
溶接可能な常温用制振鋼板の開発

Development of Spot Weldable Vibration Damping Steel Sheet for Room Temperature Use

向原 文典(Fuminori Mukaiharu) 村瀬 正次(Masatsugu Murase) 伊沢 正純(Masazumi Izawa) 栗栖 孝雄(Takao Kurisu) 内田 康信(Yasunobu Uchida) 篠崎 正利(Masatoshi Shinozaki)

要旨：

熱硬化型ポリエステル樹脂を3官能のイソシアネート系硬化剤で三次元架橋させた新タイプの常温用制振樹脂を開発した。本樹脂を用い、Ni粉フィラーにより溶接欠陥のない連続スポット溶接可能な制振鋼板を開発した。めっき鋼板を用い、樹脂厚、Ni粉平均粒径／樹脂厚比などを制御して、適用範囲の広い制振鋼板設計を可能にした。本開発常温用制振鋼板は、溶接性、加工性、耐熱性、耐環境性のバランスのとれた優れた品質性能を示し、自動車、家電、事務機などの部品への適用が可能になった。

Synopsis：

A thermosetting type polyester resin with three dimensional molecular structure crosslinked by an isocyanate hardening agent with three functional groups has been newly developed for a viscoelastic resin of vibration damping steel sheets for room temperature use. A vibration damping steel sheet, made by laminating two steel sheets with this new viscoelastic resin and Ni powder, has superior series-spot weldability with no defect such as sparking and ringed-cut-off. Various damping steel sheets composed of cold-rolled steel sheet and galvanized steel sheet are of wide application under optimum condition of the amount and hardness of Ni powder and the ratio of Ni powder average diameter to resin thickness. Newly developed vibration damping steel sheets have the same spot weldability, formability, baking durability and anti-corrosion as a steel sheet for commercial use in various industries, such as automobile, household electric appliances, and building materials, on account of their superior damping capability and a great demand for quietness.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Development of Spot Weldable Vibration Damping Steel Sheet for Room Temperature Use



向原 文典
Fuminori Mukaiihara
鉄鋼研究所 表面処理
研究部被覆複合材料研
究室 主任研究員(課長
補)



村瀬 正次
Masatsugu Murase
鉄鋼研究所 表面処理
研究部被覆複合材料研
究室



伊沢 正純
Masazumi Izawa
鉄鋼研究所 表面処理
研究部被覆複合材料研
究室 主任研究員(課
長)



栗栖 孝雄
Takao Kurisu
鉄鋼研究所 表面処理
研究部被覆複合材料研
究室長(部長補)・理博



内田 康信
Yasunobu Uchida
ハイテク研究所 化学
研究センター



篠崎 正利
Masatoshi Shinozaki
千葉製鉄所 管理部薄
板管理室 主査(課長)

要旨

熱硬化型ポリエステル樹脂を3官能のイソシアネート系硬化剤で三次元架橋させた新タイプの常温用制振樹脂を開発した。本樹脂を用い、Ni粉フィラーにより溶接欠陥のない連続スポット溶接可能な制振鋼板を開発した。めっき鋼板を用い、樹脂厚、Ni粉平均粒径/樹脂厚比などを制御して、適用範囲の広い制振鋼板設計を可能にした。本開発常温用制振鋼板は、溶接性、加工性、耐熱性、耐環境性のバランスのとれた優れた品質性能を示し、自動車、家電、事務機などの部品への適用が可能になった。

Synopsis:

A thermosetting type polyester resin with three dimensional molecular structure crosslinked by an isocyanate hardening agent with three functional groups has been newly developed for a viscoelastic resin of vibration damping steel sheets for room temperature use. A vibration damping steel sheet, made by laminating two steel sheets with this new viscoelastic resin and Ni powder, has superior series-spot weldability with no defect such as sparking and ringed-cut-off. Various damping steel sheets composed of cold-rolled steel sheet and galvanized steel sheet are of wide application under optimum condition of the amount and hardness of Ni powder and the ratio of Ni powder average diameter to resin thickness. Newly developed vibration damping steel sheets have the same spot weldability, formability, baking durability and anti-corrosion as a steel sheet for commercial use in various industries, such as automobile, household electric appliances, and building materials, on account of their superior damping capability and a great demand for quietness.

1 緒 言

近年、人口、情報・経済などの都市集中化や交通網の発達などに伴い、騒音・振動問題¹⁾がクローズアップされ、特に自動車を中心に騒音規制法規の整備とともに、騒音防止材料の開発・使用が盛んになった。そのなかでも、二枚の鋼板間に粘弾性樹脂を挟んだ複合型制振鋼板(以下制振鋼板)は、著しい振動減衰能(以下制振性)を示し、自動車、家電、建材、事務機、音響などの各部品へ盛んに適用されるようになった。当社は、1990年1月、月産1000tの制振鋼板コイルライン設備を稼働²⁻⁴⁾させ、生産・供給体制を整えた。本報では、自動車、家電、建材向けの主要製品である常温用制振鋼板について製品設計および品質特性について報告する。

