

УДК 669.295.669.76

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.91.0.160

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ГАРТУВАННЯ ТРУБ ЗІ СПЛАВУ ТИТАНУ ПІСЛЯ ПРЕСУВАННЯ

Грузін Н.В.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

***Анотація.** Титанові труби зі сплаву Gr9 – це труби відповідального призначення, які використовуються в гідросистемах сучасних літаків, тому до технології їхнього виготовлення висуваються жорсткі вимоги. Запропоновано новий елемент технологічного процесу гартування у воді пресованих труб замість охолодження на повітрі. Оцінена можливість здійснення гартування труб безпосередньо з преса. Досліджено мікроструктуру та механічні властивості труб. Встановлено, що рівень властивостей та структура труб після пресування й гартування дозволяє здійснювати подальшу холодну пластичну деформацію труб прокаткою. Експеримент проведено в промислових умовах. Продемонстрована ефективність процесу гартування, що дозволяє поліпшити поверхню труб, зменшити кількість створення окалини та зменшити видатковий коефіцієнт металу. Після гартування труби прокатані на готовий розмір згідно з технологією та здаються відповідно до чинних стандартів.*

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

Вступ

Титанові сплави є основним конструкційним матеріалом, який має високу питому міцність, корозійну стійкість, технологічність під час виготовлення виробів, зокрема труб. Труби з титану та його сплавів використовуються в аерокосмічній техніці, а отже, до їхньої якості висуваються високі вимоги. Виробники труб постійно вдосконалюють технологію виробництва труб з титану [1, 2].

Традиційна технологія виготовлення труб містить виплавку металу у вакуумі, ковку, тобто гаряче прокатування, пресування, серію холодних прокатувань з проміжними відпалами. Після гарячого пресування в процесі охолодження на повітрі труби мають низьку якість поверхні, де створюється окалина, яку треба вилучити механічним обробленням або травленням. Здійснення додаткової операції призведе до збільшення витратного коефіцієнта металу, тому можливість використовувати гартування з охолодженням у воду пресованих труб має як наукове, так і практичне значення.

Аналіз публікацій

Питанню виробництва труб з титанових сплавів присвячено небагато публікацій. Більшість робіт стосується листових матеріалів. На сьогодні в Україні труби зі сплавів титану виготовляють одиничні підприємства. Крім того, висуваються нові вимоги до труб з титану. Так, відповідно до нових стандартів на труби необхідно оцінювати не тільки структуру, механічні й технологічні власти-

вості, але і текстуру [3]. Для дотримання нових вимог до якості труб потрібен науково обґрунтований підхід до створення технологічного процесу їх виготовлення. Одним з основних етапів виробництва труб є пресування. Традиційно труби після цього процесу охолоджуються на повітрі. У роботі розглянуті процеси гартування труб у воду після пресування.

Мета і постановка завдання

Мета роботи – визначити можливість здійснення процесу гартування труб зі сплавів титану після пресування, оцінити рівень властивостей і структуру труб після гартування, встановити, забезпечує чи ні цей рівень властивостей подальшу пластичну деформацію труб холодним прокатуванням.

Дослідження процесу гартування пресованих труб з титанових сплавів

Матеріалом для дослідження є сплави титану Gr 9, ПТ 1М, хімічний склад яких наведено в таблиці 1.

Труби після пресування охолоджували на повітрі та у воді. Здійснювали порівняльні дослідження структури та механічних властивостей, а також прокатування труб до необхідного розміру.

Мікроструктуру досліджено на оптичному мікроскопі AXIOVERT 40.

Механічні випробування здійснювали згідно з ГОСТ 10006-80. Твердість зразків замірювали за Брінеллем і Роквеллом.

Таблиця 1 – Хімічний склад досліджуваних сплавів

Досліджувані сплави	Масова частка елементів, %											
	C	H	Fe	O	Al	V	N	Ti	Si	Zr	Інші домішки (кожний)	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

Сплав ПТ-1М. Після пресування за температури 950°C у β -області труби охолоджували на повітрі і гартували в воді. Здійснювали порівняльні дослідження.

Дослідження структури проведено на зразках труб у поздовжньому напрямку за товщиною стінки: на зовнішній та внутрішній поверхнях і всередині.

