ワイヤ変形挙動と接合性の関係*

—銅ワイヤステッチボンディングの接合性に関する研究 (第2報)—

藤本 公三**, 升谷 雄一***, 仲田 周次**, 藤井 淳彦****

Influence of wire deformation behavior on bondability*

—Investigation on Cu wire stitch bonding (Report 2)—

by Kozo Fujimoto, Yuichi Masutani, Shuji Nakata and Atsuhiko Fujii

For the direct bonding between Cu wire and Cu alloy lead frame, the wire deformation behavior and the temperature rise at the interface between a wire and a lead terminal are very significant. In this report, the operation of the load on the bondability and the correlation between the wire deformation behavior and bondability are clarified. The wire deformation is controlled by load control, and the plastic flow and the temperature rise at the interface are depended by the equilibrium of the load and the ultrasonic vibration. By setting the higher value of the initial load, the working load can be settled the smaller value, and so the wire deformation becomes smaller and bondability is superior than that in bonding by applying the constant load.

Key Words: Wire bonding, stitch bonding, Cu wire, Load controll, Deformation behavior

1. はじめに

ワイヤボンディングは、ワイヤの巨視的な変形に伴う界面での塑性流動によりワイヤとリードフレームなどの被接合材とを圧接する。このため、ワイヤの変形が接合性および接合部の強度に大きく影響する。前報では、超音波併用熱圧着法によるステッチボンディングでは、接合性および接合強度に対してワイヤの変形挙動の重要性の指摘を行った¹⁾。

本報では、導電性、耐蝕性のよい銅ワイヤを用いたステッチボンディング時のワイヤ変形挙動と接合性の関係について検討している。ワイヤボンディング時のワイヤ変形の最大の支配因子はキャピラリチップによる加圧である。加圧によるワイヤの変形と接合性に関しては、高橋²⁾、Winchell³⁾らが検討を行っているが、これは、一定加圧下での検討である。銅のワイヤボンディングに用いられる高純度軟質系ワイヤを一定加圧力下で接合した場合、超音波印加時にワイヤが大きく変形し、接合部強度がこの変形したワイヤネック部の強度で支配される。

ワイヤボンディングにおける加圧は、ワイヤとリードとの密着性を確保する目的と超音波印加時の界面での摩擦エネルギーによる界面発熱の誘起の2つの役割がある。そこで、本報では、銅ワイヤボンディングに用いられている軟質銅ワイヤのボンディングにおいて、加圧履歴を変化させることにより、ワイヤ変形挙動を制御し、変形挙動と接合性の関係を明確にするとともに、密着性確保に必要なワイヤ変形量および超音波印加時の最適加圧力を呈示することを目的としている。

2. 供試材料および実験方法

実験に用いた銅ワイヤは、Table 1に示す住友電気工業製の高純度銅ワイヤ（素材公称純度：99.999%）で、引張強さ $2.11 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 、伸び15.7%である。また、接合に用いたリードフレームは、三菱電機製のMF202（化学組成 Cu

Table 1 Material properties.

Kind	Composition	Tensile strength	Elongation
30 $\mu\text{m} \phi$ Cu wire	99.999%Cu	$1.9 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	15.0 %
Cu lead frame	Cu-2.0Sn-0.2Ni(mass%)	$4.6 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	13.0 %

Fig. 1 Time-chart of load and ultrasonic vibration.

*原稿受付 平成6年12月21日 平成元年度秋季全国大会で発表、平成4年11月マイクロ接合研究委員会で発表
**正 員 大阪大学 Member, Osaka University.
*** 大阪大学(現：三菱電機株) Osaka University (Present; Mitsubishi Electric Corporation).
**** 住友電気工業株 Sumitomo Electric Industry Corporation.

Fig. 2 Measurement of wire deformation under applying load of capillary tip.

-2.0Si-0.2Ni (wt%)) を用い、キャピラリチップは理化電子工業製 TS-2-17-D-LL および、このチップの先端を研磨加工したものを用いた。

実験は、Fig. 1 に示すように、超音波印加前と超音波印加時の加圧力を変化させて、超音波併用熱圧着により接合を行い、接合部のワイヤの変形量と引張強度を測定している。また、Fig. 2 に示すように、キャピラリチップでワイヤをガラス基板上加圧し、その時のワイヤとガラス基板との接触面積を金属顕微鏡により測定し、加圧力をかけた時のワイヤと基板との接触面積の測定を行っている。なお、接合は Ar シールド下で行い、接合の前処理として、表面粗さが $0.2\mu\text{m}$ になるように研磨し、純水-イソプロピルアルコール-純水の順で超音波洗浄をしている。

3. チップ先端形状とワイヤ初期変形の関係

ワイヤボンディング時のワイヤ変形挙動を規定する第1番目の因子は、超音波印加前の変形量である。この超音波印加前の変形量は、キャピラリチップの先端形状と加圧力により変化する。Fig. 3 は、2種類のキャピラリチップを用いて加圧をしたときのワイヤと基板との接触面積を測定した結果である。2種類のチップは、Fig. 4 (a), (b) に示すように、先端が傾斜した標準タイプとこのチップの先端を研磨して平にしたフラットタイプである。標準タイプのチップを用いたものでは、図からわかるように、チップ先端で押

Fig. 3 Influence of shape of capillary tip on wire deformation.

