The Magnetics Society of Japan

日本応用磁気学会誌 23, 1701-1704 (1999)

リニア電磁誘導式噴流はんだポンプの開発

Linear Electromagnetic Pump for an Automatic Wave Soldering System

小野崎 純一・増田 二紀・斎藤 浩司・佐々木 政之*・鹿野 快男*・山口 昌樹*
㈱タムラ製作所，東京都練馬区東大泉 1-19-43（〒178-8511）
*東京農工大学，東京都小金井市中町 2-24-16（〒184-8588）
J. Onozaki, T. Masuda, H. Saitoh, M. Sasaki*, Y. Kano*, and M. Yamaguchi*
Tamura Corp., *1-19-43 Higashi-Oizumi, Nerima 178-8511*
*Tokyo University of Agriculture and Technology, *2-24-16, Naka-Machi, Koganei 184-8588*
(1998 年 10 月 13 日受理，1999 年 1 月 21 日採録)

A wave soldering system has been used for more than 50 years in the process of circuit board assembly, but the needs for maintenance-free operations, high solderability, and downsizing of the solder capacity have still not been met. To meet these requirements, the authors made practical use of a wave soldering system in which a direct thrust is applied to the molten solder by means of a linear electromagnetic pump, thus realizing maintenance-free system, a 1/10 to 1/20 reduction of the defect rate, and a 57% reduction of the solder capacity.

Key words: linear motor, electromagnetic pump, wave soldering, induction motor, starting thrust

1. はじめに

プリント回路基板のはんだ付け工程では溶融したはんだを基板に吹き付ける噴流式はんだ付け装置が用いられているが，溶融はんだの搬送は従来回転モータとポンプ羽根を用いた機械ポンプで行われてきた。そのため装置が大型化するだけでなく，定期的なメンテナンスも不可欠であり，装置の信頼性向上も難しかった。

筆者らは，溶融はんだの搬送を行う噴流式はんだ付け装置として，リニア誘導モータの原理を応用した完全非接触式のリニア誘導式噴流はんだポンプ(以下，リニア電磁ポンプと略す)を世界で初めて開発した。[1]これは，はんだに直接駆動力を与えるためにポンプのメンテナンスがほとんど不要となるばかりでなく，はんだ槽の大幅な小型化が可能となる。本論文では，この電磁ポンプに関して以下の事項を述べるものである。

1) リニア電磁ポンプの構造と動作原理
2) リニア電磁ポンプの必要推力の試算
3) リニア電磁ポンプの推力特性の測定結果とはんだ付け性能

2.はんだ槽構造と基本仕様

噴流式はんだ付け装置は，Fig.1 に示すように搬送コンベア，フラックス塗布装置，プリヒータ，はんだ槽及び冷却装置から構成されている。プリント回路基板は，まずはんだ付け性を補助するためのフラックスが塗布され，プリヒータによりフラックスの乾燥および電子部品の熱破損を防止するための予備加熱をした後に，噴流はんだと接触しはんだ継手が形成される。そして最後に冷却されることによりはんだ付けが完了する。本論文で述べるリニア電磁ポンプは，このはんだ槽に一体化されて搭載されるものである。Fig.2 には，製作したリニア電磁ポンプを搭載したはんだ槽の外観を示した。

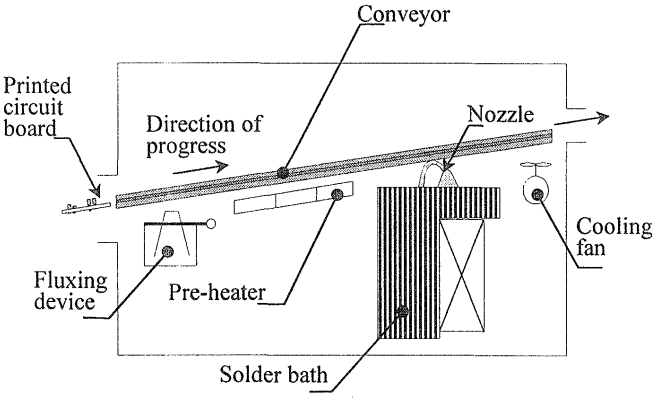


Fig. 1 Automatic wave soldering system.