2 常温用制振鋼板の開発経過

2.1 要求性能

制振鋼板を使用した各種部品は、適用温度によって制振性は異なり、常温域(15~60℃)での使用が最も多い。常温用制振鋼板が各部品に製造され使用されるまでには、Fig. 1に示す諸特性を満たす必要がある。制振鋼板を自動車、家電部品に使用する際には、制振性をはじめ使用環境下でのパフォーマンスを充足することが、まず重要である。同時に各種部品製作過程すなわち加工成形、溶接、組立および塗装の各工程で諸特性が必要となり、少なくとも現用の薄鋼板並みの特性が要求される。制振鋼板は、中間樹脂層を含むため、冷延鋼板に比べてプレス成形性、曲げ加工性および打ち抜き性に劣る。またスポット溶接では、樹脂層が絶縁物ゆえに、通電が不利で

* 平成3年4月17日原稿受付

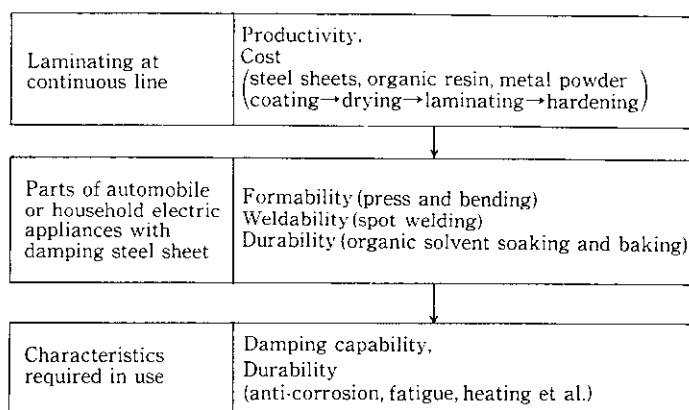


Fig. 1 Characteristics required for vibration damping steel sheets

ある。従来からバイパス回路による分流溶接法は、作業性は悪いので直接通電による溶接方法を考える必要がある。また塗装工程では、制振樹脂は、塗料溶剤による溶出に対する耐溶剤性向上や塗料焼きつけ時の軟化・溶融による鋼板の剝離に対し耐熱、耐久性の向上を要す。

2.2 基本樹脂設計

2.2.1 常温用樹脂

常温用制振鋼板用樹脂は、15～60℃の使用温度域で損失係数が大きく制振性に優れていることが必要不可欠である。この条件を満たす樹脂は、上記使用温度域でゴム状態にあり、可聴域(20 Hz～20 kHz)で $\tan \delta$ (δ は応力 σ と歪み ϵ の位相差) が最大のものを選定する必要がある。

通常、制振樹脂は、Fig. 2 に示すように制振性の大きい樹脂ほど接着性が小さく、反対に接着性が大きいほど制振性が小さい傾向がある。また加工成形性は、接着力の増大により改善される⁵⁻⁸⁾。し

たがって制振樹脂の選定に当たっては、上述のような相反する制振性と接着性の両特性を同時に向上させることが必要である。さらに制振樹脂は、加工後の塗装・焼きつけ工程における耐溶剤性、耐熱性を具備していることと実使用環境下での耐久性が重要である。

本研究では、ポリエステル系樹脂と3官能のイソシアネート系硬化剤を組み合わせ、樹脂構造、分子量、架橋密度を調整し、制振性、接着性、耐溶剤性、耐熱性、耐久性を付与した三次元架橋構造の熱硬化型ポリエステル系樹脂 (Fig. 2 の上部) を開発した^{9,10)}。樹脂開発の要点は、第一に、ベースポリマーとして、分子量約30 000の制振性、耐久性に優れたポリエステル系樹脂を選定した。本樹脂は、単独では熱可塑性で、制振温度域(常温近傍)での接着力が小さいが、イソシアネート系硬化剤によって三次元構造を形成させ、同時に極性基を導入して接着性も向上させた。さらに、イソシアネート系硬化剤の添加量を調整して、塗装および焼きつけの時の耐溶剤性、耐熱性を付与した。また、ベースポリマーと硬化剤の化学反応と粘度制御を行って、塗工、乾燥、圧着、硬化工程などの製造ライン特性を向上させた。

2.2.2 樹脂膜厚

本常温用ポリエステル樹脂を用いて、制振性および引張剪断強度に及ぼす樹脂膜厚の影響を調べた。引張剪断強度は、Fig. 3 に示す方法で測定した。制振性は、機械インピーダンス法により共振点において、共振周波数 (f_0) と3 dB 下がった2点 (f_1, f_2) から (1) 式により求めた。

$$Q^{-1} = (f_2 - f_1) / f_0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

20～100 μm では、制振性および引張剪断強度とも、Fig. 4 に示すように低下は、みられなかった。しかし20 μm 以下では、樹脂膜厚の不均一によりバラツキが大きかった。

2.3 スポット溶接性向上対策

制振鋼板のスポット溶接に際しては、中間層として絶縁性樹脂を挟んでいるため溶接時の通電は困難である。そこで樹脂層に導電物質を添加した直接通電タイプの開発を進めてきた。当社は、導電性の比較的小粒径の黒鉛粒フィラーの添加によって実用に供していた。この方法は、多量の黒鉛添加量を必要¹¹⁾とし、鋼板と樹脂との接着力の低下や溶接作業性にやや難点があった。一方、大粒径金属粉フィラーは少量の添加量で導電性を付与でき、接着力の低下も少ない。この場合、上下鋼板を金属粉フィラーにより直接接触導通させ、内部短絡回路を形成せしめてスポット溶接性を付与することができる¹²⁻¹⁸⁾。今回の常温用制振鋼板において、従来の黒鉛粒子に替

