

**СТРУКТУРНО СЪСТОЯНИЕ НА ТИТАНОВИ ТРЪБИ СЛЕД
НИСКОТЕМПЕРАТУРНО ОТГРЯВАНЕ****STRUCTURAL STATE OF TITANIUM TUBES AFTER LOW
TEMPERATURE TEMPERING****Hristo TODOROV¹***Technical University – Gabrovo, BULGARIA**E-mail: h_todorov@mail.bg¹***Venceslav DIMITROV²***Technical University – Rouse, BULGARIA**E-mail: vpdd@abv.bg²***Abstract**

Data of the structural state of titanium tubes from TiAl alloy in the condition of delivery and after tempering heat treatment are presented. Tempering regimes at temperatures lower than the temperature of phase transformation are studied, by which improvement of tube plasticity is achieved. Results of the influence of the tempering temperature and retention time on the structure and properties of the material immediately after tempering are received.

Key words: titanium alloy, tempering, structure, properties;

ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че за изработване на готови изделия от титанови сплави методите зарязане се оказват неефективни и непроизводителни. Една от възможностите за повишаване на ефективността от обработването е ако се използват технологии, при които основно се залага на пластичните свойства на тези материали. В тази връзка данните сочат, че α -титана и титанови сплави с чисто α -структура притежават повече от 30 еквивалентни системи на плъзгане и двойникуване и при стайна температура те демонстрират задоволителна пластичност [2,3]. Срещат се и други данни, че по обработваемост чрез пластична деформация на студено, изразено чрез коефициента на обработваемост по твърдост титановите сплави се доближават до стомана 45 [1,3].

От направеното проучване относно титанови полуфабрикати се установи, че в състояние на доставка тези материали не притежават хомогенност на свойствата [4,5,6]. При некалибровани титанови тръби от сплав TiAl твърдостта в осово направление се колебае повече от 25 HV [4]. Установено е също, че α -титанови сплави със съдържание на водород повече от 0,007%, непосредствено след термична обработка отгряване, притежават едни свойства а след известно време други. В материала настъпва „уякчаване” като след 30 денонощия ударната жилавост намалява до толкова, че

достига стойности близки до тези преди отгряването [5].

Споменатите явления се отнасят и за състоянието на доставка на титанови тръбни полуфабрикати, а това създава проблеми при тяхното обработване чрез студена пластична деформация. За да бъде реализиран конкретен процес за студена пластична деформация е необходимо материалът да бъде доведен до структурно състояние със задоволителна пластичност. Това може да бъде постигнато чрез прилагане термична обработка отгряване. По въпроса обаче относно температурата на нагряване и по конкретно за α -титановите сплави не е напълно изяснен и това налага този проблем да бъде по-подробно изследван.

ИЗЛОЖЕНИЕ**Методика за изследване**

Целта на настоящото изследване е да се установи режим на отгряване, с който се постига подобряване на пластичността на материала на титанови тръбни заготовки при запазване на дребнозърнеста структура близка до изходното състояние.

Обект на изследването са титанови тръбни заготовки от сплав TiAl, изрязани от стандартна некалибрована тръба с външен диаметър $\varphi=28\text{mm}$, вътрешен $\varphi=20\text{mm}$ на дължина $L=100\text{mm}$. Химическият състав и механичните характеристики на изходното състояние на материала на заготовките са представени в табл. 1.

Химически състав и механични характеристики на материала на титанови тръбни заготовки в състояние на доставка

Таблица 1

Мат.	Al %	C %	Fe %	Si %	O %	N %	H %	Rm, MPa	Re, MPa	A5, %	Hv5
TiAl	0,7	0,07	0,25	0,10	0,20	0,04	0,007	450	380	25	180

Изрязаните тръбни заготовки се подлагат на непълно отгряване в среда въздух по режими и условия представени в табл.2. Променящите параметри на режима са температурата на нагряване - **Tn** и времето на задържане - **t3**. Нагряването се извършва при температура по-ниска от температурата на фазово превръщане, с оглед избягване на окисляване на заготовките и съответно да не се предизвикат съществени структурни изменения в материала. Най-ниската температура на отгряване е температурата, при която е възможно протичане на рекристализационни процеси за α -титана, а най-високата е температурата, която редица автори препоръчват при отгряване за термична стабилност на α -титанови сплави. Охлаждането се извършва във вода от съображения да се осигури равномерно охлаждане по сечение на тръбните заготовки.