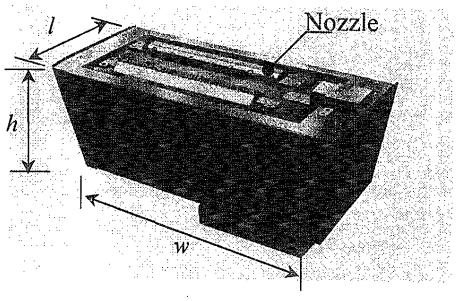


Fig. 2 External appearance of a solder bath using a linear electromagnetic pump ($l \times w \times h$ = 410 × 870 × 500 mm).

Fig.3 には，リニア電磁ポンプが一体化されたはんだ槽の断面を示した。リニア電磁ポンプは，ステンレス製の箱状はんだ槽の外側に固定された一次巻線と，はんだ槽内部に設置されたバックアイアンから構成され，一次巻線とバックアイアンの間のギャップは 6 mm (ステンレス板 2 mm，エアギャップ 4 mm)に保たれている。ヒータにより 250 ℃ に加熱された溶融はんだは，はんだ槽底部から吸い込まれギャップ中で加速され，ノズル内部整流板により流れを均一化した後ノズルから噴流し循環する。リニア電磁誘導ポンプの採用によりはんだ槽下部を絞り込んだ側壁にリニアモータを垂直配置することが可能となり，はんだ槽容積を現行の 57 % に低減できた。また，はんだを大気中に噴流したときに生成される酸化物がポンプ内部に吸引されないようにポンプ吸い込み口は従来はんだ槽の 2 倍以上深い位置に配置した。

