТОМ, N 4, 1992г.

2. Бейлинова Т. А., Стороженко И. А., Василенко Е. Н. и др. Влияние длительности хранения водорода на свойства баллонов высокого давления. МИТОМ, N 3, 1993г.

3. А. с. N 1818847, по заявке N 498056 от 16.04.91. В. М. Маркевич, Т. А. Бейлинова, И. А. Стороженко и др. Способ термической обработки баллонов из конструкционной стали.

4. А. с. по заявке N 4949663 от 25.06.91. Положительное решение от 21.02.92. Патент Российской Федерации N 2015178. Т. А. Бейлинова, Е. А. Близнюков, И. А. Стороженко и др. Способ термической обработки водородных баллонов высокого давления из легированных сталей.

5. Бейлинова Т. А., Жарко В. П., Стороженко И. А. и др. Работоспособность автомобильных баллонов для сжатого природно-

го газа. Всесоюзная конференция "Основные направления создания и совершенствования сосудов, аппаратов, котлов и трубопроводов высокого давления." Иркутск, июнь 1991 г.

Б. Стороженко И. А., Бейлинова Т. А., Левина И. Н., Пархоменко Е. Н. "Пути повышения эксплуатационной надежности стальных баллонов для хранения газообразного водорода". 1-й Международный семинар "Диффузионно кооперативные явления в системах металл - изотопы водорода", "Металл - водород 92" Донецк, 15-19 сентября 1992г.

АННОТАЦИЯ

I. A. Storozhenko. Selection of steel grades and optimization of their heat treatment for light - weight, high - pressure cylinders for storage and transportation of hydrogen gas on the basis of investigation of steel resistance to hydrogen embrittlement.

Disserta for the academic degree of Candidate of Science (Techn.) in physical metallurgy and heat treatment of metals (code 05.16.01); State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1995.

The background of the dissertation comprises 4 research works and one patent of Russian Federation which contain theoretical research on the development and implementation of the process of making high - capacity, high - pressure (40 MPa) cylinders of high - strength structural steel for hydrogen gas.

The proposed process has been been industrial implemented with the results of 40 percent longer service life of gas cylinders.

Key words: seamless cylinders, heat treatment, mechanical properties, metal structure, hydrogen, hydrogen embrittlement.

Стороженко И. А. Выбор стали и оптимизация режимов термической обработки облегченных баллонов высокого давления для хранения и транспортировки газообразного водорода на базе исследования стойкости материала против водородной хрупкости.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - "Металловедение и термическая обработка металлов", Государственная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, 1995 г.

Защита 4 научных работы и два положительных решения, которые содержат теоретические исследования по разработке и освоению технологии производства баллонов большого объема для газообразного водорода на рабочее давление 40,0 МПа из высокопрочной конструкционной стали.

Осуществлено промышленное внедрение предложенной технологии, что позволило увеличить работоспособность баллонов минимум на 40 %.

Ключевые слова: бесшовные баллоны, термическая обработка, механические свойства, структура, водород, водородная хрупкость.

Подписано к печати 05.02.95

Формат 60x84/16. Бумага типограф. № 2. Печать офсетная.

Физ. п. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,6. Усл. п. л. 0,86.

Тираж 100 экз. Заказ 1092.

Государственный трубный институт ГТИ (ВНИТИ)
320600, Днепропетровск, ул. Писаржевского, 1-А.

1150700

AB 31.905

AB 31.905