



ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Грузін Наталії Вячеславівни на тему: «**Формування структури, текстури та властивостей труб у сплавах титана на різних стадіях виробництва**», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство

Актуальність обраної теми

Дисертаційна робота Грузін Н. В. присвячена дослідженню процесу формування структури, текстури та властивостей труб на всіх технологічних етапах їх виготовлення зі сплаву Ti-3Al-2,5V.

Труби з титанових сплавів знайшли широке застосування як конструкційний матеріал у сучасному авіабудуванні, аерокосмічній техніці. У гідравлічних системах сучасних цивільних і військових літаків використовуються безшовні труби із титанового сплаву Ti-3Al-2,5V. Фірми “Boeing” та “Airbus” є основними споживачами труб із даного сплаву.

Труби виготовляються в Україні за зарубіжними стандартами ASM, ASTM і мають високі вимоги до властивостей і текстури труб, яка забезпечує їх підвищену експлуатаційну надійність. Забезпечення вимог стандартів потребує побудову технологічних процесів, які ґрунтуються на створенні у процесі деформування певних типів кристалографічної текстури, що впливає на механічні і технологічні властивості і забезпечує питому міцність у процесі експлуатації.

В останні роки з'явилися нові вимоги до труб, які відображені в нових стандартах. Так раніше вимоги до текстури труб були відсутні у нормативній документації на труби. Для збільшення ресурсу роботи труб потрібно певне поєднання механічних і структурних характеристик, а також створення відповідної текстури труб.

Створення певного типу текстур у виробництві труб з титану є новим завданням для трубної галузі, вирішення якої потребує проведення систематичних наукових, експериментальних і технологічних досліджень. Для українських

Вис. №37 - 05/56
9.04.2021

заводів – виробників титанових труб, це є досить актуальною задачею. Тим більше, що треба поєднати створення певних типів структури, властивостей та текстури, а також технологічних властивостей титанових труб. Таким чином, дисертаційна робота, яка спрямована на розвиток наукових основ формування структури, властивостей та текстури у технологічному процесі виготовлення труб у промислових умовах, є актуальною і сприяє вирішенню важливої науково-практичної задачі.

Ступень обґрунтованості, повнота і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Отримані дисертантом наукові результати, сформульовані принципи і висновки мають наукову значимість та практичну цінність.

У роботі проведені як експериментальні дослідження, так і дослідження у промислових умовах на заводі-виробнику титанових труб. Використано сучасні методи дослідження для оцінки процесів формування структури, властивостей та текстури у технологічному процесі виготовлення труб.

Достовірність отриманих результатів у цілому, пояснення наукових положень, висновків і рекомендацій, які впливають з роботи, не викликають ніяких сумнівів. Вони підтверджені у роботах інших дослідників, апробовані на авторитетних міжнародних і українських наукових конференціях, семінарах, опубліковані у фахових виданнях. Особливо слід відмітити, що багато експериментів проведено у промислових умовах. Результати перевірено при виготовленні труб, що пройшли усі випробування і були здані згідно з технічними вимогами зарубіжних стандартів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі матеріалознавства та обробки матеріалів Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Авторка була виконавицею низки договірних науково-дослідних робіт: «Оцінка кристалографічної текстури труб із сплаву титану в залежності від технології виробництва» (договір № 618 від 03.01.2014 р.); «Вплив схеми деформованого стану титанового сплаву на

формування текстури труб» (договір № 2016/55 (924) від 24. 03. 2016 р.); «Оцінка впливу параметрів технологічного процесу виготовлення труб із сплаву титану на формування структури, кристалографічної текстури, механічних властивостей та розробки і надання рекомендацій щодо уточнення параметрів технологічного процесу» (договір №449/243 2019 від 10. 10. 2019 р.), а також держбюджетної теми кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів: «Розробка інноваційних технологій виробництва низьколегованих сталей з використанням нанодисперсних модифікаторів на металургійних підприємствах України» (2018–2020 р.р., № держреєстрації 0118U10033).

Загальна характеристика змісту дисертації

Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 135 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 160 сторінок, у тому числі 111 сторінок основного тексту, 52 рисунки і 23 таблиці.

У вступі обґрунтовано вибір та актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, вказано на зв'язок роботи з науковими програмами та темами; визначено особистий внесок здобувачки та наведено відомості про апробацію та публікації результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі наведено огляд попередніх досліджень з тематики особливості кристалічної решітки і пластичної деформації титану та його сплавів. Розглянуто вплив легуючих елементів на склад і структуру титану. Проаналізовано вимоги до труб, що використовуються у літакобудуванні для гідросистем літаків, а також сучасні технології виготовлення труб з титану та його сплавів. Аналіз літературних джерел показав недостатність матеріалів щодо принципів деформування титану та його сплавів при виготовленні труб. Як правило, у літературі розглянуті процеси деформування при виготовленні листів. Нові вимоги до труб гідравлічних систем літаків потребують нових підходів до технологічного процесу їх виготовлення.

У другому розділі наведено хімічний склад досліджених титанових сплавів,

використані методи та устаткування для проведення досліджень. Матеріалом дослідження було обрано труби зі сплаву титану Ti-3Al-2,5V та конструкційного сплаву ПТ-1М.

