

チタン-アルミ合金線の加工特性と軟化特性について

八木 芳郎* 湯河 透* 草道 英武*

Yoshiro Yagi, Tôru Yukawa and Hidetake Kusamichi : Characteristics of Work Hardening and Anneal Softening of Titanium Base Ti-Al Alloy Wires. Titanium base Ti-Al alloy is one of the most basic titanium alloys with the same crystal structure as pure titanium. We have researched into the microstructures and work hardening characteristics of cold-drawn pure titanium and of titanium base Ti-Al alloys containing 1 to 4% Al, and have obtained the results that, such a many twins can not be seen in the structure of the cold-drawn Ti-Al alloys like pure titanium and that the work hardening of Ti-Al alloys is much less than that of pure titanium. Next, we have observed the characteristics of softening by annealing and the recrystallization temperatures of these wires cold drawn at various degrees. For instance, in the case of 56% reduction, the beginning temperatures of recrystallization of pure Ti, Ti-1% Al alloy, Ti-2%Al alloy and Ti-4%Al alloy are at about 500°, 575°, 600° to 650° and 650° to 700°, respectively, when these wires are annealed for 1 hour.

(Received November 19, 1956)

I. 緒 言

我国において生産されているスポンジチタンはその純度が高く、それを原料とした高純度チタン製品はすでに市販されている。一般に純度の高いことは靱性が大きく加工性の優れている反面、構造用材料としては強度に欠ける感みがある。そのため適当な合金元素を添加して高強度チタン

合金として使用することが望ましい。各種のチタン基合金中チタン-アルミニウム合金は室温でその組織が α で組織的に安定で、また耐熱性、熔接性に優れた点が認められるため、チタン合金中の基本的な地位を占めるもので各種形状の構造用材料として多量に使用される可能性がある。しかるに Ti-Al 系合金の諸性質に関する報告が少いため、著者等は工業用純チタンの物理的、機械的性質および熱処理性質に及ぼす Al の影響を研究しすでに本誌に報告した。

* 株式会社神戸製鋼所

本報告は均一なチタン基アルミニウム合金の冷間引抜加工組織および抗張性質に及ぼすアルミニウム含有量の影響について述べ、次に再結晶に及ぼす加工度およびアルミニウム含有量の影響について述べたものである。

II. 試料および実験方法

純チタンおよびそれに Al をそれぞれ 1%, 2%, 4% を含有する合金を消耗電極式二重熔解法により製作した。これを皮削りして約 130 φ×150 l mm の健全鋳塊を製作し、その各所より試料を採取して分析を行い偏析のないことを確かめ、また超音波探傷器により内部欠陥の無いことを確認した後、鍛造、スエージャーおよび引抜により 4.0 mm 径の線とした。これを酸洗後、純チタンは 700°, 1% Al 合金は 800°, 2% Al および 4% Al 合金は 900° で 5×10⁻⁵ mm Hg の真空中にて 1 hr 焼鈍し、完全な焼鈍組織とした。それらの素材成分を Table 1 に示す。

これらを素材としてドローベンチにより合金ダイスを用いて伸線し減面率それぞれ 12%, 24%, 34%, 46%, 56%, 67%(4% Al 合金を除く), 81% (2% Al, 4% Al 合金を除く) の線をつくつた。まずこの引抜線について縦断面の組織および硬度、並びに抗張性質を求め、引きつづき 300~900° の各温度で 1 hr 真空中で加熱し組織、硬度、抗張性質の変化を観測した。

Table 1 Chemical composition of pure Ti and Ti-Al alloy used.

Chemical composition (%)	Al	C	Si	Fe	N	O	H
Pure Ti	—	0.024	<0.05	0.048	0.007	0.01	0.0010
1%A alloy	1.08	0.017	<0.05	0.050	0.010	0.11	0.0017
2%A alloy	1.98	0.016	<0.05	0.037	0.012	0.12	0.0027
4%A alloy	3.76	0.019	<0.05	0.045	0.014	0.15	0.0010

