ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Descrizione del componente: tubo in titanio saldato longitudinalmente
Diametro esterno: 48,3 mm
Spessore: 3,65 mm
Materiale: titanio commercialmente puro grado 2

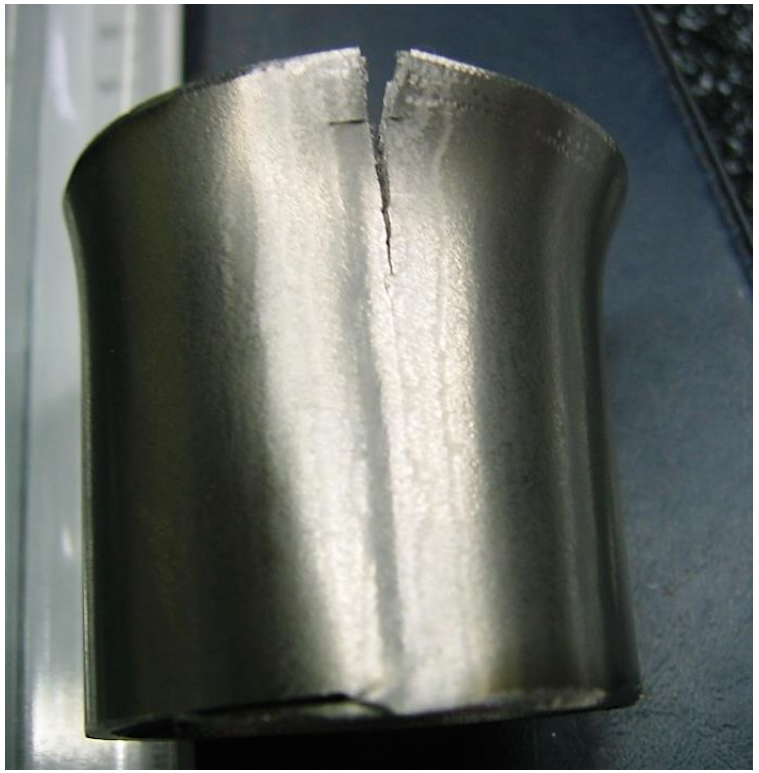
Designazione	Limiti impurezze (wt_%)				
	N (max)	C (max)	H (max)	Fe (max)	O (max)
ASTM grado 2	0,03	0,08	0,015	0,25	0,25

Metodo di Saldatura: laser di potenza al CO_2
Parametri di saldatura:

Potenza (W)	Velocità (m/min)	Atmosfera di protezione	Apporto termico specifico (600 J/cm)
4000	4	Ar (93%) + He (7%)	600

Trattamento termico: nessun trattamento termico post-saldatura

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO



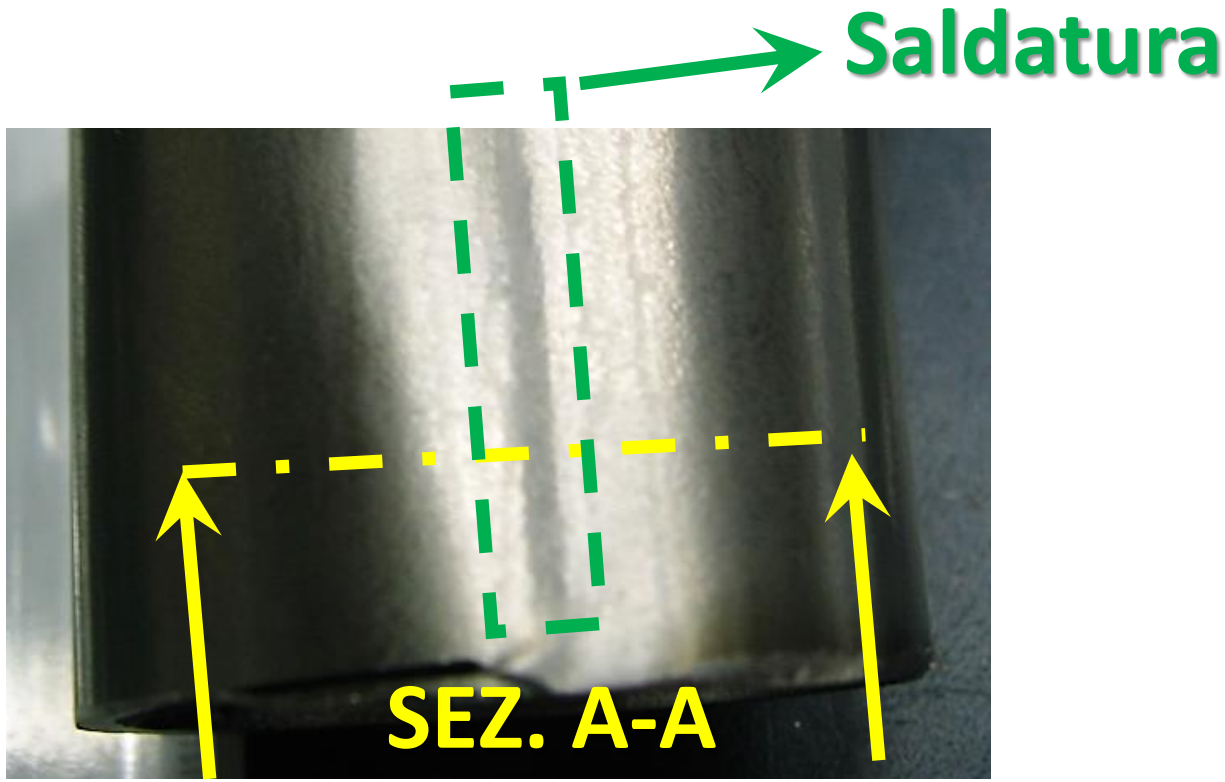
PROBLEMA:

Fratture lungo il cordone di saldatura durante la prova di allargamento

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

INDAGINI:

1) Analisi metallografica della sezione A-A ricavata come segue:



2) Microdurezze Vickers su sezione A-A in accordo a ASTM E384:

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Preparazione metallografica SEZ. A_A in accordo a ASTM E3:

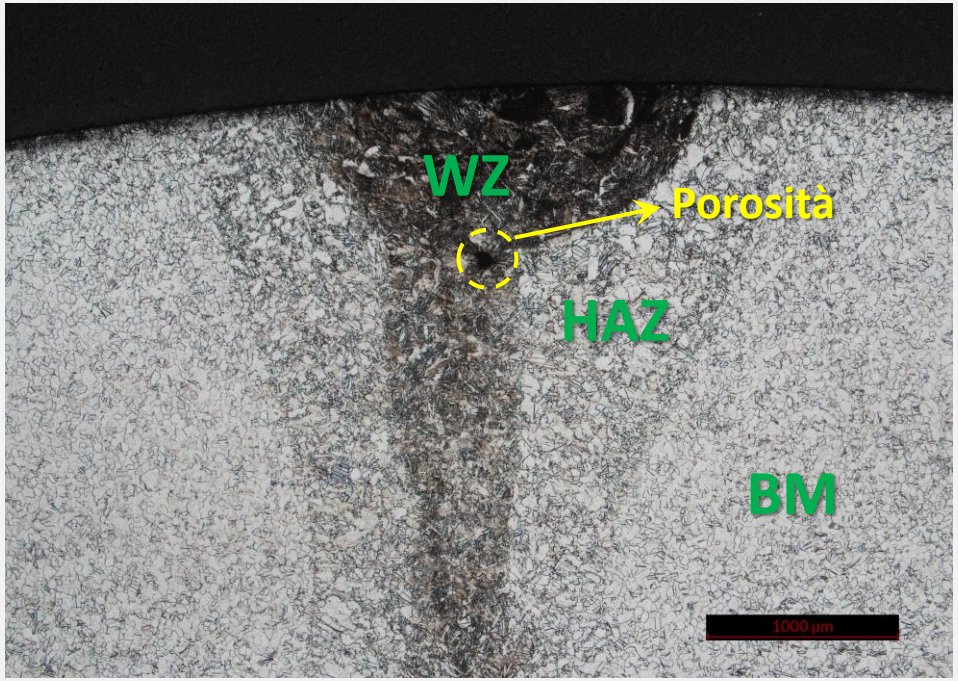
1) Smerigliatura con carte abrasive al carburo di silicio: grit 180, grit 320, grit 600, grit 1200 e grit 2500
2) Lucidatura con panno e sospensione diamantata policristallina da 6 µm
3) Lucidatura con panno e sospensione diamantata policristallina da 3 µm
4) Lucidatura con panno e sospensione diamantata policristallina da 1 µm
5) Super-pulitura finale con silice colloidale in sospensione acquosa

Attacco metallografico con reattivo N° 91 secondo ASTM E407 (Kroll's ragent):

1-3 mL HF + 2-6 mL HNO3 + acqua distillata fino a 100 mL

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Risultati dell’analisi metallografica: valutazione generale