Застосовано сучасні методи дослідження: металографічний та рентгеноструктурний методи аналізу, растрова електронна мікроскопія, методи вимірювання коефіцієнту відносного стиснення, твердості та комплексу механічних і технологічних властивостей, а також оцінка залишкових напружень.

У роботі виконано великий об'єм досліджень при визначенні текстури труб на всіх технологічних переділах і побудови зворотних полюсних фігур (ЗПФ), а також оцінки параметрів Кернса.

У **третьому розділі** наведені результати дослідження формування структури, властивостей та текстури труб на стадії після гарячого пресування. Традиційно технологія виготовлення труб передбачає вакуумну виплавку сплаву, кування, пресування і серію холодних прокаток з проміжними вакуумними відпалами або іншими видами термічної обробки. У роботі проведено порівняльні дослідження пресованих заготовок від двох виробників, яке показало, що пресування відбувається у β області або в $\alpha+\beta$ області при температурах 680...980 °С в залежності від планованого ступеню обтиску та потужності пресу. Важливою складовою режиму пресування є швидкість деформації. При низьких швидкостях пресування формується більш рівномірна структура по стінці і довжині пресованої труби. Показано, що на стадії пресування формується двокомпонентна текстура: радіальна і тангенціальна, причому переважно тангенціальна складова. Сформована на цій стадії гарячій деформації текстура стійка і успадковується на наступних стадіях деформування.

У **четвертому розділі** наведено результати дослідження по формуванню структури властивостей та текстури на стадії холодної деформації до готового розміру труб. Встановлена залежність впливу ступеня деформації та її розподілу по стінки і діаметру на формування текстури труб. Оцінено взаємозв'язок між коефіцієнтом відносного стиснення (CSR) і відносним видовженням, а також механічними властивостями. У готових трубах зростає кількість радіальної

текстури до 59 %. Збільшення ступеня деформації на останньому проході пластичної деформації до 80 % і підвищення обтиску по стінці збільшує кількість радіальної текстури, що підвищує експлуатаційні властивості труб.

У п'ятому розділі розглянуті питання термічної обробки при виготовленні труб, а саме гартування пресованих труб, термічна обробка на різних етапах виготовлення, рекристалізаційний відпал та відпал для зняття залишкових напружень (стан CWSR). Встановлено, що термічна обробка кардинально не змінює текстури труб.

Найбільш важливими результатами роботи, що мають наукову новизну, слід вважати:

- отримано подальший розвиток уявлення про закономірності формування структури, властивостей і текстури на різних етапах виготовлення труб зі сплаву Ti-3Al-2,5V.

Формування структури, властивостей і різних типів текстури, а саме, радіальної та тангенціальної, впливають на характер зміцнення і технологічні властивості труб. Раніше такі дослідження були проведені тільки на стадії гарячого деформування шляхом пресування. Систематичні дослідження формування структури, властивостей, текстури, її спадковості для сплаву титану Ti-3Al-2,5V під час усього процесу виготовлення титанових труб від заготовки до готової труби раніше не проводилися.

- вперше експериментально встановлено та одержано кількісну оцінку, із застосуванням параметрів Кернса, текстурні характеристики (кількості складових радіальної та тангенціальної текстури) труб з титанового сплаву на всіх етапах трубного виробництва: у трубній заготовці, після гарячої деформації пресуванням та на різних етапах подальшої холодної деформації, а також після термічної обробки.

Раніше такі дані не були відомі. Встановлено, що трубна заготовка після кування та пресування текстурована і має як радіальну, так і тангенціальну складову текстури (37...45 % і 48...52 % відповідно). Простежується спадковість вихідної текстури. Подальша холодна деформація збільшує вміст радіальної текстури на

5...10 %. Важливим фактором при цьому є загальний ступінь деформації та розподіл деформації по стінці та діаметру труби. Встановлено, що термічна обробка практично не змінює текстури труб.

- вперше встановлено зв'язок між параметрами деформації: загальним ступенем деформації і співвідношенням обтиску по стінці і діаметру труби (коефіцієнт Q) та коефіцієнтами відносного стиснення і параметрами текстури.

Раніше такі дані не були відомі. Це дозволило уточнити режими холодної деформації труб: рекомендовано на останніх проходах холодної прокатки збільшити загальний ступінь деформації до 80...85 % і переважну деформацію здійснювати по товщині стінки, що дозволить активізувати процеси двійникування. Доведено, що коефіцієнт Q має бути не менш 3; при цьому збільшується кількість радіальної складової текстури до 65...70 %, що забезпечує рівень механічних, технологічних властивостей і величину коефіцієнту відносного стиснення труб відповідно до підвищених вимог нормативних документів і споживачів.

- вперше встановлено оптимальне значення коефіцієнту відносного стиснення, що характеризує текстуру при виготовленні труб із сплаву титану Ti-3Al-2,5V.

