

© 1989 ISIJ

論 文

複合鋼板の溶接性に及ぼす中間層の影響

篠崎 正利*・松本 義裕*・佐藤 功輝*
内田 康信*²・中野 昇*²

Effect of Intermediate Layer on Weldabilities in Steel-plastic-steel Laminates

Masatoshi SHINOZAKI, Yoshihiro MATSUMOTO, Kohki SATOH,
Yasunobu UCHIDA and Noboru NAKANO

Synopsis:

Effect of intermediate layer on weldabilities has been studied in steel-plastic-steel laminates. Acceptable welds can be obtained, when the electric resistance at the first cycle of spot welding is less than $0.6 \text{ m}\Omega$. To obtain the suitable resistance, the control of thickness of the intermediate layer, diameter of electric-conductive particles, ratio of the thickness and diameter, and content of the particles are important. The intermediate resin layer is harmful of arc welding and laser welding; thinner layer is preferable.

Key words: steel-plastic-steel laminate; spot welding; arc welding; laser welding; intermediate resin layer; electric-conductive particles.

1. 緒 言

鋼の持つ機能を最大限に引き出すための努力が続けられている。従来、鋼に求めていた機能は機械的性質と電磁的性質などであったが、最近になってそれら以外に、形状記憶性など、鋼には存在しないと考えられていた種々の性質についての要求が高まっている。薄鋼板を例にとってみれば、従来要求されていた特性は、強度、加工性、溶接性、耐食性などであったが、最近では制振性、軽量性など、鋼本来の性質にないもの、つまり鋼の性質のうちネガティブな性質の改善が求められている。

このような場合、振動減衰能の大きい物質、あるいは比重の小さい物質などと鋼板とを複合化するのが一つの解決手段である。その結果開発されたのが制振鋼板や軽量鋼板であり、前者は鋼板と鋼板の間に粘弾性樹脂を挟み積層した複合鋼板、後者は同様に中間層として弾性率が高く比重の小さい樹脂を使用した複合鋼板である¹⁾²⁾。

複合鋼板の使用量は現状ではまだ少ないが、振動・騒音の低減や軽量化に対するニーズが高まるにつれて、今後急速に需要が増加すると見込まれている。そうなる

薄鋼板はそのまま使用されるのではなく、熱延鋼板、冷延鋼板、極薄鋼板(箔)、およびそれらの表面処理鋼板、あるいは各種ステンレス鋼板が複合鋼板化される時代が到来することが予想される。

しかしながら、複合鋼板は積層構造のゆえに種々の欠点を持ちあわせており、それらを解決しなければ複合鋼板の時代は到来しない。複合鋼板の特性上の欠点としては、成形性、耐久性、溶接性などが挙げられるが、絶縁体である樹脂を中間層として用いる点で、スポット溶接にとって好ましくない。また、溶接時の熱により樹脂が炭化あるいはガス化することによって、スポット溶接時のふくれやアーク溶接時のブローホールが発生する。

本報告では上述したような事情を背景とし、制振鋼板と軽量鋼板の各種溶接性に及ぼす中間層の影響を調べた結果について述べる。

2. 供試材と実験方法

2.1 供試材

供試材は Table 1 に示すように、制振鋼板、軽量鋼板、および比較材としての冷延鋼板である。制振鋼板と軽量鋼板を構成する鋼板(以下スキン鋼板と記す)は、

平成元年 2 月 1 日受付 (Received Feb. 1, 1989)

* 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 (Iron & Steel Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-cho Chiba 260)

*² 川崎製鉄(株)ハイテク研究所 (High-Technology Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp.)

Table 1. Sheet steels and fillers used.

| Steel | Filler |
|-------------------|---|
| Vibration-damping | Nothing Graphite particle SUS304 particle |
| Lightweight | Nothing Graphite particle |
| Cold-rolled | Nothing (Used for comparison) |

Table 2. Skin steel sheets used.

| Steels | Carbon grade | Thickness (mm) |
|-------------|--|----------------|
| Cold-rolled | Low carbon steel Ultra low carbon steel | 0.2~1.4 |
| Hot-rolled | Low carbon steel | 3.2 |

Table 3. Conditions of direct-spot welding.

| Item | Condition |
|-----------------|---|
| Electrode tip | Cu-Cr alloy |
| Shape of tip | 5 mmφ CF type R 8 mm radius type 24 mmφ CF type |
| Electrode force | 150~1 000 kgf |
| Welding current | 5~20 kA |
| Welding time | 5~200 cycles/50 Hz |

Table 2 に示す冷延鋼板と熱延鋼板である。

中間層樹脂としては制振鋼板にブチラール系樹脂、ポリオレフィン系樹脂、およびポリエステル系樹脂を、軽量鋼板にポリプロピレンを用いた。導電性フィラーとしては非金属粒子として塊状の黒鉛粉を、金属粒子としてはほぼ球状の水アトマイズ・ステンレス鋼粉 (SUS 304, 以下 SUS 粒子と記す) を用いた。中間層の厚さは最大 600 μm とし、導電性フィラー (以下単にフィラーと記す) の大きさはその直径を 30~600 μm とした。

