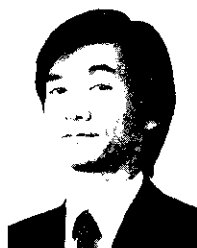


Organic Dry Film Lubricant Coated Steel Sheet with Excellent Press Formability



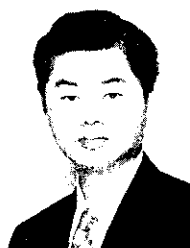
樋貝 和彦
Kazuhiko Higai

技術研究所
表面処理研究部門
主任研究員(主席掛長)



京野 一章
Kazuaki Kyono

技術研究所
表面処理研究部門
主任研究員(部長補)



加藤 千昭
Chiaki Kato

技術研究所
表面処理研究部門長・
工博

要旨

新開発のベース樹脂と各種添加剤添加により、新たな有機系固形潤滑処理熱間圧延鋼板および合金化溶融亜鉛めっき鋼板を開発した。新開発処理鋼板は従来材と比較して、潤滑性、プレス成形性が大幅に向上する。さらにアルカリ脱膜性およびスポット溶接性などの自動車用鋼板として必要な各種特性が従来から使用されている鋼板の特性と同等であることから、現行の自動車メーカーの工程での使用が可能である。さらに、本開発処理鋼板に適用している潤滑処理は、高張力鋼板に対しても十分なプレス成形性向上効果をもたらすため、自動車車体部品用鋼板への幅広い適用が可能である。

Synopsis:

Kawasaki Steel has developed a new dry film lubricant with friction properties superior to those of conventional dry film lubricants by optimizing the glass transition temperature of a binder resin and adding polyethylene wax and inorganic lubricants. This report describes the effect of the developed dry film on the press formability of hot rolled steel sheets and galvanized steel sheets. The results of the development suggest that the new dry film lubricant expands the application of high strength steel sheets and galvanized steel sheets to automotive body panels. Furthermore, these steel sheets with the dry film lubricant showed the same alkaline degreasability, phosphatability and spot weldability as conventional steel sheets coated with rust preventive lubricating oil. These results also suggested that steel sheets with the dry film lubricant have excellent quality to be applied widely to automotive body panels.

1 緒言

近年、CO₂の排出量削減のため、自動車車体軽量化による燃費向上が検討されており、車体構造部材、内板および外板の高張力鋼板(ハイテン材)化が進められている。今後、高強度化もしくは高張力鋼板の適用部品の拡大が自動車車体軽量化の観点から望まれるが、一般に高張力鋼板は、機械特性に起因したプレス成形性(絞り加工性、形状凍結性)の低下が生じるため、複雑な形状の部品への適用が困難である。たとえ適用可能であってもリストライク工程の追加による工数増加や、プレス油を使用しなければ成形性が確保されないという問題もしばしば発生する。

ところで、従来から、熱間圧延鋼板では表面の摺動特性改善によるプレス成形性や型かじり性を向上させるため、自動車塗装ラインの洗浄工程にて除去可能な有機樹脂による固形潤滑処理鋼板が知られている¹⁾。しかし、潤滑性が不十分であることなどの理由で適用範囲は限られていた。一方、合金化溶融亜鉛めっき鋼板(galvanized steel sheet; 以下 GA)は、塗装後の耐食性が優れていることから、自動車車体用鋼板として、広く使用されている。GA鋼板

の摺動特性は、めっき層中の Fe 含有率が高く、と相が少ない場合に向上するが、めっき付着量が多い場合、プレス成形時のビード通過部などでは、冷間圧延鋼板や Zn-Ni 電気めっき鋼板などと比較して、めっき損傷起因による欠陥が発生しやすい問題がある²⁾。そこで、GA鋼板の摺動特性向上を目的として、これまでに種々の無機系および有機系の固形潤滑処理が検討されている^{3,4)}。

これらの潤滑処理鋼板を自動車用途として使用するためには、潤滑特性の向上を確保するとともに、塗装性および溶接性が有機系固形潤滑処理を施さない通常の熱間圧延鋼板および GA 鋼板と同等であることが必要である。有機系および無機系固形潤滑処理にはそれぞれ、長所と短所があり、特に従来から存在する有機系固形潤滑処理鋼板は無機系固形潤滑鋼板と比較して、著しい摺動特性向上が実現可能である。しかし、有機系固形潤滑鋼板は皮膜の膜厚を厚くした場合、アルカリ脱膜性やスポット溶接性に劣る場合があることから、処理膜厚範囲が制限されることが多く、十分な摺動特性向上を得ることが困難であった。