Режими и условия на отгряване на тръбни заготовки от титанова сплав TiAl

Таблица 2

Реж. №	Tn, °C	t3, min	Нагр. среда	Скорост на нагр.	Охл. среда
1	520	30	В-х	200°C/h	Вода
2	520	60	В-х	200°C/h	Вода
3	520	90	В-х	200°C/h	Вода
4	600	30	В-х	200°C/h	Вода
5	600	60	В-х	200°C/h	Вода
6	600	90	В-х	200°C/h	Вода
7	680	30	В-х	200°C/h	Вода
8	680	60	В-х	200°C/h	Вода
9	680	90	В-х	200°C/h	Вода

Промените, които настъпват в свойствата след отгряването се отчитат посредством механичните характеристики твърдост **Hv** и относително удължение **A5**. За определяне на относителното удължение се изрязват пробни тела за изпитване на опън по дължина на тръбните заготовки – фиг.1. Същите пробни тела се използват за определяне на твърдостта.

За оценка на настъпилите промени в структурата след отгряването се извършва металографски анализ при което се сравняват структурното състояние на материала преди и след термичното обработване. За определяне на основните елементи на структурата се прилага метода на линейния количествен анализ[7].



Фиг. 1. Пробно тяло за изпитване на опън

Резултати

Влияние на режима на отгряване върху свойствата

Получените резултати за влиянието на температурата на нагряване **Tn** и времето на задържане **t3** при отгряване върху относителното удължение **A5** и твърдостта **Hv5** на материала на тръбните заготовки са отразени в табл.3 и фиг.2. Изпитването на опън е проведено на универсална изпитвателна машина тип **ZD-20** със скорост на натоварване 20 Nmm²/s. За изпитването са използвани по шест пробни тела за всеки режим на отгряване, тъй като от една тръбна заготовка се изрязват по две пробни тела за опън.

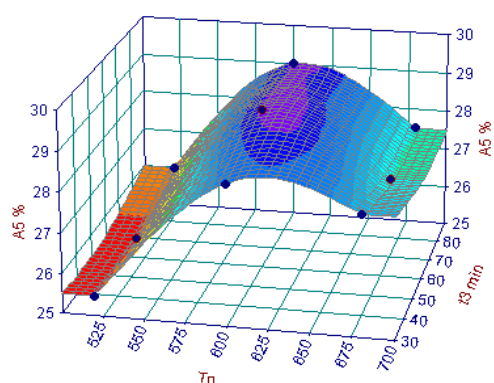
Определянето на твърдостта е извършено по метода Викерс на твърдомер **НРО-250**, с натоварване 5 kg. Използвани са по едно от пробните тела за изпитване на опън, като са направени по три измервания.

Данните, за получените механичните характеристики **A5** и **Hv5** посочени в табл 3 са средни стойности от изпитванията.

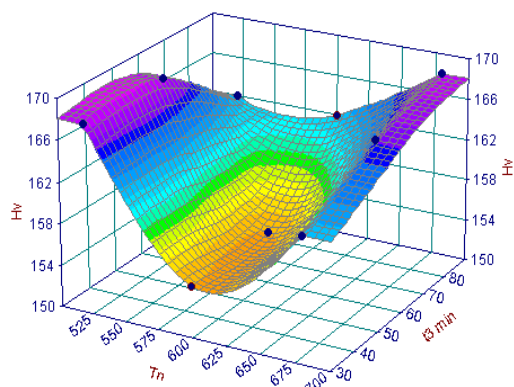
Режими на отгряване и резултати от изпитването на твърдостта и относителното удължение

Таблица 3

Режим №	Tn, °C	t3, min	A5, %	Hv5
1	520	30	25,5	168
2	520	60	25,5	168
3	520	90	26	162
4	600	30	28,5	155
5	600	60	29	155
6	600	90	29	162
7	680	30	28	162
8	680	60	27,5	166
9	680	90	27,5	168



а)



б)

Фиг. 2. Влияние на температура на
нагреване - Tn

и времето на задържане - t3 при отгряване
на тръбни заготовки от титанова сплав
TiAl върху относителното удължение - A5
- а) и твърдостта - Hv5 - б)

**Влияние на режима на отгряване
върху структурата**

Изследването на структурата е проведе-
но върху изрязани образци от тръбни заго-
товки в състояние на доставка и след отгря-