供試材の製作にあたっては、フィラーとよく混練された樹脂、あるいは樹脂そのものをスキン鋼板で挟み、熱圧着した。フィラーの配合量は 0~50 vol% の範囲で変えた。

2.2 実験方法

2.2.1 板厚方向の抵抗値測定

24 mmφ に打ち抜いた制振鋼板と軽量鋼板を 20 mm 厚・30 mm 角の Cu ブロックで挟み、それをさらに治具で挟んで加圧しながら、Cu ブロック間の直流抵抗をテスターで測定した。

2.2.2 スポット溶接

用いた溶接機は定置式ダイレクト・スポット溶接機であり、その容量は加圧力 3.5 tf、溶接電流が 62 kA であ

る。同溶接機はチップ間電圧と溶接電流を 1 サイクルごとに計測でき、したがって 1 サイクルごとの抵抗値を計算できるものである。

スポット溶接条件は Table 3 に示す範囲とし、溶接通電性を調べる場合は 30 mm 角の鋼板を使用した。

2.2.3 アーク溶接

1.4/0.1/1.4 mm 厚の制振鋼板 (フィラーあり, なし) を用いてガスマタルアーク溶接を実施した。シールドガスは混合器を用いて CO₂ 100%~Ar 100% の範囲とした (流量 25 l/min)。ワイヤーは KC-45 (0.9 mmφ) と KC-50 (1.2 mmφ)、電圧は 17~18 V、電流は 70 A、溶接速度は 18~25 cm/min とした。継手形状は突合せ、重ね隅肉、T 形隅肉および、ヘリ溶接とした。

2.2.4 レーザー溶断およびレーザー溶接

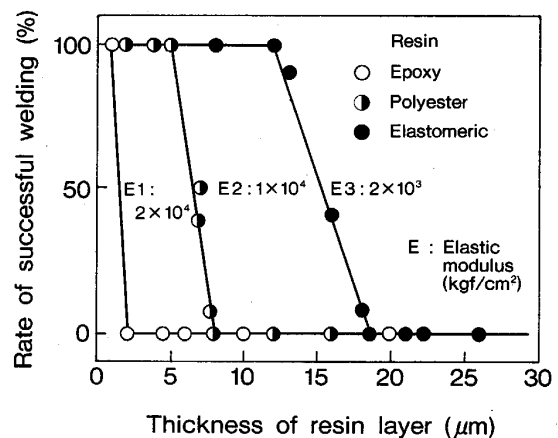
0.50/0.05/0.50 mm 厚の制振鋼板 (フィラーなし)、0.2/0.6/0.2 mm 厚の軽量鋼板 (同)、および 1.0 mm 厚の冷延鋼板を用いて、レーザー溶断とレーザー溶接を実施した。CO₂ レーザー溶接機は研究室規模 (容量 2 kW) のものを用い、出力はすべて 1.0 kW と一定にし、入力走行速度で調節した。アシストガスは溶断の場合には O₂ (3 kgf/cm²) を、溶接の場合には Ar (2 kgf/cm²) を用いた。なお、レンズは KCl のものを用いた。

3. 実験結果

3.1 スポット溶接性

3.1.1 中間層樹脂の影響

制振鋼板の中間層の厚さ T は通常 50~100 μm であるが、導電性フィラーを配合しない場合、通電性がないことはよく知られている。フィラーを配合せずに中間層



Electrode : R-type, 8 mm Electrode force : 170 kgf Welding current : 8 kA Welding time : 8 cycles

Fig. 1. Effect of resin thickness on rate of successful spot-welding in 0.4/ T /0.4 mm thick damping steels of which resins do not contain filler.

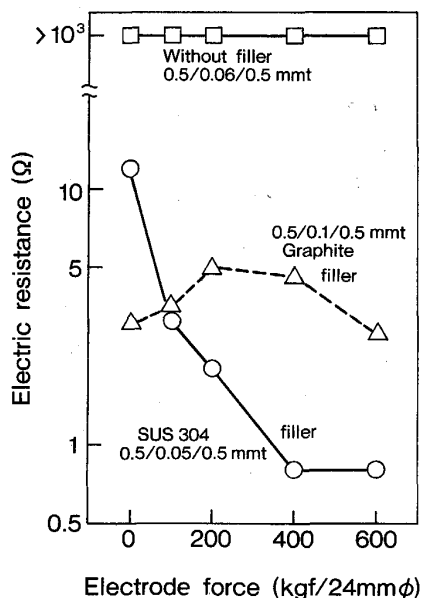
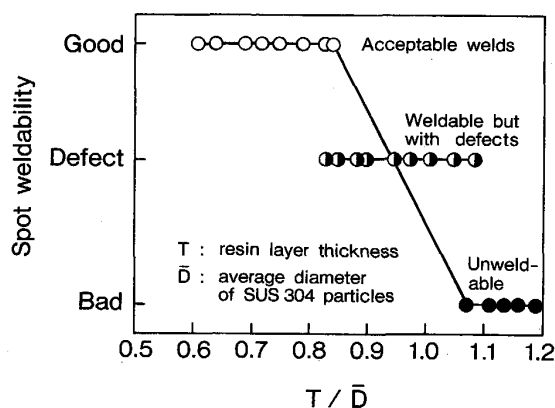


Fig. 2. Effect of electrode force on electric resistance in three types of damping steels.



