

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ПРЕСОВАНИХ ТРУБ ІЗ СПЛАВУ ТИТАНУ

Грузін Н.В., асистент, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Анотація. Титанові труби з сплаву Gr9 це труби відповідального призначення, які використовуються у гідросистемах сучасних літаків, тому до технології їх виготовлення пред'являють жорсткі вимоги. Запропоновано новий елемент технологічного процесу гартування у воду пресованих труб замість охолодження на повітрі. Оцінена можливість проведення гартування труб безпосередньо з пресу. Досліджено мікроструктуру та механічні властивості труб. Встановлено, що рівень властивостей, структура труб після пресування і гартування дозволяє проводити подальшу холодну пластичну деформацію труб прокаткою. Експеримент проведено у промислових умовах. Показана ефективність процесу гартування, що дозволяє поліпшити поверхню труб, зменшити кількість створення окалини та зменшити видатковий коефіцієнт металу. Після гартування труби прокатані на готовий розмір по існуючій технології і здані відповідно діючим стандартам.

Ключові слова: труби, сплави титану, пресування, гартування, структура, властивості.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЗАКАЛКИ ТРУБ ИЗ СПЛАВА ТИТАНА

Грузин Н.В., ассистент, ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. Титановые трубы из сплава Grade9 являются трубами ответственного назначения, которые используются в гидросистемах современных самолетов, поэтому к технологии их изготовления предъявляются жесткие требования. Предложен новый элемент технологического процесса закалка в воду пресованных труб вместо охлаждения на воздухе. Оценена возможность проведения закалки труб непосредственно из прессы. Исследованы микроструктура и механические свойства труб. Установлено, что уровень свойств, структура труб после прессования и закалки позволяет проводить дальнейшую холодную пластическую деформацию труб прокаткой. Эксперимент проведен в промышленных условиях. Показана эффективность процесса закалки, что позволяет улучшить поверхность труб, уменьшить количество образования окалины и уменьшить расходный коэффициент металла. После закалки трубы прокатаны на готовый размер по существующей технологии и сданы в соответствии с действующим стандартам.

Ключевые слова: трубы, сплавы титана, прессование, закалка, структура, свойства.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF QUENCHING PIPES MADE OF TITANIUM ALLOY

Hruzin N.V., assistant, State Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture"

Abstract. The purpose of the work is to determine the possibility of quenching pipes made of titanium alloys after pressing. To evaluate the level of properties and structure of pipes after quenching, which will ensure further cold rolling research Methods used metallographic methods research-optical microscopy, tensile testing of pipes to assess mechanical properties, Brinell and Rockwell hardness measurements. Results the structure and mechanical properties of pipes made Gr 9 and PT-1M titanium alloys after pressing and quenching in water were studied in comparison with air cooling. The possibility of quenching pipes after pressing is shown. The level of mechanical properties and type of structure allows for subsequent plastic deformation of pipes by cold rolling methods. After quenching, the tube should be thermally treated. **Scientific novelty** the influence of quenching after pressing on the structure and mechanical properties of pipes made of titanium alloys has been established. The possibility of quenching pipes after pressing is shown. **Practical significance** the Established possibility of the quenching process allowed in the technological process of manufacturing titanium pipes to improve the surface quality of pressed pipes, avoid the operation of turning and thereby reduce the consumption coefficient of the metal.

Key words: pipes, titanium alloy, pressing, quenching, structure, properties.

Вступ

Титанові сплави є основним конструкційним матеріалом, який має високу питому міцність, корозійну стійкість, технологічність при виготовленні виробів, зокрема труб. Труби з титану та його сплавів широко використовуються в аерокосмічній техніці і тому мають високі вимоги до їх якості. Виробники труб постійно удосконалюють технологію виробництва труб з титану [1, 2].

