

Zr基金属ガラスの冷間圧延による加工組織制御と機械的性質の改善

兵庫県立大 福本信次
明野康剛
東北大・金研 横山嘉彦
井上明久

1. はじめに

靱性改善の組織学的な研究結果として、金属ガラス材料に非常に微細な数nm径の結晶核を均一に分散させることで、従来の金属ガラス材と比べて、室温において優れた弾性伸びを示す実験結果も得られている。しかし、均一な組織を有しているのでは金属ガラスの亀裂伝播抵抗の増大は望むことも出来ず、十分な延性や靱性をえるためには加工軟化現象を有益に利用した新しい組織改善が望まれている。そこで本研究では、金属ガラスの予め塑性変形した領域は変形し易いという加工軟化現象を利用して、予め冷間圧延を施して均一微細にすべり帯を試験片に導入して均一な変形が可能になるような加工組織の制御を行った。

2. 研究経過

加工軟化現象は、ガラス金属の均一変形を阻害する最も大きな要因の一つであり、微視的には延性的な変形模様を示しても巨視的には延性的な伸びを示すことが出来ない。加工軟化とは一度変形したところが未変形領域よりも軟化（変形しやすくなる）する事を言い、一軸応力下の変形に於いては一度すべり変形をし始めると、そのすべり変形は何ら変形抵抗を受けることなく一気にすべりきってしまい破断に至るのである。そこで本研究では予め冷間圧延によって金属ガラス材料にすべり線を均一に導入することを試みた。この時、金属ガラスの塑性変形には大きな弾性歪の蓄積を伴うために、圧延力（ロールに掛かる力）は100トン近くにまで上昇する。破壊しないように圧下率を調整して徐々に圧延を行う。得られた圧延材の延性改善を確認するために曲げ試験を行った。また幾つかの試験片についてはシャルピー衝撃試験を行い、衝撃靱性の改善について検討を行った。

3. 研究成果

前年度の研究成果で冷間圧延などにより加工組織を得ることでアモルファス合金が均一な変形が可能になり靱性と延性を増すことを明らかにした。この冷間圧延の過程においてアモルファス合金が破断するという現象がしばしば見られた。しかし、その破断に至る原因については言及できていなかった。そこで今年度では、アモルファス合金の靱性に大きく関与していると考えられる自由体積について密度を測定することで見積もれることから限界圧下率と自由体積の関係を明らかにしようと思う。まず、圧延加工も熱処理をすることで、その加工組織は変化することが分かった。加工組織で均一にアモルファス合金中に導入されるすべり帯は構造緩和の進行に伴って直線的になってくる。強靱なアモルファス合金のすべり帯は図1に示すように緩やかに湾曲していることが挙げられる。この湾曲の度合いについて曲率を求めることで見積もり、熱処理に伴う変化を求めた結果を図1に示す。

Wiggle in Shear Band Propagation

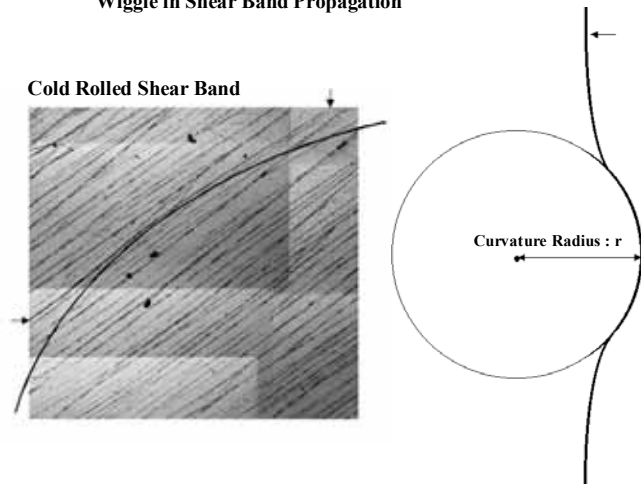


図 1. 圧延で導入されたすべり線の写真と、すべり線の曲率の求め方

度の上昇に伴い緩やかに増加しやがて減少する傾向が見られた。一方、すべり帯の曲率については、熱処理温度の上昇に伴って直線的に減少している。すべり帯の曲率が減少して直線的になる原因は不明であるが、鉄の公差すべりとよく似ている。蛇行するすべり線が、温度低下などで直線的になると鉄は脆化する。すべり線が蛇行する原因についても不明であるが、分子動力学法におけるシミュレーション結果でも蛇行することが知られており、ランダム構造を有するアモルファス合金の本質的な変形機構に起因すること