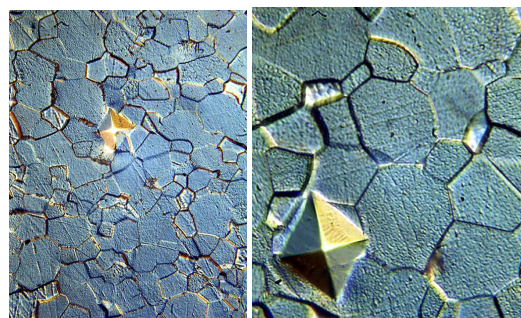
ване по режим, при който се получава най-
висока стойност на пластичната характе-
ристика - A5. Използвани са надлъжно и на-
пречно оформените площадки на изрязани-
те образци. Микрошлифовете са изработе-
ни по стандартна методика, като особено
внимание е обърнато да няма загрявания
при отнемането, шлифването и полиране-
то. Проявяването е извършено с 10%-ен
воден разтвор на HF-киселина. За наблюде-
нието е използван металографски микро-
скоп тип Neophot-32 при увеличение 500 и
1000 пъти. Изследването е извършено вър-
ху следните образци:

Образец №1 - надлъжно сечение на
тръбна заготовка от титанова сплав TiAl в
състояние на доставка (СД);

Образец №2 - надлъжно сечение на
тръбна заготовка от титанова сплав TiAl,
термично обработени (ТО) по режим 5
табл.3;

Образец №3 - напречно сечение на
тръбна заготовка от титанова сплав TiAl в
състояние на доставка;

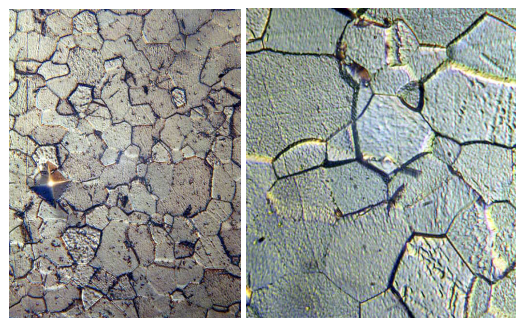
Образец №4 - напречно сечение на
тръбна заготовка от титанова сплав TiAl,
термично обработени по режим 5 - табл.3;



X 500

X 1000

а)



X 500

X 1000

б)

Фиг. 3. Микроструктура на тръбни
заготовки от сплав TiAl
в състояние на доставка - а) и след
отгряване
по режим 5 табл.3 - б).

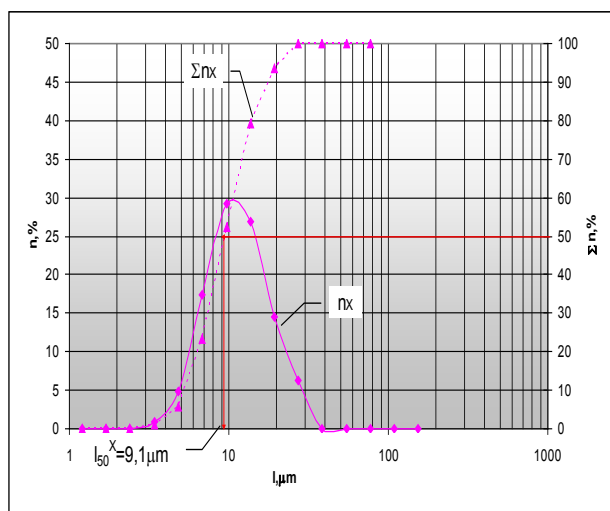
На фиг. 3 са показани заснети микроструктури на материала на тръбни заготовки в състояние на доставка и след отгряване по режим 5 табл.3.

За определяне на основните елементи на структурата (среден линейен размер на зърната в плоскостта на шлифа-**Lл**, среден обемен размер на зърната-**Lo** и дисперсията на тяхното разпределение-**σ**) е използван микроанализатор EPIQUANT. Получените данни за структурните параметри на материала на изследваните тръбни заготовки са представени в табл.4, а разсейването размера на зърната е графично илюстрирано на фиг.4.