Традиційна технологія виготовлення труб включає: виплавку металу у вакуумі, ковку, або гарячу прокатку, пресування, серію холодних прокаток з проміжними відпалами. Після гарячого пресування при охолодженні на повітрі труби мають низьку якість поверхні, на поверхні створюється окалина, яку треба вилучити механічною обробкою або травленням. Введення додаткової операції призведе до збільшення витратного коефіцієнту металу. Тому можливість використовувати гартування з охолодженням у воду пресованих труб – представляє як науковий, так і практичний інтерес.

Матеріал та методика досліджень

Матеріалом для дослідження обрані сплави титану Gr 9, ПТ 1М. Хімічний склад яких наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Хімічний склад досліджуваних сплавів

Досліджувані сплави	Масова частка елементів, %											
	C	H	Fe	O	Al	V	N	Ti	Si	Zr	Інші домішки (кожен)	Інші домішки (всього)
Grade9	<0,05	<0,015	<0,25	<0,12	2,5 – 3,5	2,0 – 3,0	<0,02	осн.	-	-	<0,1	<0,4
ПТ-1М	≥0,07	-	≥0,2	≥0,12	0,2 - 0,7	-	≥0,04	осн.	≥0,1	≥0,3	<0,1	<0,3

Труби після пресування охолоджували на повітрі та у воді. Проводили порівняльні дослідження структури і механічних властивостей, а також послідовно прокатку труб до готового розміру.

Мікроструктуру досліджено на оптичному мікроскопі AXIOVERT 40. Механічні випробування виконано згідно ГОСТ 10006-80. Твердість зразків заміряли по Брінеллю і Роквеллу.

Результати досліджень

Сплав ПТ-1М. Після пресування при температурі 950⁰С в β - області труби охолоджували на повітрі і гартували у воду. Проводили порівняльні дослідження.

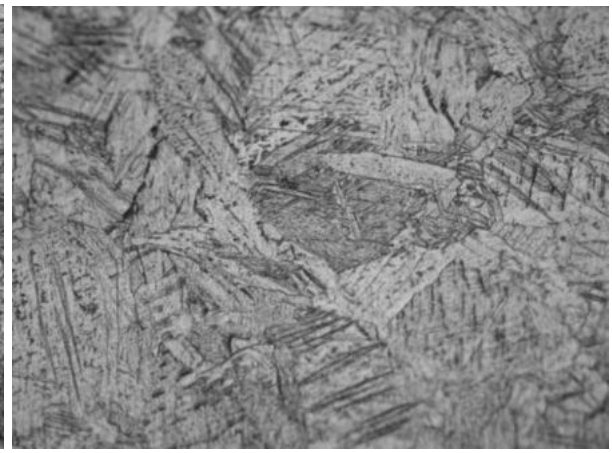
В результаті гартування із β - області в сплавах титану в залежності від вмісту легуючих елементів і домішок можуть утворюватися наступні метастабільні фази: α', α'', ω, β_n [3,4].

Дослідження структури виконано на зразках труб у поздовжньому напрямку по товщині стінки: на зовнішній поверхні, у середині та на внутрішній поверхні.

Структура зразків після охолодження. на повітрі представлена на рис.1 (а, б, в).

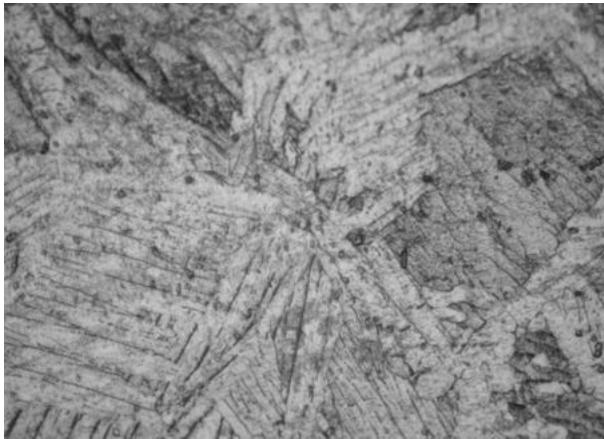


x100



x200

Рисунок 1а - Мікроструктура сплаву ПТ-1М після пресування і охолодження на повітрі (зовнішня поверхня)

