

氏 名	圓 城 敏 男 えん じょう とし お
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 1 3 号
学位授与の日付	昭 和 34 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 冶 金 学 専 攻
学位論文題目	チタン-鉄-マンガン三元系合金の平衡状態図とその熱処理に関する研究
	(主 査)
論文調査委員	教 授 村 上 陽 太 郎 教 授 高 村 仁 一 教 授 久 島 亥 三 雄

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、チタンに対する合金元素として種々の点から重要と考えられる Fe および Mn をえらび、Ti—Fe—Mn 三元系合金の平衡状態図を決定するとともに、これに関連してチタン側合金の熱処理の基礎的研究を行なったもので、10章からなっている。

第1章は緒言で、チタンの合金元素としての Fe および Mn の重要性を説明し、本研究を行なうにいたった動機と目的を述べ、本三元系の各二元系に関する従来の研究結果を概述したのち、本研究の方針を述べている。

第2章は実験試料および実験方法について述べたもので、チタンは化学的にきわめて活性であるため、試料の熔製その他に種々特別の注意を払う必要があるが、著者はそれらを巧みに解決している。特に融点の測定方法として従来から使用されているモリブデン板に直接通電して試料を加熱し、光高温計で熔け落ちの温度を観測する方法のほかに、坩堝材料について検討を行なった結果熔融したチタン合金に対してモリブデンが反応しにくいことを確かめ、モリブデン製の容器を用い、Pt—PtRh 熱電対で熔融温度を測定する装置を新たに設計製作して、従来の方針よりも正確な測定を行なうことに成功し、状態図の研究をきわめて都合よく進めている。

第3章においては Ti—Mn 二元系合金平衡状態図の主として TiMn_2 —Mn 範囲について行なった研究の結果を述べている。三元系状態図の研究にはまずその基礎となる各二元系が明確でなければならないので、従来不明であったこの範囲の合金について、主として融点測定、顕微鏡組織の観察ならびに X 線粉末法によって研究を行ない、TiMn 相の生成は包晶反応によるものであること、 TiMn_2 と Mn の範囲においては共晶点が存在し、その位置はおよそ Mn 83.5 重量%の点で、共晶反応の温度は約 1185°C であること、従来固溶範囲がないと考えられていた TiMn_2 相の固溶範囲はかなり広く、1150°C において Mn 60.5 ないし 68.0 重量%で、温度降下とともに多少その範囲は減少し、800°C において Mn 58.7 ないし 68.0 重量%となることなどを明らかにし、従来研究結果をとりいれて Ti—Mn 二元系合金平衡状態図