NII-Electronic Library Service

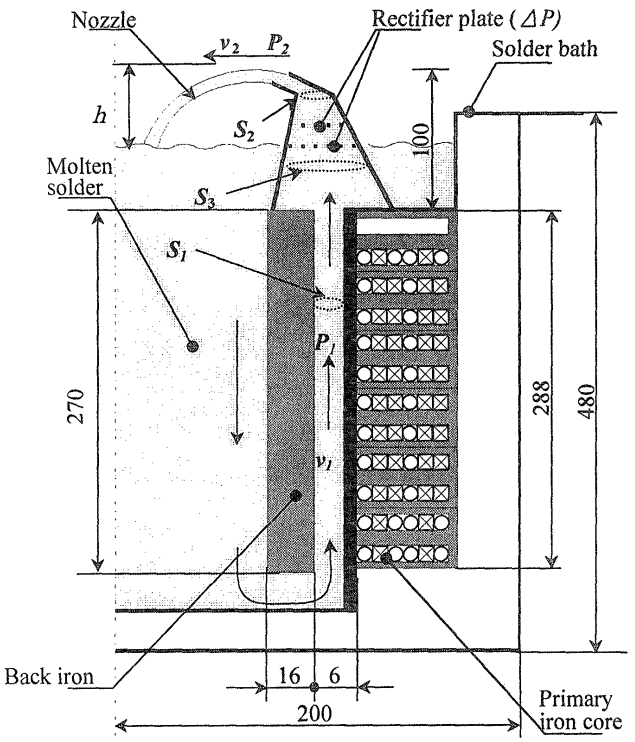


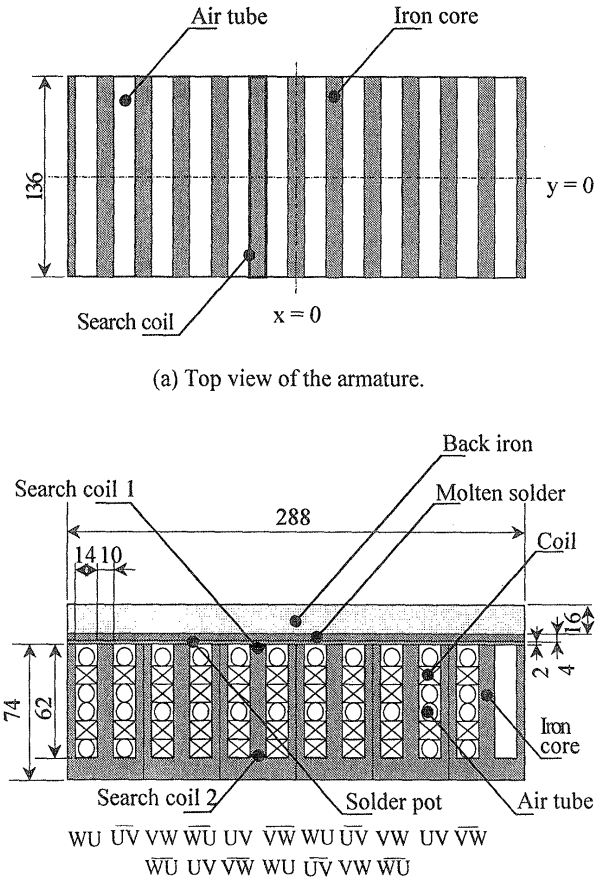
Fig. 3 Cross-section of the new solder bath (unit : mm).

Table 1 Specifications of the linear electromagnetic pump.

Item	Value	(unit)
Number of poles	3	
Pole pitch	72	(mm)
Number of slots	12	(mm)
Pitch of slot	24	(mm)
Width of slot	14	(mm)
Width of tooth	10	(mm)
Depth of slot	62	(mm)
Material of core	Silicon steel	
Thickness of back iron	16	(mm)
Gap	6	(mm)
Number of phases	3	
Primary voltage	120	(V)
Frequency	100	(Hz)
Primary current	8	(A)
Number of turns	60	(／coil)

Table 1 には，生産ラインで $w \times l = 250 \times 330$ mm の大きさのプリント回路基板をはんだ付け可能な 200 V 3 相 3 極のリニア電磁ポンプの基本仕様を示す。一次鉄心は厚さ 0.5 mm のケイ素鋼板を積層して製作し，バックアイアンは S15C のブロック材を用いた。

Fig.4 には，リニア電磁ポンプの構造を示す。はんだの溶融温度は 250 ℃ なので，一次鉄心とその巻線は 250 ℃ 以上の温度に定常的に耐える必要がある。そこではんだ槽から 0.5 mm 離れた位置に一次鉄心を設置して，熱伝導を極力小さくし，さらに空冷装置を装着した。また放熱性を向上するために鉄心の形状は開放スロットを採用した。



(a) Top view of the armature.

(b) Side view.

Fig. 4 Structure of the linear induction motor used for the new solder (Unit : mm).

3. 必要推力の試算

リニア電磁ポンプの開発にあたり，プリント回路基板をはんだ付けするために必要とされる推力を算出する必要がある。Fig.2 において，リニア電磁ポンプのエアーギャップ中静圧力 P_1 Pa，エアーギャップ中流速 v_1 m／s，はんだ水頭高さ h m，はんだ噴流ノズル部静圧力 P_2 Pa，ノズル部はんだ流速 v_2 m／s，各ノズル内部整流板による圧力損失 ΔP Pa としたとき，ベルヌイの定理により式 (1) の関係が成り立つ。

$$P+\frac{1}{2}\rho v_1^2 = (P_2 + \Delta P) + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h \quad \text{[Pa]} \qquad (1)$$

ここに，ρ :はんだの密度 $=8.5\times10^3$ kg/m^3

エアギャップ中はんだの運動において厳密には渦が発生していると考えられるが，ここでは粘性の影響は小さいと仮定し，渦の影響を無視した定常流として圧力損失は 0 と仮定する。はんだ液面の大気圧を静圧力の基準として考えると，$P_2 \fallingdotseq$ 大気圧となり P_2