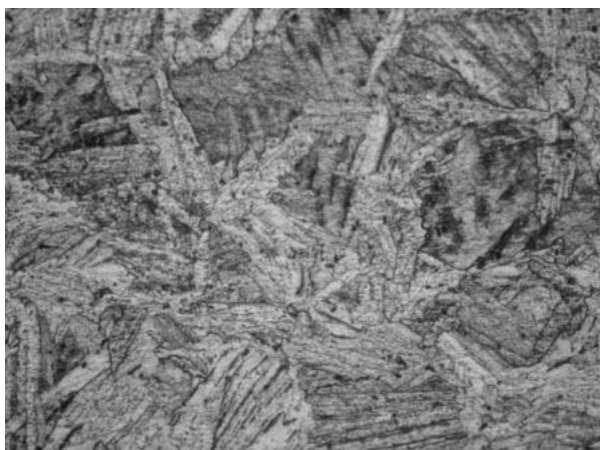


x100



x200

Рисунок 1б - Мікроструктура сплаву ПТ-1М після пресування та охолодження на повітрі (середина стінки)



x100



x200

Рисунок 1в - Мікроструктура сплаву ПТ-1М після пресування та охолодження на повітрі (внутрішня поверхня)

Структура грубозерниста з крупними β -зернами з пластинами α -фази у середині. Структура неоднорідна по товщині стінки. У зовнішній поверхні зерно більш дрібне, частково зустрічаються ділянки деформованої, орієнтованої вздовж напрямку прокатки та частково ре-кристалізованої структури. Низька швидкість охолодження та висока температура і достатня ступень деформації приводе до розвитку процесів рекристалізації. Визначну роль відведено процесам правки, що припускає окремі дослідження.

У середині товщини стінки пластини β -фази більш грубі, спостерігаються оторочка зерен прошарками α -фази (рис. 1б) Середина стінки деформується у меншому степені ніж зовнішня. Спостерігаються лінії ковзання. Зерна також крупні. У середині пластини α -фази (рис. 1в). На внутрішній поверхні труби структура також крупнозерниста після перекристалізації і деформації.

Сплав ПТ-1М після гартування. Після гартування у структурі сплаву виникли нерівновісні мартенситні фази. Найбільша кількість α' -фази, яка сформувалася з β -фази в результаті бездифузійного мартенситного перетворення [4]. Оскільки сплав ПТ-1М мало легований β -стабілізаторами, то вірогідність створення других фаз- α'' , ω досить низька. α' -фаза представляє собою пересичений твердий розчин легуючих елементів у α -титану. Вона, як і α -фаза, має гексагональну решітку по аналогії з мартенситом у сталях. Мікроструктура труб голчата відображена на рис.2 а, б, в. В порівнянні з структурою після охолодження на повітрі.