III. 実験結果と考察

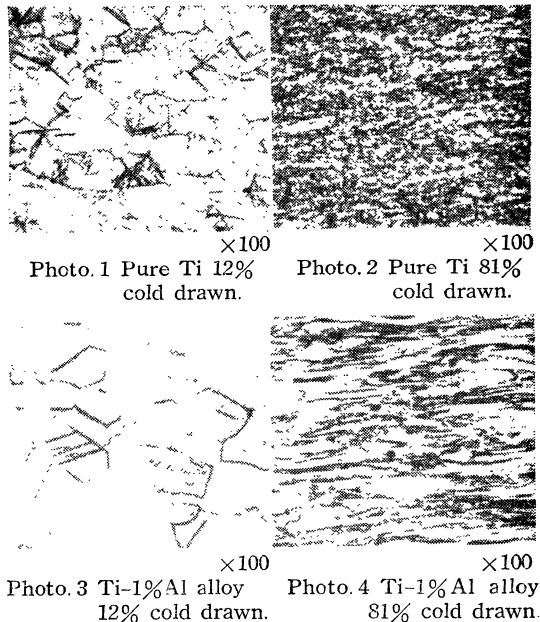
1. 冷間引抜性質に及ぼす Al 含有量の影響

前述の如き 4 mm 径のチタン線をドローベンチにより伸線したが、純チタンおよび 1% Al 合金は全減面率 81% まで中間焼鈍なしに伸線し何等の異状が認められなかつたが、Al 含有量が増加すると加工は困難となり、2% Al 合金は 66% の減面率までは異状なく加工出来るが、それ以上では内部に欠陥を生ずるに至る。4% Al 合金では 56% までは異状なく加工出来るが、それ以上では内部に欠陥を生ずるに至る。

加工による組織の変化を Photo. 1~4 に示した。純チタン板の冷間加工組織についてはすでに大日方、西村⁽¹⁾による報告があるが、引抜加工の場合も略々同様の結果を得た。すなわち加工度 12% において多数のレンズ状の双晶が観測され、また一二ヶ所に段階状の双晶がみられる。これは F. D. Rosi 等⁽²⁾ によれば {101̄2} および {112̄1} 面の双晶と考えられる。加工度が進むと共に Photo. 2 に示

す如く双晶は益々多く粒内に一面に発生するのが観測されるが、一部には双晶の発生し難い粒もあり、加工度が大きくなればそれが引抜方向に長くのびているのが観測される。

しかるに Al が添加されると、顕微鏡組織は純チタンの場合とは非常に異なる。Photo. 3 は 1% Al 合金の 12% 加



工組織であるが、純チタンでみられた多数のレンズ状の双晶は殆んど観察されず、粒によつては所々に長い真直に伸びた線がみられる。Ti-Al 合金においては加工度がさらに進むも、純チタンの如く多量の双晶の発生はみられず、粒が次第にのびてゆき、高い加工度では Photo. 4 のように粒界が波形に彎曲した細長い粒となっている。加工度が大きくなると粒界附近から短い小さな髭状の線が多数発生し、それらのために粒界が黒く太い線にみえる。また粒によつてはこれらの比較的発生していないものもある。この黒い附近は加工歪の大きい部分と考えられ、加熱によりこの附近から再結晶粒が発生すること

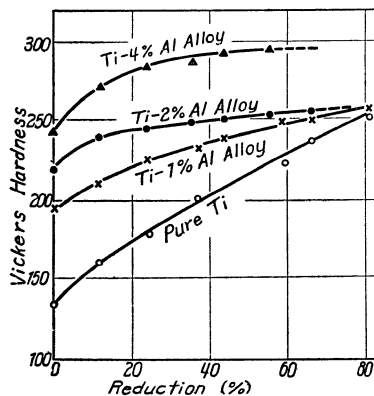


Fig. 1 Effect of cold drawing on the hardness of pure Ti and Ti-Al alloy wire.

は後述の通りである。

加工による硬度の変化を Fig. 1 に示した。加工と共に硬度が上昇するのはいずれの合金においても同様であるが、加工硬化する割合は純チタンが最も大きく Al を含有す

(1) 大日方, 西村, 本誌, 19(1955), 549; 552; 620.
F. D. Rosi et al, J. Metals, 5(1953), 257.

ると急激に低くなる。Fig. 2 に加工率と硬度の上昇率との関係を示したが、純チタンでは加工度が大きくなっても硬化能が余り衰えないのに対し、少量でも Al を含有する合金は、加工度の増大と共に硬化能が急激に減少するのが見られる。

Fig. 3 に純チタンおよび Ti-Al 合金線の加工による抗張性質の変化を示した。抗張力は加工と共に増大するが、硬度の場合と同様な傾向が認められる。

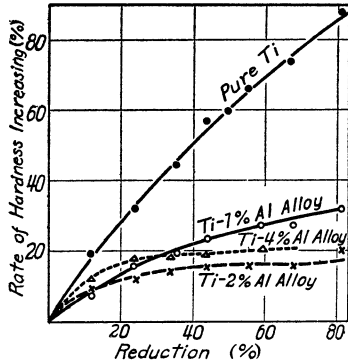


Fig. 2 Effect of cold drawing on the increase of hardness of pure Ti and Ti-Al alloy wire.