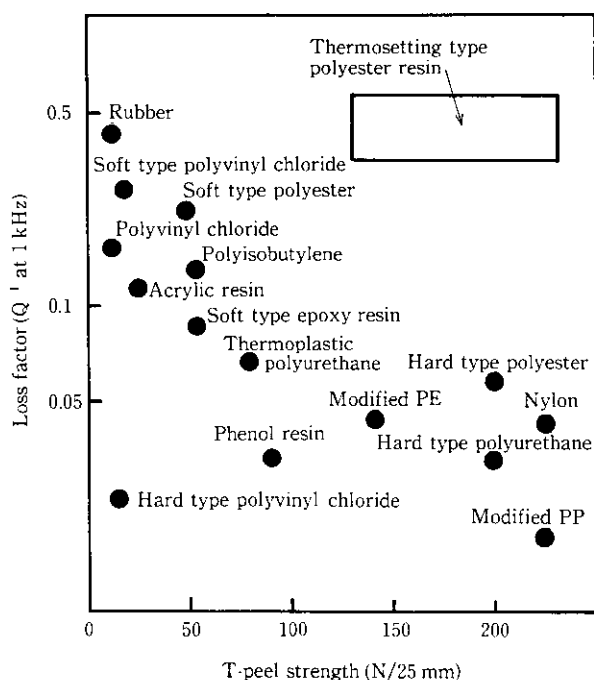


Fig. 2 Relation between T-peel strength and loss factor of vibration damping steel sheet

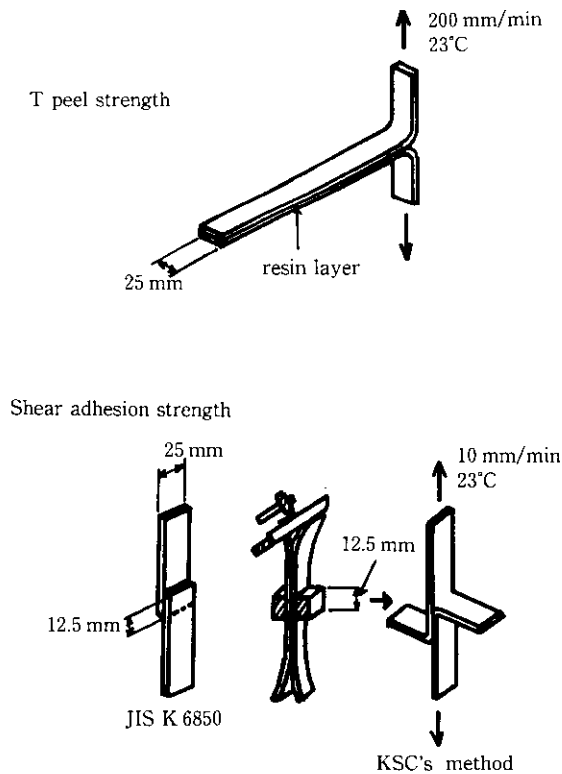


Fig. 3 Adhesion test methods of vibration damping steel sheet

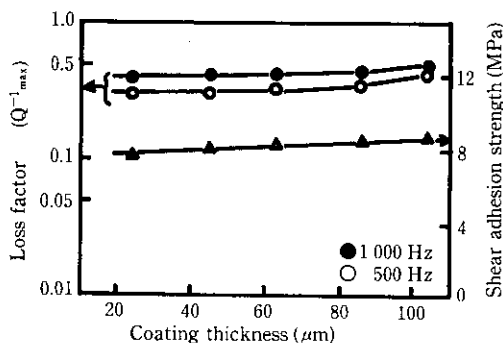


Fig. 4 Effect of coating thickness on loss factor and shear adhesion strength of vibration damping steel sheet

えて大粒径金属粉末を少量添加して、スポット溶接性を向上させる検討を行った。

2.3.1 スポット溶接性向上設計

大粒径の金属粉末を樹脂に添加し導電性を付与した制振鋼板の溶接過程の基本的な考え方を、Fig. 5 に示す。溶接初期に導電粉を介して微小電流が流れ、樹脂がその発熱により軟化し、電極加圧力で電極チップ下から排除され、続いて通常鋼板と同様に電流が流れ、溶接ナゲットが形成される。そこで溶接初期に導電粉を介して微小電流が流れることが、スポット溶接性確保の最大のポイントといえる。Photo 1 は、金属粉と外皮鋼板との間に残留する樹脂の炭素成分を EPMA で示したものである。スポット溶接性を確保するためには、この金属粉と外皮鋼板間の残留樹脂を最少に抑えることと、金属粉と外皮鋼板との接触面積を大きくすることおよび適度の溶接発熱量に制御することの3点が重要である。

