工業用純チタニウムの耐疲労性について (第2報)*

竹 内 勝 治*

On the fatigue behaviour of commercially pure titanium (2nd report)

(UDC 539.431:669.295)

TAKEUCHI Katsuzi*

The effects of mean stress on the fatigue properties of annealed and 50 per cent cold rolled commercially pure titanium sheets were studied on Schenck's vibrating sheet bending machine. The notch effects on the fatigue strength of annealed rods were studied on Ono's rotary bending machine.

Following results were obtained:

- (1) The endurance limit diagram in bending is shown in **Fig. 4**. To construct a diagram, the experimental points under the mean stress are plotted along a line drawn through the complete reversal stress amplitude and the nominal tensile strength.
- (2) The relation between theoretical stress concentration factor and fatigue strength reduction factor is shown in **Fig. 6**.
- (3) In the case of 3.1 value of theoretical stress concentration factor, the fatigue strength reduction factor of annealed commercially pure titanium rod is approximately the same as that of 14S-T6 and 24S-T4 aluminium alloys.

(Received Apr. 11, 1957)

1. 緒 言

構造用材として材料を使用する際には振動または繰返応力を受ける部分に用いられる事がある。このような条件下では通常の疲労試験におけるような単純な繰返応力が構造材に使用する場合稀であり、設計上の静荷重と繰返応力が併せて作用することになる。さらに設計上の要求から種々の形状の切欠を有する構造材もあるので耐切欠疲労性についても考慮しなければならぬ。繰返応力下ですぐれた性質を示すチタニウムおよびチタニウム合金は耐食性の良好な事と併せて構造用材としての用途が広いので上述の点について検討する必要が認められる。

工業用純チタニウム(以下 Ti と称する)の耐疲労性におよぼす平均応力の影響について E. D'Appolonia¹⁾は RC-55 について実験を行い、また A-70 の疲れ限度線図が Rem-Cru の Handbook²⁾に示されている。耐切欠疲労性について E. D'Appolonia³⁾は Ti-75A および RC-55 について検討し、J. W. Spretnak⁴⁾は他の材料との比較試験を行つている。

以上の実験は焼鈍材の引張強さが 50kg/mm² または 60kg/mm² 以上の比較的純度の低い Ti について行つたものである。本報で用いた Ti は焼鈍材の引張強さが

40kg/mm² 台であり、このような純度の Ti について次の事項に関して検討した。

(1) 焼鈍板および50%圧延板の疲れ強さにおよぼす平均応力の影響。

(2) 切欠効果および二三の高力Al合金と耐切欠疲労性の比較

2. 試 料

2.1 Ti 板および棒

供試材は大型消耗電極二重溶解方式で製作した鋳塊を加工し、板材は熱間鑄造、熱間圧延、冷間加工、焼鈍等を経て以下冷間加工により最終厚さ1mmとして50%圧延板および700°C焼鈍板を得た。棒材は熱間鍛造により23mmφ冷間加工後700°Cで焼鈍した。各供試材の成分は **Table 1** に示し、機械的性質は **Table 2** に示した。

Table 1 Analysis of impurities. (per cent)

Specimen	N	O	C	H	Fe	Si
Sheet	0.01	0.06	0.01	0.005	0.04	0.04
Rod	"	"	"	0.004	0.05	0.02

* 住友金属工業株式会社伸銅所

* Sumitomo Metal Ind. Co., Ltd.

Table 2 Mechanical properties of specimen.

Specimen		Yield strength (0.2% offset) kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elonga- tion %
Sheet	Annealed	31.6	44.1	28
	50% Red.	64.6	78.0	8.5
Rod	Annealed	31.8	46.5	28

Specimen size; ASTM. E8-52T, sheet type specimen and round specimen.

Table 3 Chemical compositions of specimen (per cent)

Alloy	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Cr	Ti	Zn	Al
14 S	4.16	0.37	0.81	0.78	0.33	0.01	0.02	0.06	Bal.
17 S	4.02	0.52	0.55	0.25	0.37	0.02	0.01	0.07	"
24 S	4.48	1.49	0.66	0.16	0.29	Tr.	"	"	"
75 S	1.65	2.56	0.03	0.19	0.31	0.28	0.05	5.60	"

(a) Dimensions of unnotched rotating-beam specimen.

(b) Dimensions of notched rotating-beam specimen.

Fig. 1 Form and dimensions of fatigue specimen.

2.2 高力 Al 合金

Ti との耐切欠疲労性の比較に用いた高力Al合金は14S, 17S, 24Sおよび75Sの4種であり、何れも20mmφ押出棒である。代表的成分はTable 3に示し、各熱処理後の機械的性質はTable 4に示した。

3. 疲労試験方法

3.1 試験機

板材の疲労試験はシエンク型平面曲げ疲労試験機（容量1kg-m）を用いて行い、繰返数は毎分3,500回である。棒材は小野式回転曲げ疲労試験機で行い、繰返数は毎分1,700回である。

3.2 試験片

板材の試験片の採取方向、形状および仕上程度は前報⁵⁾と全く同じである。

Table 4 Mechanical properties of specimen.

