

純銅製配電用部品の摩擦圧接部の健全性と接合強度

林 忠夫*・大島 聰範**・長谷川 美幸***
竹内 晃****・桑原 克典*****

Soundness and Joint Strength in Friction Welds of Pure Copper Parts
for Electric Power Supply Use

Tadao HAYASHI, Toshinori OSHIMA, Miyuki HASEGAWA,
Akira TAKEUCHI and Katsunori KUWAHARA

Abstract

The joint strength of friction welded pure copper parts for electric power supply use has been investigated in the viewpoint of soundness in welding boundary. The specimens were worked out from the parts and then examined by mean of supersonic inspection, tensile test, hardness test, microstructure and fracture surface observation. The microstructure is fine and the hardness remarkably change near the welding boundary because of plastic deformation. It is found that incompletely welded region in fracture surface of specimen which was fractured at welding boundary. Frequency of fracture occurring at welding boundary is quite low in specimen that echo height caused by the welding defects is smaller than -30dB. The supersonic inspection is available to detect significant defect.

Key words： Friction welding, Tough pitch copper, Joint strength, Supersonic inspection,
Echo height

1. 緒 言

摩擦圧接法とは摩擦熱を利用して材料同士を接合する溶接技術であり、この方法によると同種材または異種材同士の金属ばかりでなく、非金属でも接合が可能となる。部材の形状によっては切削加工で製作するのに比べて、加工費および材料費の節約、生産性の向上等が期待できる。近年、特に鉄鋼材料によく用いられており、接合部の強度が大きく、信頼性の高い接合法として知られている¹⁾。しかし、この摩擦圧接では、その接合過程において発生する微小欠陥が接合部の材料表面ではなく、その内部に生じるという問題がある。

この欠陥の検出には非破壊検査が有効であり、非破壊検査による結果と接合強度との関連性を明らかにすることが重要である。

本研究では、純銅製配電用部品に用いられるタフピッチ銅丸棒材を摩擦圧接し、非破壊検査の一つである超音波探傷試験による欠陥の検出を行った。この結果と引張り特性、硬さおよび組織との関係を調べ、接合部内部の健全性と接合強度について議論した。

2. 実験方法

使用した試験片は、純度99.90%以上のタフピッチ銅（一部、無酸素銅）の丸棒材である。これは変圧器の開閉に用いられている配電用の部品であり、(株)サンエイから提供されたものである。この部品は表1に示す摩擦圧接条件にて加工を行った。8種類の形状の試験片を使用し、その代表的な形状、寸法は図1(a)および(b)に示す通りである。

* 技 官 (技術専門職員)機械実習工場
** 名誉教授 苫小牧高専
*** エー・アイ・エム (株)
**** 課 長 (株)サンエイ
***** 技 官 機械工学科

3. 2 引張り試験

図3にフランジ部付きの実体の試験片における、欠陥エコー高さと接合強度との関係を示す。欠陥エコー高さの大小に関わらず、接合強度は約255 N/mm²ではぼ一定である。試験片の1本のみが接合部で破断し、他は素材部から破断した。素材部から破断した試験片の引張り強さは、接合部の強さを表していない。これらのことより、欠陥エコー高さの大小から接合部で破断する接合不良試験片を検出することは困難であり、欠陥が大であっても接合部から破断しないことがあるといえる。これは引張り試験時に試験片のフランジ部により接合部が拘束を受け、強さが増加したためと考えられる。従って、多少欠陥が内部に存在していても接合部から破断する可能性が低い。このようにフランジ部を引っかけて試験する方式では、接合部の本来の強度を知ることができない。

