

A Tensile Test of Vacuum Fired Titanium

Kazuaki Suganuma^{1,A)}, Yusuke Hikichi^{A)}, Norio Ogiwara^{A)}, and Satoru Sukenobu^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirane, Shirakata, Tokai, Ibaraki, 319-1195

^{B)} Hakodate National College of Technology

14-1 Tokura, Hakodate, Hokkaido, 042-8501

Abstract

Pure Ti is adopted as a material for ducts and bellows at the proton accelerator 3 GeV-RCS in J-PARC project, because of its small residual radioactivity. We intended to apply vacuum firing to reduce the hydrogen content in the Ti. The firing at temperatures higher than 550°C was effective in reducing the hydrogen content in the Ti. At the same time, we have measured the mechanical properties because grain growth leads to decrease in mechanical strength. Even after treatment at 750°C for 8 hr, the decreases in tensile and yield strength were so small (~10%) that we have no anxiety about the reduction of mechanical strength. Based on the above results, to reduce the hydrogen content, the Ti bellows and ducts for the RCS have been vacuum fired at 650°C for 8 hr and at 750°C for 8 hr, respectively.

真空熱処理したチタン材の引張試験

1. はじめに

現在稼動しているJ-PARC RCS^[1]の建設当時の問題解決に関する報告である。高温で真空熱処理した純チタンの材料データが不足していたため実施した引張試験について報告する。真空容器を構成するベローズおよび金属ダクトに純チタンを用いている。ベローズおよび金属ダクトの放出ガスを低減するため、真空熱処理と放出ガスの関係を明らかにした^[2]。しかし、高温で真空熱処理することで強度劣化する純チタンの材料データが不足していたため、引張試験を実施した。本報告では、1) 板材から試験片を取り出す方向による違い、2) 真空熱処理後の強度や伸びについて、3) 棒材で実施した熱処理後の結晶観察についてふれる。

2. 試験の準備

2.1 板材の試験準備

表1に試験機、試験片、引張り速度を示す。板材では、熱処理温度の違いによる強度や伸びのデータを取得すること、および供試材から取り出す試験片の方向による違いを見るため、一枚の板から圧延方向と直角方向に試験片を切り出した。板は、幅600mm、奥行き300mm、厚さ0.3mmで、予め油性のマジックで番号を記し、短冊状の板にシャーリングした。次に短冊状になった全てを、マジックで記した番号や重ねた順番、短冊の向きを一枚一枚記録し重ねた。全て重ねた短冊状の板をワイヤー放電加工機で一度に試験片形状に加工した。

供試材は、純チタンのTR270C (チタン1種) およびASTM G2 (チタン2種) である。TR270CとASTM G2

の圧延方向 (L:Longitudinal) と直角方向 (T:Transverse)それぞれ3枚を1セットとし、TR270CとASTM G2について、それぞれ2セット、計4セットを650°C、8時間の真空熱処理した。試験片は試験機の条件からJIS13B試験片とした。引張試験機は、Instron5567を使用した。

2.2 棒材の試験準備

棒材の試験片は、結晶の観察にも用いた。供試材はφ16mmのTB340H (チタン2種) を使用した。TB340Hについては、750°C、8時間の真空熱処理をしている。試験片は、試験機の条件から試験機専用の形状に加工した試験片とした。TB340Hに使用した試験機は東伸工業LFT-1R30Vである。

表1：2つの試験の詳細

	板材	棒材
供試材	TR270C, ASTM G2	TB340H
用途	成型ベローズ	(ダクト) (フランジ)
試験機	インストロン5567	東進工業 LFT-1R30V
試験片	JIS13B	試験機専用 φ7mm, L=15mm
スピード	0.5mm/min	0.1mm/min

¹ E-mail: suganuma.kazuaki@jaea.go.jp

3. 試験結果

3.1 板材における試験片を取り出す方向による違い

図1にTR270Cの真空熱処理なしの試験片と破断させた圧延方向と直角方向の試験片を示す。TR270Cは方向の違いで破断までの伸びに差が出ていた。直角方向の破断部は幅が極端に細くなり伸びを抑制している。一方、圧延方向の試験片は破断するまで均一に伸びていた。破断した試験片の表面は荒れていた。引張られることで結晶粒が観測された。図2にASTM G2の真空熱処理なしの試験片と破断させた圧延方向と直角方向の試験片を示す。ASTM G2では引張ることによる表面の変化は観測されなかった。

