

109 超音波複合振動溶接装置を用いた被覆銅線の直接接合について

— 複合振動を用いた超音波溶接について —

Welding Characteristics of Polyurethane Coated Copper Wire Specimens Using 40 kHz, 60 kHz and 100 kHz Complex Vibration Welding Systems - Ultrasonic Welding Using Complex Vibrations -

井原 茂 坂巻典秀 原田 祥樹 笠原 光平 辻野 次郎丸 (神奈川大)

Shigeru IHARA, Yoshihide SAKAMAKI, Yoshiki HARADA, Kohei Kasahara and Jiromaru TSUJINO
Kanagawa University, Rokkakubashi, Kanagawa-ku, Yokohama

Welding characteristic of thin coated copper wires were studied using 40 kHz, 60 kHz and 100 kHz ultrasonic complex vibration welding equipments with elliptical to circular vibration locus. Insulated thin wires with various plastic coatings are used for various applications in electronics and furthermore in microelectronics. The complex vibration systems consisted of a longitudinal-torsional vibration converter which has a diagonal slitted part and four welding tips at the free edge, stepped horn (vibration velocity transform ratio: 4) with a supporting flange and a bolt-clamped Langevin type PZT longitudinal transducer (diameter: 30 mm) for driving the complex vibration converter. Polyurethane coated copper wires of 0.036 mm outer diameter and copper plates of 0.3 mm thickness were used as welding specimens. Required vibration amplitudes of 40 kHz, 60 kHz and 100 kHz welding equipments are over 4 μm , 2 μm and 1 μm (peak-to-zero value). The copper wire part is completely welded on the copper substrate and the insulated coating material is driven from welded area to outsides of the wire specimens by high frequency complex vibration. Weld strengths obtained were almost equal to the copper wire.

Keywords: Ultrasonic Welding, Welding of Insulated Wire, Ultrasonic Complex Vibration Source, High Frequency Complex Vibration System

1. 緒言

超音波溶接は、溶接部に静圧力を加えた状態で超音波振動を印加する事により各種の材料を短時間で接合する方法で、接合部が極めて狭い範囲に限定され、同種および熔融温度の異なる異種の金属材料等の短時間での接合が可能である。

超音波金属溶接には重ね合わせた溶接試料を点または連続に接合する超音波点溶接および超音波シーム溶接等があるが、従来の一次元の振動軌跡(直線)を用いた場合には薄い金属板または金属箔の接合が可能で、板厚の大きな試料では溶接が困難であった。

2次元の振動軌跡を用いた複合振動超音波溶接では、より板厚の大きな試料の接合が可能で、また同一振動振幅でもより一様な溶接面積の大きな接合部が得られる。また微細な溶接試料を接合するためには振動振幅は溶接試料に比して小さい必要があるが高周波数の方が溶接に必要な振動振幅が小であり、更に接合性能が向上することが分かっている。

40 kHz, 60 kHz, 100 kHzの振動系直径30 mm、斜スリットを有する縦-ねじり振動変換器を用いた複合振動超音波溶接装置を試作して振動特性、振動分布、振動軌跡について検討した。溶接用の複合振動系は100 kHzの直径30 mmの縦振動源で、自由端部に溶接チップを4カ所設置した一軸構成の縦-ねじり振動変換器を駆動する構成である。100 kHzでは直径寸法30 mmは約0.6波長長さに相当し直径方向の振動により縦振動に影響を及ぼす可能性が大であるが、

実際には縦振動系先端部では十分な振動速度が得られた。40 kHzおよび60 kHzの複合振動系もほぼ同様な構成である。複合振動系は縦振動系ノード部に設置したフランジで溶接用架台に設置し、複合振動超音波点溶接装置を構成した。一軸構成の縦-ねじり振動変換器は、縦振動系で駆動している。いずれの場合も溶接チップ部において楕円の振動軌跡が得られた[1]-[12]。

これ等の複合振動溶接装置を用いて溶接試料として直径0.036 mmのポリウレタン被覆銅線(ウレタン被膜厚さ0.003 mm、銅線部直径0.030 mm)を用いて被覆状態のまま直接接合を試みた。下部溶接試料としては板厚0.3 mmの銅板を用いた。溶接特性・溶接状態等につき検討した結果、複合振動系を高周波にすれば、小振動振幅でかつ短い溶接時間で母材強度に近い溶接強度が得られることがわかった。