NII-Electronic Library Service

The Magnetics Society of Japan

の大気圧を静圧力の基準として考えると，P_2 ≒ 大気圧となり P_2 は無視できるので，式 (1) より P_1 を求めると式 (2) となる。

$$P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h - \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \Delta P \quad \text{[Pa]} \tag{2}$$

式 (2) においてノズル内部整流板にはんだが衝突することによる圧力損失 ΔP は，整流板断面積 S_3 m^2，衝突速度 v_3 m／s，および整流板枚数により決定される係数 k によって式 (3)の関係となる。

$$\Delta P = k\rho v_3^2 \quad \text{[Pa]} \tag{3}$$

よってエアギャップ断面積 S_1 m^2，ノズル断面積 S_2 m^2 としたとき，リニア電磁ポンプの静推力 F N は式 (4) より求められる。

$$F = P_1 \times S_1 \quad \text{[N]} \tag{4}$$

ここに，

$$v_1 = \frac{S_2}{S_1} v_2 \quad \text{[N]} \tag{5}$$

$$v_3 = \frac{S_2}{S_3} v_2 \quad \text{[N]} \tag{6}$$

これらに基づき，代表的な 2 種類のノズルについて推力の試算を行った。一般的なプリント基板はんだ付けに使用される大流量タイプのノズルの場合，はんだ水頭高さ h = 50 mm，ノズル部はんだ流速 v_2 = 0.25 m/s とすると大流量ノズル必要推力 F = 22 N となる。一方，高流速タイプのノズルの場合，はんだ水頭高さ h = 40 mm，ノズル部はんだ流速 v_2 = 0.7 m/s とすると，高流速ノズル必要推力 F = 10 N となる。これらの計算から電磁ポンプに必要な推力は 22 N 以上である事が判った。

4. 推力特性

4.1 磁束密度分布

開発したリニア電磁ポンプの推力特性が流体力学的に算出された必要推力を満足しているかどうかを確認するために，まずエアギャップ中の磁束密度分布，移動磁界の状態について測定を行った。 Fig.5 には，励磁電流 8 A，ギャップ 6 mm において，ホール素子を挿入して測定したエアギャップ中の磁束密度分布を示した。最大磁束密度は 128 mT であり，バックアイアンの材質 S15C の最大磁束密度の 8 % にしか達しておらず，今後さらに最大磁束密度を改善できる可能性があると考えられる。 y 軸方向の磁束密度は 15 mm ピッチで ±11 % の変動が観察されたが，これは機械加工精度および組み立て精度に起因するものと推定され，その改善により低減可能と考えられる。

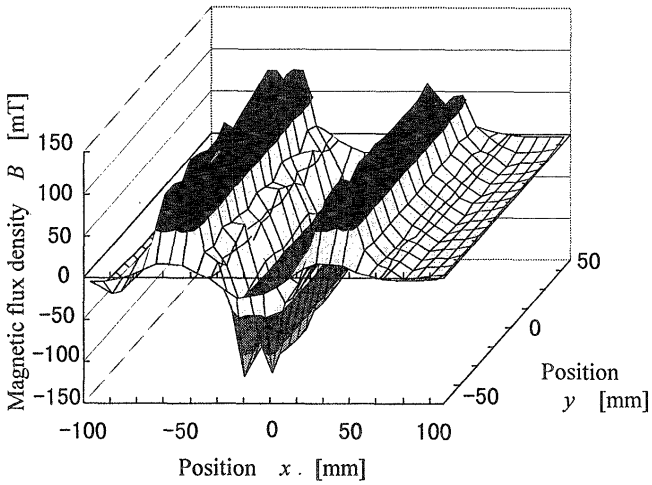


Fig. 5 Measurement results for the magnetic flux density in the air gap.