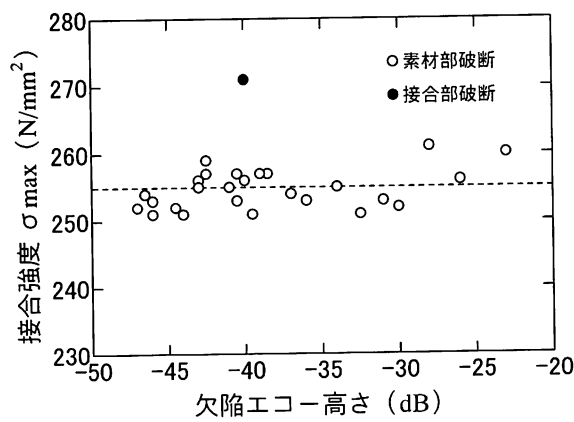


図3 欠陥エコー高さと接合強度との関係

上述のような形状による拘束の影響を受けないように、図1(b)の実体試験片のフランジ部を切断、旋削等により、摩擦圧接部が試験片の平行部の中心にくるように、図1(c)の形状、寸法に機械加工して引張り試験を行った。なお、試験片には比較的欠陥の大きなものを使用した。図4に欠陥エコー高さと接合強度との関係を示す。図より欠陥エコー高さが-30 dBを境として、素材部破断と接合部破断とに分かれ、-30 dB以下では、接合部から破断する危険性が低くなることを示している。この試験片を一部品として使用するとき、フランジ部があるため接合部から破断する危険性は更に低くなる。また、摩擦圧接部本来の接合強度を調べるには、この試験片形状による引張り試験方法が最適であるといえる。

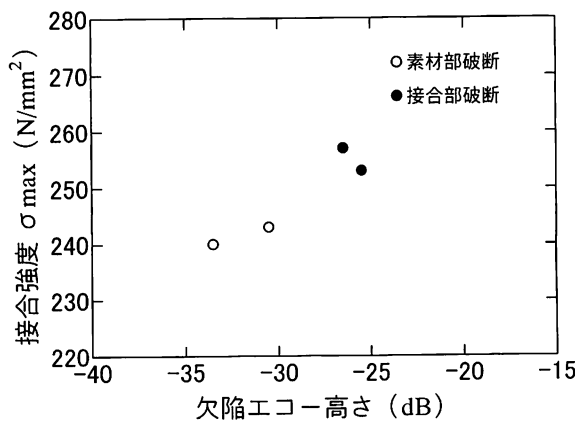


図4 欠陥エコー高さと接合強度との関係

ここで接合部で破断する条件は、欠陥エコー高さの大小ではなく試験片の素材部本来の強度と関係するものと考えられる。そこで素材部および接合部で破断した試験片について引張り強さ、硬さに違いがあるかどうかを調べた。試験片は試験後のつかみ部より、図1(d)の形状、寸法に旋削した。表3に引張り特性、硬さの機械的性質を示す。接合部の試験片は素材部よりも引張り強さで約8%強く、ビッカース硬さで約5%硬くなり、脆い材料であることがわかる。

表3 素材部及び接合部の機械的性質

	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	硬さ (Hv)
素材部	254	40.6	84.2	86
接合部	273	32.6	79.5	92

次に、ほとんどの試験片は欠陥エコー高さが大きいにも関わらず接合部で破断しなかった。そこで実体の試験片の摩擦圧接部と同じ位置に人工的に欠陥を入れて、著しく大きな欠陥を有する試験片を製作して、その影響を調べた。欠陥はドリル穴およびノッチの2種類で行った。ノッチは4方向のみとして、挿入深さはドリル穴と同じ欠陥面積になるようにした。その人工欠陥の挿入条件、形状の詳細は、表4および図5に示す通りである。

表4 人工欠陥の挿入条件

	挿入方向	挿入深さ (mm)	穴径/厚さ (mm)
ドリル穴	1, 4, 8	5.0(一定)	1.0, 1.3
ノッチ	4(一定)	1.04, 1.65	1.2(一定)

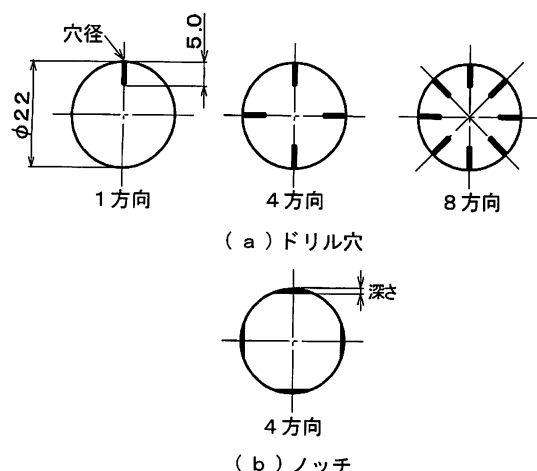


図5 人工欠陥の挿入形状

図6に欠陥面積率と引張り強さとの関係を示す。全ての試験片が接合部ではなく素材部から破断した。欠陥面積率の大小に関わらず、また、欠陥形状に関係なく引張り強さは約 255 N/mm^2 で一定の値である。一番大きな欠陥の全断面積に対する欠陥面積の割合は約13%であり、接合部に大きな欠陥が存在していても、フランジ部の拘束の影響が大きいため、接合部で破断することは極めて少ないと考えられる。

