

【281】

氏名	辻本 得藏
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第194号
学位授与の日付	昭和43年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	チタン—アルミニウム—コバルト3元系チタン合金に関する研究
論文調査委員	(主査) 教授 足立正雄 教授 高村仁一 教授 中村陽二

論文内容の要旨

本論文はチタン—アルミニウム2元系状態図とチタン—アルミニウム—コバルト3元系状態図のチタン側の状態図と、この3元合金の組織と機械的性質などについて研究したもので、緒言と3篇21章と総括からなる。

緒言は本研究の目的および方針を述べたものである。従来チタン合金の強化法としては、低温、高温における安定相 α 、 β を固溶強化するか、あるいは $\alpha \rightleftharpoons \beta$ 変態を利用して β 中に α を微細に分布させることによっている。この研究ではチタン合金の高温強度に重点を置き、 α 安定化元素であるアルミニウムと、チタンとの2元系における共析変態温度が比較的高いコバルトを選んでいる。チタンに対しコバルトは β 安定化元素であり、共析反応により Ti_3Co を生じる。チタンにアルミニウムをできるだけ多く合金させることは、変態点を上昇させることからだけでも好ましいことであるが、6%より多く合金させると脆化を生じ、その原因についても明らかでなく、 Ti_3Al を基準とする α_2 相の存在によるともいわれるが、 α 相の固溶限さえ明らかでない。本研究では2元系、3元系についてこのような点も明らかにし、新しい耐熱合金の発展への基礎研究を目的としていることを述べている。

第1篇はチタン—アルミニウム2元系およびチタン—アルミニウム—コバルト3元系のチタン側の状態図の研究で6章よりなる。第1章は3元系の基礎となる各2元系の状態図の従来の研究結果を概説したものである。第2章では試料と実験方法について述べてあり、平衡相の観察を容易にするため熱処理時間を特に長くしたことを述べている。第3章ではチタン—アルミニウム2元系の状態図についての研究結果を述べ、従来の研究結果が一致していない原因を考察し、 $\beta + \alpha_2 \rightleftharpoons \alpha$ の包析反応を認め、また α 相の固溶限を決定し、新しい2元系状態図を提案している。第4章ではチタン含有量が85%以下の範囲の3元系状態図を融点測定、焼入組織の観察、X線などにより研究し、 θ 相と名づけた相と、6種の不変系反応を見出しており、3元系状態図を決定している。第5章ではチタンを80%以上含む範囲の状態図を同様の手段により研究し、決定したものである。X線により区別し難い α と α_2 の識別には特に注意されている。また

この範囲で $\beta + \alpha_2 \rightleftharpoons \alpha + \text{Ti}_2\text{Co}$ なる第2種の不変系反応を認めている。

第2篇はアルミニウム2～8%、コバルト2～6%を含む3元系チタン合金の熱処理と組織および機械的性質に関する研究を述べたものがある。第1章では2元系合金についての従来の研究結果を概説してある。第2章では試料および実験方法を述べている。第3章では焼入れ試料の組織と機械的性質との関係を述べ、相の安定度、相の形状などが機械的性質に与える影響、組織と応力-歪曲線の特徴との関係などの研究結果を述べている。アルミニウムは α 相を固溶強化するが、 β 相の強化には殆んど寄与しない。コバルトは β を固溶強化する。焼入れ試料の組織は焼入れ前の処理により大きな影響を受け、例えば $\alpha + \beta$ 相範囲の温度で加工後その温度から焼入れた試料の α 相は粒状であるが、一度 β 単相範囲に加熱するとその後の冷却過程で析出する α 相は針状である。また高温から徐冷すると Ti_2Co は凝集し、針状の α 相および凝集した Ti_2Co は伸びを減少させる。Ti-8% Al-4% Co 合金は引張強さ、耐力、伸びがいずれも高い。この合金は α_2 相を含むが脆くなく、逆に α_2 相の分布が重要な影響を与える。第4章では焼入れにより残留した β 相が不安定で、常温で応力を加えるとマルテンサイト変態を行なう場合の変態現象を研究し、このような場合、マルテンサイト変態を進行させるために必要な応力の大きさは β 相の安定度に依存し、小さい応力でも変態が進行することがあることを述べ、また応力を加えることによるマルテンサイト生成についての鉄-ニッケル合金での説明がこの合金にも適合することを述べている。このような場合の応力-歪曲線は、既に焼入れによりマルテンサイト変態が生じている場合の曲線とは形が異なり、耐力値を計算すると低い値になることをも説明している。第5章は焼入れ試料の冷間加工性を研究したものであり、引張試験結果から示される加工性のパラメーターと冷間加工性との関係について述べている。第6章では焼入れ後の時効に伴う組織と機械的性質の変化を研究している。時効処理により引張強さが著しく大きくなることを述べ、またアルミニウムを含まないチタン合金によく現われ、脆化を生じるいわゆる ω 相が、4%以上アルミニウムを添加することによりその生成が抑制されることを述べている。第7章は第2篇を総括したものである。