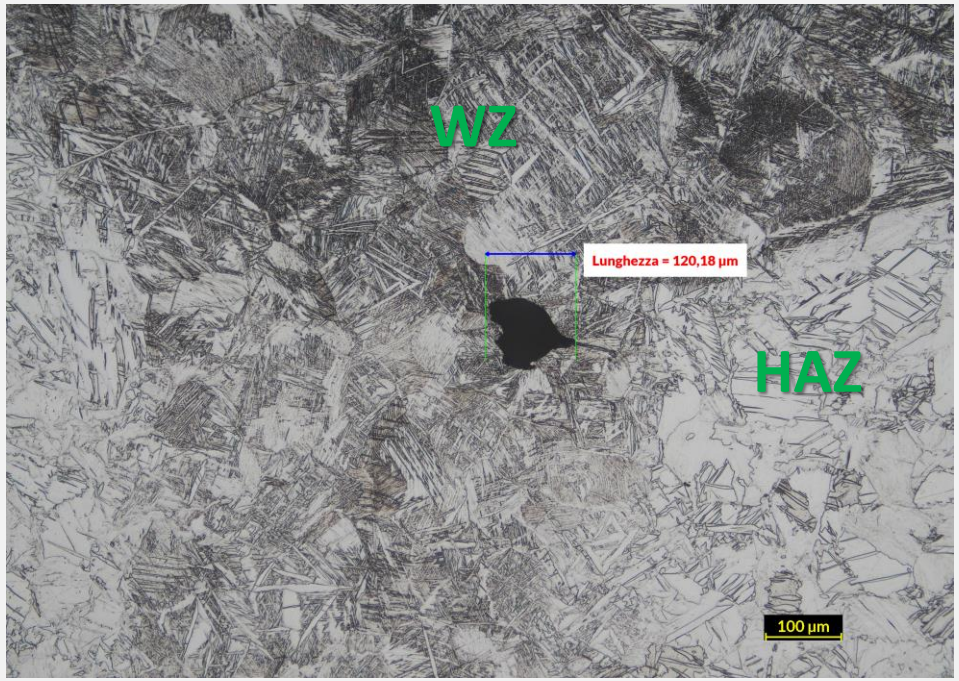


Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X
25

Etching
Kroll’s

MICROGRAFIA_1
Immagine a basso ingrandimento in cui. Si possono osservare distintamente le tre differenti zone corrispondenti al metallo base (BM), alla zona termicamente alterata (HAZ) e alla zona fusa (WZ). In corrispondenza di quest’ultima si nota la presenza di una porosità dal lato del diametro esterno.



Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

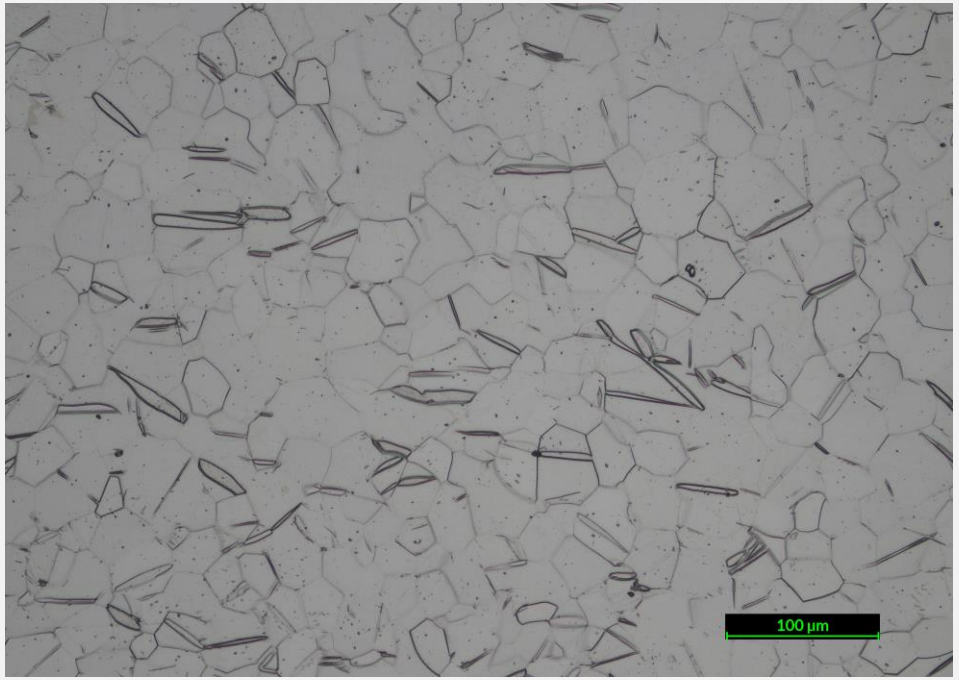
Mag. X
100

Etching
Kroll’s

MICROGRAFIA_2
Come la precedente a maggior ingrandimento. Nella WZ si osserva la presenza di una porosità con diametro ci circa 0,12 mm.

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Risultati dell’analisi metallografica: BM



