

## 論文の内容の要旨

論文題目 極細銅電線の連続曲げ引抜き加工による機械的特性変化に関する研究

氏 名 徳富 淳一郎

環境負荷低減を目的に自動車全体の重量削減要求が強く、自動車で使用されている電線（自動車用組電線：ワイヤーハーネス）についても、細線化による重量削減が強く望まれている。極細銅電線は、その製造時および配策字に受ける衝撃により破断する危険性があり、リスクを削減させるため、極細銅電線には衝撃吸収エネルギーを向上させる必要がある。この衝撃吸収エネルギーを向上させる具体的な方策は、線材の力学特性の改善、いわゆる高強度・高延性材料の達成である。一方、電線として機能を維持するためには、導電率の低下は抑えなければならない。そのため、合金成分の添加を抑制した希釈銅合金を利用しつつ、固溶や析出によらない強靱化を行う必要がある。そこで本研究では、固溶強化、析出強化に頼らない強化方法の一つとして結晶粒微細化強化に着目した。高強度を有する線材の創出のため、冷間強伸線加工にて結晶粒を超微細化（結晶粒径 $d=1\mu\text{m}$ 以下）した後、伸線加工とは違うひずみ導入経路を持つ、本研究で新たに考案した『曲げ引抜き加工』を施すことによって延性向上を試みることにした。本論文では、高強度・高延性・高導電率を有する極細銅電線の製造のために、強伸線加工と曲げ引抜き加工を組み合わせた『連続曲げ引抜き加工』時の力学特性（強度延性）の変化を金属内部組織と併せてまとめたものである。

第一章は序論であり、本研究の社会的背景および技術的背景、本研究の目的および目標値について述べた。

第二章は強伸線加工と曲げ引抜き加工の組み合わせである連続曲げ引抜き加工後の希釈銅合金（Cu-0.3mass%Sn）の力学特性を、強伸線加工のみの場合と比較し論じた。連続曲げ引抜き加工を施すことにより、強伸線加工材（最大応力：790MPa、全伸び：2.5%）より応力値は100MPa低下するものの、延性は0.8%向上することが明らかにした。このような特異的な力学特性変化は、加工発熱による軟化ではなく、加工による軟化（いわゆるパウシンガー効果）が原因の一つと考えられる。

第三章は、まず強伸線加工材に焼鈍を施すことにより、力学特性が改善するか調査した。その結果、強伸線加工材は焼鈍により必ずしも力学特性が改善されないことが明らかとなった。次に、焼鈍された線材に連続曲げ引抜き加工を施すことによって、結果的に、連続曲げ引抜き加工によって創製された線材が優れた力学特性を有することを示された。

第四章では、連続曲げ引抜き加工治具を改良し、線材横断面内の硬度分布や連続曲げ引抜き加工材を曲げ中立面で二分割し、曲げ内側と曲げ外側の力学特性を引張試験にて調査した。また、FEM解析による応力・ひずみ解析を行い、連続体力学的視点から加工軟化に対する考察を行った。その結果、曲げ内側において力学特性、硬度ともに加工軟化が顕著に現れることが明らかになった。また、曲げ内側で負荷される応力およびひずみ履歴をFEM解析にて見積もると、強伸線加工と曲げ引き抜き加工によって2度の応力・ひずみの負荷反転が発生しており、これにより蓄積された圧縮残留エネルギーが高いほど加工軟化が大きいことが明らかとなった。

第五章では、曲げ引抜き加工を2回行い、応力・ひずみの負荷反転を増やした時の力学特性および線材横断面内の硬度変化について調査した。その結果、1回の曲げ引抜き加工材に比べ応力値は向上し、伸び値が低下する（いわゆる加工硬化現象）ことが確認された。応力・ひずみの負荷反転の回数を多く投入しても力学特性は大きく変化せず、むしろ一回で大きな負荷反転を起こしたほうが力学特性の改善が可能であることを見出した。

第六章は、第二章から第五章までの連続曲げ引抜き加工により創製された、超微細粒線材が示す特異的な力学特性変化の発生機構を、金属組織の変化と併せて調査し考察した。強伸線加工により引張方向へ応力場を持つ転位が、曲げ引抜き加工による応力・ひずみの反転負荷を受けたとき、転位の応力場が緩和すると考えられる。また同時に転位組織形態は、合体消滅および再配列を起こしていると考察した。このような金属組織変化によって、連続曲げ引抜き加工材の特異的な力学特性が発現したと考えられる。

第七章は、結言となっており、本研究で得られた知見をまとめた。また、本研究が産業界に与える波及効果についても述べている。