4.2 始動推力特性

Fig.6 には，開発したリニア電磁ポンプの始動推力測定装置の概念を示した。はんだ合金は一般的な錫と鉛の合金（共晶はんだ）を空孔のないように圧延加工したものを使用した。始動推力の測定実験ではステンレス板，はんだ板，バックアイアンの摩擦抵抗をなくすための合計隙間 1 mm が必要であるため，エアギャップを 7 mm として測定を行った。

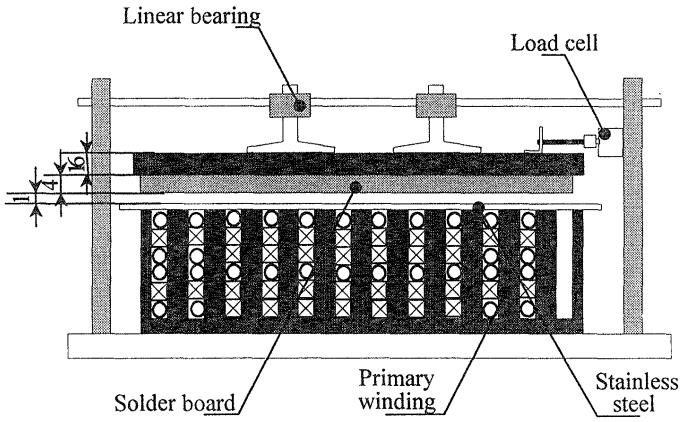


Fig. 6 Method of measuring the starting thrust (unit : mm).

Fig.7 には，リニア電磁ポンプの始動推力を測定した結果を示した。また Fig.8 には始動推力測定時の有効電力を示す。これらより，励磁電流を 10 A (0.65 kW)以上とすれば必要推力 22 N を発生可能なことが確認された。また，周波数が 60 Hz よりも大きくなるに従い推力の増加度合いは減少しているが，この原因は運転周波数の増加に伴い渦電流損が増大しているためではないかと考えられる。また，I = 10 A，f = 50 Hz で 0.65 kW 必要な有効電力を，従来方式と同等な 0.2 kW 程度に低減するのも今後の課題の一つである。

NII-Electronic Library Service

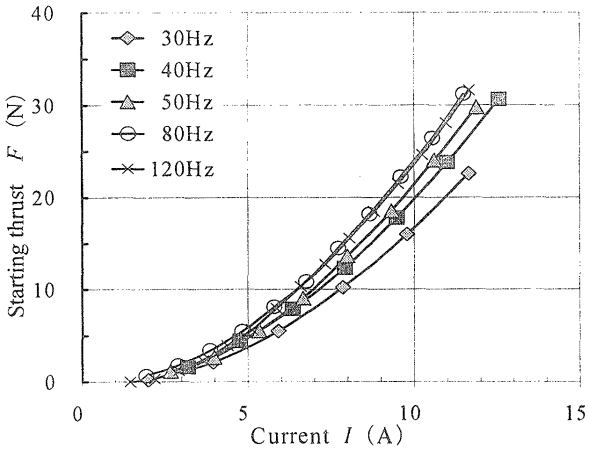


Fig. 7 Relation between the starting thrust and the current.

