

氏名	やまがたひろし 山 縣 裕
授与学位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 53 年 3 月 24 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 金属材料工学専攻
学位論文題目	銅合金 α 固溶体の変形挙動の温度依存性に関する 研究
指導教官	東北大学教授 和泉 修
論文審査委員	東北大学教授 和泉 修 東北大学教授 辛島 誠一 東北大学教授 須藤 一 東北大学教授 諸住正太郎

論 文 内 容 要 旨

α 黄銅は優れた加工性を有することで良く知られているが、加工温度として約 300~600°C の中間温度域を選ぶと顕著に脆化し製造工程上の重大な障害となっている。この現象は中間温度脆性と称されており、著しい粒界割れを伴う。

従来、多くの研究がこの現象に関してなされており、種々の機構が提出され検討されている。しかしながら、脆化部である粒界の挙動については不明な点が多く、この現象が一般の高温破壊といかなる関係にあるのか、その位置づけについても明らかでない。また中間温度脆化域以外の温度域で示す銅合金 α 固溶体の優れた加工性が、いかなる性質に由来するものかについても完全に明らかにされているとは言い難い。

そこで本論文は銅合金 α 固溶体の延性をその変形挙動と関連させ総合的かつ詳細に検討したもので、全篇 5 章よりなる。

第 1 章 緒 論

本章では従来の研究状況を概観し、本研究の目的と意義を明らかにしている。

第 2 章 α 黄銅単結晶の高温変形挙動

本章では先ず粒界を含まない α 黄銅単結晶を用い、高温変形挙動と延性の関係について検討した。その結果、単結晶においても Fig.1 のように顕著な伸びの増加と減少が見られ、この延性変化は α 黄銅に特有な高温変形挙動、すなわち PL 効果に伴う異常な加工硬化、高温における定常状態変形と通常の回復軟化が複雑に混り合っているものと結論した。また塑性安定性を保障する因子が延性を支配するという観点からひずみ速度感受性指数 (m 値) および本研究で定義した加工硬化係数 ($\Delta\sigma$ 値) を求めた。その結果、両値の大きさとそのひずみ速度依存性が、延性変化を説明する重要な因子であることを明らかにした。

第 3 章 α 黄銅双結晶の高温変形挙動

本章では、双結晶 α 黄銅を用い粒界挙動を詳細に検討した。その結果、従来有力視されていた粒界すべりは純銅に比べ起き難く、脆化が粒界すべりに誘起されるとする機構は疑問となった。また粒界を引張り軸に対し垂直に入れた双結晶引張り試験片により破壊挙動の検討を行った。Fig.2 は結果の一例である。Fig.2 (a) は破断までの伸びの温度依存性を示しており、図中 T. G. は粒内破壊、I. G. は粒界破壊が生じたことを意味する。Fig.2 (b) は降伏応力の温度依存性を示す。図に示されたように、降伏応力は 200℃ 付近から増加し始めるが、粒界破壊はこの温度付近より生じるようになり降伏応力が極大を示す 400℃ 付近で極小伸びを示す。また約 500℃ 以上でも再び粒内破壊を示した。200℃ および 500℃ 付近にある破壊挙動の遷移現象のひずみ速度依存性を比べると、低温側の遷移温度は、明瞭なひずみ速度依存性を持つが、高温側のそれは依存性が少なかった。

双結晶の巨視的粒界破面を詳細に観察すると Photo 1 のような規則的配列を持つ微小なファセットが多数見られた。この微小なファセットは {111} 面であることが明らかになり、さらに双結晶の構成結晶方位として二次すべり系の働き易いものを選ぶと粒界破壊が起き難くなること等を併せ考えると α 黄銅の粒界脆化は、次のように結論された。すなわち、外見上粒界破壊を生じたように観察されるが、微視的には {111} すべり面の割れが合体して起こる粒界近傍の延性破壊であり、これは Fig.2 (b) のような変形応力が極大を示す動的ひずみ時効現象に関係するものである。