(a) Normal capillary tip

(b) Flat capillary tip

Fig. 4 Wire deformation under applying load of capillary tip.

されたワイヤの変形限度でワイヤの変形が固定され、加圧力が 2N 以上では接触面積がほぼ一定となっているのに対し、フラットタイプのチップでは、加圧力の増大に伴って接触面積が広がっている。また、標準タイプのチップを用いたものは、チップ先端でワイヤにかかる応力が最大となり、応力が接触部全体で均一にならない。

このように、先端を研磨したフラットタイプのチップは、加圧力によるワイヤ変形の制御性、および、ワイヤと基板との均一加圧の面でステッチボンディングの接合性を検討するのに適している。このため、本研究では、このフラットタイプのチップを用いて接合を行っている。

4. 2段加圧方式による変形挙動の制御とその接合性への効果

4.1 一定加圧方式と2段加圧方式の接合比較

接合中のワイヤの変形挙動を制御するため、Fig. 1 に示したように、超音波印加前の加圧力と超音波印加時の加圧力を変化させて接合を行った。この加圧力を変化させて接合する方式を2段加圧方式と呼ぶ。

Fig. 5-(a), (b) は、一定加圧力下での接合と2段加圧方式での接合を行ったときのワイヤ変形幅と接合部の引張試験結果を示したものである。なお、両者とも最も良好な接合部の得られた接合条件での結果を示したものである。一定加圧 ($P_c = 0.6\text{N}$) で接合した接合部は、超音波印加時間とともに変形が大きくなり、超音波印加時間 40ms で、ワイヤの変形幅 $65\mu\text{m}$ となり、この時、引張強度が最大強度 (0.07

Fig. 5 Influence of load pattern on wire deformation and pull strength under working of ultrasonic vibration.

Fig. 6 SEM photograph of stitch bonds after pull testing.

N) を示す。一方、2 段加圧方式 ($P_1=1.4$ N, $P_2=0.4$ N) で接合した接合部は、初期加圧が大きいため、超音波印加前のワイヤ変形幅は $60\text{ }\mu\text{m}$ と大きくなっているが、超音波印加時の加圧力が 0.4 N と小さいため、超音波印加によるワイヤの変形は小さくなっている。この 2 段加圧による接合部は、超音波印加時間が $30\sim 45$ ms で引張強度が $0.08\sim 0.10$ N となっており、一定加圧による接合部の最大引張強度より大きくなっている。

Fig. 6 は、Fig. 5 で示した 2 種類の加圧方式でワイヤの変形幅がほぼ等しく、最大引張強度を呈する接合部の外観 SEM 写真および引張試験後の接合部破面の SEM 写真を示したものである。この写真からわかるように、一定加圧で接合した接合部(b)の接合領域は 2 段加圧方式の接合部の接合領域より非常に小さくなっている。

4.2 2 段加圧方式の接合における最適加圧力

前節で示したように、超音波印加前の加圧力を大きくし、超音波印加時の加圧力を小さくすることにより、ワイヤの変形が小さく、接合性の良好な接合部が得られることを示した。本節では、この 2 段加圧方式の接合における最適加圧力について検討する。

Fig. 7-(a), (b) は、2 段加圧方式で接合を行ったときのワイヤ変形量と接合部の引張試験結果を示したものである。なお、加圧力は、超音波印加時の加圧力を 0.4 N 一定で、超音波印加前の加圧力を各々 1.2 N, 1.4 N, 1.8 N と変化させている。超音波印加前の加圧力を 1.2 N で接合したものは、超音波印加時のワイヤ変形がほとんどなく、接合もされなかった。超音波印加前の加圧力を 1.4 N で接合したものは、超音波印加時間の増加とともにワイヤの変形量も大きくなり、引張強度は超音波印加時間 40 ms で最大 (約 0.09

N) となっている。また、超音波印加前の加圧力を 1.8 N で接合したものは、超音波印加時のワイヤの変形がより大きくなり、特に超音波印加時間 $10\sim 40$ ms でワイヤの変形量が大きく変化しており、ワイヤネック部強度が小さくなり、引張強度は超音波印加時間 30 ms で、 0.05 N (ワイヤネック部破断) となっている。以上の結果より、この 2 段加圧方式のワイヤボンディングにおいては、加圧力の最適値が存在し、本実験範囲内では、超音波印加前の加圧力 1.4 N, 超音波印加時の加圧力 0.4 N が最適であった。