2.3.2 金属粉フィラーの最適化

(1) 導電性金属粉の選定

導電性金属粉として、Table 1 に示すような各種金属粉を検

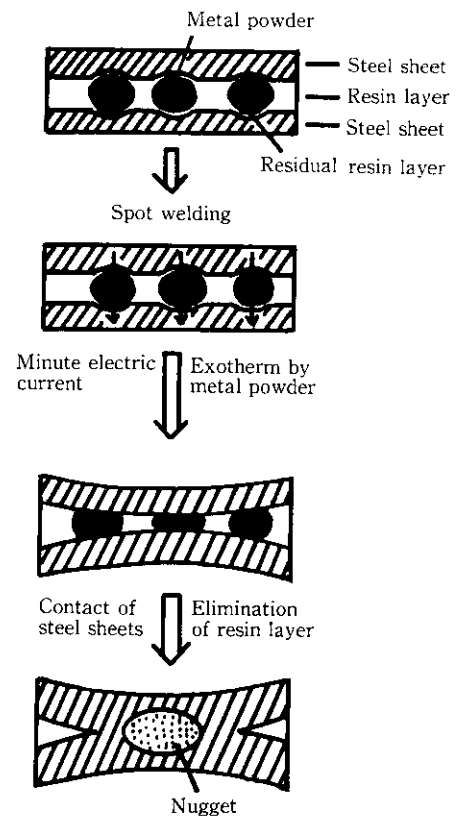


Fig. 5 Schematic of spot welding process of vibration damping steel sheet

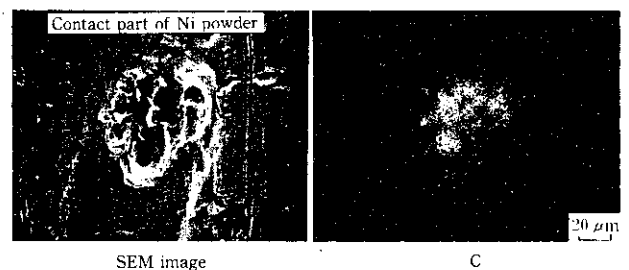


Photo 1 EPMA of contact part of Ni powder and steel sheet surface

Table 1 Comparison of metal powders for spot welding of vibration damping steel sheet

Metal powder	Electric resistance ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	Melting point ($^{\circ}\text{C}$)	Micro Vickers hardness (Hv)	Spot weldability	Anti-corrosion	Cost
Nickel	6.58	1455	80~212	○	○	△
Stainless steel	56.3	1427	203	○	○	×
Iron	9.71	1539	86	△	×	○
Copper	1.55	1083	68	×	×	○
Zinc	5.92	420	47	×	○	○

○: Excellent, △: Good, ×: Poor

討した。外皮鋼板として、芯材樹脂と接触する側に塗布型クロメート処理を施した0.4 mm厚の超深絞り用冷延鋼板 (Table 2) を用いた。その結果、スポット溶接性、耐食性などから Ni

Table 2 Mechanical properties of materials used

Thickness (mm)	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	n-value	r-value
0.40	298	162	49.4	0.21	2.12

粉とステンレス粉が有利であったが、電気抵抗が比較的大きく、硬度のバリエーションがとりやすく、比較的安価な球形 Ni 粉を選定した。Ni 粉の硬度は Hv 212 で、樹脂に対する Ni 粉の配合量は、1.0 vol% が最適であった。

(2) Ni 粉平均粒径/樹脂厚比

硬度が Hv 212 の Ni 粉の配合量を 1.0 vol% で、樹脂膜厚を 20~100 μm とし、Ni 粉平均粒径/樹脂厚比のスポット溶接初期抵抗に及ぼす影響を調査した。制振鋼板/制振鋼板のスポット溶接継手を作製し、溶接条件は、先端形状 8 R 半球の Cu-Cr 合金製電極チップを用い、電極加圧力 1961 N、溶接電流 8 kA、通電時間 8 サイクル、初期加圧時間 50 サイクル、保持時間 30 サイクルの溶接条件で評価を行った。その結果、Fig. 6 に示すように Ni 粉平均粒径/樹脂厚比が 1.8 以上で溶接初期抵抗が低くなり溶接が優れる。

(3) 外皮鋼板の影響

外皮鋼板種のスポット溶接性に及ぼす影響を検討した結果を、Fig. 7 に示す。外皮鋼板の表面硬度が、Ni 粉の硬度より

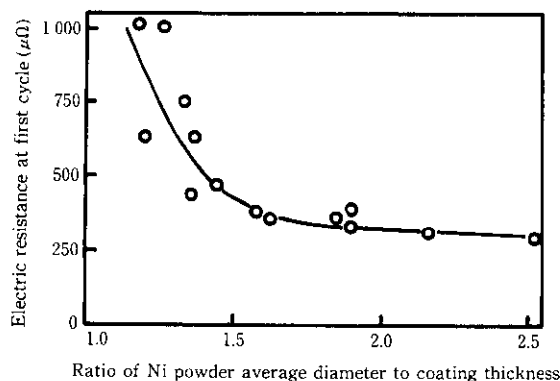


Fig. 6 Effect of ratio of Ni powder average diameter to coating thickness on the electric resistance at first cycle of vibration damping steel sheets