2. 複合振動超音波点溶接装置および溶接試料

2.1 複合振動変換器の構成

一軸構成の縦-ねじり振動変換器(ステンレス鋼製、SUS304B)は直径16 mm、縦振動ノード部近傍の外周部に斜めスリット(角度45°、幅0.5 mm、長さ10.0 mm、深さ2 mm)を12本、放電加工機により直接加工してある。複合振動溶接チップは縦-ねじり振動変換器自由端部分に4カ所に一体加工してあ

る。溶接チップ部分は 40 kHz, 60 kHz, 100 kHz のいずれの場合も楕円状の軌跡で振動する。

2.2 複合振動超音波溶接装置の構成

振動周波数 40 kHz, 60 kHz, 100 kHz の複合振動超音波溶接装置を試作した。40 kHz および 100 kHz の複合振動系および複合振動溶接装置の構成を Fig.1 および Fig.2 に示す。溶接用複合振動系は、圧電セラミックリング (PZT, 厚さ 5.0 mm) を 2 枚用いたボルト締めランジュバン菰 PZT 縦振動駆動部 (JISA5056B, 直径 30 mm) および振動系固定用フランジを一体加工した速度変成用段付きホーン (JISA5056B, 速度変成比 $N=4$) 部から構成した縦振動源で、先端部に溶接チップ 4 力所を有する一軸構成の縦-ねじり振動変換器部 (直径: 16 mm, SUS304B) を駆動する。複合振動系は段付き縦振動ホーンのノード部に設置したフランジで溶接用架台に設置し、複合振動超音波点溶接装置を構成した。超音波点溶接装置は溶接用複合振動系、溶接部への静圧力の印加装置、XY 移動ステージ、静圧力測定装置および下部作業台から構成されている。溶接用振動系は 500 W の静電誘導型トランジスタ (SIT) 電力増幅器で駆動した。溶接チップの溶接時の振動振

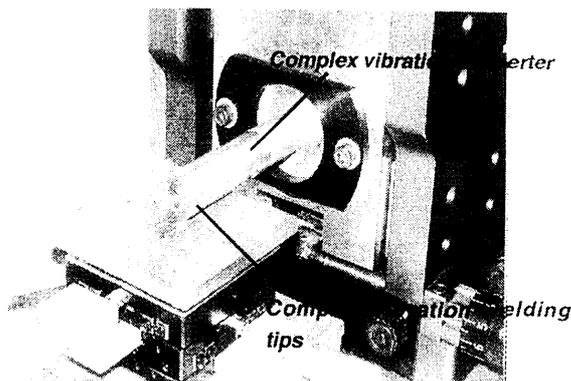


Fig.1 Configuration of a 40 kHz ultrasonic welding system using a longitudinal-torsional vibration converter.

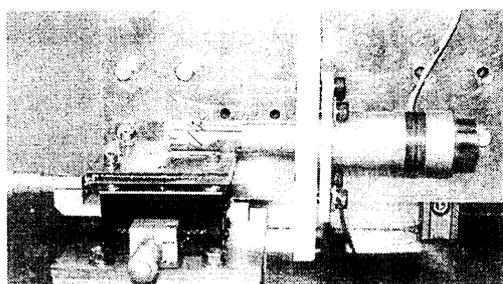


Fig.2 Configuration of a 100 kHz ultrasonic welding system using a longitudinal-torsional vibration converter.

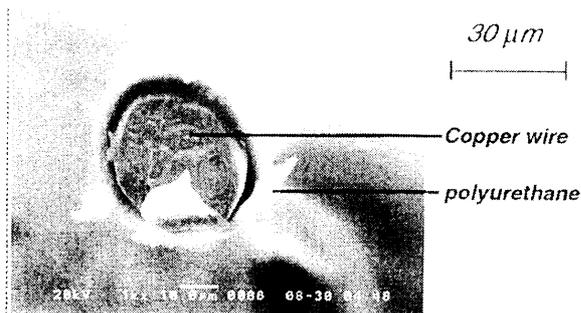


Fig.3 Cross section of 0.036-mm-diameter polyurethane coated copper wire.

