

氏 名	友 田 陽 とも た よう
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1103 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 11 月 24 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	延性 2 相混合組織をもつ鋼の強度と変形挙動に関する研究

(主 査)
論文調査委員 教 授 田 村 今 男 教 授 高 村 仁 一 教 授 村 上 陽 太 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、オーステナイト－フェライト、オーステナイト－マルテンサイト、フェライト－マルテンサイト、フェライト－パーライトなど、延性のある 2 つの相が球状に近い形で種々な体積率に混合した代表的な混合組織をもつ鋼の強度と変形挙動について研究し、各相の体積率、耐力の比などの種々な因子の寄与について検討した結果をまとめたもので、7 章からなっている。

第 1 章は序論である。延性 2 相混合組織合金の強度と変形挙動および破壊挙動に関する従来の研究状況を展望し、さらに、分散強化型合金やせんい強化型合金などのような他の型の混合組織合金との相違について検討し、これらと対比しながら、本研究の目的と意義について述べている。

第 2 章では、種々の 2 相を組合せた延性 2 相鋼の引張試験を行ない、その特徴や支配因子について論じている。すなわち、(1)試片の平均結晶粒径を一定に調整したとき、2 相鋼の耐力と体積率との関係は 2 相間の耐力の比（硬質相の 0.2 % 耐力 / 軟質相の 0.2 % 耐力）が大となるほど、混合則からの偏奇が大きくなってくる。特に硬質相体積率の小さいところでこれらの値は混合則より低い値を示す。しかし、耐力の比が約 3 以下のときは、近似的に混合則が成立すると考えてよい。(2) 2 相鋼の 0.2 % 耐力と平均結晶粒径との間には Hall-Petch 型の関係がほぼ認められる。(3) 伸びは硬質相体積率の増加にともない低下するが、2 相間の引張強さの比がほぼ 1 の場合には硬質相体積率が増しても伸びはあまり低下しない。

第 3 章では、種々な組合せの延性 2 相鋼を用いて、引張変形にともなうすべり線の発生状況、塑性歪量とそれぞれの相の硬さの変化（加工硬化）、および塑性歪量と X 線応力測定法による硬質相内の残留応力との関係を測定し、不均一な変形挙動を検討している。すなわち、2 相間の変形（塑性歪量）の不均一度は耐力の比が大きくて、硬質相体積率が小さいとき大きい。このことは各相の加工硬化量や残留応力からも確認された。

第 4 章では延性 2 相鋼の 2 相間の不均一変形の力学的検討を行っている。従来の歪一定型あるいは応力一定型の変形モデルは両端であって、実際の延性 2 相鋼はこれらの中間にあるので、2 つの構成相の平均歪の比（硬質相の平均歪 / 軟質相の平均歪）を用いた中間の混合モデルを考えた。このモデルは現象論的

であるが第2章、第3章の実験結果の説明に好都合であることを示した。さらに、転位論と関係づけて、2相界面における歪の適合条件および応力平衡条件を考慮した3次元のセルフコンシステントな連続体モデルによる取扱いを提案している。そして、このモデルにより各構成相の平均歪の比と各相の平均内部応力の関係を近似的に導出した。さらに、このモデルによる計算値を実験結果や有限要素法による弾塑性解析結果と比較した。また、界面近傍の高い局所的内部応力の塑性緩和機構についても考察した。そして、この塑性緩和がおこりやすいほど2相間の変形の不均一度が大きくなることを示した。

第5章は延性と引張破壊挙動について検討したもので、主としてマルテンサイト体積率の小さいフェライト-マルテンサイト鋼の破壊過程を観察している。マルテンサイト相の破壊あるいはマルテンサイト-フェライト界面の剝離によってボイドが発生し、それらが介在物などに起因して発生する微小ボイドを介して連結して最終破断に至る。焼もどし温度が低いと界面剝離によるボイド発生の確率が高くなる。マルテンサイトの破壊強度と界面の破断強度によりボイドの発生様式が決まるが、それはマルテンサイトの硬さばかりではなく、微量不純物の粒界偏析などにも関係して複雑である。ボイド発生後破断までの真歪量は焼もどし温度にはほとんど依存しない。