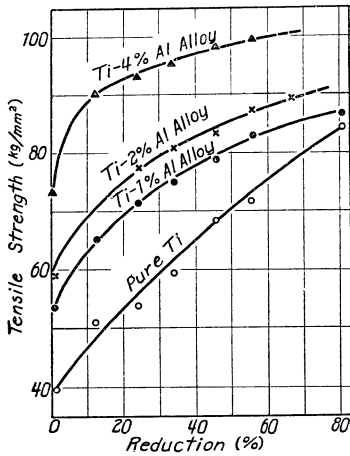


Fig. 3 Effect of cold drawing on the tensile properties of pure Ti and Ti-Al alloy.

2. 軟化に及ぼす加工度, Al 含有量の影響

純チタンおよび Ti-Al 合金線の各種加工度の引抜線を種々の温度で 1 hr 加熱した場合の硬度の変化を Fig. 4~7 に示した。加工度の小さい場合、硬度の軟化曲線は純チタン, Ti-Al 合金いずれの場合も段階的になっている。純チタンの場合、加工度が大きくなると段階的ではなくなるが、はじめは緩やかに軟化しある温度から急激に軟化し、その後徐々に軟化する。このように折目がついており、組織より観察すると急激に軟化する付近で再結晶がおこっているようである。

1% Al 合金においても純チタンと同様の傾向がみられ、

最初緩やかに軟化しある温度以上で急激に軟化し、その後徐々に軟化する。軟化の急激な部分で再結晶がおこっている。

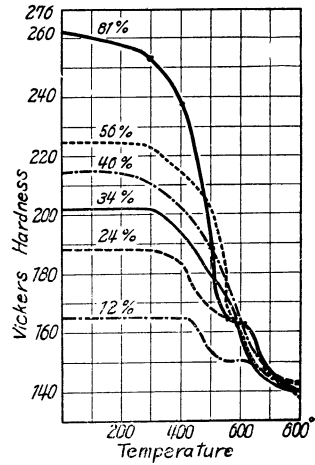


Fig. 4 Effect of annealing temperature on the hardness of cold drawn pure titanium wire.

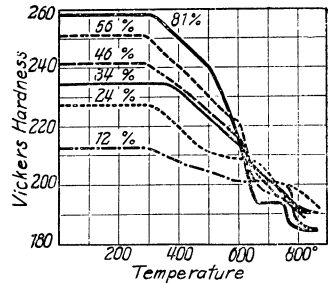


Fig. 5 Effect of annealing temperature on the hardness of cold drawn Ti-1% Al alloy wire

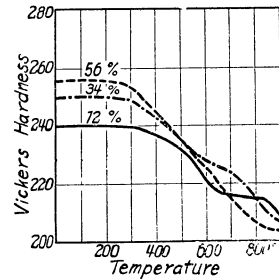


Fig. 6 Effect of annealing temperature on the hardness of cold drawn Ti-2% Al alloy wire.

る。Al 含有量が増えると Fig. 6~7 の如く、この現象は明瞭には観察されなかつた。Fig. 8~9 には純チタンおよび 1% Al 合金線の加熱による抗張性質の変化を示した。抗張力の軟化は硬度の場合と同じくある温度から急激になり、硬度の場合よりも明瞭にみられる。

軟化の始る温度は加工度が大きくなるほど低温側に移り、81% 加工度のものは 300° ですでにかなり軟化している。

伸び、絞りについては加熱温度が高くなるにつれて徐々に増大し、再結晶が始ると共に急激に増大し完了と共に一定値となる。

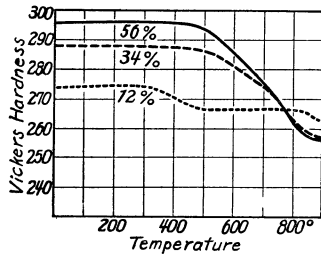


Fig. 7 Effect of annealing temperature on the hardness of cold drawn Ti-4% Al alloy wire.

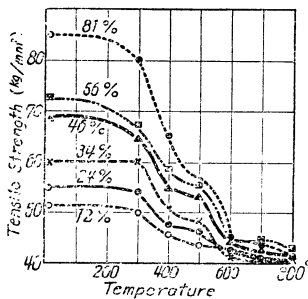


Fig. 8 Effect of annealing temperature on the tensile properties of cold drawn pure Ti.