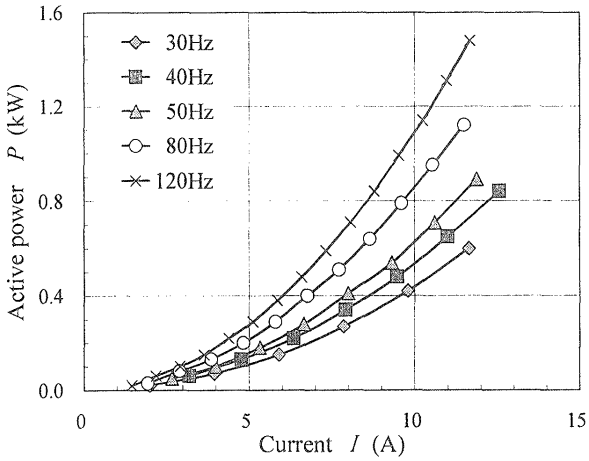
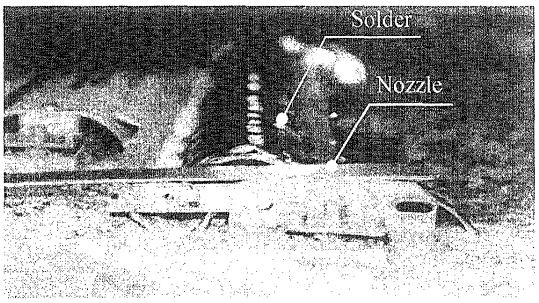
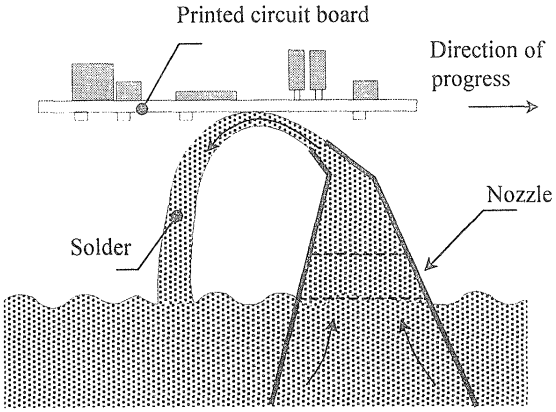


Fig. 8 Relation between the active power and the current.



(a) Appearance of a solder wave.



(b) State of the soldering process.

Fig. 9 State of the solder wave during an operation.

Fig.9 には，リニア電磁ポンプにより高速流タイプの JET ノズルを使用して溶融はんだ噴流実験を行った状況を示す。ジェット噴流は 2 枚のステンレス製ナイフ状の隙間からカーテン状にはんだを噴流する方式で，隙間は 1 ～ 2 mm 程度である。これにより励磁電流 6 A で噴流高さを $h = 42$ mm が実現できる事が判った。また，はんだ噴流波面の脈動もほとんどないことからリニア電磁ポンプの信頼性の高さが確認された。

リニア電磁ポンプを量産プリント基板に適用した場合のはんだ付け性能評価として，リニア電磁ポンプ式を搭載したはんだ付け装置を実際の生産ラインに連結して，部品点数 200 ～ 1000 点，大きさ 150 ～ 250 mm の 4 種類の基板についてフィールドテストを行った結果，従来式はんだ付システムの不良率に対してリニア電磁ポンプは 1／10 ～ 1／20 に低減されていることが確認された。この結果はリニア電磁ポンプが性能面においても従来式はんだ付け装置に勝っていることを示している。

5. まとめ

リニア電磁ポンプを搭載した噴流はんだ付け装置の開発により，以下の結果が得られた。

1) リニア電磁ポンプの採用により溶融はんだをダイレクト駆動することが可能となり，機械ポンプ式の駆動ギヤ，駆動軸，ポンプ羽根等の機構部品全てが不要となりメンテナンスフリーのはんだ槽が実現できた。
2) リニア電磁ポンプの砺磁電流を 10 A (0.65 kW) 以上とすれば，必要推力 22 [N]を発生可能であった。
3) 4 種類の量産プリント基板はんだ付け性能評価において，従来式はんだ付システムと比較してリニア電磁ポンプはの不良率は 1／10 ～ 1／20 に低減されていることが確認された。

文　献

1)小野崎純一，斎藤浩司，増田二紀，山口昌樹，鹿野快男 : LDIA'98，54 (1998).
2) 工藤靖之，馬場旬平，大崎博之，正田 英介： 電気学会リニアドライブ研究会資料，LD-96-8，1 (1996).
3) 野中作太郎 : 日本応用磁気学会応用磁気研究会資料 MSJ 68-2, 9 (1991).
4) 佐藤安雄:電気学会リニアドライブ研究会資料, LD-90-21,29 (1991).
5) 正田 英介: リニアドライブ技術とその応用, 81 (オーム社，東京，1991).
6) 電気学会磁気アクチュエータ調査専門委員会: リニアモータとその応用, 108 (オーム社, 東京, 1984).

NII-Electronic Library Service