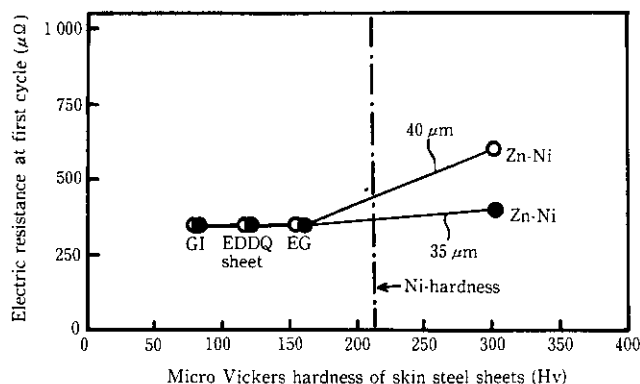


Fig. 7 Relation between micro Vickers hardness of skin steel sheets and spot weldability of damping steel sheets (Ni powder content, 1.0 vol%; average diameter, 65 μm)

も大きくなるにつれ、樹脂厚が 40 μm では溶接初期抵抗値も増加するが、樹脂厚を 35 μm に減少すると、最も硬度の大きい Zn-Ni めっき鋼板の溶接初期抵抗値は、著しく減少する。このことから、Ni 粉の平均粒径が 65 μm の場合は、樹脂厚を 35 μm (平均粒径/樹脂厚比=1.86) にすれば、外皮鋼板の硬度によらず溶接性に優れた表面処理鋼板を用いた制振鋼板の製造が可能である。また外皮鋼板に塗布型クロメート処理を行い、外皮鋼板と制振樹脂との接着力向上および腐食による端面からの樹脂剝離を抑制した。

3 常温用制振鋼板の特性

熱硬化型ポリエステル樹脂を用いて、樹脂厚 35 μm に平均粒径 65 μm の Ni 粉を 1.0 vol% 配合し、0.4 mm 厚の超深絞り用冷延鋼板を外皮鋼板とした制振鋼板の諸特性について以下に述べる。

3.1 制振性

本開発制振鋼板の損失係数は、Fig. 8 に示すように、周波数 500 Hz と 1000 Hz では、20~55°C の温度範囲で、損失係数は 0.1 以上で、40°C で最大値となり、その値は 0.42 である。

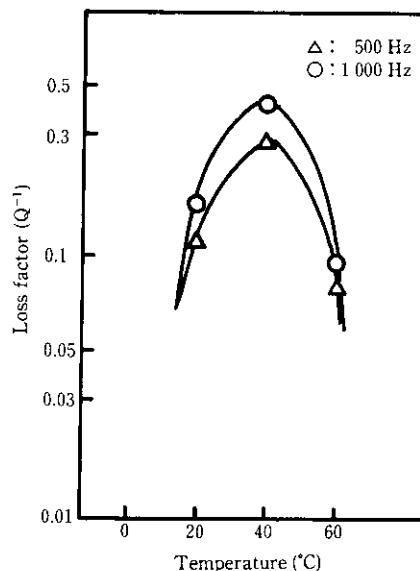


Fig. 8 Loss factor of vibration damping steel sheet (Coating thickness: 35 μm)

3.2 スポット溶接性

3.2.1 溶接条件

2 枚重ね合わせた制振鋼板のスポット溶接性に及ぼす溶接電流値の影響を Fig. 9 に示す。U ベンド引き剥がし方式で求めた $4\sqrt{E}$ を超える外皮鋼板どうしのナゲット径 (d_1) が、6 kA であるのに対して、鋼板内のナゲット径 (d_2) では、7~8 kA で Photo 2 に示すようにナゲットが完成する。また溶接電流値が 13 kA 以上ではスパークが発生する。この溶接電流値と生成ナゲット径の関係は、単 1 冷延鋼板 4 枚の重ね合わせ (Fig. 9, □印) と制振鋼板 2 枚重ね合わせ (Fig. 9, ○, △印) では、ほとんどかわらず、制振鋼板のスポット溶接は、通常鋼板とほぼ同一条件で可能である。

3.2.2 連続打点性

2 枚の制振鋼板の重ね合わせて連続打点スポット溶接した結果

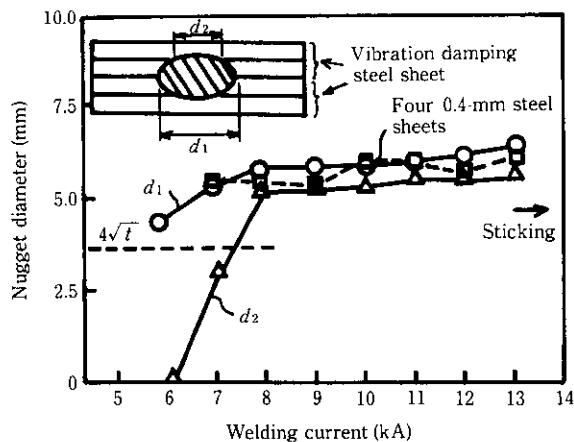


Fig. 9 Effect of welding current on nugget diameter (Coating thickness, $35\ \mu\text{m}$; Ni powder content, 1.0 vol%; average diameter, $65\ \mu\text{m}$)