Alloy	Treat- ment	Yield strength (0.2% offset) kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation %
14S	T ₆	47.2	53.1	13
17S	T ₄	33.4	49.4	19
24S	T ₄	38.1	56.1	15.5
75S	T ₆	58.4	65.0	12

Fig. 2 S-N curves of annealed commercially pure titanium sheets

棒材の平滑試験片の形状はFig. 1aに示し仕上程度は前報と同じである。Tiの切欠付試験片の形状はFig. 1bに示し、切欠の形状は60°-V型として切欠の深さは1mm、切欠底の半径は5mm、切欠谷底の丸みは1mm、0.5mm, 0.25mmおよび0.125mmの4種とした。これらの試験片の切欠底に働く最大応力と見掛け上の応力との比すなわち形状係数(K_T)はポアソン比⁶⁾を0.34としてNeuberの計算式⁷⁾より求めると1.9, 2.4, 3.1および4.2である。Tiと耐切欠疲労性の比較に用いた高力Al合金棒材の切欠付疲労試験片の切欠は前述のK_T=3.1に相当する形状に加工した。

切欠底の加工は投影器で形状を検査した荒削りおよび

Fig. 3 S-N curves of 50% cold rolled commercially pure titanium sheets.

Fig. 4 Endurance limit diagram of commercially pure titanium sheets under reversed plane bending.

仕上用バイトを用いて行い、切欠底は加工の儘として加工後投影器で形状を検査した。

3.3 平面曲げ疲労試験方法

焼鈍板は平均応力を 0, 5, 10 kg/mm² および 1/2 Stress range 迄変えて試験を行い、50% 圧延板は平均応力を 0, 10, 15 kg/mm² および 1/2 Stress range 迄変えて試験を行った。

3.4 回転曲げ疲労試験方法

Ti の平滑試験片は冷却水の有無の二条件について試験を行い、切欠付疲労試験片は冷却水をかけながら試験を行った。冷却水の流量は毎分 300~350cc に調節し、装置は筆者が従来より使用⁸⁾⁹⁾しているものと同じである。高力 Al 合金の試験は大気中で行った。

4. 実験結果および考察

4.1 平均応力の影響

焼鈍板の S-N 曲線は Fig. 2 に示し、50% 圧延板の S-N 曲線は Fig. 3 に示した。試験結果より疲れ限度線

図を求めると Fig. 4 に示す如くである。

平均応力 0 kg/mm² の場合の焼鈍板の疲れ限度は 29kg/mm² で引張強さの 66% の値を示し、50% 圧延板の疲れ限度は 35kg/mm² で引張強さの 45% の値を示した。平均応力が増加すると疲れ限度は低下し、Fig. 4 に認められる如く両振疲れ限度 (平均応力 0 kg/mm²) と引張強さを結ぶ仮定線に各平均応力の実験値が略一致する事が認められた。この傾向は鉄鋼の如く両振疲れ限度と真破断力を結ぶ線に平均応力の各実験値が一致するのとは異なり、E. D'Appolonia らの回転曲げ疲労の実験結果と一致している。

4.2 耐切欠疲労性

平滑および切欠疲労試験片の S-N 曲線を Fig. 5 に図示した。試験結果について検討すると

(1) 平滑試験片の回転曲げ疲労試験では内部発熱現象が起り、水をかけながら試験すると腐食疲労現象は認められず、冷却効果を示す事を前報で報告した。大気中における平滑試験片の疲れ限度は 23kg/mm² であり内部発熱現象が認められた。冷却水をかけながら試験した場合の疲れ

限度は 28kg/mm² であり、大気中の疲れ限度より 5kg/mm² 増加した。

(2) 切欠付疲労試験片の疲れ強さは切欠の形状が鋭くなるに伴って低下する事が認められた。切欠に伴う疲れ強さの低下を表示するのに切欠係数 (K_F) が用いられ、これは平滑試験片の疲れ強さを切欠付試験片の疲れ強さで除した商である。Fig. 6 に繰返し数 10^7 回における K_F と K_T の関係を冷却水の有無の場合について示した。冷却水のない場合の見掛け上のこれらの関係は大気中の平滑

Table 5 Fatigue properties of Al alloys

Alloy	Treat- ment	Fatigue strength at 10^7 cycles ± kg/mm ²		Fatigue strength reduction factor K_F
		Unnotched	Notched	
14 S	T ₆	17.6	10.1	1.74
17 S	T ₄	16.6	11.0	1.51
24 S	T ₄	18.6	11.5	1.62
75 S	T ₆	19.5	9.2	2.12

Fig. 5 S-N curves of unnotched and notched commercially pure titanium rod with and without coolant

Fig. 6 Relation between fatigue strength reduction factor and theoretical stress concentration factor of annealed commercially pure titanium rod.