第 4 章 銅合金 α 固溶体多結晶材の延性

本章においては、 α 黄銅、 α Al 青銅、Cu-20%Ni および Cu-2%Si 多結晶材における変形

挙動と延性に関し、第2章および第3章の結果を踏まえて考察した。その結果、次のようなことが明らかになった。中間温度脆化域以外で、 α 固溶体は優れた延性を有する。Fig.3は α 黄銅に関して伸びの温度依存性を見たものである。伸びの絶対値ではなく、伸びの温度による相対的な変化を比較すると図に明らかなように高濃度合金の方が大きく変化する。すなわち、高濃度合金は低温および高温において大きな伸びを示すが、中間温度では激しく脆化する。このような挙動に関し、低温で優れた延性を示す原因は、積層欠陥エネルギーの低下に伴う加工硬化能の大きさと関係づけられる。中間温度域における高濃度合金の延性低下は、顕著な粒界破壊によって特徴づけられ、動的ひずみ時効現象が粒内変形抵抗の増大と直線的粗大なすべり帯の分布を生じさせ、それによる不均一応力集中が脆化の主因である。Photo.2(a),(b)に α 黄銅の転位配列を210℃と450℃で比較したものを示した。写真に明らかなように450℃のすべり帯は粗大であり、その先端には粒界割れが見られる。また低濃度合金は通常の高温変形組織であるサブバウンダリーを形成し易く粒界への応力集中が起き難い、よって延性もあまり低下しない。

さらに従来ほとんど着目されなかった高温領域での大きな伸びは、Fig.1のように単結晶でも見られるごとく粒界挙動と直接関係せず、変形応力のひずみ速度依存性が高温で増大し塑性安定性の保障されることによる。そしてその微視的機構としては、PL効果の終る高温において転位が粘性的運動をすることを挙げた。また以上のような延性変化は、本論文で検討した以外の多くの銅合金 α 固溶体にも見られる可能性があることを示唆した。