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

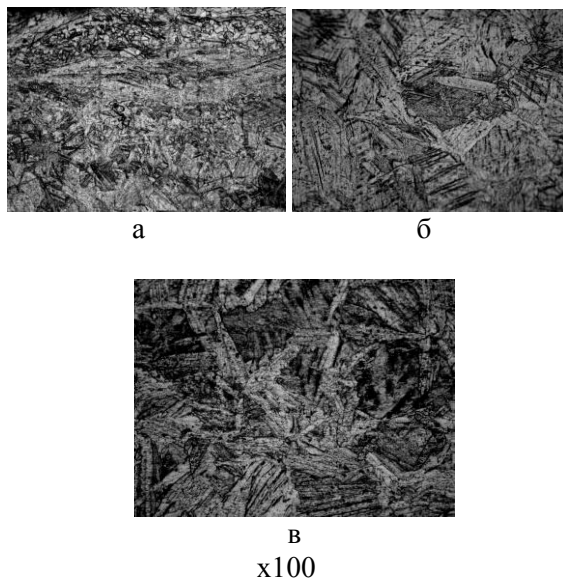


Рис. 1. Мікроструктура сплаву ПТ-1М після пресування й охолодження на повітрі: (а – зовнішня поверхня, б – середина, в – внутрішня поверхня).

Структура грубозерниста з крупними β -зернами з пластинами α -фази всередині, неоднорідна за товщиною стінки. На зовнішній поверхні зерно більш дрібне, іноді зустрічаються ділянки деформованої, орієнтованої вздовж напрямку прокатування та частково рекристалізованої структури. Низька швидкість охолодження та висока температура і достатній ступінь деформації призведе до

розвитку процесів рекристалізації. Здійснюються процеси випрямлення, що деформують поверхневі шари. Це передбачено окремими дослідженнями.

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

Сплав ПТ-1М після гартування. У процесі гартування із β -області в сплавах титану залежно від вмісту легованих елементів і домішок можуть утворюватися метастабільні фази α' , α'' , ω , β_n [4,5].

Після гартування в структурі сплаву виникли нерівноважні мартенситні фази. Найбільшою є кількість α' -фази, яка сформувалася з β -фази в процесі бездифузійного мартенситного перетворення [4]. Оскільки сплав ПТ-1М менш легований β -стабілізаторами, то ймовірність створення інших фаз- α'' , ω досить низька. α' -фаза є пересиченим твердим розчином легованих елементів α -титану. Вона, як і α -фаза, має гексагональну решітку за аналогією з мартенситом у сталях. Голчата мікроструктура труб наведена на рис. 2 (а, б, в).

На відміну від структури після охолодження на повітрі, структура труб після охолодження у воді більш дрібнозерниста та більш тонкопластинчата. Спостерігається також неоднорідність за товщиною стінки.

Дослідження рівня зміцнення продемонструвало, що після гартування метал зміцнився, незначною мірою. Твердість HRB зразка, охолодженого на повітрі, складає 67–68 HRB (114–115HB), у процесі охолодження в воді – 71–72 HRB (120–121HB). Механічні властивості після гартування та термічного оброблення складають $\sigma_B = 480\text{--}500$ МПа; $\sigma_{0,2} = 420\text{--}460$ МПа; $\delta = 22\text{--}28$ %.

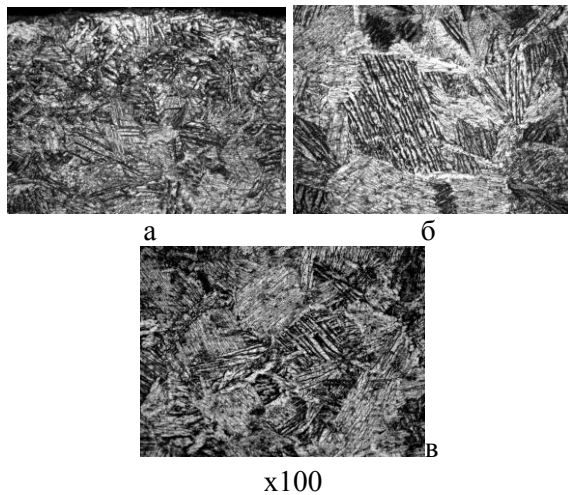


Рис. 2. Мікроструктура труб зі сплаву ПТ-1М після пресування й охолодження у воді (а – зовнішня поверхня, б – середина, в – внутрішня поверхня)

Низьколеговані сплави титану практично не зміцнюються в процесі термічного оброблення. У досліджених зразках виникла крупнозерниста пластинчаста структура після охолодження у воді пресованих у β -області труб. Для подальшої холодної деформації за допомогою рекристалізації необхідно перетворити структуру на дрібнозернисту та глобулярну. Орієнтовний режим термічного оброблення має становити $650\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$, процес має здійснюватися протягом 1 години.