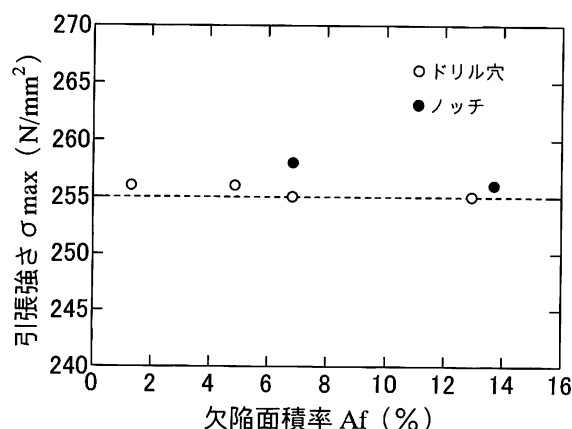


図6 欠陥面積率と引張り強さとの関係

3. 3 硬さ試験

図7にタフピッチ銅および無酸素銅の試験片における、接合部付近の硬さの変化を示す。試験片には超音波探傷試験での欠陥エコー高さが同じものを使用した。硬さの変化はフランジ端面から5～7 mm付近で最も低くなり、10 mm付近で急激に増加し、更に15 mm以上では一定になる。これは摩擦圧接がフランジ端面から5 mmの位置で行われているため、塑性変形による影響で組織が変化しているものと考えられる。また、タフピッチ

銅と無酸素銅は同じ傾向であり、材質よる違いはほとんど認められない。

次に、接合部および素材部で破断した試験片の接合部付近の硬さの変化を図8に示す。全体の傾向は図7の場合とほぼ同じであり、フランジ端面から約5 mm付近で最も低くなる。ただし、接合部で破断した試験片の5～7 mmの範囲における硬さの変化は素材部のそれよりも急である。

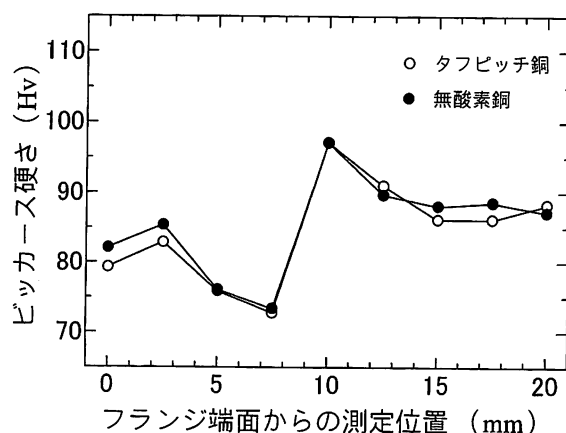


図7 測定位置と硬さとの関係

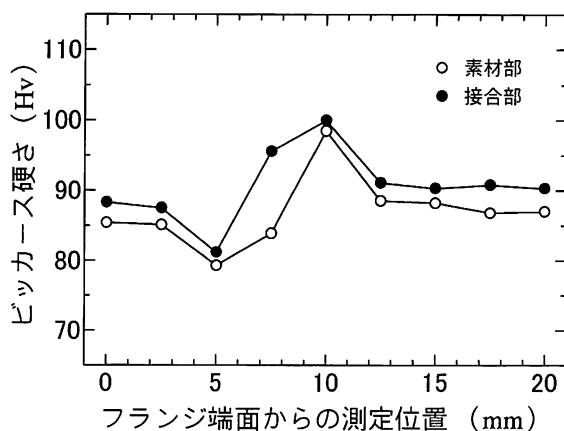


図8 測定位置と硬さとの関係

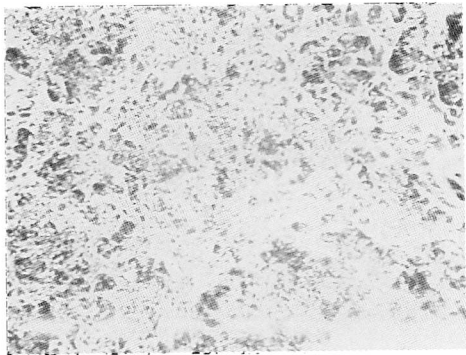
3. 4 破断面および組織について

図9(a)は接合部から破断した試験片(欠陥エコー高さ、-25 dB)の破断面の実体写真であり、(b)は破断面中心部のSEM像である。図9(a)より、延性破面である完全接合面、破面に光を当てるとキラキラと輝く部分の不完全接合面および輝かない部分の接合不良面が認められる。その割合は各々約24%、11%、65%であり、接合不良面が非常に多く含まれている。また、図9(b)より、完全接合面である延性破面のディンプルが現れている。なお、接合不良面の引張り強さを算出すると約 176 N/mm^2 であった。