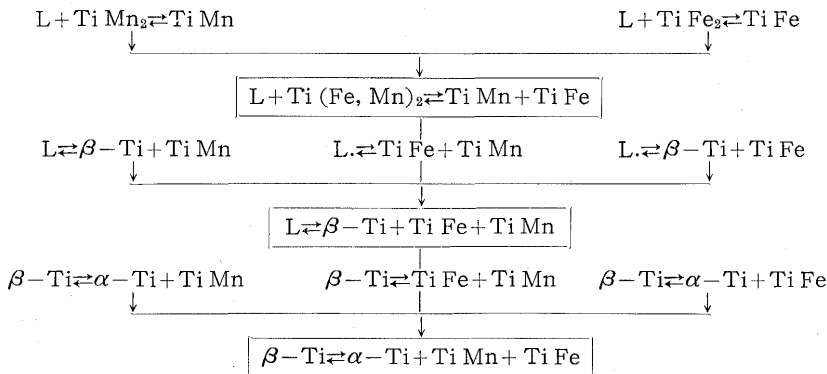
を完成している。

第4章から第6章までは、本三元系合金平衡状態図の研究結果を記述したもので、第4章においては本三元系状態図の液相面を決定している。すなわちTi約15重量%以上の全範囲の合金についてその融点を測定し、これに凝固組織および各相の微小硬度測定の結果を考慮して、三元化合物は存在しないこと、 TiFe_2 相と TiMn_2 相は全率固溶の準二元系をなし、本系を2分することTi—Fe, Ti—Mn 両二元系合金平衡状態図における $\text{L} + \text{TiFe}_2 \rightleftharpoons \text{TiFe}$ および $\text{L} + \text{TiMn}_2 \rightleftharpoons \text{TiMn}$ なる包晶反応は、それぞれMnあるいはFe量が増大するにつれてその反応温度を低下し、これら二元包晶線は互いに交わって、 $\text{L} + \text{Ti}(\text{Fe}, \text{Mn})_2 \rightleftharpoons \text{TiMn} + \text{TiFe}$ で示される包晶共晶反応を生じ、その不変点の位置はほぼTi 56 重量%, Fe 19 重量%, Mn 25 重量%で、反応温度は約 1100°C であること、さらに上記の不変系反応が終了した結果残留した融液は $\text{L} \rightleftharpoons \text{TiFe} + \text{TiMn}$ の二元共晶線に沿って低下し、Ti—Fe, Ti—Mn 両二元系の $\text{L} \rightleftharpoons \beta\text{-Ti} + \text{TiFe}$ および $\text{L} \rightleftharpoons \beta\text{-Ti} + \text{TiMn}$ なる共晶反応と一点に交わり、 $\text{L} \rightleftharpoons \beta\text{-Ti} + \text{TiFe} + \text{TiMn}$ で示される三元共晶反応を生じ、この三元共晶点の位置はほぼTi 62 重量%, Fe 18 重量%, Mn 20 重量%に相当し、その反応温度は約 1050°C であることなどを明らかにしている。

第5章は本三元系の固相間の平衡関係を詳細に検討した結果を述べたもので、1150° ないし 500°C の間の 50°C 間隔の12の等温断面状態図を確定している。 TiFe_2 相と TiMn_2 相が全率固溶の準二元系をなすことを再確認し、三元系におけるその固溶範囲を決定し、またTiFe相はTiMn相にむかって1000°CにおいてはTi 50 重量%, Fe 30 重量%, Mn 20 重量%, 500°CにおいてはTi 47 重量%, Fe 39 重量%, Mn 14 重量%にいたるかなり広い固溶範囲をもつこと、 $\beta\text{-Ti}$ は三元共析温度以上においては広い固溶範囲を示すが、 $\alpha\text{-Ti}$ および TiMn 相は各温度においてほとんど固溶範囲がないことなどを明らかにしている。なお $\beta\text{-Ti} \rightleftharpoons \alpha\text{-Ti} + \text{TiFe} + \text{TiMn}$ で示される三元共析反応が約 550°C で生じ、共析点の位置はTi 78 重量%, Fe 8 重量%, Mn 14 重量%であると述べている。

第6章は第3章ないし第5章の結果を総合して本三元系総合平衡状態図を検討してこれを確定したもので、その平衡関係の概略を第1表に表示した。

第1表 Ti—Fe—Mn 三元系合金の平衡関係



第7章以下は熱処理の基礎的研究の結果を記述したもので、一般に熱処理は平衡状態図と密接な関係があるから、著者は本三元系合金について研究を行なう前に、二元系チタン合金の平衡状態図の型を考慮し

て、まず最も簡単で、Ti に対して β 相を安定化しかつ金属間化合物をもたない全率固溶の Ti—Mo 二元系合金について熱処理における各相の挙動を明らかにし、この研究結果を基礎にして Ti—Fe, Ti—Mn 二元系におよぶことを考えているが、この両合金系の状態図はいずれも β 共析型で金属間化合物を有し、ほとんど同型であるため Ti—Fe 二元系を選び、これらをもとにして本三元系合金の熱処理を明らかにする方針であることを述べている。すなわち第 7 章は Ti—Mo 二元系合金の熱処理の研究で、1000°C より水焼入した合金の組織が、完全な残留 β 、残留 β とマルテンサイトの混合、完全なマルテンサイト組織となる 3 種の合金を選び、熱処理に際して各相がどのような挙動をするかを詳細に検討してチタン合金の熱処理の一般的な考え方を明確にしている。焼入に際して生じた残留 β は加熱によって α に変態するが、中間に平衡状態図に現われない相（これを ω 相と呼称する）が存在するため反応がきわめて複雑になる。中間相 ω は特異な挙動をするが、その析出に伴ってかなりの収縮が生じかつ著しく硬化する。 ω が α へ変態する際には著しい膨脹が起こり、同時に軟化が生じる。マルテンサイト組織の合金は上記のような著しい収縮、膨脹および硬度変化は認められない。2 相混合組織のものは、残留 β 量の多少によって ω 相による効果が現われる。 ω 相のこのような挙動は恒温変態においても生じるが、本系合金では恒温変態の方が恒温焼戻変態の場合よりも硬化および軟化が多少先行することを明らかにしている。