第5章 総 括

本章では本研究で得られた知見および考察を総括した。

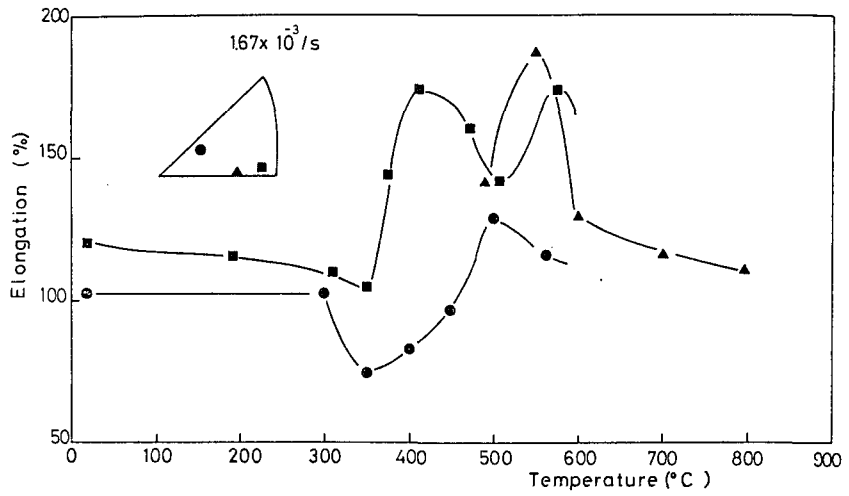


Fig.1 α 黄銅単結晶の伸びの温度依存性，試料の軸方位を図中のステレオ三角形中に示す。

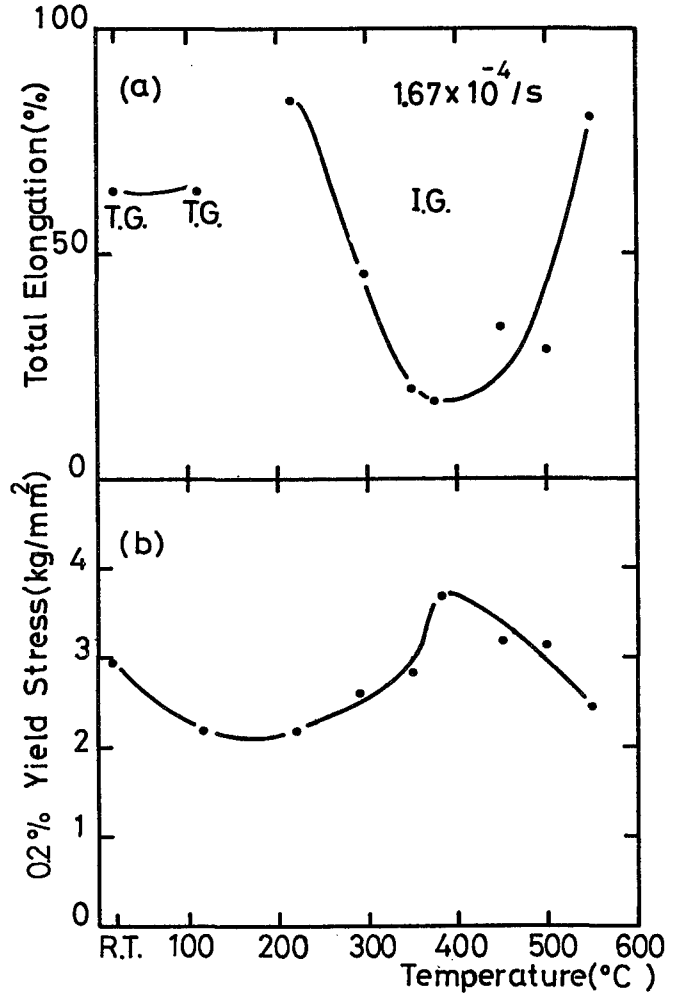


Fig.2

- (a) 双結晶 α 黄銅の伸びの温度依存性。
- (b) 0.2%降伏応力の温度依存性。

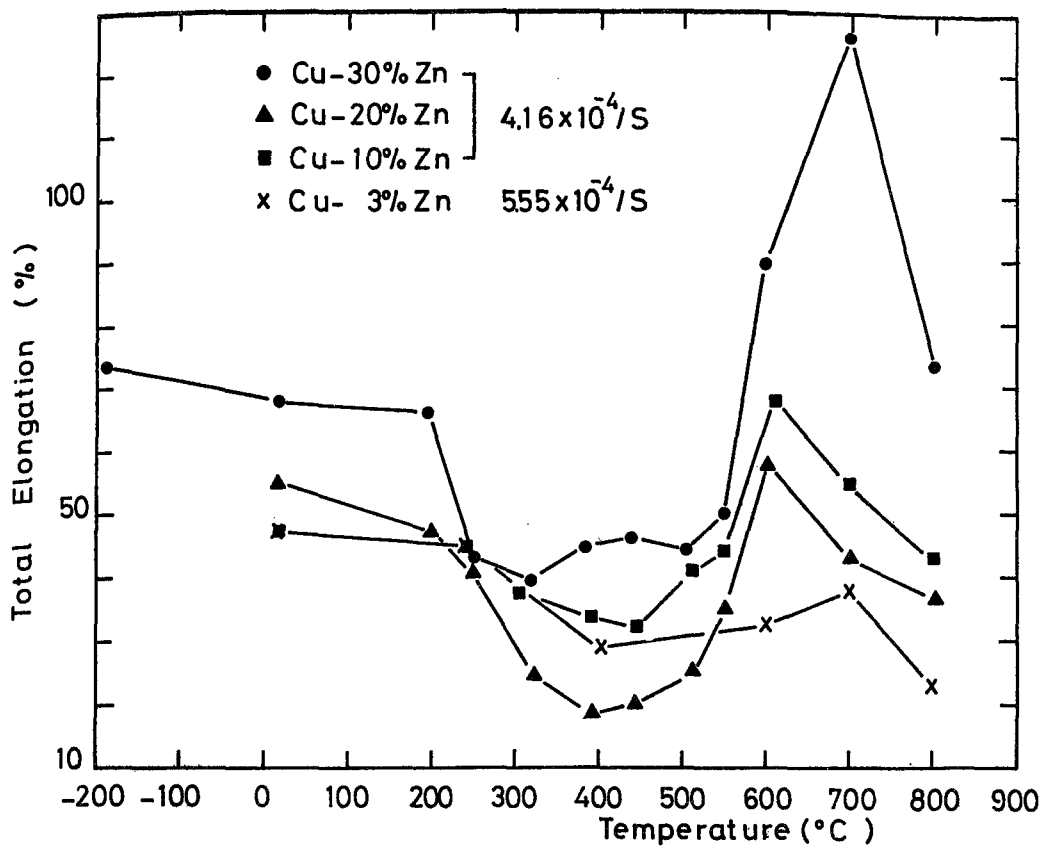


Fig.3 α 黄銅多結晶材の伸びの温度および濃度依存性。

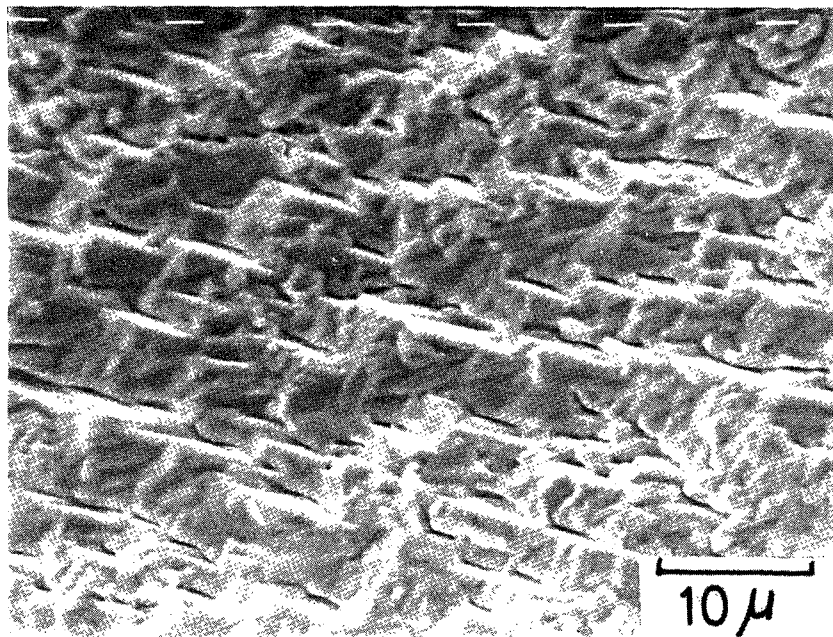


Photo.1 粒界破面に観察された{111}フェセット。

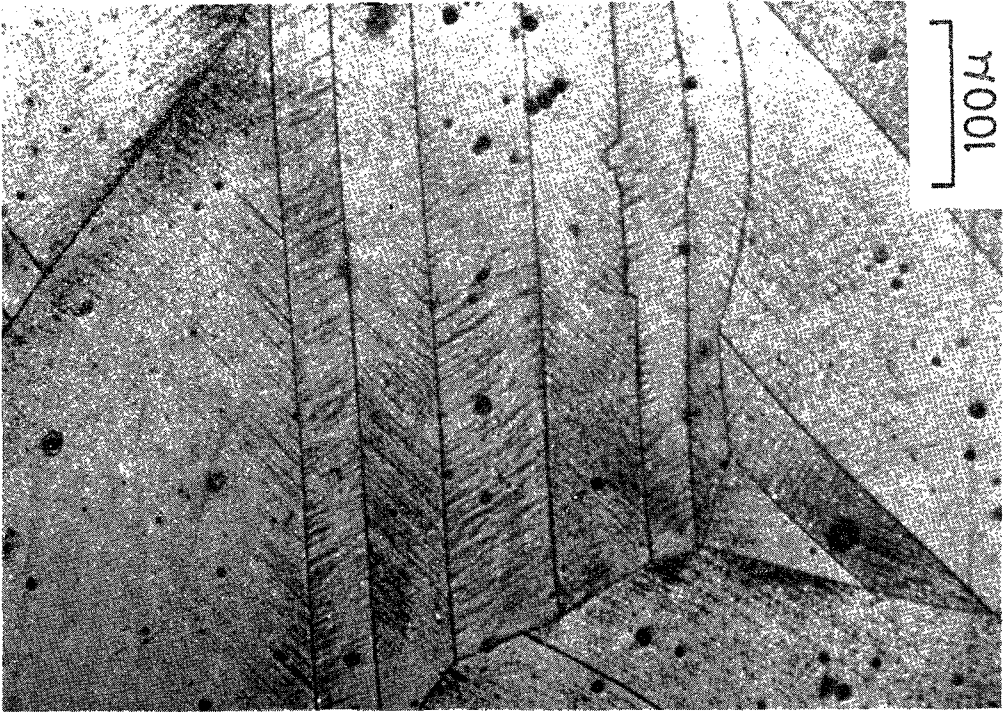


Photo.2 (a) 210°Cにおける α 黄銅の転位配列。

写真はいずれも5%変形後の試料による。

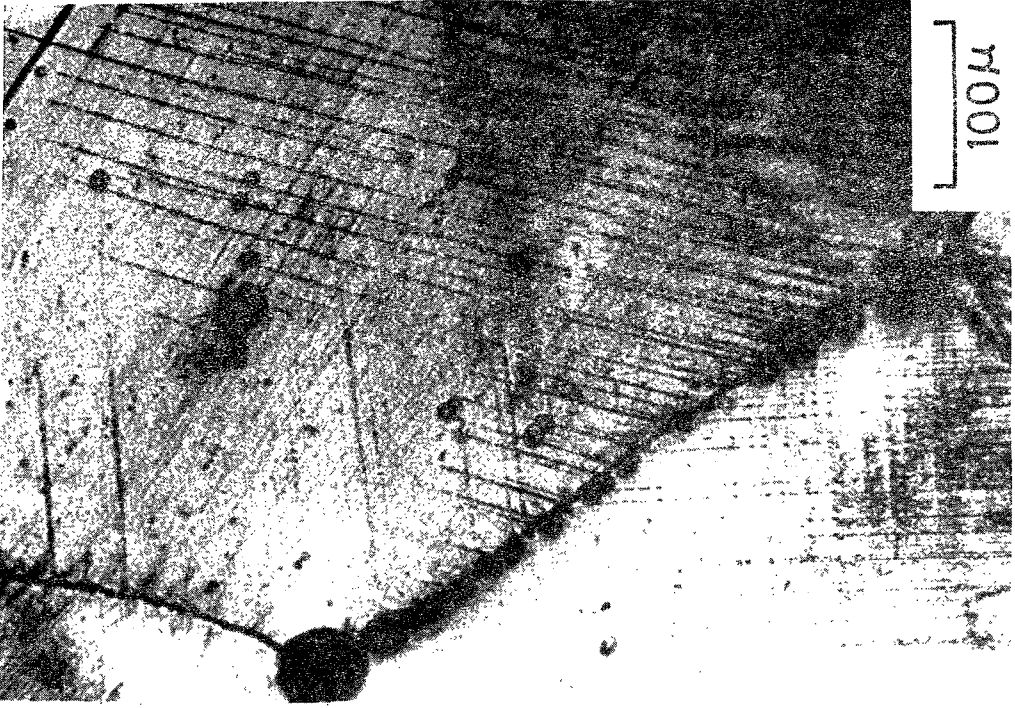


Photo.2 (b) 450°Cにおける α 黄銅の転位配列。

審査結果の要旨