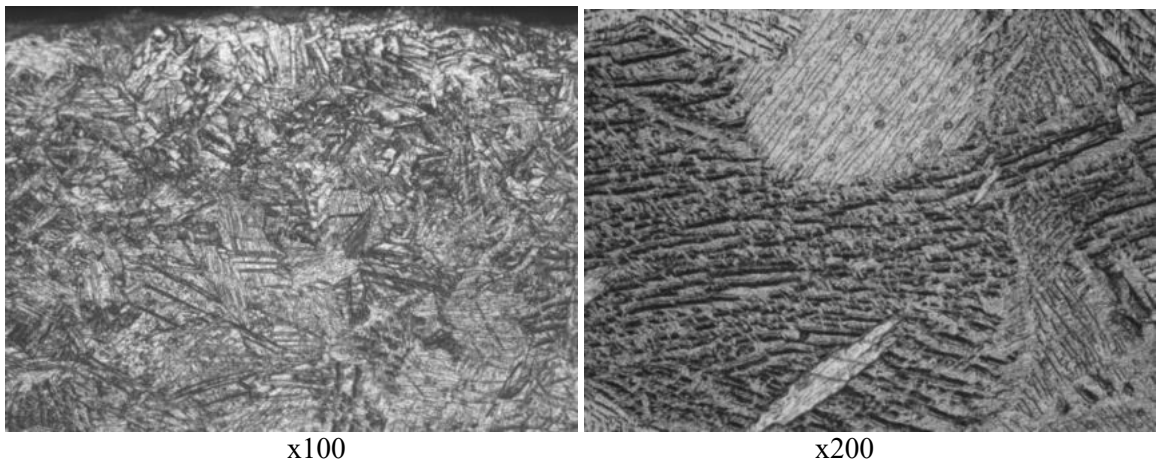


Рисунок 2а - Мікроструктура труб з сплаву ПТ-1М після пресування і охолодження у воді (зовнішня поверхня)

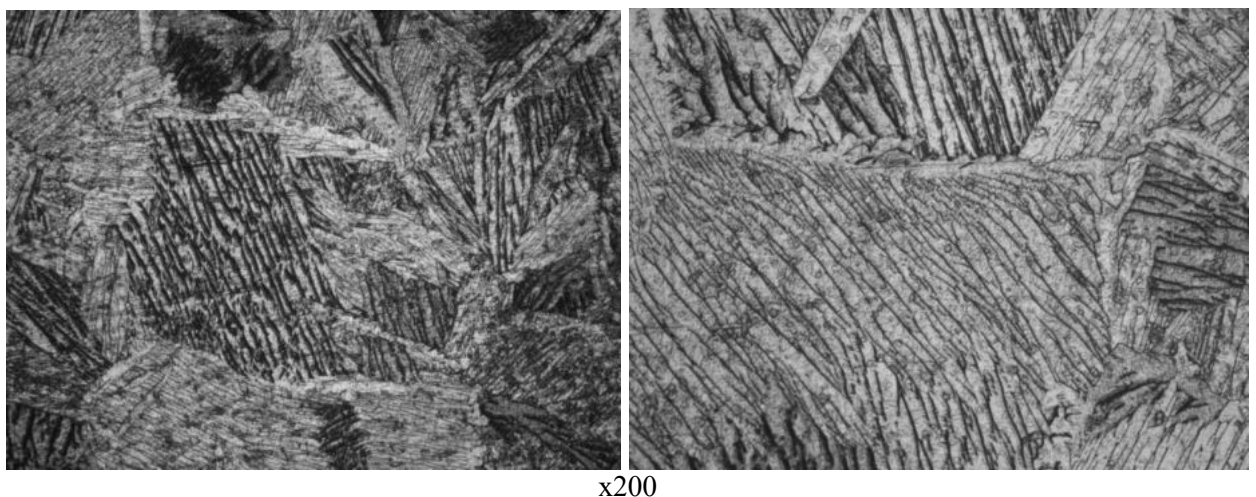


Рисунок 2б - Мікроструктура труби з сплаву ПТ-1М після пресування і охолодження у воді (середина стінки)