図 2 に熱処理をした圧延組織の側面のすべり帯模様を示す。熱処理温度が T_g 以上の 723K では熱処理時間が長いいためか結晶化しており著しく脆化し、数%圧延しただけで破損した。それ以外の熱処理条件の試験片については概ね冷間圧延加工を施すことが出来た。こうし得られた圧延加工組織のすべり帯の密度と曲率について求め、熱処理温度に対して整理した物を図 3 に示す。このように、すべり帯の密度については熱処理温

Cold Rolled Structure Change by Annealing

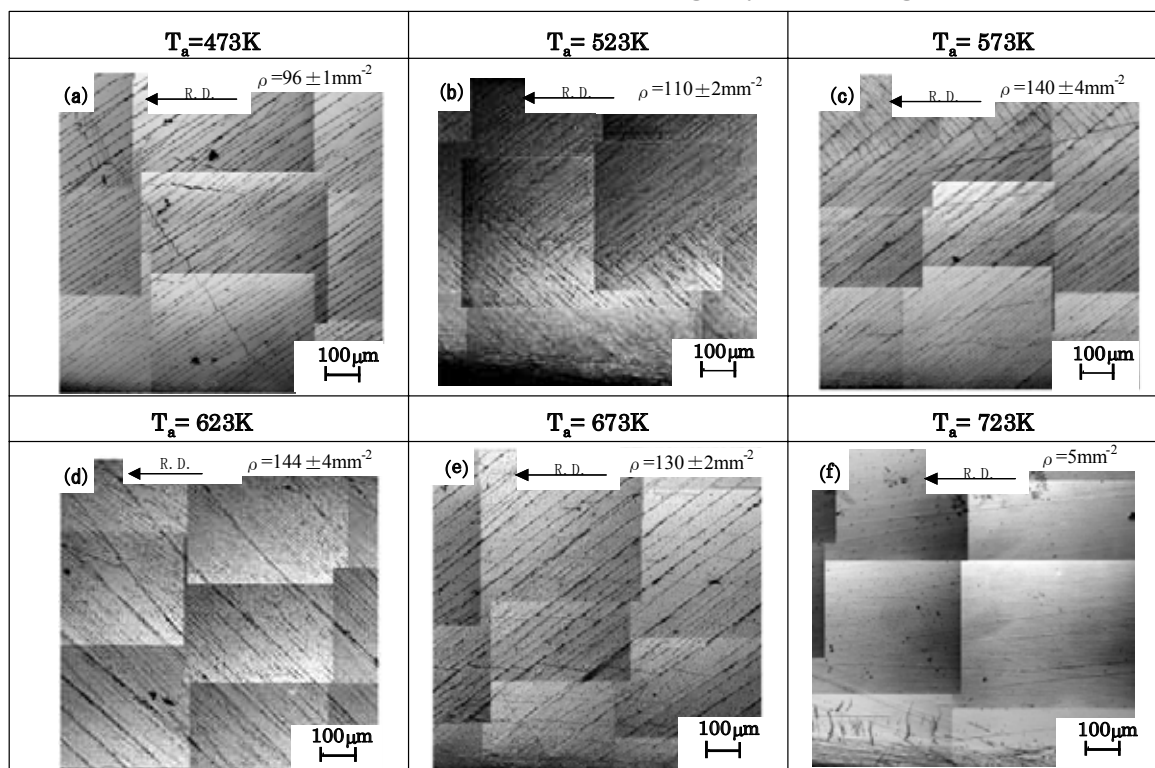


図 2. 各熱処理温度で一時間処理した $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ アモルファス合金の 20% 圧延組織