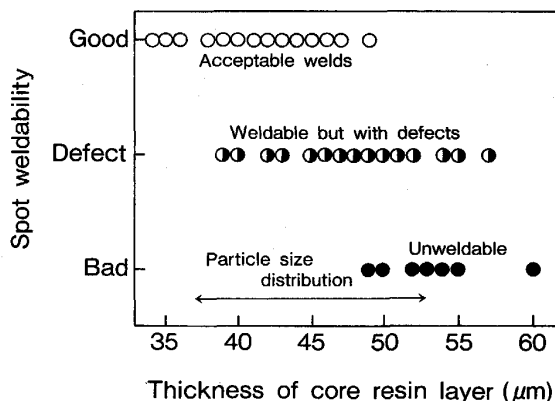
Electrode : R-type, 8 mm Electrode force : 170 kgf Welding current : 8 kA Welding time : 8 cycles

Fig. 3. Effect of T/\bar{D} on spot weldability in 0.4/T/0.4 mm thick damping steel.

の厚さをどんどん薄くすると、Fig. 1 に示すように、ある臨界の厚さ以下で通電性があり、スポット溶接が可能になった。臨界厚さは樹脂のヤング率 E が大きいものほど小さいことがわかる。

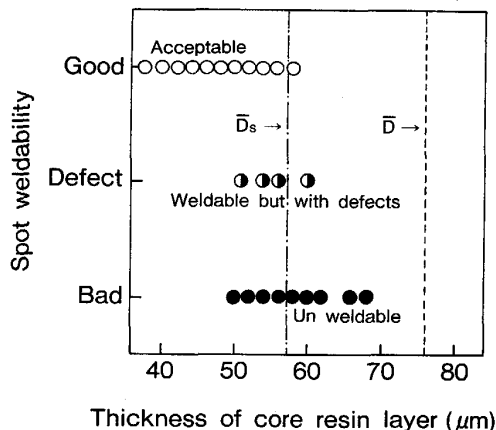
3.1.2 フィラーの種類の影響

Fig. 2 に直流電気抵抗値 R に及ぼす加圧力の影響を示す。黒鉛粒子配合のものは加圧力が高くなっても抵抗値が低下しないのに対して、SUS 粒子配合のものは加圧力が高くなるにつれて R が低下した。また、フィラーを配合していないものの抵抗値は、加圧力を高くしても R は低下しなかった。黒鉛粒子と SUS 粒子の抵抗値変化の相違は、おそらくフィラーの強度の相違に基づく



Electrode : R-type, 8 mm Electrode force : 170 kgf Welding current : 8 kA Welding time : 8 cycles

Fig. 4. Effect of resin thickness on spot weldability in 0.45/T/0.45 mm thick damping steel where range of SUS 304 particle size is wide and the content is 15 vol%.



Filler : SUS 304 particle, 10 vol%, average diameter of filler $D = 76.5 \mu\text{m}$, average diameter of short axes $D_s = 56.9 \mu\text{m}$ Electrode : R-type, 8 mm Electrode force : 170 kgf Welding current : 7 kA Welding time : 10 cycles

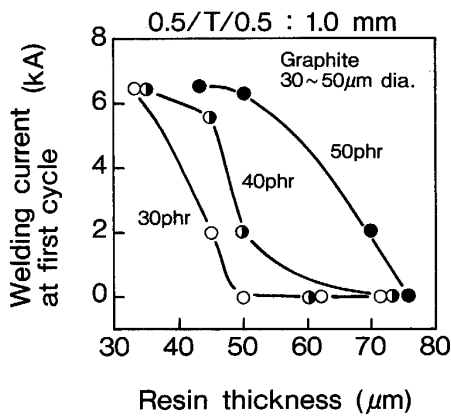
Fig. 5. Effect of resin thickness on spot weldability in 0.45/T/0.45 mm thick damping steel.