Fig. 7 S-N curves of 14S-T₆ aluminium alloy.

Fig. 8 S-N curves of 17S-T₄ aluminium alloy.

Fig. 9 S-N curves of 24S-T₄ aluminium alloy.

Fig. 10 S-N curves of 75S-T₆ aluminium alloy.

試験片の疲れ限度と冷却水のある場合の切欠付試験片の疲れ強さを比較する事により求められる。すなわち切欠付疲労試験片の場合は内部発熱現象は起らず、さらに冷却水をかけながら試験しても疲れ強さが変わらない事を前報で認めているためであり、本報では試験条件を揃える意味で切欠試験片に冷却水をかけたのである。

4.3 高力 Al 合金と耐切欠疲労性の比較

材質別に S-N 曲線を Fig. 7 ~ 10 に示した。試験結果について検討すると

(1) 切欠疲労試験片の S-N 曲線は繰返数が増加すると傾きが平滑試験片の場合よりも滑らかになる傾向が認められた。

(2) 同一形状の切欠であるから K_F について比較する事として繰返数 10⁷ 回における K_F を求めると Table 5 に示す如くであり、T₆ 処理を施した 14S および 75S が T₄ 処理を施した 17S および 24S よりも大きい K_F の値を示している。深井の研究結果⁹⁾によると K_F は T₄ 処理の状態が最小であり、焼戻温度の上昇と共に大きくなり焼戻温度が高くなりすぎると再び小さくなる事が認められている。本報の試験は代表的な熱処理を施した試料についての比較であり同一熱処理条件における比較ではないが、深井が述べている如く焼戻処理が切欠疲労に対して必ずしも有利でない事が推察される。

(3) 同一形状の切欠におけるチタニウムの K_F は冷却水なしの場合に 1.70 の値が前項で得られ、前報では 1.62 の値が前項で得られている。(2) 項の結果と比較すると疲れ強さの絶対値はアルミニウム合金よりも高く、

K_F は 14 S 又は 24 S 程度であり 75 S よりは優れていることが認められた。

5. 総 括

焼鈍状態における引張強さ 40kg/mm^2 台のチタニウムについて耐疲労性に及ぼす平均応力および切欠の影響を検討し、次の結果を得た。

(1) 焼鈍板および 50% 圧延板の平面曲げ疲れ限度線図を Fig. 4 に示した。各平均応力の実験値は両振疲れ限度と引張強さを結ぶ仮定線に略一致した。

(2) 切欠の形状が鋭くなる程疲れ強さは低下し、焼鈍棒の回転曲げ疲労における形状係数と切欠係数の関係を Fig. 6 に示した。

(3) 焼鈍棒と二三の高力アルミニウム合金とを耐切欠疲労性について比較した結果、切欠係数は 14 S 又は 24 S と同程度の値を示す事が認められた。

※ 昭和 31 年 10 月、日本金属学会広島大会にて発表。

参 考 文 献

- 1) J. P. Romualdi, E. D'Appolonia, Proc. A.S.T.M. Vol. 54(1954), p. 798
- 2) Rem-Cru. Titanium Hand Book, 1954
- 3) J. G. Kaufman, R. G. Grum, E. D'Appolonia, WAL Report, No. 401/68-47, Contract, No. DA-36-061-ORD-362, Nov. 1954
- 4) J. W. Spretnak, M. G. Fontana, H. E. Books, Trans. A. S. M. Vol. 43(1951), p. 547
- 5) 竹内勝治、本誌、No. 19, (1956), p. 90
- 6) 前出(2)
- 7) H. Neuber, Kerbspannungslehre, 1937
- 8) 竹内勝治、本誌、No. 16(1955), p. 110
- 9) 竹内勝治、住友金属、Vol. 8(1956), p. 24
- 10) 深井誠吉、住友金属研究報告、Vol. 4 (昭 17), p. 866

軽 金 属 研 究 会 日 誌

- 32.4.15 軽金属誌 No. 23 印刷完成、発送
- 32.5.7 軽金属研究会春期大会分科会打合せ、開催、於大阪
- ① 分科会の開催の要領
 - ② 議事の進行方法について
 - ③ 討論題目の検討
- 32.5.27 編集委員会、出席者 7 名、於当会
- ① No. 24 の印刷状況について
 - ② No. 25 (7 月発行) の編集方針について
- 32.5.31 編集委員会、出席者 8 名、於当会
- ① No. 24 の校正
- 32.6.1 編集委員会、於当会
- ① No. 24 の再校を行い全員の校正を行い校了した

訂 正 表 No. 23

☆欧米における軽合金鋳物およびダイカスト工業の現状

菅 野 友 信

頁	行	誤	正
3	英文表題 2 行目	European	Europe
3	"	United State	United States
5	左上より 26 行目	Volkswagenwerk	Volkswagenwerke
7	左上より 16 行目	De La Fanderie	De La Fonderie
	目次の題目	European	Europe
	"	United State	United States