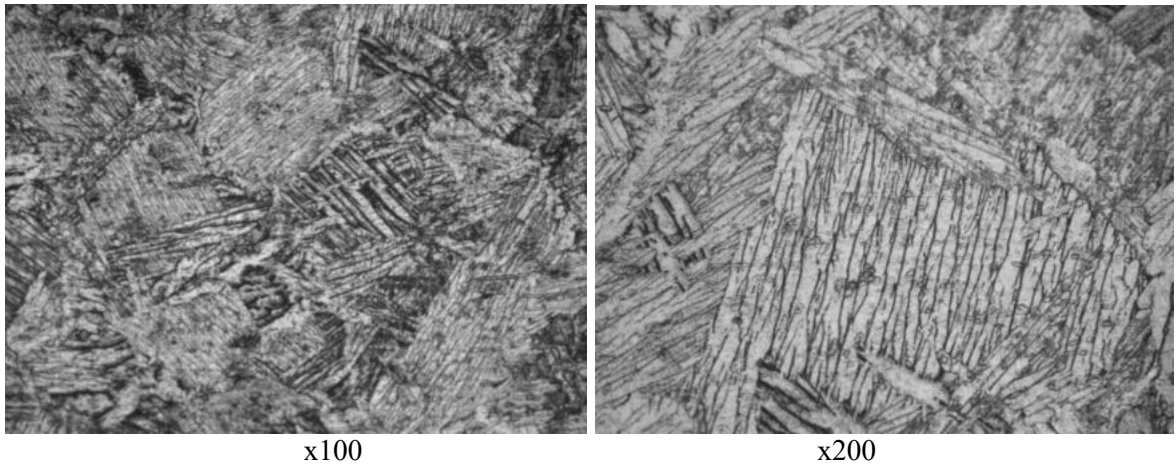


Рисунок 2в - Мікроструктура труби із сплаву ПТ-1М після пресування і охолодження у воді (внутрішня поверхня)

У порівнянні з структурою після охолодження на повітрі вона більш дрібнозерниста та більш тонкопластинчата. Спостерігається також неоднорідність по товщині стінки.

Дослідження рівня зміцнення показало, що після гартування метал зміцнився незначно. Твердість HRB у зразку охолодженому на повітрі складає 67-68 HRB (114-115HB). При охолодженні у воді 71-72 HRB (120-121HB). Механічні властивості після гартування та термічної обробки складають $\sigma_b=480-500$ МПа; $\sigma_{0,2}=420-460$ МПа; $\delta=22-28\%$.

Низьколеговані сплави титану практично не зміцнюються при термічній обробці. У досліджених зразках виникла крупнозерниста пластинчаста структура після охолодження у воді пресованих у β -області труб. Для подальшої холодної деформації слід перетворити структуру у дрібнозернисту глобулярну шляхом рекристалізації. Орієнтовний режим термічної обробки: 650-700 °С 1 година.

Сплав Grade 9. Охолодження на повітрі. Після охолодження на повітрі структура труб із сплаву Grade 9 складається з α -пластин і β -фази. Вздовж напрямку деформації знаходяться крупні ділянки β -фази.

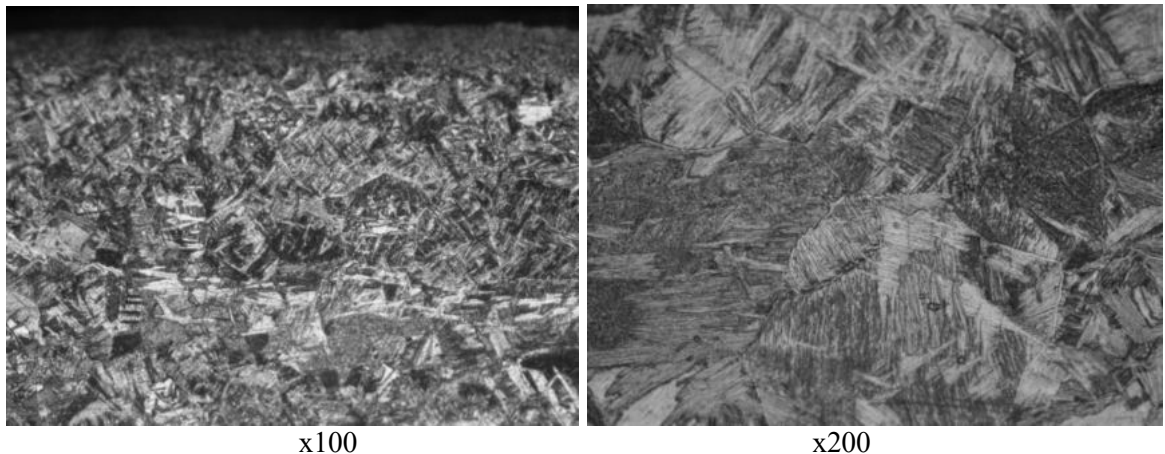


Рисунок 3а - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження на повітрі (зовнішня поверхня)