第6章では、種々な延性2相鋼を用いて、疲労特性とその支配因子を実験的に検討した結果を述べている。すなわち、試片の平均結晶粒径が同一で変らなければ、 10^7 サイクルにおける疲労強度は硬質相体積率の増加に従って、体積率の低い間はほとんど上昇せず（第1領域）、ある体積率から急に上昇し（第2領域）、その後あまり変化しない（第3領域）。第1領域は2相間耐力の比にほとんど関係しないが、他の領域では耐力の比の上昇にともない疲労強度は上昇する。平均結晶粒径が小さくなると疲労強度は上昇する。疲労き裂は軟質相に発生し、軟質相中を優先的に伝播する。

第7章は総括で、以上の結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

この論文は、オーステナイト、フェライト、マルテンサイトなどの延性のある相の任意の2相が球状に近い形で種々な体積率に混合した組織をもつ鋼の引張性質、塑性変形挙動、引張破壊挙動、疲労特性などについて系統的な研究を行い、これらの強度や変形挙動を支配する諸因子を追究し、その寄与を解明し、2相混合組織鋼の不均一変形挙動に検討を加えたもので、得られた主な結果は次のとおりである。

(1) 延性2相鋼の引張性質については、試片の平均結晶粒径を一定に調整した場合、2相鋼の0.2%耐力あるいは変形応力と硬質相体積率との間の関係は2相間の耐力の比（硬質相の0.2%耐力/軟質相の0.2%耐力）が大きいほど混合則から大きく偏奇する。特に、硬質相体積率の小さいところでこれらの値は混合則より低い値を示す。しかし、この比が約3以下のときは近似的に混合則が成立すると考えてよい。2相鋼試片の0.2%耐力と平均結晶粒径との間にはPetch型の関係が認められる。また、伸びは硬質相体積率の増加とともに低下するが、2相間の引張強さの比がほぼ1に近い場合には硬質相が存在しても、それほど低下しないことを示した。

(2) 延性2相鋼の変形においては、2相間の耐力の比が大きいほど、また、硬質相体積率の小さいほど2相間の変形（塑性歪量）の不均一度が大きくなることを観察し、このために発生する硬質相内の内部応

力は耐力の比が大きく体積率が小さいほど大きいことをX線による応力測定によって実証した。

(3) 2相間の変形の不均一度を平均歪の比(硬質相の平均歪/軟質相の平均歪)を用いて示し、この比によって、歪一定型モデルと応力一定型モデルの混合モデルを提案し、延性2相鋼の変形応力を導き、それによって耐力の比が大きく、体積率が小さいほど、不均一度が大きいことを解析した。

(4) さらに2相界面における歪の適合条件および応力平衡条件を考慮した3次元のセルフコンシステントな連続体モデルにより延性2相鋼の不均一変形時の変形応力を導出し、それぞれの相の平均歪の比と各相の平均内部応力との関係を示し、また、界面近傍の高い局所的内部応力の塑性緩和機構についても考察した。

(5) 引張破壊過程においては硬質相の存在に起因するポイド発生が重要な役割をなし、2相界面の剝離と硬質相の割れの2つの様式のあることを示した。

(6) 延性2相鋼の 10^7 サイクルにおける疲労強度と硬質相体積率との関係については、疲労強度は体積率の増加に従い、体積率の低い領域ではほとんど変化せず、ある体積率のところから急に疲労強度が上昇し、ある一定値に達した後ふたたびほとんど上昇しない。2相間の耐力の比が大きくなっても体積率の小さいところでは疲労強度にほとんど影響がないが、体積率が高いところでは疲労強度は上昇する。疲労き裂は軟質相に発生し、軟質相中を優先的に伝播することを示した。

以上要するに、この論文は、実用的にも学問的にもきわめて重要な延性2相混合組織鋼について、その強度、変形挙動ならびに破壊挙動の特徴を明確にし、体積率、耐力の比などの支配因子の寄与を明らかにし、その不均一変形の基本的な考え方を検討したもので、学術上、實際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。