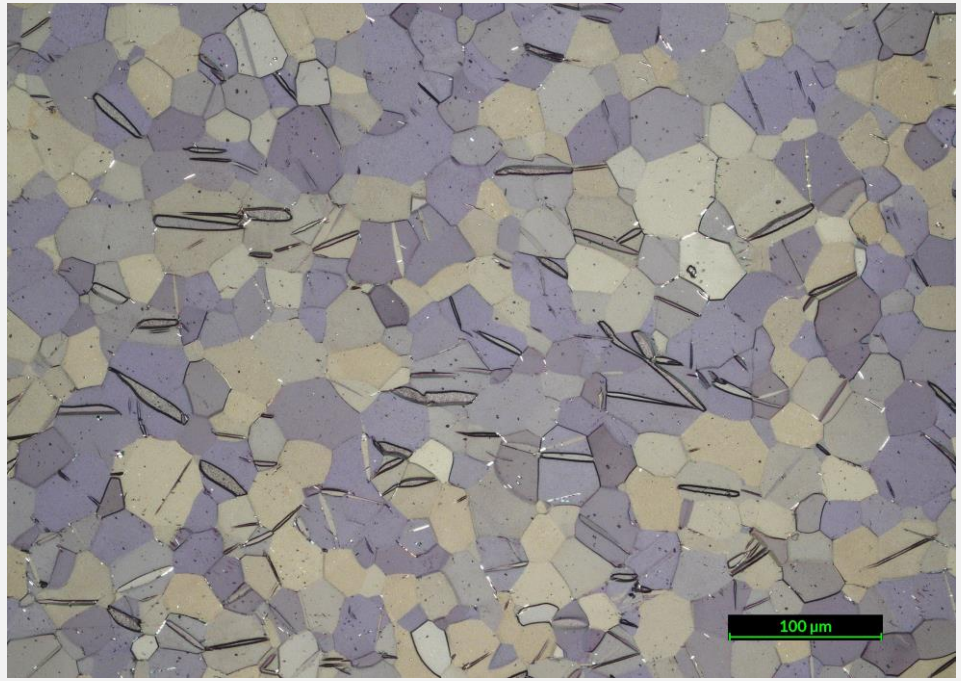
Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X 200

Etching Kroll’s

MICROGRAFIA_3

In corrispondenza del metallo base la microstruttura risulta costituita da grani regolari di fase α con presenza di geminati interni.



Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X 200

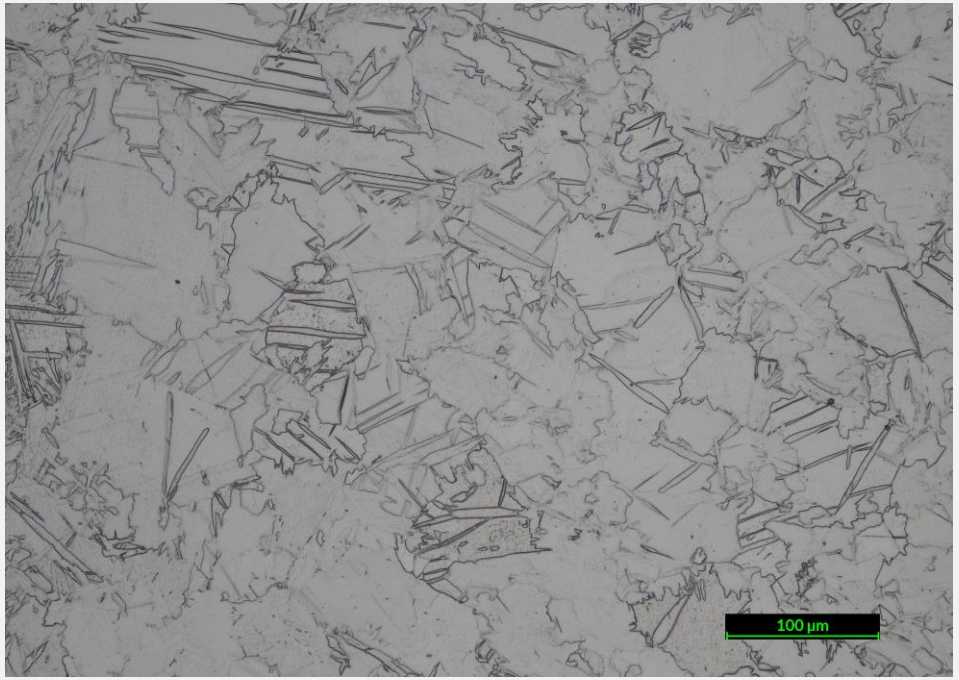
Etching Kroll’s

MICROGRAFIA_4

Come la precedente ma in luce polarizzata per evidenziare l’orientazione dei singoli grani.

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Risultati dell’analisi metallografica: HAZ (1)