黄銅や青銅に代表される銅合金 α 固溶体は温度上昇につれ強度や延性が不連続に変化する。特に約300~600℃の中間温度領域では脆化して粒界破壊を伴い、それ以上の高温では異常に延性が増大する。これらの現象に関し従来種々の解釈が試みられているが、未だ不明の点が多い。著者は α 黄銅、 α アルミニウム青銅などの α 固溶体合金の単結晶、双結晶、および多結晶試料につき、広範な温度領域に亘り結晶粒内および結晶粒界の変形挙動を系統的に調べ、延性の不連続変化を統一的に解釈することを試みた。本論文はその経緯をまとめたもので、全篇5章よりなる。

第1章は緒論で、問題点を明らかにすると共に、本研究の目的と意義を述べている。

第2章では粒界を含まない α 黄銅単結晶を用い、高温変形挙動と延性について調べている。その結果単結晶においても中間温度と高温で延性の不連続変化が認められたが、これを動的ひずみ時効、定常状態変形、回復軟化などに関連づけ、またひずみ速度感受性指数と加工硬化係数を求め、塑性安定性の立場から延性変化を説明している。

第3章では双結晶試料につき前章の結果と対比検討している。粒界すべりは中間温度脆化領域で寧ろ生じ難いこと、また粒界破壊は構成結晶の方位が一次すべりを生じさせる場合のみに限定されることを見出した。さらに粒界破面に観察された規則的フェセット模様が粒内のすべり帯に対応することから、一見粒界破壊に見えるこの脆化現象は動的ひずみ時効による不均一すべりが粒界近傍に応力集中と割れを生じさせ、それらが合体成長する延性破壊であることを明らかにした。これは本合金の中間温度脆化の主因を粒界すべりや粒界偏析に求めていた従来の考え方に対して新たな知見を与えたものである。

第4章ではCu-Zn, Cu-Al, Cu-Ni, およびCu-Si各 α 固溶体合金多結晶試料につき、前章までの結果を踏まえて変形挙動と延性変化を検討している。低温側の大きな延性は積層欠陥エネルギー低下による加工硬化能の増大と関連づけられ、中間温度領域の脆化は不均一すべり帯による粒界での応力集中が主因であること、さらに高温での延性増大は転位の粘性運動に基づく変形応力のひずみ速度依存性の増大が塑性安定性を保障するためであることを明らかにした。

第5章は総括である。

以上要するに本論文は、銅合金 α 固溶体の変形挙動の異常な温度依存性に関し、従来不明の点を多く残していた機構の解釈に新しい知見を与えたものであり、金属工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。