考えられる。すなわち、黒鉛粒子は加圧力に応じて破碎されていくのに対して、SUS 粒子は破碎されず、SUS 粒子あるいはスキン鋼板が塑性変形しながら、両者の間の接触面積が増加すると推測される。

3.1.3 フィラー粒径と中間層厚の影響

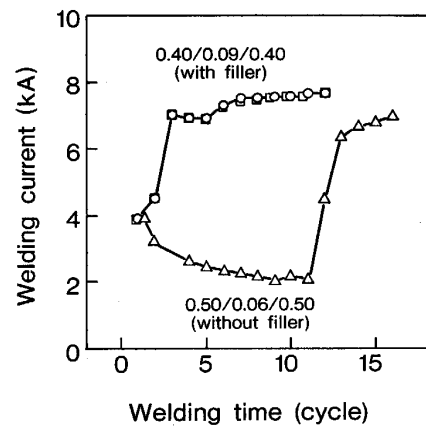
スポット溶接性はフィラー粒径と中間層厚の相互の関係で決定されることが知られている¹⁾。Fig. 3 に SUS 粒子の平均粒径 \bar{D} と中間層厚 T との比、つまり T/\bar{D} が溶接性に及ぼす影響を示す。 $T/\bar{D} < 0.8$ では溶接が可能であり、 $T/\bar{D} \geq 0.8$ では溶接が不確実ないし不可能になる。

Fig. 4 は SUS 粒子の粒度分布を Fig. 3 のものより大



Electrode : R-type, 8 mm Electrode force : 200 kgf
Welding current : 6.5 kA Welding time : 10 cycles
Phr means per hundred resin

Fig. 6. Effect of resin thickness T and graphite phr on welding current at first cycle.



Electrode : CF, 5 mm, dia. Electrode force : 190 kgf Welding current : 7~8 kA Welding time : 12, 16 cycles

Fig. 7. Comparison of change in current of by-pass welding between with-filler sheet and without-filler sheet.

大きくした場合の溶接挙動を示すが、粒径 D の範囲が広いと、溶接不安定範囲が大きいことがわかる。Fig. 5 は上記のものよりやや偏平な SUS 粒子を用いて溶接挙動を調べた結果を示すものであるが、溶接が可能になる臨界のサイズは、 \bar{D} よりも短軸の平均値である平均短径 \bar{D}_s によってきまることがわかる。

3.1.4 フィラー添加量の影響

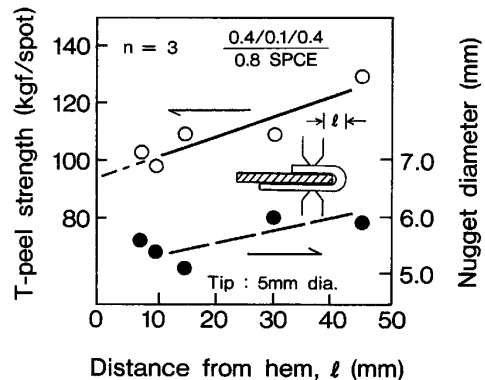
Fig. 6 に黒鉛粒子の配合量を変えた場合 (\bar{D} は一定) の、第1サイクル目の溶接電流 I_1 に及ぼす中間層厚 T の影響を示す。 I_1 は T が小さくなると上昇し飽和するが、黒鉛粒子の配合量を増すと T が大きい場合でも I_1 が高くなり、溶接性が改善されることがわかる。

3.1.5 バイパス溶接への影響

Fig. 7 にフィラーの有無によるバイパス溶接³⁾ 挙動の相違を示す。フィラーなしの場合は当然のことながら通常の溶接は不可能であるが、バイパスがあると10サイクル以上の無効電流が流れたあと、通常の溶接が可能になる。フィラーのあるものでは、通常の方法では通電性のないものでも、バイパスがあると短時間で溶接電流が急増し、溶接性が改善される。

3.1.6 ヘム部における溶接性

制振鋼板をヘミングし、冷延鋼板を挟んでスポット溶接する場合があることが想定されるが、この場合にも、中間層にフィラーを入れたものは正常な溶接が可能である。このヘム溶接継手をT字剥離試験をすると、Fig. 8 に示すような結果がえられた。すなわち、スポット溶接位置のヘム部からの距離が大きいくほどT字剥離強度、ナゲット径がやや増加した。これは距離が増すにつれて無効電流が減少するためと考えられる。なお、ヘム部の溶



Electrode force : 200 kgf Welding time : 12 cycles/50 Hz
Welding current : 8 kA

Fig. 8. Effect of distance from hem on T-peel strength and nugget diameter.

接はシリーズ溶接の一種である。

3.2 アーク溶接性

3.2.1 予備拘束の必要性

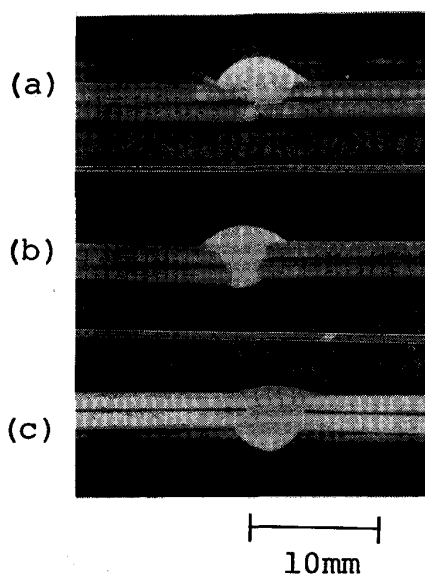
アーク溶接を実施すると、熱影響と熱歪みによって制振鋼板を構成するスキン鋼板が剥離することがわかったので、供試材にあらかじめスポット溶接を施すことにした。スポット溶接条件は電極チップ先端径 4 mm、加圧力 200 kgf、溶接電流 6~7 kA、溶接時間 8 サイクル/50 Hz とした。以下の実験ではすべて、このようなスポット溶接による予備拘束材を用いた。