4.3 加圧制御の接合性に対する効果

前 2 節で示したように、超音波印加前の加圧力を大きくし、超音波印加時の加圧力を小さくすることで、良好な接合部が得られる。

Fig. 8 は、一定加圧下と 2 段加圧方式によるワイヤ変形と界面におけるワイヤとリード材との密着状態の関係を模式的に示したものである。超音波印加前の加圧下において、加圧力の大きな 2 段加圧方式の方が界面での接触面積、つまり、界面でのみかけの密着面積が広がっている。この状態で、超音波を印可した時、一定加圧条件下でのボンディングでは、Fig. 5 に示したように、超音波印加時のワイヤ変形幅は大きくなるが、Fig. 6 に示した破断面からわかるように、実質の密着面積は広くならず、超音波エネルギーがワイヤ変形に費やされているのがわかる。一方、2 段加圧方式では、超音波印加時の加圧力が小さく、Fig. 5, Fig. 6 からわかるように、超音波印加時のワイヤ変形が一定加圧方式のものより小さく、界面での実質の密着面積が大きくなっている。

このように、超音波印加前の加圧は、ワイヤとリードの接触面積と両者の密着性に関与しており、この超音波印加

Fig. 7 Influence of initial load on wire deformation and wire pull strength under working of ultrasonic vibration.

Fig. 8 Wire deformation and adhesion at interface under constant loading or two stage loading.

前の加圧力を大きくすることで、接触面積ならびに密着性の確保がなされるものと考えられる。また、超音波印加時の加圧力は、超音波エネルギーの発生を促すためのものであり、この加圧力が小さすぎると超音波印加による摩擦熱、界面での塑性流動が生じないことになる。また、一定加圧方式の加圧のように、この加圧力が大きすぎると、超音波エネルギーが界面での塑性流動よりワイヤ自体の変形に費やされると考えられる。

つまり、初期加圧を高くし、超音波印加時の加圧力を低くする2段階加圧方式では、超音波印加作用域を広くできるとともに、超音波印加時の変形を抑え、超音波エネルギーの接合への寄与を大きくすることができ、接合強度の高い接合部を得ることができる。

なお、本実験による適正加圧力は、銅ワイヤによるボール・ステッチボンディングに用いられる軟質系銅ワイヤ(引張強度 1.9×10^8 N/m, 伸び15.0%)のステッチボンディングでの結果である。使用するワイヤの特性により適正となる加圧力値は異なるが、そのワイヤの特性に応じた密着性を規定する初期加圧力値と超音波印可による界面での発熱・塑性流動に適した超音波印可時加圧力が存在し、これらを制御することにより、接合状態の良好な接合部が得られると考えられる。

5. 結 論

銅ワイヤによる銅リードフレームへのステッチボンディングにおいて、接合部のワイヤの変形挙動が接合性および得られた接合部の接合強度に大きく影響することに着目し、初期加圧力と超音波印加時の加圧力を変化させることにより、ワイヤの変形挙動を変化させ、その時の接合性および接合強度について検討を行った。以下に本研究で明らかになった点を要約する。

(1) チップ先端形状によりワイヤ変形が異なり、ワイヤとリードフレームとの接触面積は、先端に傾斜を有するチップを用いた場合、ある加圧力で一定となるのに対し、先端の平坦なチップを用いると加圧力に依存して大きくなる。つまり、平坦なチップを用いる方が、ワイヤとリードフレームとの接触面積を制御しやすい。

(2) ステッチボンディングでは、接合時のワイヤ変形挙動が界面の密着性・塑性流動に大きく影響する。このワイヤ変形挙動は加圧力により大きく変化し、接触面およびその密着性確保のための初期加圧と界面での発熱・塑性流動を促す超音波印加時の加圧力は、本質的な意義が異なり、各々の目的のための適正值が存在する。

(3) 軟質系銅ワイヤによるステッチボンディングの場合、初期加圧を高くし、超音波印加時の加圧力を低くすることにより、超音波印加作用域を広くできるとともに、超音波印加時の変形を抑え、超音波エネルギーの接合への寄与を大きくすることができ、接合強度の高い接合部を得ることができる。

(4) 初期加圧力と超音波印加時の加圧力の値には、適正值が存在する。実験に用いたワイヤにおいては、初期加圧1.4 N, 超音波印加時加圧0.4 Nが最適であった。

参 考 文 献

- 1) 藤本, 真鍋, 仲田; “接合パラメータおよび表面性状と接合性の関係—銅ワイヤステッチボンディングの接合性に関する研究(第1報)” 溶接学会論文集, 第14巻, 第1号, pp. 168, (1996).
- 2) 高橋, 井上, 芝本; “ワイヤの熱圧着過程の数値解析と密着機構からみた接合限界”, シンポジウム「マイクロエレクトロニクスにおける超微細接合」, p. 77-86 (1993).
- 3) V.H. Winchell and H.M. Berg; “Enhancing Ultrasonic Bond Development”, ECC 1978, p. 387-396.