第 8 章は Ti—Fe 二元系について全く同様に研究を行なった結果を述べたもので、本系の ω 相の挙動も Ti—Mo 合金の場合と全く同様であることを明らかにし、つぎに Ti—Fe 相の関係を調べ β —Ti $\rightleftharpoons$ α —Ti + Ti—Fe なる二元共析反応はきわめて緩慢であり、本研究で行なった 2°C/分の加熱速度による 800°C までの加熱および各温度における 7,000 分までの恒温変態の間においては Ti—Fe 相の析出は認められず、したがって実際問題としても本系合金の熱処理には Ti—Fe 相が関与しないものと考えられると述べ、さらに Ti—Mn 二元系についても種々の点を考慮して Ti—Fe 二元系とは ∇ 同様な挙動をするものと考えられると推論している。なお Ti—Fe 二元系合金について熱処理に関する実的な資料をえている。

次いで第 9 章では、既述の三元系合金平衡状態図と、前 2 章で述べた各二元系合金の熱処理の結果をもとにして、Ti—Fe—Mn 系のチタン側の組成を異にした 23 箇の試料について、その熱処理の基礎的研究を行なっている。まずこれらの合金を 1000°C から水焼入した場合の組織図を明らかにしている。合金元素量の少ないものはマルテンサイト組織になるが、一定量以上含有する合金では残留 β が生じる。合金元素量の増加とともに硬度は上昇し、ある一定量以上では再び硬度は低下する。前 2 章と同様に示差熱膨脹測定、電気抵抗測定および硬度測定を行なった結果、結晶構造の詳異については明らかにしていないが本三元系合金においても中間相が存在すると考えられることを述べ、残留 β が生じる組成の合金においては中間相の挙動が合金の熱処理において大きい意味をもつことを明らかにして、本三元系合金の熱処理においては ω 相に注目すべきことを強調し、本三元系合金の熱処理に関する実的な資料をえている。

第 10 章は総括で以上各章の成果を要約したものである。

論文審査の結果の要旨

本論文は、チタン合金の開発を目的として、チタンに対する添加元素として種々の点から重要と考えられる Fe および Mn を選び、まず従来未定であった Ti—Mn 二元系の Ti—Mn₂—Mn 範囲の研究を行なって、

これを明確にした後、Ti—Fe—Mn 三元系合金の Ti 15%以上の全系にわたってその平衡関係を種々の実験上の困難を巧みに克服して、詳細に検討してその総合平衡状態図を確定し、さらに本三元系合金の熱処理に関する基礎的資料をうるために、状態図と熱処理との関係に注目して、二元系合金として β 安定型と β 共析型の二つの型の合金系を選んで、チタン合金の熱処理に関する一般的な考え方を明らかにすることに成功し、これをもととして本三元系合金の熱処理に関する基礎的資料を得ている。特に残留 β 相が関与する合金における中間相の挙動を種々の研究手段によってその詳細を明らかにしていることは注目に値する。

このように、本論文はチタン合金の開発に対して多くの新しい資料を提供したもので、学術上ならびに工業上に貢献するところが少なくなく、工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

〔主論文公表誌〕

- 第3章 日本金属学会誌 第22巻 (昭.33) 第5号
- 第4章 日本金属学会誌 第22巻 (昭.33) 第5号
- 第5章 日本金属学会誌 第22巻 (昭.33) 第6号
- 第6章 日本金属学会誌 臨時増刊 講演概要 (昭.34)
- 第7章 日本金属学会誌 第22巻 (昭.33) 第10号
- 第8章 水曜会誌 第14巻 (昭.35) 第2号
- 第9章 日本金属学会誌 臨時増刊 講演概要 (昭.34)

〔参 考 論 文〕

な し