3.2.2 シールドガスの影響

シールドガス組成を変えた場合の突合せ溶接結果を Table 4 に示す。CO₂ 50%-Ar 50%~CO₂ 10%-Ar 90% の範囲で良好な作業性を示し、とくに CO₂ 10%-Ar 90%~CO₂ 20%-Ar 80% の範囲で最も良好な結果が得ら

Table 4. Effect of shielding gas on arc-weldability.

| CO ₂ (%) | Ar(%) | Result (Flat-position butt weld) |
|---------------------|----------|--|
| 100 | 0 | Molten pool was not stable. Stable weld beads were not obtained. Sputtering generated. |
| 50 | 50 | Relatively stable weld beads were obtained. |
| 20 10 | 80 90 | Stable welding was obtained. |
| 0 | 100 | |



Root gap : (a) 0 mm, (b) 1.0 mm, (c) 2.3 mm

Photo. 1. Macrostructure of arc-welded butt joints.

れた。

3.2.3 ルートギャップの影響

ルートギャップが0~2.3 mmであるテーパーギャップを用いて突合せ溶接を実施した結果を Photo. 1 に示す。ルートギャップ1 mm以上、2 mm以下で良好な溶込みと裏波ビードが得られた。ルートギャップ0.5 mm以下では樹脂層の燃焼と気化によるガスの吹上げ現象が激しかった。

3.2.4 溶接継手の性質

Table 5 に突合せ継手の機械的性質を示す。引張強さは素材と同等であり、半径5 mmのU字曲げ試験も良好であった。

Table 6 に重ね隅肉継手の機械的性質を示す。引張強さは片側溶接の場合は素材の約半分であったが、両側溶接の場合は素材に近い強度がえられた。片側溶接の場合はスキン鋼板の片方にしか溶込みがなかったため、低い値になったと考えられる。したがってU字曲げ試験結果でもスキン鋼板の剥離が生じ、不良であった。

3.2.5 T字隅肉溶接とヘリ溶接

Table 5. Mechanical properties of butt welded joints.

| Tensile test | | Bending test | |
|--------------------------|---------------------|--------------|------|
| TS(kgf/mm ²) | Location of rupture | Face | Root |
| 39.2 40.7 | Base metal | Good | Good |

Table 6. Mechanical properties of lap welded joints.

| | Tensile test | | Bending test | |
|--------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | TS(kgf/mm ²) | Location of rupture | Face | Root |
| Single side welded | 21.2 | Base metal | No good (Separation) | No good (Separation) |
| Both side welded | 38.9 37.3 | Base metal | Good | No good (Separation) |

Table 7. Result of laser cutting in three types of sheet steels.

| Symbol (Steel) | Welding speed (Heat input) | | |
|-----------------|----------------------------|-------------------|-------------------|
| | 6 m/min (100J/cm) | 3 m/min (200J/cm) | 1 m/min (600J/cm) |
| A (Damping) | × | × | ○ |
| B (Lightweight) | × | ○ | × |
| C (Cold-rolled) | × | ◎ | ○ |

◎: Good ○: Fair ×: No good

突合せ溶接とはほぼ同じ条件でT字隅肉溶接とヘリ溶接を実施した。T字隅肉溶接はガスの吹上げが若干みられたが、突合せ溶接の場合よりも容易であった。ヘリ溶接は冷延鋼板と大差なく溶接することが可能であった。