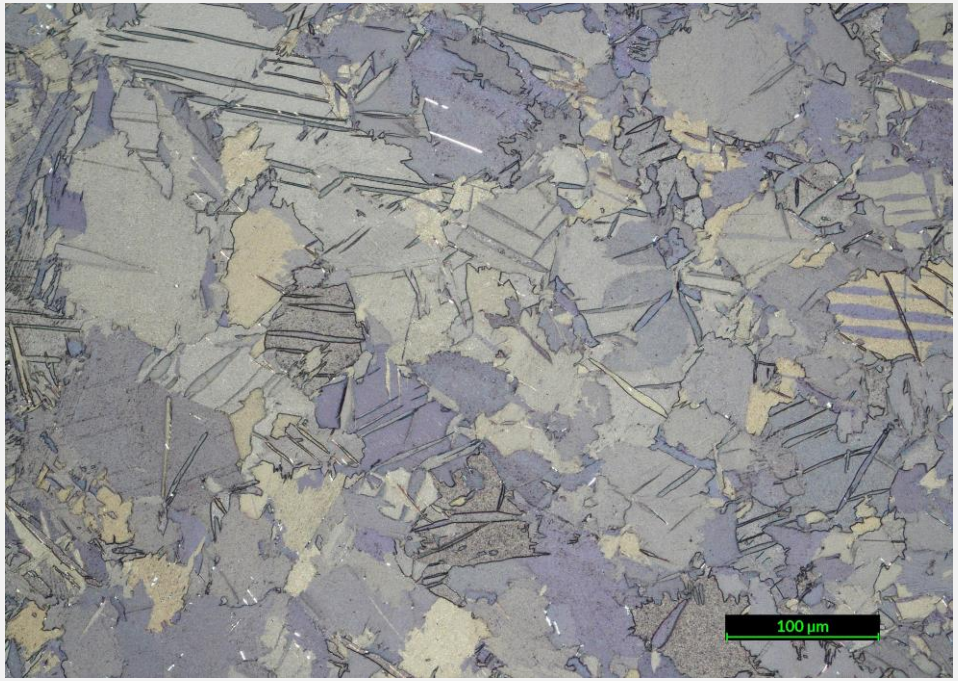


Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X
200

Etching
Kroll’s

MICROGRAFIA_5 (HAZ)
Anche in zona termicamente alterata si possono osservare grani di fase α, che se di dimensioni maggiori rispetto a quelli del metallo base e con morfologia marcatamente irregolare.



Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

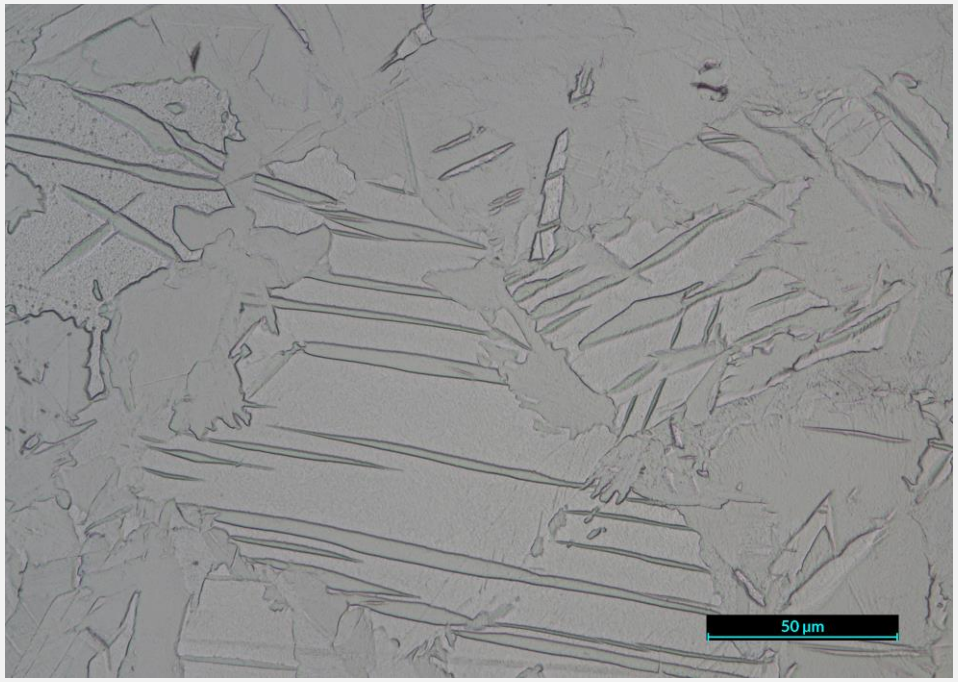
Mag. X
200

Etching
Kroll’s

MICROGRAFIA_6 (HAZ)
Come la precedente ma in luce polarizzata per evidenziare l’orientazione dei singoli grani.

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Risultati dell’analisi metallografica: HAZ (2)



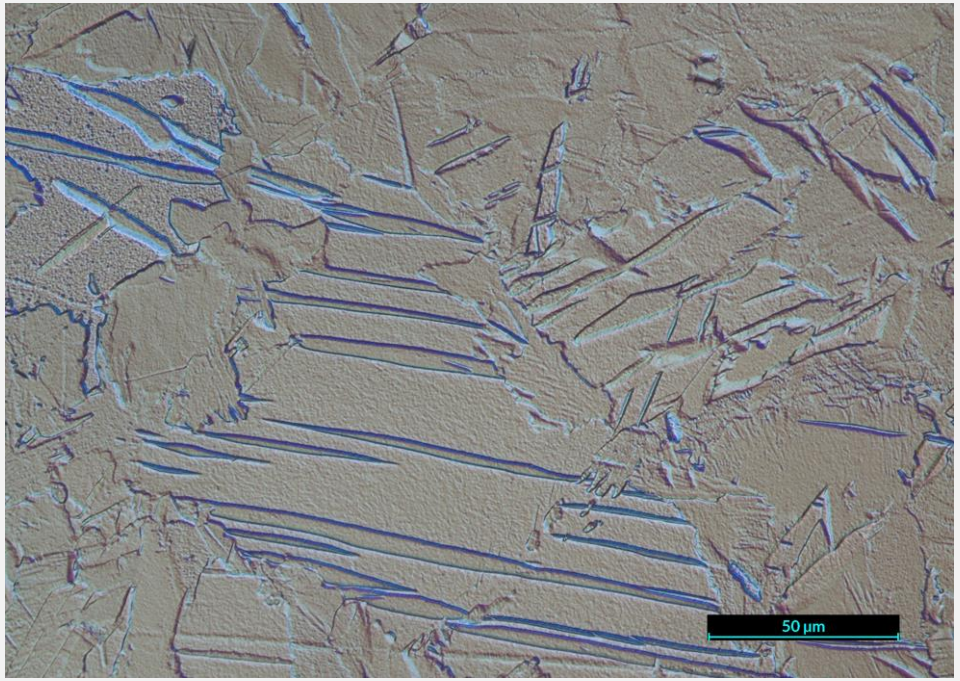
Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X
500