第3篇では以上の研究結果から Ti-8% Al-4% Co 合金を取り上げ、実用化への基礎研究を行なった結果について述べてあり、8章からなる。第1章では第2篇の研究結果から耐熱性はアルミニウムを多く含むものがよいが、 α_2 相が増加して高温加工性、常温における延性を減じ、コバルトを増加すると高温加工性はよくなるが、 $\alpha + \alpha_2 + \text{Ti}_2\text{Co}$ 相に熱処理すると常温の延性は減じることを述べ、総合すると Ti-8% Al-4% Co 合金が耐熱合金として期待できることを述べている。第2章ではこの合金の温度と組織の関係を状態図から述べ、他の合金と対照している。第3章は大型鋳塊の製造過程を説明したものである。第4章では熱処理と機械的性質について述べたもので、775°C の変態点より上の温度から焼入れた $\alpha + \beta$ 型合金が引張強さ、耐力、伸びが大きいことを示し、また衝撃値も大きいことを示している。第5章は前章の結果の考察である。第6章はクリープ破断試験の予備実験であって、一般的には 450°C での耐クリープ性は変態点以下で安定な α 型組織の合金の方が、変態点以上の温度から焼入れた $\alpha + \beta$ 型組織の合金よりも良好であることを示しているのは予測される通りである。第7章では変態点以下の温度である 700°C から焼入れた合金について、高温引張試験、クリープおよびクリープ破断試験、疲労試験の 300°C～500°C で試験した結果を示している。第8章は第3篇を総括したもので、常温での機械的性質は変

態点以上の 800°C より焼入れた $\alpha+\beta$ 型組織の合金が優れており、400°~500°C の温度での機械的性質は変態点以下の 700°C から焼入れた合金が優れていることが述べられている。

最後の総括は全体の研究結果を総括したものであって、状態図の研究から合金の組織を研究し、アルミニウムを 8% 含有する Ti-8% Al-4% Co 合金の組織とその熱処理による機械的性質が耐熱合金として優れていることを見出し、その組織と機械的性質との関係より今後の耐熱チタン合金の研究に対し指針を与えている。

論文審査の結果の要旨

金属チタンは戦後実用化されてきた材料であって、現在純金属としては耐食用に使用することが進められているが、合金としては使用量も少なく、まだ開発が進められつつある状態である。チタンは融点が高いが 885°C に変態点を持ち、また高温では酸素などとの反応が激しくなるため、そのような高温では使用される可能性は小さいが、変態点以下で比較的高温まで強さを維持させようとする目的で合金が開発されてきた。これらの合金はチタン—アルミニウム系合金を基本とするものである。

著者はこのような耐熱チタン合金を研究するに当り、基本となるチタン—アルミニウム 2 元系平衡状態図が、比較的多くの研究があるにも拘わらず、必ずしも一致していないことを取り上げ、まず、この 2 元系状態図を研究し、新しい状態図を提案すると共に、従来の不一致の原因について考察を加えている。この状態図では $\beta+\alpha_2\rightleftharpoons\alpha$ なる包析反応がチタン側に存在することを提案すると共に、 α 相と $\alpha+\alpha_2$ 相の境界なども決定されている。ここで α_2 相は Ti_3Al を基準とする相である。

次いでチタンの $\alpha\rightleftharpoons\beta$ の変態点および変態現象に与える影響を考慮して、第 3 元素としてコバルトを選び、この 3 元系合金の基礎研究としてその平衡状態図を研究し、そのチタン側を明らかにした。この状態図で、TiCo と AlCo は連続固溶体を作り、また θ 相と名付けた相を見出し、6 種の不変系反応が存在することを見出している。

この 3 元系の状態図を基礎として、Al 2~8%、Co 2~8% を含む 3 元系チタン合金の組織と加工性、熱処理、機械的性質などとの関係を研究している。その主な結果を示すと、

(1) アルミニウムは α 相を固溶強化するが、 β 相の強化には殆んど寄与しない。コバルトは主として β 相を固溶強化する。

(2) ミクロ組織での α 相の形は機械的性質に大きな影響をもつが、加工温度と熱処理によりその形を制御できる。

(3) この 3 元系合金では β 相あるいは $\alpha+\beta$ 相範囲の温度から焼入れると常温に β 相が残留し、この β 相は常温で剪断応力を加えるとマルテンサイト変態を行なうことが多い。このときの応力は β 相の安定度に依存し、小さい応力でも変態が進行する場合がある。

(4) チタン—コバルト 2 元系合金では、焼入れにより β 相が常温で残留しても、応力を加えてもマルテンサイト変態を行なわない。焼入れの途中あるいはその後の焼戻しにより脆い ω 相と呼ばれる相が形成されるのが通常である。3 元系では 4% 以上アルミニウムを含むとアルミニウムのためこの ω 相の形成が抑制される。

(5) Ti-8% Al-4% Co 合金は優れた機械的性質をもっている。この合金では脆いと考えられる α_2 相を含むが、この α_2 相は細かく分散していて強化作用をもつ。

また従来チタン合金へのアルミニウム添加の限界は、加工性、機械的性質などから6%が限度と考えられてきたが、アルミニウムを8%含む合金の実用化への見通しを得たので、Ti-8% Al-4% Co 合金について大型試料により、300°~500°C での機械的性質について研究し、実用化への指針を与えた。

以上を要するに、この論文は平衡状態図の研究を基礎として新しいチタン合金の研究をその組織と関係づけて発展させ、耐熱チタン合金開発への基礎を築いたばかりでなく、8%以上アルミニウムを含む合金の開発の可能性の端緒を開いたもので、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。