幅・速度は、振動系の縦振動ループ部に設置した環状電磁菰振動検出器およびレーザードップラー振動計で測定した。振動軌跡は屯送特性が同一なレーザードップラー振動計 2 台で測定した。

2.3 溶接試料

上部溶接試料としてはポリウレタン被膜の直径 0.036 mm の銅線 (ウレタン被膜厚さ 0.003 mm, 銅線部直径 0.030 mm)、下部溶接試料としては板厚 0.3 mm の銅板を用いた。被覆銅線の断面写真を Fig.3 に示す。ウレタン被膜厚さは 0.002 ~ 0.004 mm 程度変化している。ウレタン被膜除去しないで接合を行った。従来の直線振動軌跡の超音波溶接装置では溶接は殆ど不可能であった。

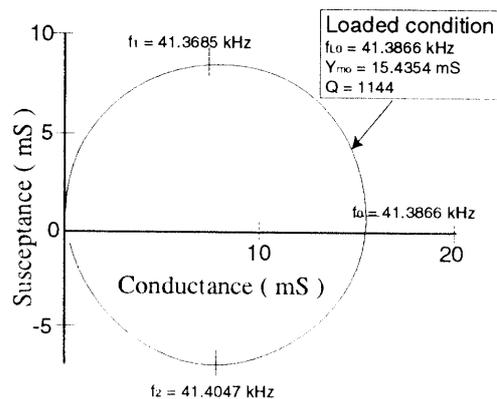


Fig.4 Free admittance loop of a 40 kHz complex vibration system under loaded condition.

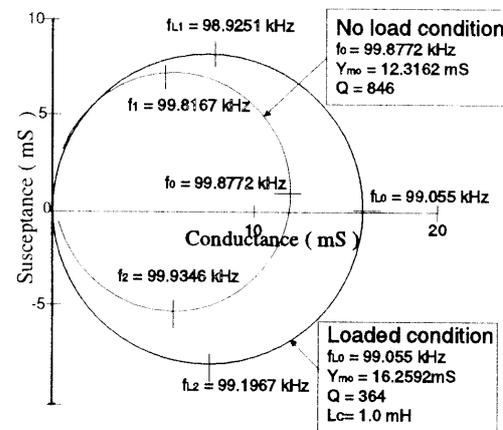


Fig.5 Free admittance loops of a complex vibration welding system at (a) no load condition and (b) loaded condition with a power factor compensating inductance.

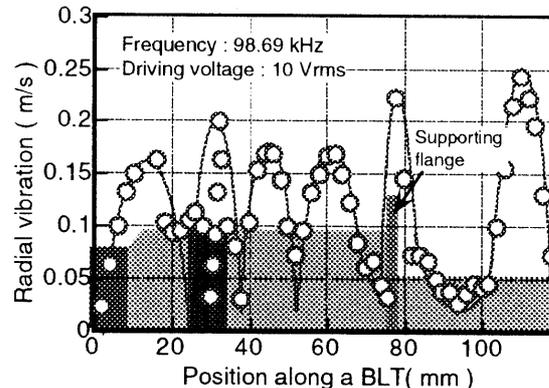


Fig.6 Radial vibration velocity distribution along a 100 kHz longitudinal vibration system of 30 mm diameter with a stepped horn. Driving voltage: 10 Vrms.

3. 複合振動系の振動特性および溶接チップ部振動軌跡

3.1 複合振動系の自由アドミッタンスループ

40 および 100 kHz の複合振動系の Free admittance loop を振動系をフランジ部で固定し、負荷または無負荷状態で測定した結果を Fig.4 および Fig.5 に示す。無負荷状態で力率補正無しの場合の, Quality factor は 1114 (40 kHz), 846.0 (100 kHz) で大である。各 Admittance loop は縦振動およびねじり振動の共振周波数が近接しているため単一ループとなっている。負荷状態の Quality factor は 100 kHz で 364.0 である。

3.2 複合振動系の径方向振動速度分布

100 kHz の縦振動系の直径 30 mm の駆動部および

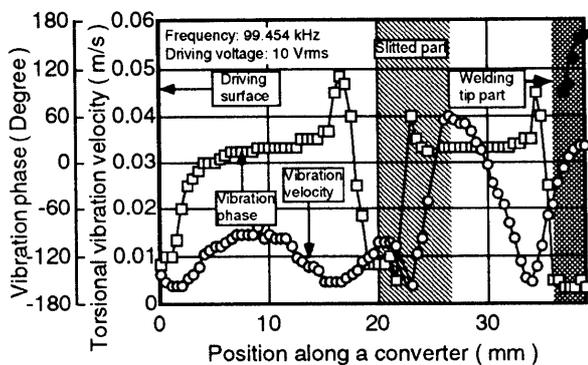


Fig.7 Torsional vibration velocity and vibration phase distributions along a 100 kHz complex vibration converter with a slitted part of 2.0 mm depth. Driving voltage: 10 Vrms.