Etching
Kroll’s

MICROGRAFIA_7

Particolare a maggiore ingrandimento dell’imagine in MICROGRAFIA_4. Si può osservare chiaramente la presenza di numerosi geminati che attraversano i grani ingrossati della zona termicamente alterata.



Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X
500

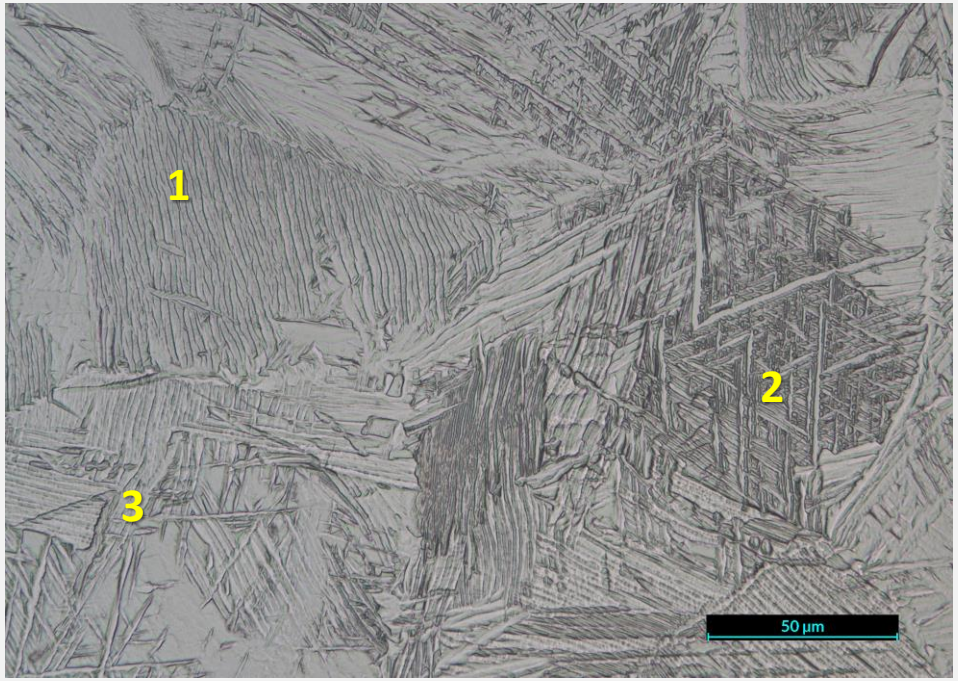
Etching
Kroll’s

MICROGRAFIA_8

Come la precedente ma in luce polarizzata con aggiunta del contrasto interferenziale.

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Risultati dell'analisi metallografica: WZ (1)



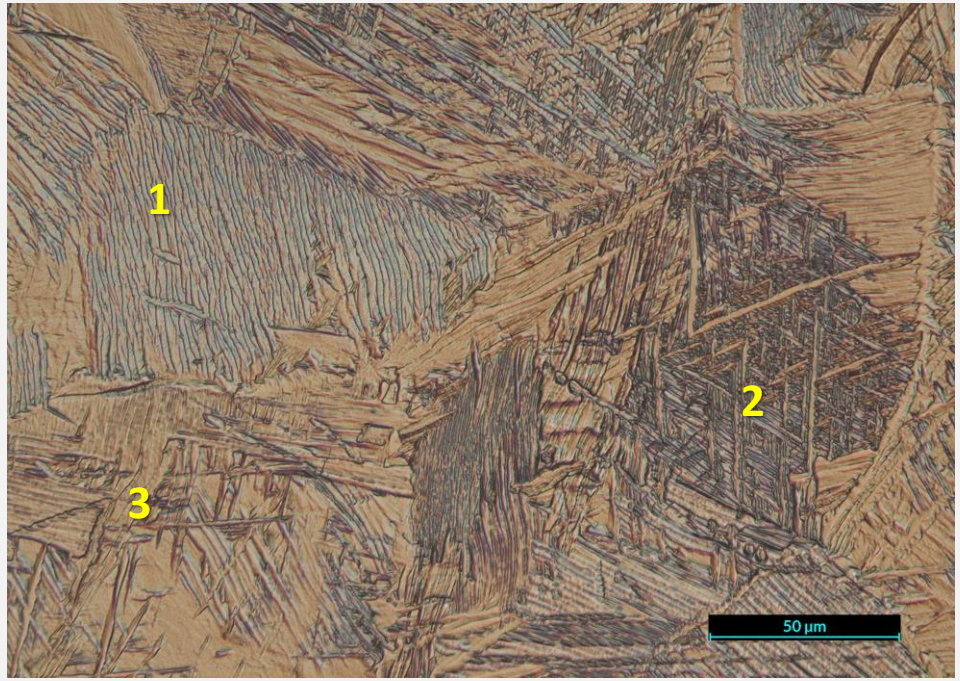
Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X 500