図3にTR270Cの方向の違いによる伸びと応力のグラフを示す。図4にASTM G2の方向の違いによる伸びと応力のグラフを示す。TR270Cでは圧延方向と直角方向で最大応力の現れる伸びの値が初めと後半にはっきりと分かれていた。ASTM G2では直角方向で降伏点が見られた。TR270CとASTM G2の両方とも、試験片を取り出す方向による違いが見られた。

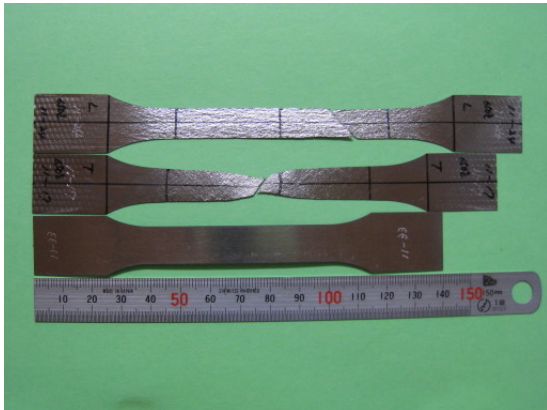


図1：試験前後 (TR270C)

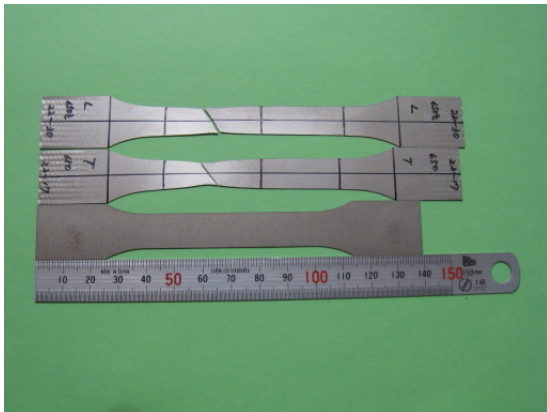


図2：試験前後 (ASTM G2)