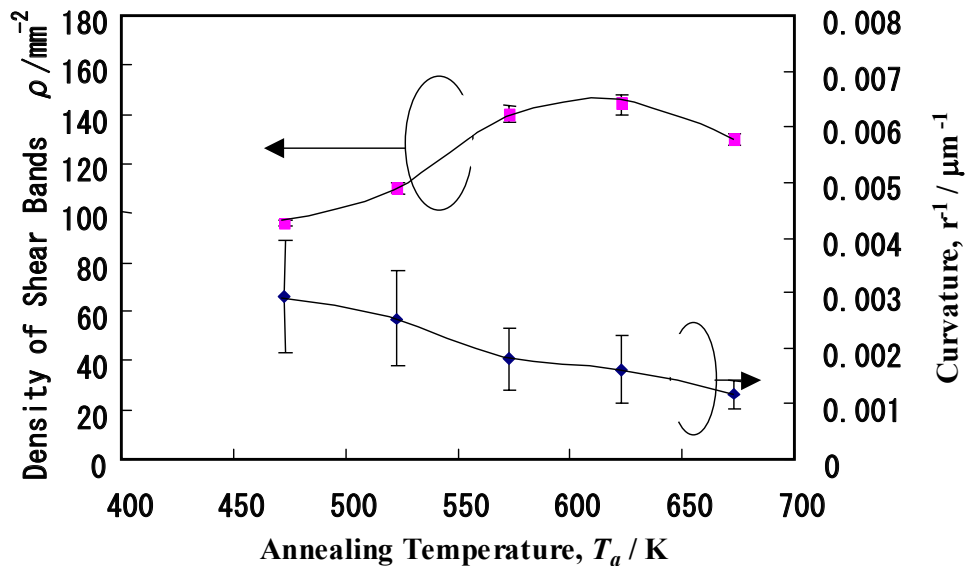


図 3. 各熱処理温度で一時間処理したZr₅₀Cu₄₀Al₁₀アモルファス合金の 20%圧延組織に見られるすべり帯の密度と曲率の変化。

が考えられる。最近、オークリッジの Mark Miller 氏はアトムプローブ法を用いてバルクアモルファス合金の組成が数十ナノレベルで揺らいでいることを明らかにした。これは非常に重要な問題であり、我々がいくら均一な物を作ろうとしてもナノレベルでは容易に均一な物は作れないことを示唆している。また、このような組成の揺らぎは自由体積の分布をも均一に出来なくしており、自由体積は場所により偏った分散形式を取っていると考えられる。例として、すべり帯の蛇行の原因について説明している模式図を図 4 に示す。