Etching Kroll's

MICROGRAFIA_9

Nella zona della saldatura si osservano microstrutture finissime, organizzate all'interno dei precedenti grani di fase β. Sono state individuate tre aree, indicate in figura su cui valutare la morfologia a più alto ingrandimento.



Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X 500

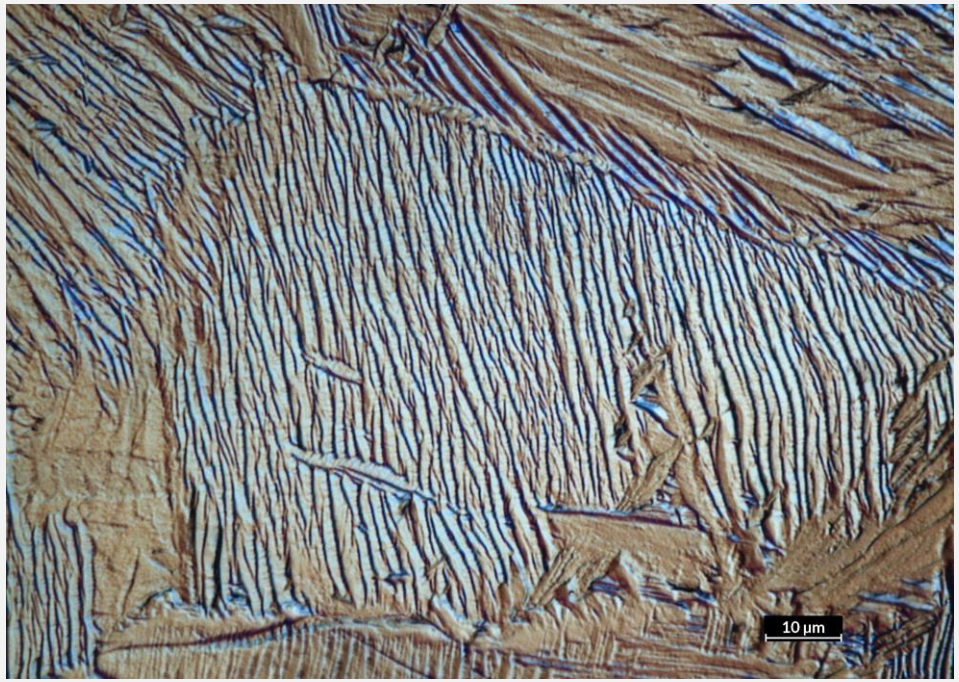
Etching Kroll's

MICROGRAFIA_10

Come la precedente ma in luce polarizzata con aggiunta del contrasto interferenziale.

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Risultati dell'analisi metallografica: WZ (2)



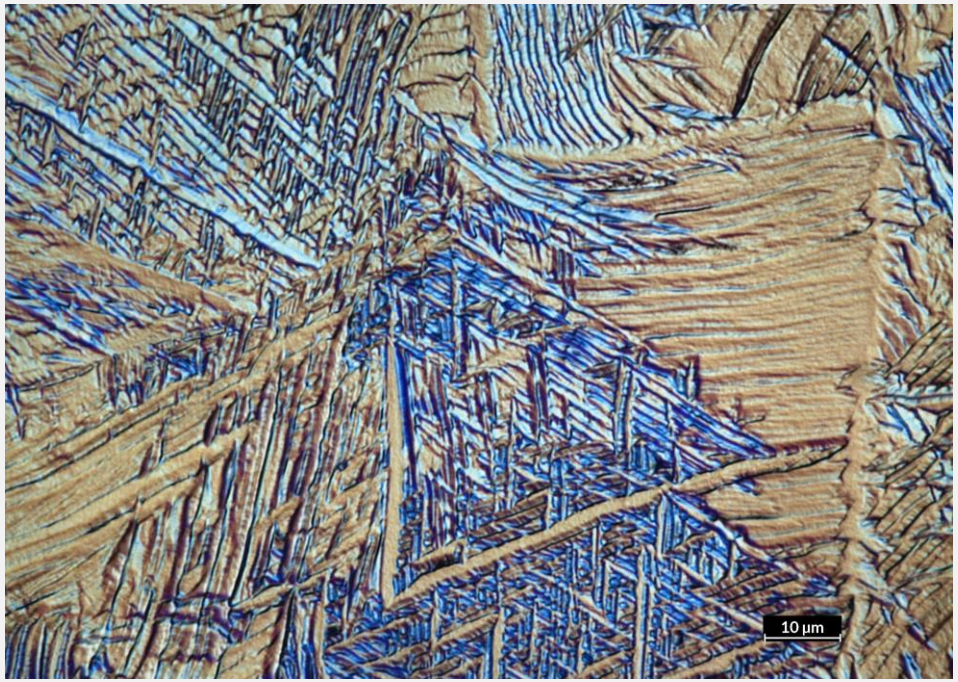
Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X
1000

