

連載
第29回

材料設計・加工プロセス技術の新たな試み

Ti合金製動物用軽量高強度骨プレートの試作

協栄プリント技研(株) 小林 明宏*

1. はじめに

動物の骨折には年齢、位置、状態により様々な治療が行われるが、完全骨折で骨折端のズレが大きい場合や粉碎骨折の場合は、手術による固定が必要になる。おもに用いられる手術法に、髄内ピン、創外固定、骨プレートなどがある。

このうち、骨プレート固定では、動物の負担軽減と獣医師の手術軽減のために、強度を維持しながらも軽く薄い(細い)骨プレートが好ましい。そこで、生体用金属としてよく用いられるチタン合金の高強度・軽薄化を図り、応用可能性を調べた¹⁾。

2. 試験方法

(1)材料と熱処理

高強度で耐蝕性に優れた高力合金系Ti合金Ti-6Al-4V、JIS60種相当(以下、6-4チタン)の薄板(板厚 t 3.0および2.1)を試験に供した。その化学成分は、N \leq 0.05、C \leq 0.08、H \leq 0.015、Fe \leq 0.40、O \leq 0.20、Al5.50~6.75、V3.50~4.50、Ti Bal.である。

[JZK研究会]

*こばやし あきひろ：代表取締役社長
〒182-0025 東京都調布市多摩川1-21-1
☎042-484-2151

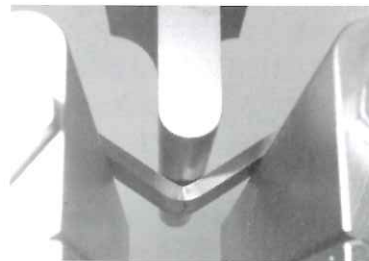


図1 3点曲げ試験状況

試験片は、平行部の幅15mm長さ50mmの短冊形に機械加工仕上げをした。熱処理(焼入れおよび時効)には、一様な急速加熱冷却ができ、焼入れひずみ抑制や酸化防止に効果的なアルカリ金属浴浸漬法をとることにした。ここでは、比較的安価で、ナトリウムやカリウムより高い融点、沸点を持ち自然発火せず、部品の表面や組織内に残留しないとされるリチウムを金属浴に用いた。

ナノクエンチ熱処理装置(日本サーモテック製、2槽式、抵抗加熱式)を用い、まず溶体化処理(850℃で1分浸漬後250℃で1分浸漬して空冷)し、次いで時効処理(500℃、1分保持後空冷)をした。

(2)機械的性質の評価

骨プレートには、曲げ抵抗や耐磨耗性が必要である。そこで、曲げ試験と表面硬さ試験を行い、熱処理効果を確認した。曲げ強度は、100kN万能試験機による3点曲げ試験(JIS K7171)で得た曲げ応力-曲げ変位曲線から計算した。硬さは、ロックウェル硬さ試験機でHRCを測定した。