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

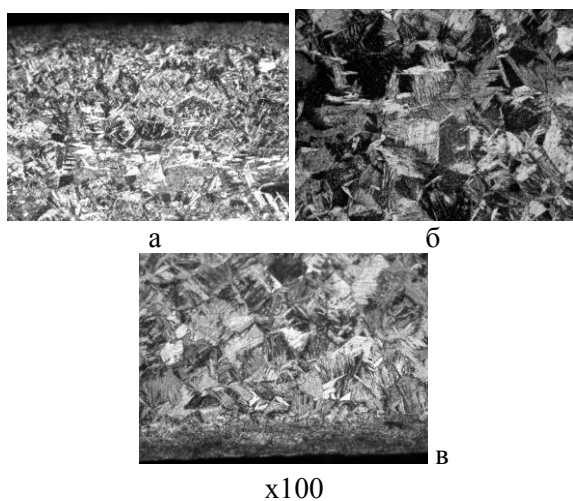


Рис. 3. Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування й охолодження на повітрі (а – зовнішня поверхня, б – середина, в – внутрішня поверхня)

Гартування пресованих труб зі сплаву Grade 9. Після гартування в структурі присутні мартенситні фази α' , α'' і ω , що є пересиченим твердим розчин легованих елементів у α -титані з гексагональною α' чи ромбічною α'' решіткою [4]. Поряд з утвореними фазами з голчатою структурою зберігається β -фаза, в середині якої формується ω -фаза мартенситного типу, яка когерентна, пов'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.

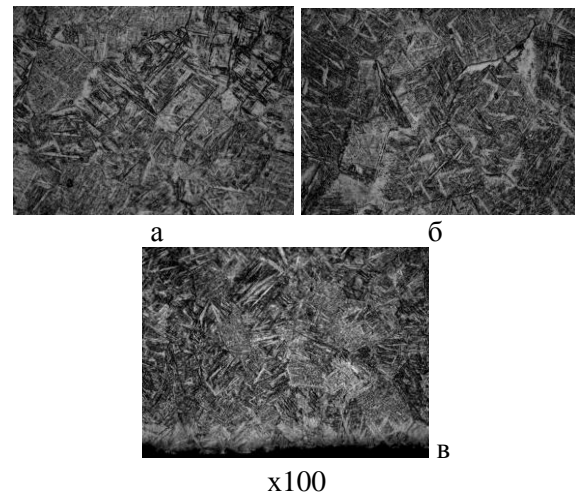


Рис. 4. Мікроструктура сплаву Grade 9 після пресування й охолодження у воді (а – зовнішня поверхня, б – середина, в – внутрішня поверхня)

Гартування призведе до формування більш тонкодисперсної полосчастої структури. На рис. 4 (а, б, в) наведено мікроструктуру труб зі сплаву Grade 9 після пресування й охолодження у воді.

У деяких трубах вздовж зовнішньої поверхні нерівномірно розміщено альфований шар (рис. 3, а). Його величина складає $0.15\text{--}0.30$ мм. Він потребує видалення.

Вздовж товщини стінки зберігається неоднорідна структура.

Гартування призводить до формування більш тонкодисперсної полосчастої структури.

Твердість збільшується з 212 НВ за охолодження на повітрі до 223–230 НВ після гартування у воді.

Після гартування здійснюється термічне оброблення у вигляді рекристалізаційного відпалення за температури $660\text{--}650\text{ }^\circ\text{C}$. У цьому випадку отримуємо такі механічні властивості труб: $\sigma_b = 560\text{--}600$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 500\text{--}530\text{МПа}$; $\delta = 20\text{--}25\%$.

Рівень властивостей і структура труб після гартування і подальшого рекристалізаційного відпалення дозволяє здійснювати холодну деформацію.