x100

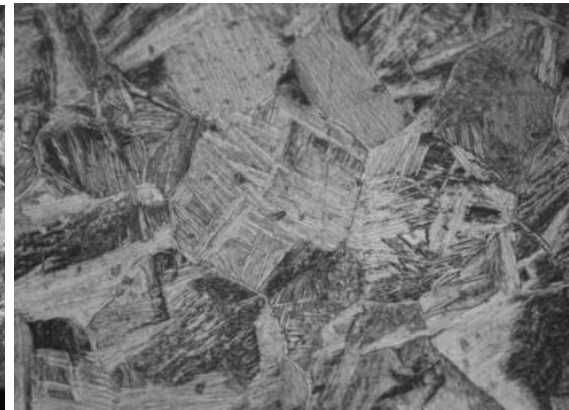


x200

Рисунок 3б - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження на повітрі (середина стінки)



x100



x200

Рисунок 3в - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження на повітрі (внутрішня поверхня)

Гартування пресованих труб з сплаву Grade 9. Після гартування в структурі присутні мартенситні фази α' , α'' і ω , що представляють собою пересичений твердий розчин легуючих елементів в α -титані з гексагональною α' чи ромбічною α'' решіткою [3]. Поряд з утвореними фазами, що мають голчасту структуру зберігається β -фаза, що залишається, в середині якої формується ω -фаза мартенситного типу, яка когерентно зв'язана з матричною β -фазою і має гексагональну спотворену решітку. Присутність ω -фази збільшує твердість і різко знижує пластичність. Її кількість незначна, тому не спостерігається різке зниження пластичності.

Гартування приведе до формування більш тонкодисперсної полосчатої структури. На рис. 4 а, б, в приведено мікроструктуру труб з сплаву Grade 9 після пресування і охолодження у воді.

У деяких трубах на зовнішній поверхні зустрічається альфований шар (рис. 3а), який нерівномірно протягується вздовж поверхні. Його величина складає 0.15...0.30мм. Він потребує видалення.

По товщині стінки структура зберігається неоднорідною.

Гартування приведе до формування більш тонкодисперсної полосчатої структури.

Твердість збільшується з 212 НВ при охолодженні на повітрі до 223 - 230 НВ після гартування у воді.

Після гартування проведена термічна обробка у вигляді рекристалізаційного відпалу при температурі 660 – 650 °С. При цьому механічні властивості труб складають: $\sigma_b=560-600$ МПа; $\sigma_{0.2}=500-530$ МПа; $\delta=20-25\%$.

Рівень властивостей і структура труб після гартування і послідувочого рекристалізаційного відпалу дозволяє проводити послідувочу холодну деформацію.

У промислових умовах труби з сплавів титану пройшли гартування і послідувочу термічну обробку та подальшу холодну деформацію з проміжними термічними обробками. Рівень властивостей

готових труб відповідає вимогам технічної документації. Всі труби пройшли здавальний контроль і показали відповідність вимогам нормативної документації.

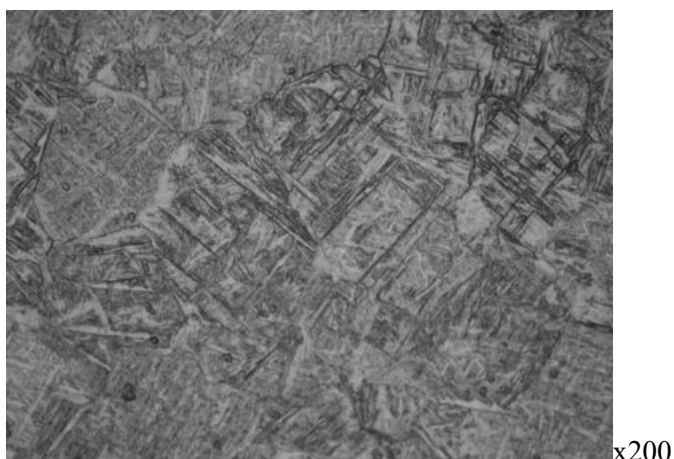


Рисунок 4а - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження у воді (внутрішня поверхня)