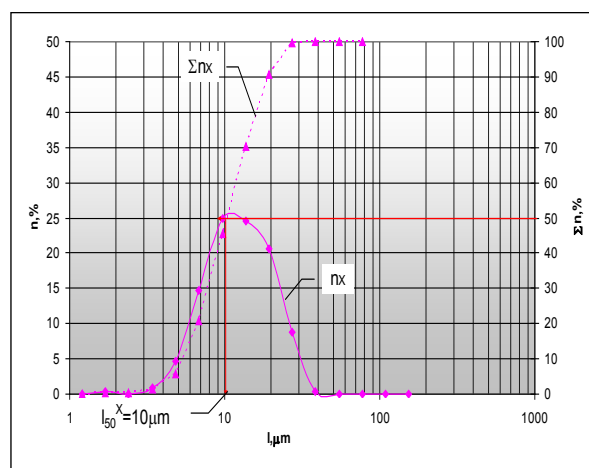
Структурни параметри на материала на тръбни заготовки от сплав TiAl в състояние на доставка и след отгряване

Таблица 4

№	Съст. на образците	Lл, μm	Lo, μm	σ , μm
1	СД	12,5	16	2,5
2	ТО	13,6	16,7	3
3	СД	12,7	16,2	2,4
4	ТО	13,9	17,0	3,2



а)



б)

Фиг. 4. Разсейване размера на зърната в надлъжно -**nx** сечение на тръбни заготовки от титанова сплав TiAl в състояние на доставка – а) и след отгряване по режим 5 табл.3 – б); l_{50} - среден линейен размер на зърната до който 50% от тях са с размери по малки от него.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от изпитването на опън показват, че нагряването до температура 520°C допринася до понижаване на твърдостта от 180H_V5 до 162H_V5, без да има съществена промяна на относителното удължение A5 (табл.3). С повишаване на температурата на отгряване до 600°C твърдостта намалява до 155H_V5, а относителното удължение достига стойности A5 = 29%. При повишаване на температурата на отгряване до 680 °C, стойността на относителното удължение се запазва докато твърдостта слабо се повишава (табл.3). Отчитайки, че изпитването на твърдостта се извършва на самата повърхност, то това повишение най-вероятно се дължи на настъпилото окисление на материала.

Резултатите от металографското изследване на материала на тръбните заготовки в състояние на доставка показаха, че структурата е изградена от множество едри кристали с глобулярна форма и по-малки с пластинчата форма (фиг.3.а). На фотографиите при увеличение 1000 пъти малките кристали са по-светли и се отличават от α-кристали на основната матрица. Някои автори определят малките кристали като титанов хидрид[5].

След проведено непълно отгряване по режим 5 (табл.3) по-малките кристали с пластинчатата форма намаляват. Те се поглъщат от по-едрите съседни в резултат на което всички кристали придобиват глобулярна форма (фиг.3.б). Настъпилите промени допринасят за слабо уедряване на структурата, при което в надлъжно сечение средният линейен размер на зърната нараства с $1,1\mu\text{m}$, а средният обемен размер с $0,8\mu\text{m}$ (табл.4).

Получените резултати дават основание да се направят следните изводи:

1. Установено е, че структурата на материала на титанови тръбни заготовки от сплав TiAl в състояние на доставка е изградена от едри кристали с глобулярна и по-дребни с пластинчатата форма, което допринася за нехомогенност на пластичните свойства.

2. Постигнато е подобряване на пластичното състояние на тръбни заготовки от сплав TiAl в сравнение състоянието им на доставка посредством отгряване при температура по-ниска от фазовото превръщане на сплавта.

3. Доказано е, че при отгряване в среда въздух при температура 600°C със задържане 60 min се постига намаляване на твърдостта от $180\text{H}_{\text{V}5}$ до $155\text{H}_{\text{V}5}$ и повишаване

на относителното удължение A_5 с 4% - от $A_525\%$ до $A_529\%$

4. Установен е режим за непълно отгряване, при който по малките кристали с пластинчатата форма се разтварят от обкръжението глобулярни кристали, но като цяло структурата се запазва дребнозърнеста с глобулярна форма на кристалите.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горохов В. А. Чистовая обработка титановых сплавов, М., Машиностроение, 1975.
- [2] Каганович И. Н., Об оценки деформируемости титановых сплавов, М и ТОМ, 1988, № 11, с 47-49.
- [3] Щремел М.А., Прочност сплавов, Част II Деформация, М., МИСИС, 1997, с 65-67.
- [4] Тодоров Х., Влияние на режима на отгряване върху структурата и свойствата на материала на тръбни заготовки от титанова сплав ПТ7М, 2006, ИЗВЕСТИЯ на Съюза на учените, Варна, 2006, с.48-52.
- [5] Сыщиков В.И., и др., Старение титана и нисколегированного α -сплава под влиянием водорода, М и ТОМ, 1989, № 3, с 47.
- [6] Кайбышев О.А., и др., Влияние микроструктуры на пластичность сплава ВТ1-00, М и ТОМ, 1985, №1, с 37-39.
- [7] Русева Е., Русев Р., Физическо металозна-ние, ВМЕИ, Варна, 1988.