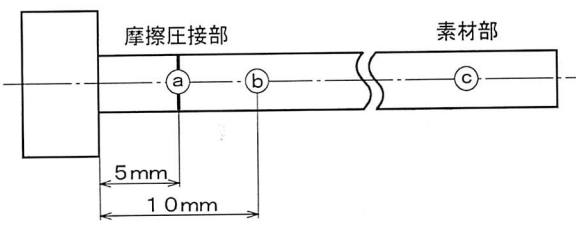


(a) 実体

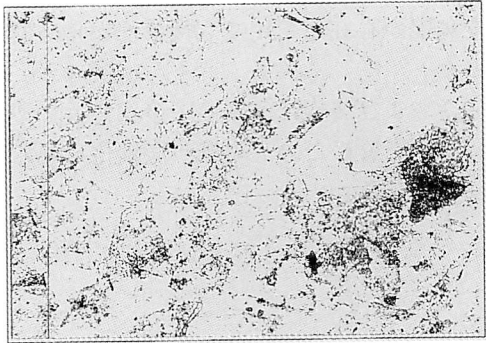
3mm



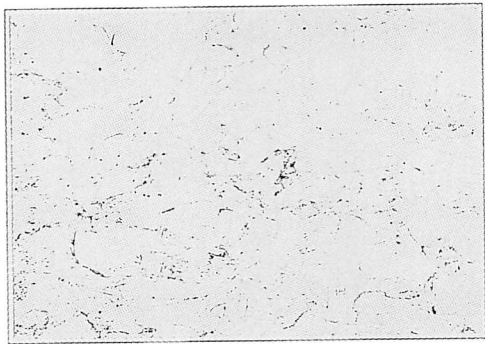
(b) SEM $\times 1000$



(a) 摩擦圧接部



(b) フランジ端面から10mm



(c) 素材部

100μm

図9 接合部の破断面

図10はタフピッチ銅における顕微鏡組織の変化を示し、(a) はフランジ端面から 5 mm の摩擦圧接部、(b) はフランジ端面から10mm、(c) は素材部の組織である。摩擦圧接部の組織は圧接時の塑性変形のために素材部より微細化している。10mmの位置では混合組織になり、素材部は方向性のない単一組織で、結晶粒がやや大きくはっきりしている。

図10 顕微鏡組織の変化

4. 結 言

純銅製配電用部品のタフピッチ銅丸棒材を摩擦圧接による加工を行い、超音波探傷試験結果と引張り、硬さおよび組織との関係を調べ、接合部内部の健全性と接合強度について次のような結果が得られた。

- (1) 超音波探傷試験は、著しく大きな欠陥があるときに有効である。
- (2) フランジ部付きの実体形状による試験では、欠陥エコー高さの大小に関わらずほとんど素材部から破断した。
- (3) 欠陥エコー高さが -30 dB までは、接合部で破断する可能性が極めて低い。
- (4) 摩擦圧接部本来の接合強度を知るには、フランジ部を取り除き圧接部の径を減らす方法が有効である。
- (5) 人工欠陥を挿入した試験片では、約13%の大きな欠陥が存在していても接合部から破断しなかった。
- (6) 硬さおよび組織は、摩擦圧接部付近で塑性変形による影響のため、組織が微細化し硬さは急激に変化する。

- (7) 接合部で破断した試験片には、不完全接合面および接合不良面が認められる。

謝 辞

本研究は（株）サンエイ・北海道事業所における生産性の向上等を計るために行われたものであり、使用した材料の提供、さらに奨学寄付金による研究費の支援を受けたことを付記し、同事業所のご厚意に深く感謝の意を表します。また、本報をまとめるにあたり機械工学科高澤幸治助手にご指導、ご助言いただいたことを記し感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 溶接学会編：溶接・接合便覧，丸善，(1990) p.480～493
- 2) 米山弘志：超音波探傷検査技術，鋳物，vol.65，(1993) p.910
- 3) ギュンター・ペツォー，松村源太郎訳：金属エッチング技術，アグネ，(1977) p.62

(平成12年11月28日受理)