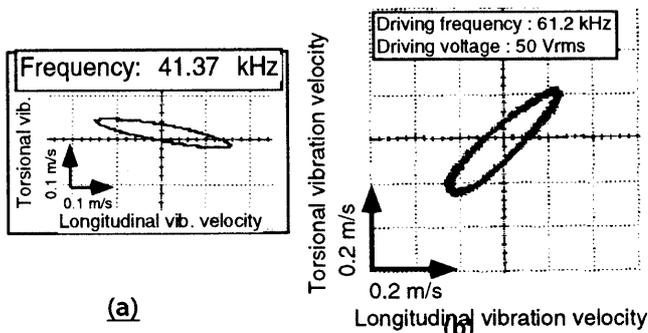


Fig.8 Vibration locus of a 40 kHz complex vibration welding tip at the free edge of the converter. Driving voltage: 50 Vrms.

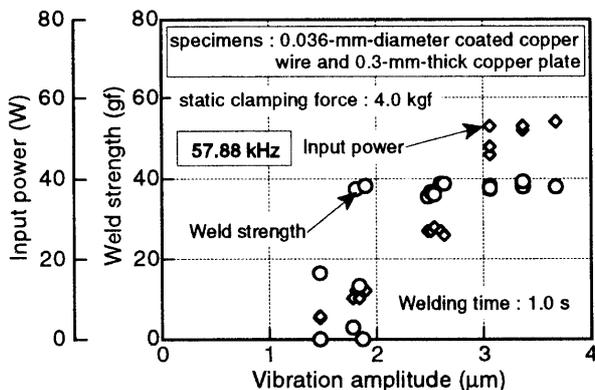


Fig.10 Relationships between vibration amplitude, input power and weld strength of 0.036-mm-diameter coated copper wire specimens using the 60 kHz ultrasonic complex vibration welding equipment.

直径 16 mm の段付きホーン部の径方向振動速度分布 (縦振動とループ部およびノード部が逆になっている) をレーザードップラー振動計を用いて測定した結果を Fig.6 に示す。いずれもステンレスナットと段付きホーン先端部で縦振動のループ部となっており、PZT disk 部および振動系支持用フランジ部は縦振動ノード部となっている。

3.3 複合振動変換器部のねじり振動速度分布

100 kHz の複合振動変換器部および溶接チップ部のねじり振動速度分布を外周部に軸方向に微細な刻み目を入れて軸方向のねじり振動および位相分布を測定した結果を Fig.7 に示す。ねじり振動は溶接チップ部で最大となっている。

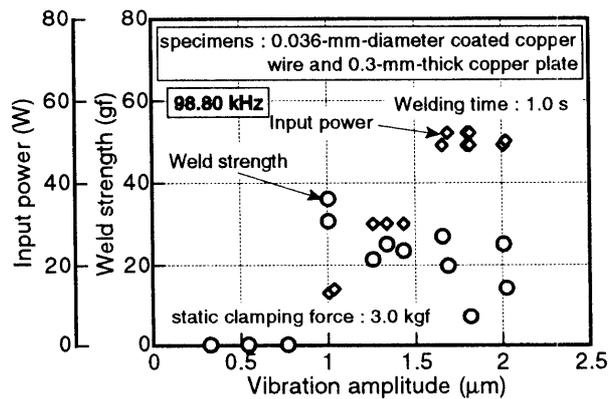


Fig.11 Relationships between vibration amplitude, input power and weld strength of 0.036-mm-diameter coated copper wire specimens using the 100 kHz ultrasonic complex vibration welding equipment.

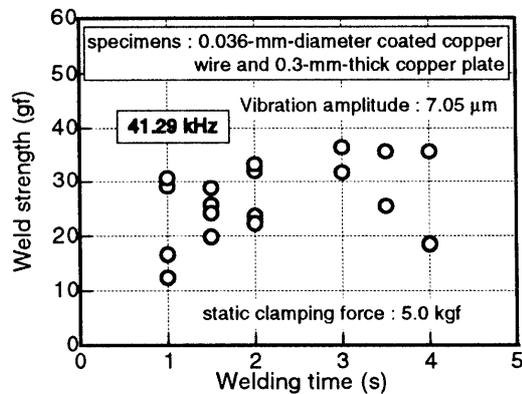


Fig.12 Relationship between welding time and weld strength of 0.036-mm-diameter coated copper wire specimens using the 40 kHz ultrasonic complex vibration welding equipment.