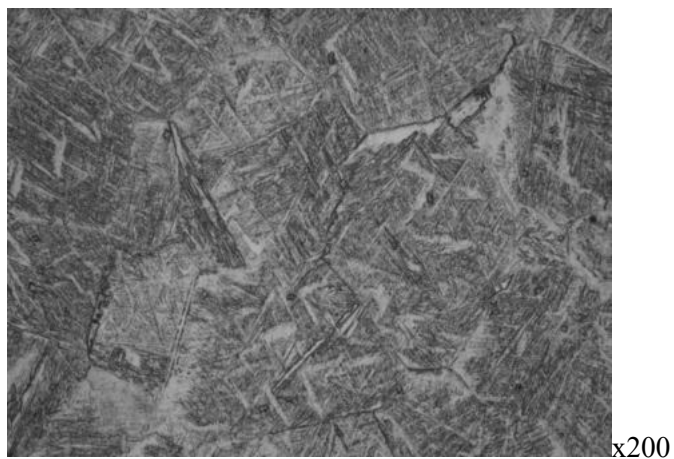


Рисунок 4б - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження у воді (середина стінки)

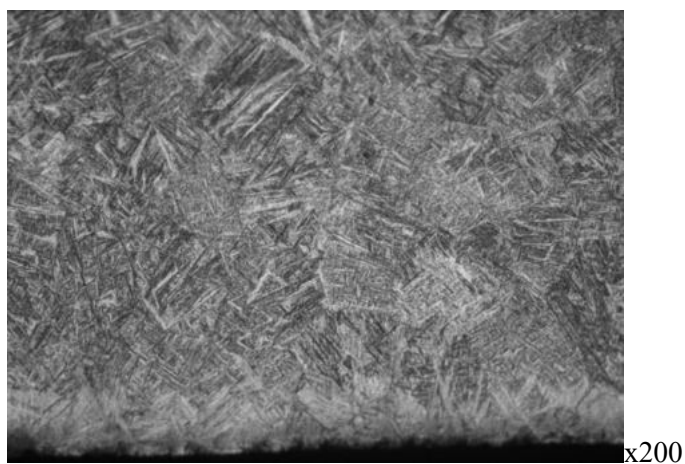


Рисунок 4в - Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування і охолодження у воді (внутрішня поверхня)

Таким чином, встановлена можливість гартування у воду труб із сплавів титану після пресування. Це можливо включати до технологічних інструкцій при виготовленні пресованих труб. Однак, перед холодною прокаткою при подальшому виготовленні труб обов'язково треба проводити термічну обробку у вигляді рекристалізаційного відпалу.

Висновки

1. Виконано порівняльні дослідження структури та властивостей пресованих труб із сплавів титану ПТ-1М та Grade 9 після охолодження на повітрі та гартування у воді.
2. Доведено можливість гартування у воду труб із сплавів титану ПТ-1М та сплаву Gr9 після пресування.
3. Після гартування труби повинні пройти термічну обробку. Термічна обробка – рекристалізаційний відпал при температурі 600-650⁰С 1,0 годину у вакуумі.
4. З використанням гартування прокатані промислові партії труб. Рівень якості труб відповідає вимогам нормативної документації.
5. Проведення гартування пресованих труб покращує якість поверхні, виключає механічну обробку поверхні (обточування), знижує витратний коефіцієнт металу.

Література

1. Современное состояние производства и применение труб из титановых сплавов в атомной энергетике и судостроении. А.С. Орыщенко [и др.] Титан.— 2018.— № 3.— С. 21–32.
2. Boyer R. R. An overview on the use of titanium in the aerospace industry. *Materials Science and Engineering A*. — 1996. — Vol. 213, № 1–2. — P. 103–114.
3. Деформация и термическая обработка труб из титановых сплавов: учебное пособие. А.Г. Илларионов, Я.И. Космацкий, Е.А. Горностаева, Ф.В. Водолазский; Мин-во науки и высшего образования РФ, Урал. федерал. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та.
4. Ильин А. А., Колачев Б. А., Польшкин И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. - М.: ВИЛС–МАТИ, 2009. — 520 с.