3.3 レーザー溶断とレーザー溶接

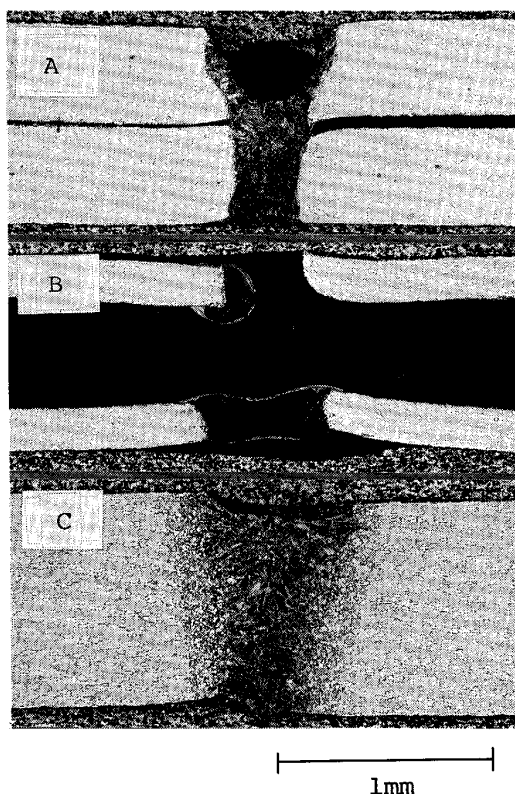
3.3.1 レーザー溶断

Table 7 に制振鋼板、軽量鋼板、および冷延鋼板のレーザー溶断結果を示す。冷延鋼板では3 m/minの速度(入熱200 J/cm)のとき最も溶断状況が良く、これを基準の速度とした。制振鋼板は200 J/cmの入力では溶断が十分でなく、600 J/cmの入力でまずまずの溶断状態がえられた。軽量鋼板は200 J/cmの入力でまずまずの溶断状態が得られたが、600 J/cmの入力では樹脂が炎を上げて燃えとともに、スキン鋼板が広範囲に溶けてなくなった。

3.3.2 突合せ溶接

Table 8 および Photo. 2 に突合せ溶接の結果を示す。冷延鋼板同士の突合せ溶接は良好な結果が得られたが、同じ溶接条件で制振鋼板同士の場合はやや悪く、軽量鋼板の場合は実際上溶接できなかった。軽量鋼板のスキン鋼板が溶けた部分は鋳鉄になっていると考えられる。

3.3.3 重ねせ溶接



1 kW, 3 m/min, 200 J/cm A : Damping steel
B : Lightweight steel C : Cold rolled steel

Photo. 2. Micrograph of Laser-welded butt joints in three type of sheet steels.

Table 8. Result of laser butt-welding in three types of sheet steels.

| Symbol (Steel) | A | B | C |
|-----------------|---|---|---|
| A (Damping) | △ | — | — |
| B (Lightweight) | — | × | — |
| C (Cold-rolled) | — | — | ○ |

○ : Good △ : Fair × : No good
Welding speed : 3 m/min Heat input : 200J/cm

Table 9. Result of laser lap-welding in three types of sheet steels.

| Symbol (Steel) | Lower side | | |
|-----------------|------------|---|---|
| | A | B | C |
| Upper side | ○ | — | ○ |
| A (Damping) | — | × | × |
| B (Lightweight) | △ | △ | ○ |
| C (Cold-rolled) | — | — | — |

○ : Good △ : Fair × : No good
Welding speed : 1 m/min Heat input : 600J/cm

Table 9 に重合せ溶接の結果を示す。冷延鋼板同士と制振鋼板同士の場合は良好な溶接結果が得られたが、軽量鋼板同士ではスキン鋼板が溶け落ちた状態となった。冷延鋼板と複合鋼板を組み合わせた重合せ溶接では、冷

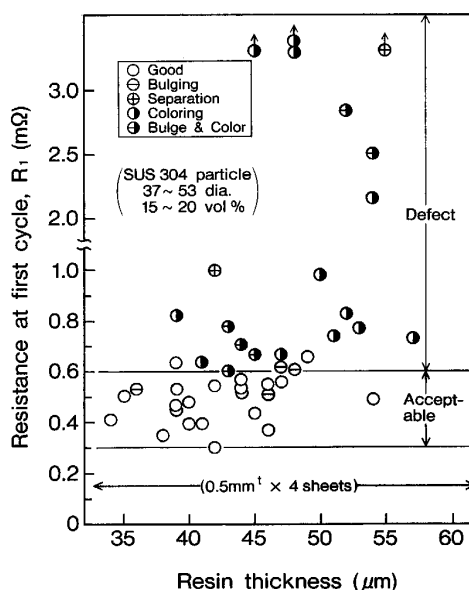


Fig. 9. Region of electric resistance at first cycle (R_1) where acceptable welds are obtained.

延鋼板を上にした場合と下にした場合とで若干の差異が認められたが、冷延鋼板と制振鋼板の組合せで比較的良好な結果が得られ、冷延鋼板と軽量鋼板の組合せはあまり良好な結果は得られなかった。

4. 考 察

4.1 スポット溶接性

前述した各種のスポット溶接実験の結果を、中間層厚と第1サイクル目の抵抗値 R_1 の関係でプロットすると、Fig. 9 のようになる。中間層厚やフィラー粒径が異なっても、 R_1 が $0.3 \sim 0.6 \text{ m}\Omega$ の範囲内であれば、良好な溶接がえられることがわかる。 R_1 が $0.6 \text{ m}\Omega$ を超えると溶接は可能であっても、ふくれ、焼け、あるいはガス抜け（中間層の気化により接着が破壊され、ガスが外部に抜け出る現象）が発生する。なお、 0.5 mm 厚のスキン鋼板4枚重ねの場合の R_1 は $0.16 \text{ m}\Omega$ であり、フィラーを介しての通电では、この値より高くなることは避けられない。

抵抗 R は距離 l 、面積 S 、および比抵抗 ρ によって

$$R = \rho l / S \dots\dots\dots (1)$$

と表せるので、制振鋼板同士の R_1 が $0.3 \sim 0.6 \text{ m}\Omega$ であり、スキン鋼板4枚重ねの R_1 が $0.16 \text{ m}\Omega$ であるということは、第1サイクル目にすでにかなり大きい通電面積がえられていることが推測される。