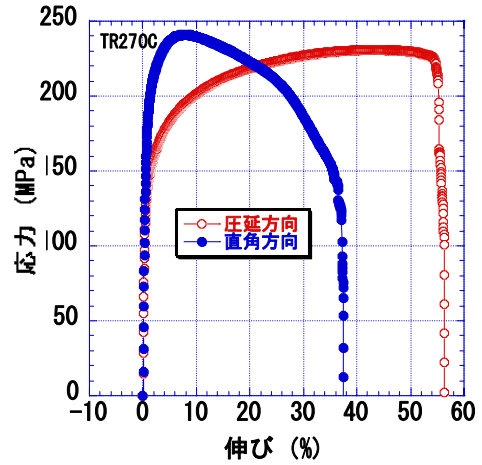


図3：TR270Cの供試材から取り出す試験片の方向による違い

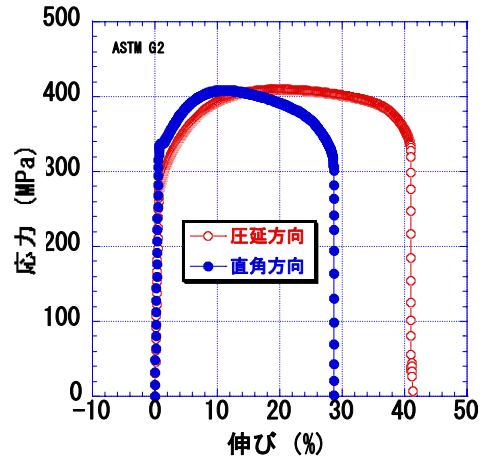


図4：ASTM G2の供試材から取り出す試験片の方向による違い

3.2 真空熱処理後の強度と伸び

表2にTR270C、ASTM G2、TB340Hの処理温度と強度や伸びの値を示す。TR270Cでは、650℃の真空熱処理により最大応力が5%ほど増加している。0.2%耐力は30%ほど減少している。伸びはほとんど変化が見られなかった。また、圧延方向、直角方向の両方で650℃の熱処理により降伏点が見れた。ASTM G2では、650℃の真空熱処理で最大応力、0.2%耐力、伸びのそれぞれで、ほとんど変化が見られなかった。TB340Hでは、最大応力、0.2%耐力のそれぞれで十数%の減少が見られた。伸びは20%ほど増加していた。それぞれの値をJISのハンドブックなどに記載された最大応力、0.2%耐力、伸びと照らし合わせると、TR270C (チタン1種) の最大応力、0.2%耐力以外は記載された値の範囲であった。図5に最も高い温度で真空熱処理したTB340Hの温度と応力や伸びのグラフを示す。

表 2 : 試験結果

	方向	真空熱処理なし			650℃ 8時間			750℃ 8時間		
		最大応力 (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	伸び (%)	最大応力 (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	伸び (%)	最大応力 (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	伸び (%)
TR270C	L	229	109	58	241	78	60	-	-	-
	T	239	159	38	251	138	38	-	-	-
ASTM G2	L	410	266	44	409	258	39	-	-	-
	T	404	302	35	400	311	33	-	-	-
TB340H		378	278	40	-	-	-	330	240	47

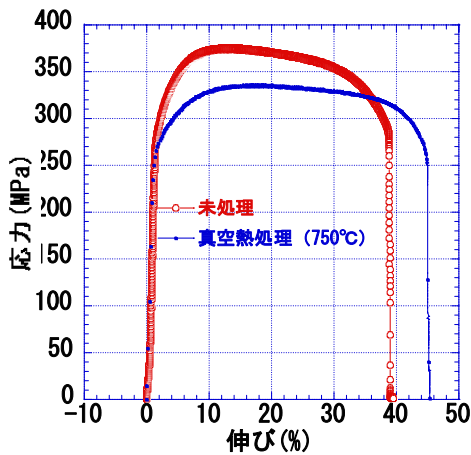


図 5 : 熱処理の有無による材料特性の違い (TB340H)

3.3 結晶の観察

図 6 に、TB340H (チタン2種) の真空熱処理なしと 750℃8時間の真空熱処理をした結晶を示す。750℃の真空熱処理により結晶は大きく成長している。

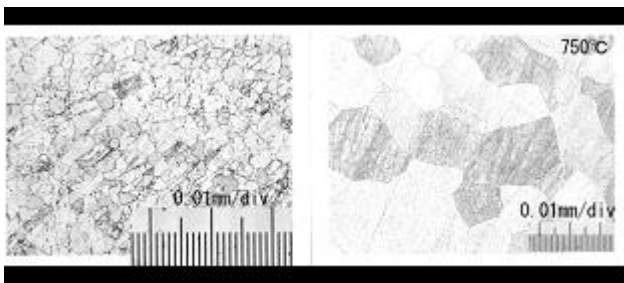


図 6 : 結晶の観察

4. まとめ

J-PARC RCSのベローズやダクトの材料となる純チタンの引張試験を実施した。板材 (TR270C および ASTM G2) では、供試材から試験片を取り出す方向で強度や伸びに違いがある。TB340Hによる試験では、750℃8時間の真空熱処理を実施し、強度の低下は10%程度で、十分な強度であった。これを反映して、実機において、ベローズは650℃8時間、ダクトおよびフランジは750℃8時間の真空熱処理を実施した。

謝辞

純チタンの供試材を大阪ラセン管工業株式会社様に提供いただきました。引張試験にあたって、函館工業高等専門学校、電気電子工学科、佐藤博保教授にご協力頂きました。おなじく、引張試験にあたって、原子力機構、核融合研究開発部門、谷川博康氏、中田隼矢氏にご協力頂きました。結晶の観察にあたって、原子力機構、原子力基礎工学部門、上野文義氏、加藤千明氏、鈴木富男氏、加藤祐二氏、工務技術室の大場敏弘氏にご協力を頂きました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 山崎良成. “Accelerator technical design report for J-PARC”, KEK-report 2002-13(2002).
- [2] N.Ogiwara, et al., “Reduction of hydrogen content in pure Ti”, IVC-17/ICSS-13, July 2-6, 2007