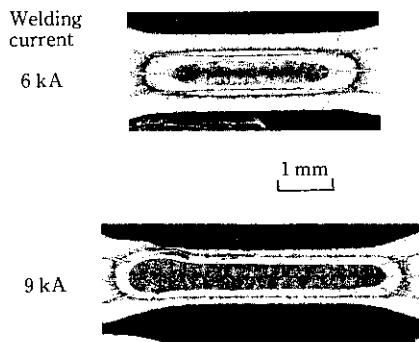


Photo 2 Cross section of weld nugget

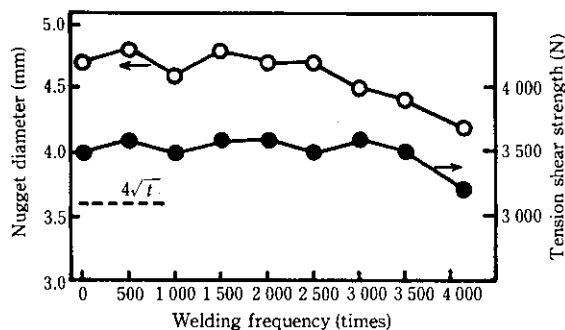


Fig. 10 Relation between welding frequency, nugget diameter and tension shear strength (coating thickness, $35\ \mu\text{m}$; Ni powder content, 1.0 vol%; average diameter, $65\ \mu\text{m}$)

を, Fig. 10 に示す。打点数 4000 でも生成ナゲット径は $4\sqrt{t}$ 以上あり, 引張剪断強度 (JIS Z 3136 準拠) は $2942\ \text{N/spot}$ 以上で, 破壊形態も母材破断であり, 十分に連続スポット溶接に耐える。

3.2.3 溶接欠陥

制振鋼板のスポット溶接欠陥には, 電極チップの外周よりやや離れた位置に小さな穴があくスパーク現象と電極チップの周囲の表皮鋼板が溶解する円周切れがある。

スパークは, 溶接電流の不均一が原因で, 金属粉の分散性および導電性が関係するとされている^{13,15)}。2枚の制振鋼板を重ね合わせてスポット溶接した時のスパーク発生率と溶接初期抵抗との関係を, Fig. 11 に示す。スパーク発生率は, 溶接初期抵抗が $500\ \mu\Omega$ 以下でなくなる。

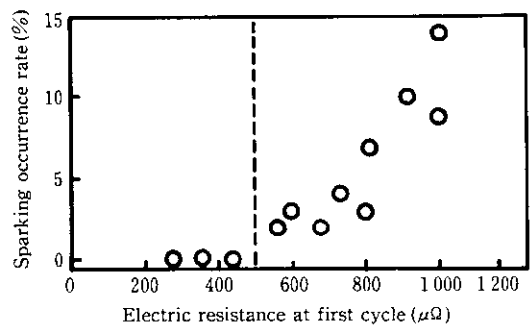


Fig. 11 Effect of electric resistance at first cycle on sparking occurrence rate

3.3 加工性

3.3.1 限界絞り比

ポリエステル樹脂に対する硬化剤配合量をかえて, エリクセン試験を行い, 制振鋼板の引張剪断強度を変えた時の, 限界絞り比に及ぼす影響を Fig. 12 に示す。本制振鋼板は, 引張剪断強度が $5.88\ \text{MPa}$ 以上あり (Fig. 12 中矢印), 通常鋼板と同等の深絞り加工が可能である。

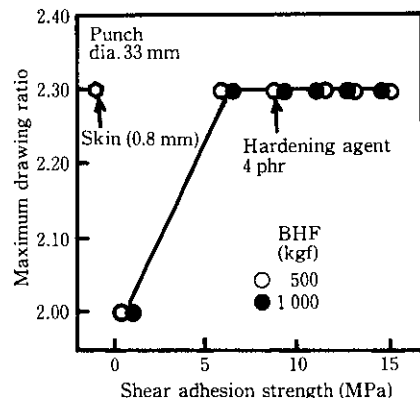


Fig. 12 Effect of shear adhesion strength of vibration damping steel sheets on maximum drawing ratio

3.3.2 曲げ加工

制振鋼板にV曲げ加工を行うと, Fig. 13 に示したフランジ部がダイス部より折れ曲がるいわゆるカモメ現象が観察される。カモメ現象は, 曲げ外側鋼板と内側鋼板が, 芯材樹脂の存在のためにずれることに起因する。カモメ現象は, 外皮鋼板の板厚差・材質差 (Fig. 14), 芯材樹脂厚とダイスパン幅 (Fig. 15) に影響される。した