仮に接触抵抗を均等に分担させ、各スキン鋼板の第1サイクル目の抵抗を R_{S1} 、中間層だけの第1サイクル目の抵抗を R_{F1} とすると、制振鋼板同士およびスキン

鋼板 4 枚重ねの R_1 は、次のように表せる。

$$R_1 = 4R_{S1} + 2R_{F1} \text{ (制振鋼板同士)} \dots\dots\dots(2)$$

$$R_1 = 4R_{S1} \text{ (スキン鋼板 4 枚重ね)} \dots\dots\dots(3)$$

前述したように 0.5 mm 厚のスキン鋼板 4 枚重ねの R_1 は 0.16 mΩ であり、制振鋼板同士の R_1 を 0.5 mΩ とすると、

$$R_{S1} = 0.04 \text{ m}\Omega \text{ (スキン鋼板)} \dots\dots\dots(4)$$

$$R_{F1} = 0.17 \text{ m}\Omega \text{ (フィラー)} \dots\dots\dots(5)$$

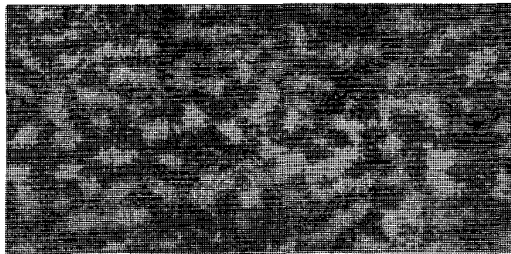
となり、(1)式においてスキン鋼板とフィラーの ρ を同じと仮定すれば、中間層厚が 0.05 mm の場合、見かけ上の S は、

$$S = \rho l / R_{S1} = 12.5 \rho \text{ (スキン鋼板)} \dots\dots\dots(6)$$

$$S = \rho l / R_{F1} = 0.29 \rho \text{ (フィラー)} \dots\dots\dots(7)$$

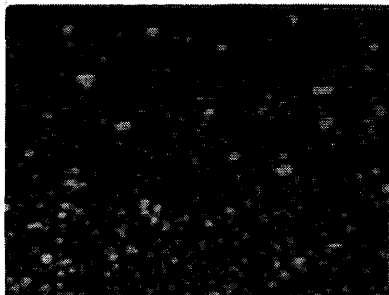
となる。(6)式と(7)式を比較すると、制振鋼板同士の第 1 サイクル目における接触面積はスキン鋼板 4 枚重ねのその 2.3% になることがわかる。さらに、スキン鋼板同士の場合の S を仮に直径 5 mm の円の面積 20 mm² とするとフィラーの接触面積は 0.46 mm² となる。

通電性の良好な制振鋼板をえるには、Fig. 3~6 に示したように、 T/D_s の値を適当な値にすること、フィラーの粒度分布を小さくすること、配合量を適当な値にする



C-scan testing method : Double sound transmission
Transducer : 10 MHz, 0.5 "dia., 3" foc.
Area : 32×65 mm²

Fig. 10. Secondary agglomeration of fillers.



Frequency : 50 MHz Area : 7.6×10.0 mm²

Photo. 3. Acoustic scanning micrograph of damping steel whose resin layer contains graphite particles.

ことが重要であることがわかるが、その外に Fig. 10 および Photo. 3 に示すように、フィラーの分散をよくすることも必要である。Fig. 11 は C スキャンによってフィラーの分散状態の悪い例を示したものであるが、フィラーが凝集していることがわかる。また、Photo. 3 は走査型超音波顕微鏡によって黒鉛の分散状態を検出した例を示しており、良好な分散状態がえられていることがわかる。

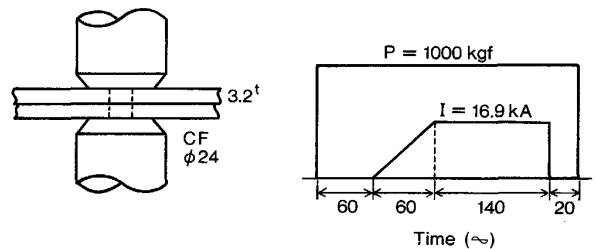
スキン鋼板厚や加圧力がスポット溶接結果に影響を及ぼすことを示した。また、制振鋼板の連続打点性が良好であることはすでに報告した⁴⁾が、スキン鋼板として Zn めっきなどの表面処理鋼板を使用する場合には、連続打点性は大幅に低下することが予想される。これは、もし両面 Zn めっき鋼板をスキン鋼板を使用する場合、Zn 目付量が 2 倍に増加したのと同じことになるからである。

制振鋼板を他の部材とボルト結合する場合も考えられるが、このとき問題となるのが、中間層のクリープによるトルクダウン⁵⁾である。そのような場合、いったん予備溶接を行い、樹脂を排出させると有効である。Fig. 11 はそのような 1 例を示しており、ボルト穴を開けた後、溶接をする方法である。