Etching
Kroll's

MICROGRAFIA_11

Particolare a più elevato ingrandimento della zona indicata con 1 nell'immagine in MICROGRAFIA_10. Si può osservare un raggruppamento di lamelle parallele di fase α all'interno di un precedente grano di β



Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X
1000

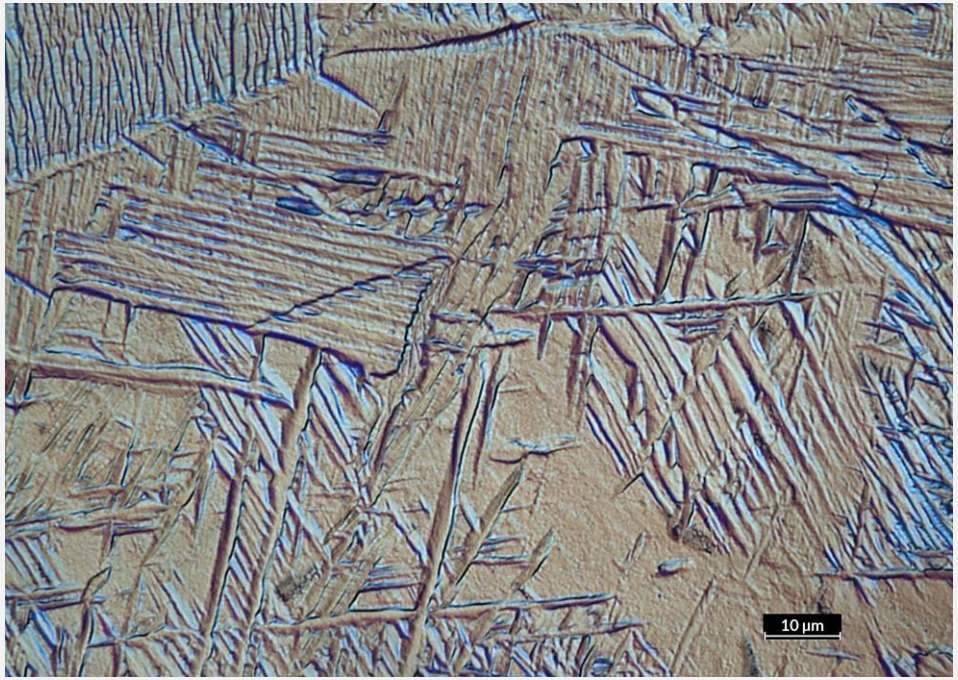
Etching
Kroll's

MICROGRAFIA_12

Particolare a più elevato ingrandimento della zona indicata con 2 nell'immagine in MICROGRAFIA_10. Presenza di strutture finissime verosimilmente riconducibili alla formazione di martensite esagonale α'.

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Risultati dell’analisi metallografica: WZ (3)



Titanio CP grado 2
SEZ. A-A

Mag. X
1000

Etching
Kroll’s

MICROGRAFIA_13

Particolare a più elevato ingrandimento della zona indicata con 3 nell’immagine in MICROGRAFIA_10. Presenza di strutture finissime verosimilmente riconducibili alla formazione di martensite esagonale α’.

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Risultati delle prove di microdurezza:

Metallo base (BM): 204 – 220 HV0.5

Zona termicamente alterata (HAZ): 218 – 233 HV0.5

Zona fusa (WZ): 292 – 374 HV0.5

ANALISI CEDIMENTO TUBO SALDATO IN TITANIO

Conclusioni

L'analisi metallografica svolta attesta che le fratture verificatesi lungo la saldatura durante la prova di allargamento sono riconducibili alla formazione in tale regione di microstrutture lamellari finissime, in alcuni punti di natura cristallina verosimilmente martensitica. Ciò ha avuto come conseguenza l'ottenimento di durezze assai elevate (le prove di microdurezza evidenziano infatti un aumento di 100 – 150 HV rispetto al metallo base) a scapito però di un drastico calo di duttilità, che giustifica i cedimenti verificatisi nella prova di allargamento.
Le strutture evidenziate nella zona di saldatura sono state generate dall'eccessiva velocità di raffreddamento, che è conseguenza dell'alto apporto termico specifico, 600 J/cm, del processo di saldatura al laser utilizzato. A questo proposito, si segnala che è pratica usuale ricorre al processo di saldatura TIG per i tubi in titanio CP 2.