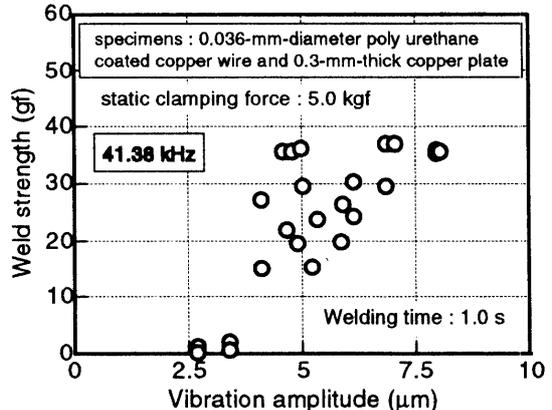


Fig.13 Relationship between vibration amplitude and weld strength of 0.036-mm-diameter coated copper wire specimens using the 40 kHz ultrasonic complex vibration welding equipment.

3.5 溶接チップ部の振動軌跡

40 および 60 kHz の溶接チップ部の縦振動成分およびねじり振動成分をレーザードップラー振動計 2 台を用いて測定し、Digital oscilloscope で記録した振動軌跡を Fig.8 (a) および (b) に示す。いずれも楕円の振動軌跡が得られている。

4. ポリウレタン被覆銅線と銅板の接合実験結果

4.1 振動振幅、入力パワおよび溶接強度

40, 60 および 100 kHz の楕円振動軌跡で、直径 0.036 mm のポリウレタン被覆銅線と板厚 0.3 mm の銅板を、振動振幅を変化させて溶接し、入力パワおよび溶接強度を測定した結果を Fig.10, Fig.11 および Fig.12 に示す。いずれも溶接時間 1.0 s 一定である。40 kHz の振動系では振動振幅 7 ~ 8 mm (peak-to-zero value)、60 kHz の振動系では振動振幅 2.5 ~ 3.5 μ m (peak-to-zero value)、100 kHz の振動系では振動振幅 1 μ m で銅線の母材強度 40 gf に近い溶接強度が得られている。高周波になるに従って必要振動振幅が小さくなるのが分かる。

4.2 溶接時間、入力パワおよび溶接強度

100 kHz の楕円振動軌跡で、直径 0.036 mm のポリウレタン被覆銅線と板厚 0.3 mm の銅板を、溶接時間を変化させて溶接し、入力パワおよび溶接強度を測定した結果を Fig.13 に示す。100 kHz の振動系では振動振幅 1.66 μ m、溶接時間 1 s 以上で 20 gf 以上の溶接強度が得られている。高周波になるに従って溶接時間が短くなり溶接強度も大になるのが分かる。

4.3 溶接状態

40, 60 および 100 kHz で接合した直径 0.036 mm のポリウレタン被覆銅線と板厚 0.3 mm の銅板の溶接部の SEM 写真を Fig.14 に示す。ポリウレタン被膜が複合振動により溶接部から排除されて接合されているのが分かる。

5. 結言

40, 60 および 100 kHz の縦振動源で一軸構成の縦-ねじり振動変換器を駆動する複合振動超音波点溶接装置を構成して振動特性を検討した。溶接チップ部では楕円状の振動軌跡が得られた。

これ等の装置を用いて直径 0.036 mm のポリウレタン

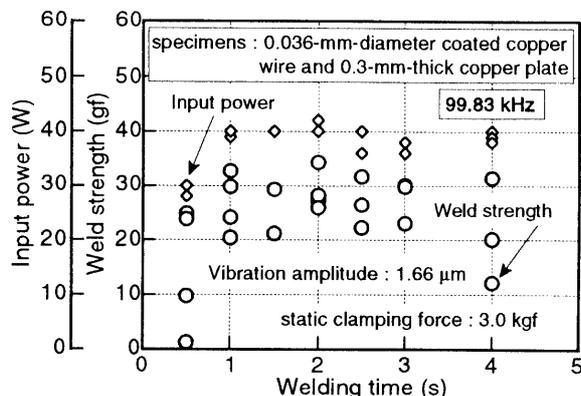


Fig.14 Relationships between welding time, input power and weld strength of 0.036-mm-diameter coated copper wire specimens using the 100 kHz ultrasonic complex vibration welding equipment.