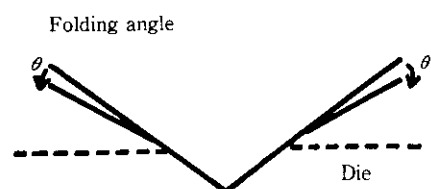


Fig. 13 Folding angle of vibration damping steel sheet in V-bending

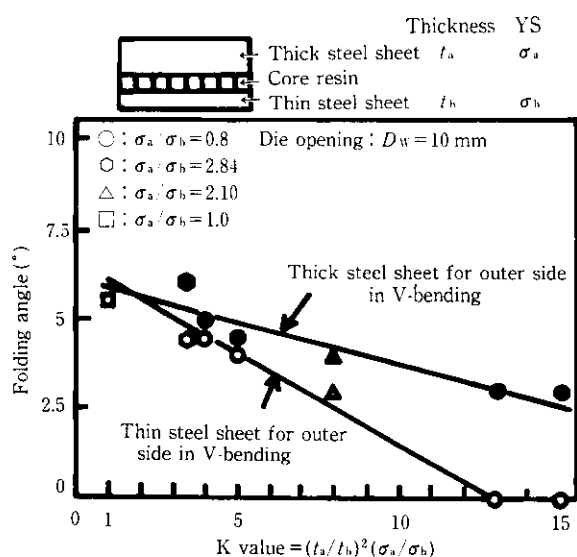


Fig. 14 Effect of skin steel sheets on folding angle in conventional V-bending of vibration damping steel sheets (Core resin thickness: 35 μ m)

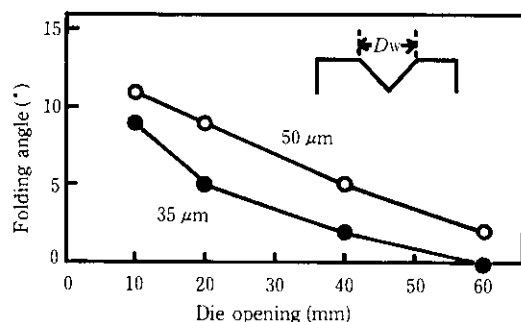


Fig. 15 Relation between folding angle and die opening and core thickness

がってカモメ現象を防止するには、板厚、材質および接着力増大で改善可能である。

3.3.3 ビード引き抜き加工

ビードを通過するプレス加工をうけた制振鋼板は、Fig. 16 に示すように、ビード通過部の接着強度は、ビード高さが大きくなると、

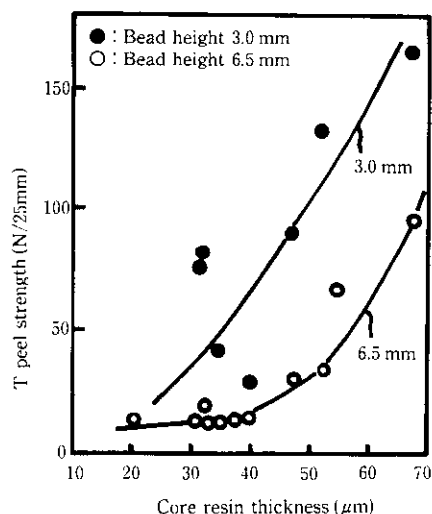


Fig. 16 Effect of core resin thickness on T-peel strength after drawing bead test of vibration damping steel sheets

低下する。芯材樹脂厚の増加により改善可能である。

3.4 塗装焼きつけ性および耐久性

本開発の制振鋼板の引張剪断強度に及ぼす塗装焼きつけ温度の影響を、Fig. 17 に示す。200°C~220°C の高温焼きつけでは、剝離変形がなく、加熱冷却後の常温での接着力の低下は起こらない。またトルエン、MEK などの塗料用溶剤や耐熱、耐湿、塩水噴霧などの環境劣化試験でも、Fig. 18 に示すように接着力の低下は起こらない。

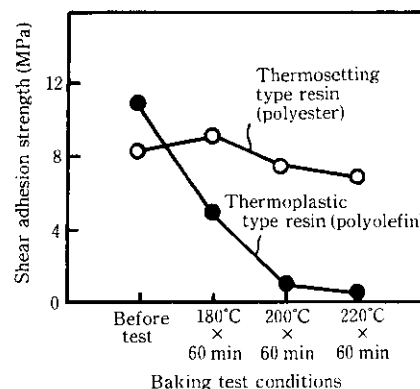


Fig. 17 Change in adhesion strength of vibration damping steel sheets at baking test

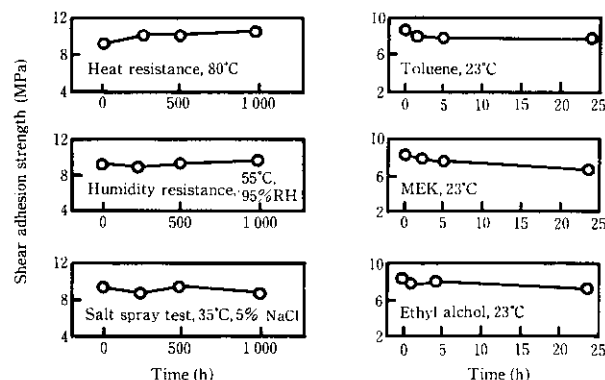


Fig. 18 Change in adhesion strength of vibration damping steel sheets at various environmental durability tests

4 適用例

(1) 事務機

フロントパネルに制振鋼板を用いて作製した事務機を、Photo 3 に示す。曲げ加工でのカモメ現象抑制とスポット溶接性確保のために、外皮鋼板、樹脂、金属粉の最適化を図った。