3. 機械的性質の改善

熱処理(以下、ナノクエンチ法²⁾)の効果として、チタン合金の2相組織が微細化(微細 α 相の析出)することにより、弾性係数(剛性)はほぼ保たれ、

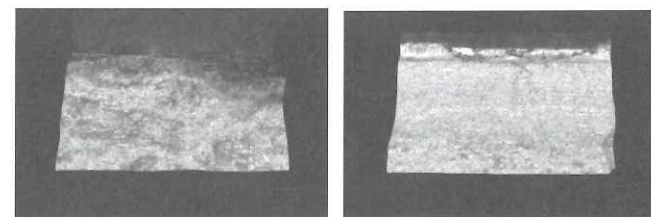


図2 曲げ破断面の顕微鏡観察

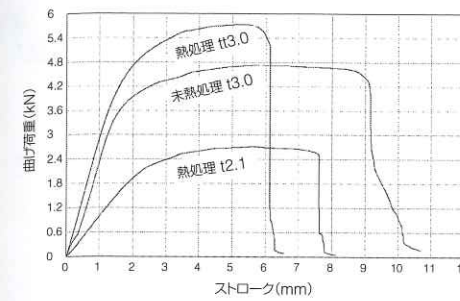


図3 曲げ荷重-ストローク曲線

表1 6-4チタン合金の曲げ強さと硬改善結果

	最大曲げ荷重(kN)	曲げ強さ(MPa)	最大点ストローク(mm)	硬さ HRC
未熱処理 t3.0	4.73	2100	5.85	33.83~34.40
熱処理 t3.0	5.73	2550	5.34	40.93~41.27
熱処理 t2.1	2.71	2460	5.61	41.27~42.01

引張強さが20%以上、疲労強度も向上するとされる(日本サーモテック技術データ)。

図1に3点曲げ試験の状況を示す。また図2に試験片(t 3.0)の破断面組織を示す。破断は最大応力側(上)からパンチ側(下)に進行しているが、その破面は未熱処理材が粗いのに対しナノクエンチ熱処理材は緻密になっている。組織が微細化した効果と考えられる。

曲げ荷重-ストローク(変位)線図を図3に示す。3本の曲線のうち熱処理材(t 2.1)のものがかなり低荷重側になり、かつ初期勾配が小さい。これは変形力が小さくて済み、たわみが発生しやすいこと(板厚効果)によるものである。

同じ板厚材(t 3.0)と比較すると、未熱処理に比べ熱処理材が初期勾配が僅か大きく、最大荷重が1kNほど高く、破断ストロークが33mmほど少ない。すなわち、剛性は変えず強度の改善と延性の抑制が確認できた。

曲げ試験と硬さ試験の結果から得られる機械的性質を表1に掲げる。曲げ強さ(応力)は、次式で求めた。

$$\sigma_b = 3FL / 2bh^2 \quad (1)$$

ここで、 F :最大荷重(N)、 L :支点間距離(mm)、 b :試験片幅(mm)、 h :試験片厚さ(mm)である。

同じ板厚(t 3.0)で曲げ強さを比較すると、熱処理することにより値は21%ほど改善されている。また硬さも7ポイントほど向上したことが分かる。



図4 試作した骨プレート(6-4チタン t 1.4、ナノクエンチ)



図5 患部に合わせて骨プレートの形状を調整する例

4. 実用性の検討

曲げ強度の改善により、骨プレートを軽薄化できることが明らかになった。ちなみに、曲げ強度に対して板厚効果は2乗で効くので、その20%の改善は板厚をおよそ1/2にできる計算になる。

実験では薄板を対象としたが、線材なら細くできることになる。薄肉化あるいは細線化によって手術範囲を狭くできることから、患者の負担軽減や獣医師の作業軽減が期待できる。

実際に、図4に示すようなナノクエンチ熱処理を施したT字型動物用骨プレートを試作し、獣医師の手術に供した(図5)。従来品より厚みを30%薄くしている。部品の多数のザグリ穴は、骨にねじ止めするためのものである。その結果、獣医師の好意的評価を得た。

5. おわりに

高力合金系Ti合金(Ti-6Al-4V)の薄板をナノクエンチ熱処理で、曲げ強度を21%、硬さをHRC7ポイント改善できることが確認できた。これにより、骨プレートを軽薄化でき、患者と医師の負担が軽減される。動物用骨プレートの試作品は、獣医師の実証でも評価された。この強度改善手法は、各種インプラント用具にも適用できると思われる。

本研究は桐蔭横浜大学大学院で行われたことを記し、ご指導いただいた川島徳道教授ほか協力者、ならびにナノクエンチ熱処理で助言くださった二宮進氏(日本サーモテック)に感謝します。

参考文献

- 1) A. Kobayashi, S. Furumori, H. Kawashima: Material Technology, 30-2(2012)pp.54~58.
- 2) 二宮進: 熱処理, 47-4(2007), pp.193~198.