Показано, що коефіцієнт відносного стиснення 1,3...3,5, визначений у нормативній документації, не завжди забезпечує необхідний комплекс властивостей, як механічних, так і особливо технологічних. Оптимальним коефіцієнтом відносного стиснення, що характеризує текстуру при виготовленні труб, є 1,5...2,5. За більш високих його показниках ряд труб не витримують технологічні випробування, а також мають більш високий, у порівнянні з вимогами, рівень механічних властивостей.

- доведено, що відпал холоднодеформованих труб із сплаву титану Ti-3Al-2,5V, який проводять для зняття залишкових напружень (стан CWSR – Cold Worked Stress Relieved), не впливає на зміну їх текстури.

Для подальшої роботи з трубами для виготовлення вузлів гідросистем літаків потрібна термічна обробка. Вибрано режим CWSR для зберігання властивостей і текстури, які забезпечують експлуатаційні властивості.

Практичні результати роботи, рівень і ступінь впровадження

- Позитивною якістю дисертаційної роботи Н. В. Грузін є те, що на основі виконаних у роботі досліджень, аналізу отриманих результатів та їх наукового обґрунтування розроблено та запропоновано рекомендації для промислового виробництва труб зі сплаву титану Ti-3Al-2,5V (Grade 9). Рекомендації з удосконалення технологічного процесу у промислових умовах впроваджено при виготовленні труб з титанових сплавів на ТОВ ВО «ОСКАР», м. Дніпро і м. Нікополь, що підтверджено відповідним актом впровадження від 11. 11. 2019 р.

- Результати роботи впроваджено у навчальний процес на кафедрі матеріалознавства та обробки матеріалів ДВНЗ ПДАБА при вивченні дисциплін: «Кольорові метали та сплави», «Недосконалість кристалічних решіток та фізика міцності» та «Фізичні властивості і методи дослідження матеріалів», акт впровадження від 12. 01. 2021 р.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях. Апробація результатів дисертації

Основні положення та результати дисертації опубліковані в 15 наукових працях, у тому числі 9 статей – у наукових фахових виданнях України (1 – одноосібно, 2 – у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS; 1 стаття у зарубіжному виданні, 6 тез доповідей у матеріалах конференцій.

Основні наукові положення та результати досліджень достатньо апробовані, доповідалися на міжнародних науково-практичних конференціях. Об'єм дисертаційної роботи, результати та документи, що підтверджують практичне значення роботи, рівень наукових публікацій свідчать про завершеність роботи.

Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам

Дисертація та автореферат оформлені згідно з діючими вимогами. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 - матеріалознавство. Автореферат за змістом є ідентичним основним положенням дисертації

Основні зауваження щодо змісту роботи

1. У сплаві титану Ti-3Al-2,5V (Grade 9) крім α -фази в залежності від термічної обробки присутні інші фази, але у роботі не наведено данні о їх характеристиках.

2. Однією із задач дисертаційної роботи було простежити формування текстури труб та її спадковість. Ця задача виконана, досліджено текстурний стан труб на кожному технологічному переділі, однак результати слід було представити більш наглядно з використанням графічного матеріалу.

3. В роботі не встановлено, кількісну оцінку відповідності відсоткового вмісту тангенціальної і радіальної текстури від коефіцієнту відносного стиснення (KBC, CSR), який згідно зі стандартом на труби, характеризує текстуру металу.

4. У дисертаційній роботі багато скорочених термінів, що ускладнює сприйняття матеріалу. Потрібно було винести терміни на окремий лист.

В іншому стосовно тексту роботи, графіків, таблиць, фото тощо матеріали представлені згідно вимог до оформлення дисертацій та не мають суттєвих зауважень. В цілому якість оформлення дисертаційної роботи достатньо добра. Вказані тут зауваження не є визначальними і загалом не істотно впливають на оцінку головних теоретичних та практичних результатів дисертації, не зменшують якості цього актуального і корисного дослідження.

Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертація Грузін Н. В. на тему: «Формування структури, текстури та властивостей труб у сплавах титана на різних стадіях виробництва» є

завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій одержано нові науково-обґрунтовані результати, що полягають у теоретичному узагальненні та вирішенні науково-практичної задачі з вдосконалення технологічного процесу виготовлення труб зі сплаву титану Ti-3Al-2,5V для гідросистем літаків.

Робота викладена грамотно, науково-технічною мовою, добре проілюстрована.

Дисертаційна робота за актуальністю, змістом, науковою новизною, практичним значенням, достовірністю та обґрунтованістю одержаних результатів, повнотою опублікування результатів у наукових фахових виданнях, обсягом і оформленням відповідає основним вимогам до кандидатських дисертацій та відповідає всім вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 19.08.2015 р.

Вважаю, що дисертація заслуговує високої оцінки, а її авторка Грузін Наталія Вячеславівна – присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство. Технічні науки (13 – Механічна інженерія).

Офіційний опонент –
завідувач кафедри «Обладнання
та технологія зварювального виробництва»
Національного університету
«Запорізька політехніка»
доктор технічних наук, професор

О.В. Овчинников

Підпис О.В. Овчинникова засвідчую
Учений секретар
Національного університету
«Запорізька політехніка»
кандидат соціологічних наук, доцент



В. В. Кузьмін