У промислових умовах труби зі сплавів титану пройшли гартування, термічне оброблення та подальшу холодну деформацію з проміжними термічними обробленнями. Рівень властивостей труб відповідає вимогам технічної документації. Всі труби пройшли здавальний контроль, вони відповідають вимогам нормативної документації.

Таким чином, встановлена можливість гартування у воді труб зі сплавів титану після пресування. Цей процес можна вмістити до технологічних інструкцій у процесі виготовлення пресованих труб. Але перед холодним прокатуванням у процесі виготовлення труб обов'язково необхідно здійснити термічне оброблення у вигляді рекристалізаційного відпалювання.

Висновки

1. Здійснено порівняльні дослідження структури та властивостей пресованих труб зі сплавів титану ПТ-1М та Grade 9 після охолодження на повітрі та гартування у воді.
2. Доведено можливість гартування у воді труб зі сплавів титану ПТ-1М та сплаву Grade 9 після пресування.
3. Після гартування труби мають пройти термічне оброблення, тобто рекристалізаційне відпалювання за температури $600\text{--}650^\circ\text{C}$ протягом 1 години у вакуумі.
4. Рівень якості труб відповідає вимогам нормативної документації.
5. Здійснення гартування пресованих труб покращує якість поверхні, знижує витратний коефіцієнт металу.

Література

1. Современное состояние производства и применение труб из титановых сплавов в атомной энергетике и судостроении / Орыщенко А. С. 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. 1996. Vol. 213, № 1–2. P. 103–114.
3. Standard AMS 4946. Titanium alloy tubing, seamless, hydraulic 3Al-2,5V, texture controlled cold worked, stress relieved. SAE International 2006.
4. Деформация и термическая обработка труб из титановых сплавов: учебное пособие / Илларионов А. Г., Космацкий Я. И.,

Горностаева Е. А., Водолазский Ф. В. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. 144 с.

5. Колачев Б. А., Елагин В. И., Ливанов В. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Москва МИСиС, 1999. 413 с.

References

1. Sovremennoe sostoyanie proizvodstva i primeneniye tryb iz titanovih splyavov v atomnoy energetike i sudostroenii / Orishenko A. S. i dr. Titan. 2018. № 3. С. 21–32. [In Russian].
2. Boyer R. R. An overview on the use of titanium in the aerospace industry. Materials science and engineering. 1996. Vol. 213, № 1–2. P. 103–114.
3. Standard AMS 4946. Titanium alloy tubing, seamless, hydraulic 3Al-2,5V, texture controlled cold worked, stress relieved. SAE International 2006.
4. Deformatsiya i termicheskaya obrabotka tryb iz titanovich splyavov: uchebnoye posobie / Illarionov A. G., Kosmatckiy Ya. I., Gornostaeva E. A., Vodolazckiy F. V. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2019. 144 s. [In Russian].
5. Kolachev B. A., Elagin V. I., Livanov V. A. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnih metallov i splyavov. Moscow MISiS, 1999. 413 s. [In Russian].

Грузін Наталія Вячеславівна, асистент кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів, тел.+380(97) 274476, email: tulenik@ukr.net, ДВНЗ «Придніпровської державної академії будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна,

Оценка возможности закалки труб из сплавов титана после прессования

Анотація. 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 закалки в воду прессованных труб вместо охлаждения на воздухе. Оценена возможность проведения закалки труб непосредственно из прессы. Исследованы микроструктура и механические свойства труб. Установлено, что уровень свойств и 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 окалин и уменьшить расходный коэффициент металла. После закалки трубы прокатаны на готовый размер по существующей технологии и сдааны в соответствии с действующим стандартом.

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

Грузин Наталья Вячеславовна, ассистент кафедры материаловедения и обработки материалов, тел.+380(97)274476, email: tulenik@ukr.net, ГБУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина.

Assessment of the possibility of quenching pipes made of titanium alloys after pressing

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 the structure of pipes after quenching, which will ensure further cold rolling. Methodology.* The following methods used: metallographic methods that 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 from 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 pipe should be thermally treated. **Scientific novelty.** The impact of quenching after pressing on the structure and mechanical properties of pipes made from 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.

Nataliia Hruzin, Asst. Prof., department of Materials Science and Treatment of Materials, тел.+380(97) 274476, email: tulenik@ukr.net, State Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture" 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine.