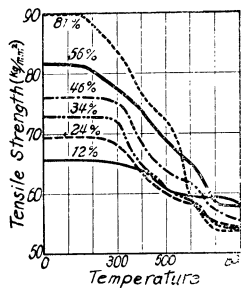


Fig. 9 Effect of annealing temperature on the tensile properties of cold drawn Ti-1%Al alloy.

加熱による組織の変化を Photo. 5-8 に示す。純チタン板の再結晶過程に関してはすでに大日方、西村⁽¹⁾のくわしい報告がある。著者らの場合、加工度の大きい線は、結晶粒界或いは双晶境界附近より微細な再結晶核が発生し温度が上昇するにつれそれが成長してゆく。加工度の小さい場合は、再結晶粒の発生が少なくあまり明瞭でない。双晶が次第に消えてゆき遂には一様な α の組織となる。さらに温度が上昇すると急激に大きい粒となる。

Al を含有する合金は、加工度大なる場合は前述の如く長くのびた結晶粒界の加工歪の大きい部分に新しい粒が発生し、新しい粒の発生しない粒内に成長してゆく。Photo. 7 は 1%Al 合金の 81% 加工せる組織で再結晶粒の多く発生している部分と発生していない部分がみられる。加熱温度が高くなると共にこれが次第に発達して大きくなる。加工度の低い場合は純チタンの場合と同じく再結晶粒の発

生が少なくあまり明瞭でない。

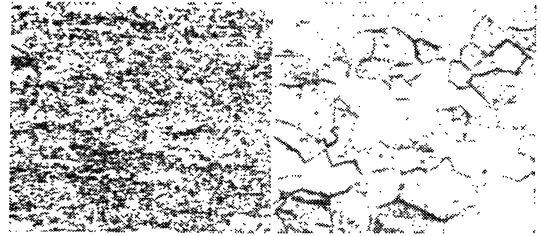


Photo. 5 Pure Ti 81% cold drawn annealed at 500°.

Photo. 6 Pure Ti 81% cold drawn annealed at 800°.

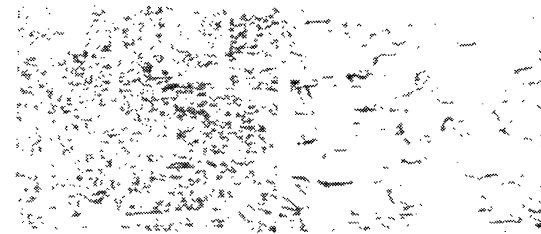


Photo. 7 Ti-1%Al alloy 81% cold drawn annealed at 600°.

Photo. 8 Ti-1%Al alloy 81% cold drawn annealed at 800°.

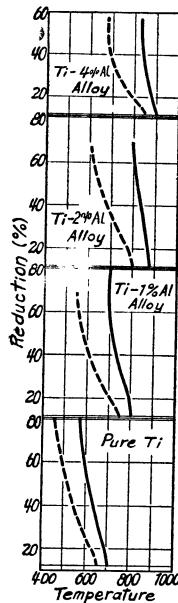


Fig. 10 Beginning and ending temperature of recrystallization of cold drawn pure Ti and Ti-Al alloy.

再結晶後の粒度は加工度の大きなるほど小さくなるが、この傾向は Al を含有する方が明瞭である

再結晶開始と終了の温度は加工度が大となるにつれて次第に低くなる。また純チタンに比し Al 含有量が増えるにつれて高温側にずれる。この大体の傾向を Fig. 10 に示した。

IV. 結 言

純チタンおよび Ti-Al 合金はいずれも α 型結晶構造を有し、構造用材料として種々の利点を有する。著者らはそれらの加工および焼鈍について研究を行い次の結論を得た。

(1) 純チタンおよび Ti-Al 合金の伸線加工を行つたが、純チタンは加工により多数の双晶を発生するが Al を含有すればその発生は殆んどなく、両者は異つた様相を呈する。

(2) 加工によつて純チタンは強く硬化し、Al を含有すると硬化が減少する。また加工度大となると Al を含有するものは殆んど硬化しなくなるが、純チタンはそのようなことはない。

(3) 焼鈍による軟化が低加工の場合は純チタン、Ti-Al 合金いずれも段階的になつている。また加工度大となると純チタンおよび 1%Al 合金では再結晶がはじまると急激に軟化する。

(4) 再結晶温度は加工度が大となると共に低くなり、Al を含有すると高くなる。