4.2 アーク溶接

制振鋼板のアーク溶接においては、前述したように、スキン鋼板の剝離やブローホールの発生、あるいはアークの安定性などの問題がある。その他に中間層樹脂の炭化による鋼板の浸炭がある。Photo. 4 はその状況を示すもので、熱影響部に 100~200 μm の浸炭層が発生する。この浸炭層の硬度はピッカース硬さで 400 HV 程度にも達することがあり、注意を要する。したがって、中間層樹脂厚はなるべく薄くすることが必要である。

なお、制振鋼板のアーク溶接における諸問題点とそれらの対策については他にも報告がある⁶⁾が、本報告の内容と基本的に一致している。



(a) Configuration (b) Welding sequence

Fig. 11. Method for squeezing-out of resin by using spot welder.

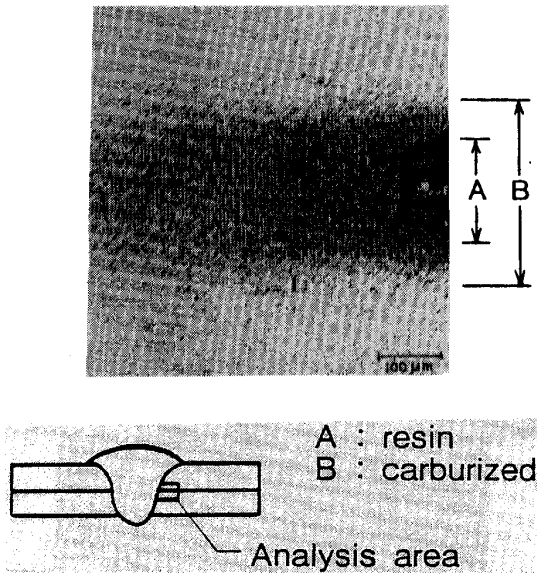


Photo. 4. Carburized area detected by X-ray mapping method in arc-welded damping steel joint.

4.3 レーザー溶断とレーザー溶接

レーザー溶断は制振鋼板でも軽量鋼板でも可能であることを示した。このように溶断が可能なのは、溶接と異なり、中間層が容易に開放排出されるためである。

一方、レーザー溶接は制振鋼板の場合は突合せ継手でも重合せ継手でも良好な結果が得られたが、軽量鋼板の場合はいずれも良好な結果は得られなかった。軽量鋼板では中間層が厚いためガスの吹出しが多く、また浸炭により鑄鉄となってスキン鋼板が溶け落ちてしまうためである。

5. 結 言

制振鋼板と軽量鋼板のスポット溶接性、アーク溶接性、レーザー溶接性に及ぼす中間層の影響を調べ、以下のことが判明した。

- (1) 良好なスポット溶接結果がえられるのは、第1サイクル目の抵抗値 R_1 が $0.6 \text{ m}\Omega$ 以下の場合である。
- (2) スポット溶接性の良好な制振鋼板を得るには、導電性粒子の平均短径 \bar{D}_s と中間層の厚さ T との比を適正な値にし、配合量をある限界以上にすることが必要である。
- (3) スポット溶接性の良好な制振鋼板では、第1サイクル目の導電性粒子とスキン鋼板の接触面積は数%であると推察される。
- (4) 中間層の厚さが同じ場合、弾性率の低い樹脂の方がスポット溶接性が良好である。
- (5) 制振鋼板のアーク溶接においては、スキン鋼板の剝離、ブローホールの発生、浸炭による異常な硬化などの不具合が発生しやすいが、予備拘束の実施、シールドガスの適切な選択、ルートギャップの適正化などにより、突合せ溶接、隅肉溶接、およびヘリ溶接が可能である。
- (6) レーザー溶断は制振鋼板と軽量鋼板の両方で可能である。
- (7) レーザー溶接は制振鋼板では可能であるが、軽量鋼板では難しい。
- (8) スポット溶接では抵抗値の低下やインデンテーションの軽減のため、アーク溶接やレーザー溶接では浸炭層の発生防止のため、中間層樹脂のは薄いほうが好ましい。

文 献

- 1) M. SHINOZAKI, Y. MATSUMOTO, M. NISHIDA, T. IRIE, Y. FURUKAWA and J. TAKASAKI: Kawasaki Steel Technical Report (1985) 12, p. 55
- 2) 篠崎正利, 松本義裕, 角山浩三: 塑性と加工, 26 (1985), 291, p. 409
- 3) 西本昭彦, 渡邊裕吉, 藤井康司, 樺沢真事, 松田恭典: 日本鋼管技報 (1988) 121, p. 9
- 4) M. SHINOZAKI, Y. MATSUMOTO and K. TSUNOYAMA: The International Symposium of the JIW No. 3, Osaka (1986年7月), p. 98
- 5) J. A. DICELLO: SAE Paper No. 800078
- 6) 渡邊 之, 樺沢真事, 作井 新: 日本鋼管技報 (1986) 112, p. 58