被覆銅線 (ウレタン被膜厚さ 0.003 mm、銅線部直径 0.030 mm) の溶接特性につき検討した。下部溶接試料としては板厚 0.3 mm の銅板を用いた。

高周波の複合振動系を用いることにより、振動振幅が小となり溶接時間も短く、安定に大きな溶接強度が得られる。複合振動超音波溶接装置は IC の半導体チップ、各種の電子デバイスのフリップチップによる直接接合、セラミックパッケージの直接封止等に有効で、現在種々検討中である。

文献

- [1] Jiromaru TSUJINO and Tetsugi UEOKA: Vibration Characteristics of One-Dimensional Longitudinal-Torsional Converter with Multiple Slitted Parts., Proc. of IEEE 1998 International Ultrasonics Symposium, 1999.3, pp.723-728.
- [2] 辻野 次郎丸, 佐野 努, 井原 茂: 複合振動を用いた超音波金属溶接の接合特性について, 電子情報通信学会・日本音響学会超音波研究会, 技術研究報告 US99-14 (1999.05) pp.33-40.
- [3] 辻野 次郎丸, 上岡 哲宜: 複合振動を用いた超音波金属溶接について, 電子情報通信学会・超音波研究会, 技術研究報告 US99-13 (1999.05) pp.33-40.
- [4] Jiromaru TSUJINO, Tsutomu. SANO and Sigeru IHARA: Welding characteristics of 27 kHz and 40 kHz complex vibration ultrasonic metal welding systems, Proc. of IEEE 1999 International Ultrasonics Symposium, 2000.3, pp.773-778.
- [5] 辻野, 佐野 努, 田中 聡一: 100 kHz の複合振動超音波金属溶接の接合特性について, 電子情報通信学会技術研究報告 US2000-17 (2000.06) pp.7-14.
- [6] 辻野 次郎丸, 佐野 努, 原田 祥樹, 笠原 光平: 縦振動-複合曲げ振動棒を用いた複合振動超音波溶接装置について - 複合振動を用いた超音波溶接について (27) - 日本音響学会 2001 年春季研究発表会講演論文集 (2001.03) pp.999-1000.
- [7] 辻野 次郎丸, 井原 茂, 原田 祥樹: 60kHz の複合振動超音波溶接装置の溶接特性について - 複合振動を用いた超音波溶接について (30) - 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集 (2001.10) pp.1121-1122.
- [8] 井原 茂, 原田 祥樹, 坂巻典秀, 辻野 次郎丸: 超音波複合振動溶接による被覆線の接合について, 電子情報通信学・超音波研究会, 技術研究報告 US2002-82 (2002-12) pp.23-28.

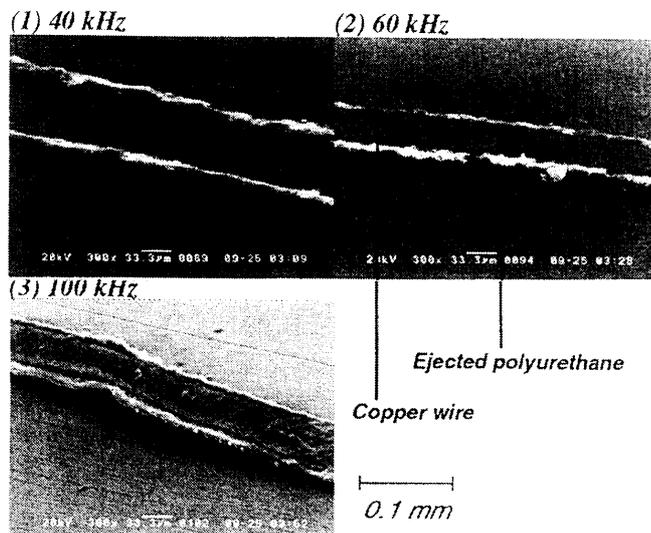


Fig.15 Welded conditions of 0.036-mm-diameter polyurethane coated copper wire specimens joined using by the (1) 40 kHz, (2) 60 kHz and (3) 100 kHz complex vibration welding tip.