(2) 家電部品

洗濯機銅板やモーターファンカバーなどの適用が図られている。プレス加工での樹脂剝離やしわ防止のために、外皮鋼板の選定、芯材樹脂の最適化を図った。

(3) 自動車部品

フロアパネル、ダッシュパネル、ホイールハウスインナー

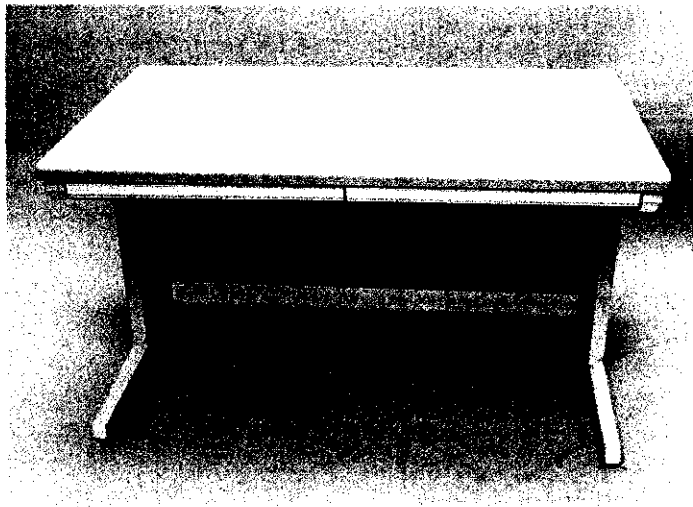


Photo 3 An example of application of vibration damping steel sheet (desk)

などの制振効果の大きい部品への適用を図っている。これらの部位では、スポット溶接性と成形加工対策がポイントとなる。

5 結 論

熱硬化型樹脂を芯材とした常温用制振鋼板の開発を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) 熱硬化型ポリエステル樹脂は、3官能のイソシアネート系硬化剤で三次元架橋させて、制振性と接着性を著しく向上させ、

さらに耐熱、耐溶剤性を付与した常温用の新タイプ樹脂である。

- (2) Ni 粉平均粒径/樹脂厚比を 1.8 以上、Ni 粉配合量を 1.0 vol% 添加し、スパーク、円周切れなどの溶接欠陥のない連続スポット溶接可能な制振鋼板を開発した。
- (3) EG, GI, Zn-Ni めっき鋼板、樹脂厚、Ni 粉平均粒径/樹脂厚比を選定制御して、適用範囲の広い常温用制振鋼板を設計可能にした。
- (4) 本開発の常温用制振鋼板は、溶接性、加工性、耐熱性、耐環境性のバランスのとれた優れた品質性能を有する。

参 考 文 献

- 1) 田所義雄: 自動車材料ニュース, (1984) 27, 23
- 2) 緋田泰宏, 小林 繁, 近藤道生, 平松輝雄, 天笠敏明, 尾野友重: 材料とプロセス, 3 (1990) 5, S614
- 3) 鈴木文仁, 長嶺恒夫, 富塚敬市, 阿部成雄, 緋田泰宏, 海老原正則: 材料とプロセス, 3 (1990) 5, S613
- 4) 篠崎正利, 細田 博, 小林 繁, 向原文典, 村瀬正次: 材料とプロセス, 3 (1990) 5, S615
- 5) 西本昭彦, 由田征史: NKK 技報, (1989) 127, 14-19
- 6) 長井弘行, 福井清之, 高木美智雄, 塩田俊明: 住友金属, 41 (1989) 2, 81-88
- 7) 袖島善之: プレス技術, 27 (1989) 13, 41-49
- 8) 広瀬洋三: プレス技術, 27 (1989) 13, 33-40
- 9) 内田康信, 尾野友重, 杉辺英孝: 材料とプロセス, 3 (1990) 5, S611
- 10) 松本義裕, 向原文典, 内田康信, 涌井正浩, 栗栖孝雄: 鉄と鋼, 75 (1989) 9, 245-251
- 11) 篠崎正利, 松本義裕, 佐藤功輝, 内田康信, 中野 昇: 鉄と鋼, 75 (1989) 9, 222-229
- 12) 西本昭彦, 渡辺裕吉, 藤井康司, 樺沢真事, 松田恭典: 日本鋼管技報, (1988) 121, 9-16
- 13) 村上敏則, 内山雅裕, 中村道夫, 加藤繁道, 公文史城, 若林耕二: 日新製鋼技報, (1989) 60, 96-106
- 14) 遠藤 紘, 江嶋瑞男, 斉藤 亨, 森田順一: 製鉄研究, (1989) 334, 37-43
- 15) 福井清之, 高 隆夫, 塩田俊明, 長井弘行: 住友金属, 41 (1989) 1, 111-118
- 16) 田中福輝, 佐藤始夫, 袖島善之, 郡田和彦: 鉄と鋼, 75 (1989) 9, 230-236
- 17) 室賀 脩, 西本昭彦, 渡辺裕吉, 藤井康司, 山崎雄司, 樺沢真事: NKK 技報, (1989) 127, 7-13
- 18) 小西徳次郎, 近藤正恒, 今橋邦彦: 溶接学会全国大会講演概要集, 第39集 (1986), 164
- 19) 兼子敏一, 森田順一: 自動車技術会学術講演会, (1990) 5, 237-240