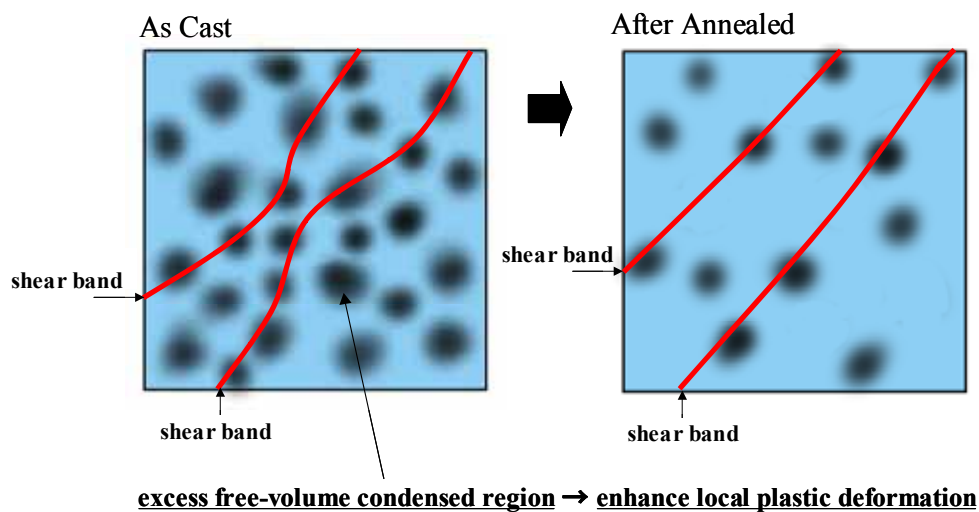


図 4. すべり帯が蛇行することおよび熱処理により直線化するを示す模式図。

図 4 の铸込みままの模式図のように、熱処理前は自由体積の濃縮された領域が密に分散しているためすべり帯はすべり易い領域を縫うようにして伝播することが考えられる。一方、熱処理をすると自由体積の分散は非常にまばらになるためすべり線は直線的になることが予測される。圧延するアモルファス合金の自由体積の度合いを見積もることが圧延加工をする上で非常に重

要な意味を持つ。また、圧延組織を制御する有効な方法として非圧延材の表面処理が挙げられる。使用用途に合わせて有効な圧延組織を得るためには、すべり線の入る方向や密度を制御する必要がある。

Estimation of Cold Rolling-ability by Density

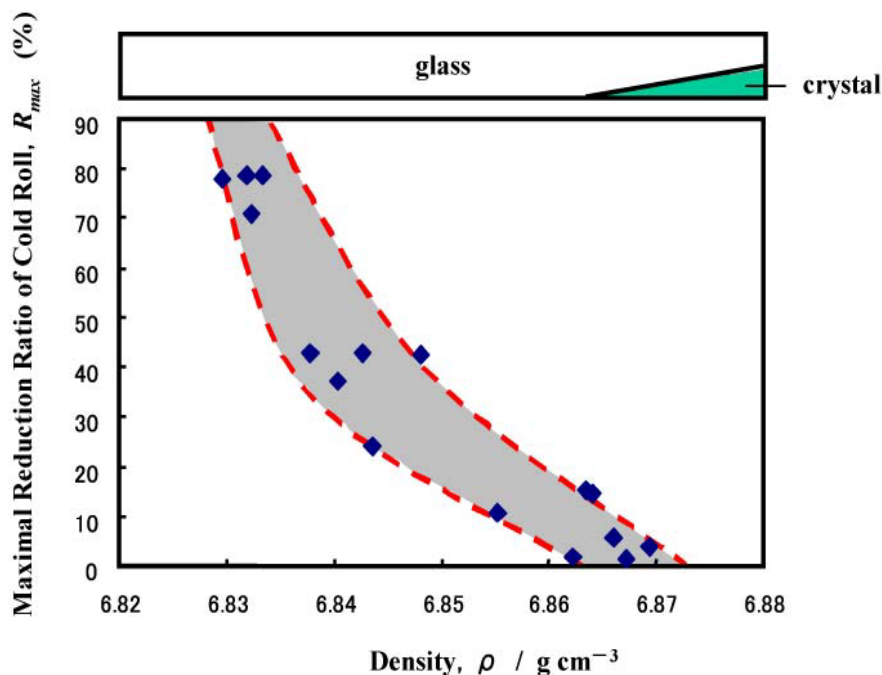


図 5. $\text{Zr}_{50}\text{Cu}_{40}\text{Al}_{10}$ アモルファス合金の限界圧下率と密度の関係。

非圧延材の限界圧下率を見積もる目的で、アモルファス合金の密度と限界圧下率の関係を図 5 に示す。本実験で用いた圧延機の限界圧下率が 80 % ほどであるから、この曲線は低密度側でもっと反った曲線になっていることが予測される。この関係から非圧延材が圧延できるかどうか、どの程度圧延できうるのかを予測することが出来る。

4. まとめ

金属ガラスの加工軟化現象を、不均一変形の原因として捉えるだけではなく、均一変形を可能にする要因として活用することを本研究で試みた。今後、新しい金属ガラスの加工組織制御として本研究の結果が大いに発展するものとして期待している。

1. Evolution of Mechanical Properties of Cast $\text{Zr}_{50}\text{Cu}_{40}\text{Al}_{10}$ Glassy Alloys by Structural Relaxation

Y. Y. Akeno, T. Yamasaki, ., R. A. Buchanan, and . Materials Transactions, 46, No12 (2005), 2755-2761.