川崎製鉄では、上記の問題を解決し、優れたプレス成形性を有する新しい有機系固形潤滑処理鋼板を開発した。本報では、新開発鋼板の潤滑性およびプレス成形性と自動車用鋼板として必要な特性について述べる。またプレス成形性について、新開発した潤滑皮膜を高張力鋼板に適用した際の、固形潤滑処理の効果について報告する。

*平成14年2月8日原稿受付

Table 1 Lubrication treatments and mechanical properties of test specimen

Specimen	Steel sheet	Coating	Oil	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	r-value
A	Hot rolled	New dry film (DF)	Rust preventive oil (RO)	372	616	32	0.85
B		None	Rust preventive lubricating oil (RLO)				
C		New dry film (DF)	Rust preventive oil (RO)				
D		None	Rust preventive lubricating oil (RLO)				
E	Galvannealed	Conventional dry film	Rust preventive oil (RO)	144	292	50	1.80
F		New dry film (DF)	Rust preventive oil (RO)				
G		None	Rust preventive lubricating oil (RLO)				
H		Fe-P plating (3 g/m ²)	Rust preventive lubricating oil (RLO)				

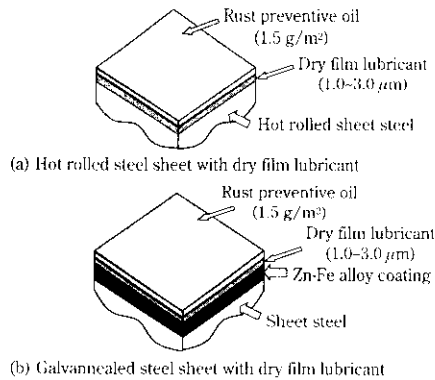


Fig. 1 Cross-section of steel sheet coated with alkaline-soluble dry film lubricant

2 実験方法

2.1 供試材

新しく開発した固形潤滑処理鋼板の断面構成を Fig. 1 に示す。熱間圧延鋼板 (SPHD および 590 MPa 級 DP 鋼) を使用し、実験室にて特殊樹脂および添加剤からなる塗料を 1~3 μm 塗布後、5 s 後の到達鋼板温度が 60°C となるように乾燥し、潤滑皮膜を形成させた。これらの供試材には防錆油 (16.0 mPa·s/40°C) を 1.5 g/m² 塗油した。なお、固形潤滑処理を施さない供試材には高潤滑防錆油 (14.2 mPa·s/40°C) を塗油して評価に供した。供試材を Table 1 に示す。同様に自動車車体用の極低炭素 IF 鋼を母材とした、めっき付着量 50 g/m²、Fe 含有率 10 mass% の GA 鋼板を使用した。鋼板の表面に、実験室にて特殊樹脂および添加剤からなる塗料を 1~3 μm 塗布後、15 s 後の到達鋼板温度が 80°C となるように乾燥し、潤滑皮膜を形成させた。これらの供試材には防錆油 (17.4 mPa·s/40°C) を 1.5 g/m² 塗油した。なお、比較材として Fe-P めっきを上層に施した GA2 層めっき鋼板³⁾、590 MPa 級 DP 鋼を母材とした GA 鋼板を使用した。なお、これら比較材には高潤滑防錆油 (18.2 mPa·s/40°C) を塗油して評価に供した。

2.2 摺動特性と成形性

2.2.1 摺動試験

Fig. 2 に示す 3 種類の金型形状と条件にて動摩擦係数を測定した。低面圧条件として実施した (a) に示す平面摺動試験では、金型形状は 10 mm 幅の平面形状、摺動速度 20 mm/s とし、加圧は 1.0~7.8 kN とした。高面圧条件として実施した (b) に示す円柱摺動試験では、金型形状を 10° の円柱形状、摺動速度 20 mm/s、加圧 5.9 kN とした。(c) に示したドロービード試験では、摺動による垂

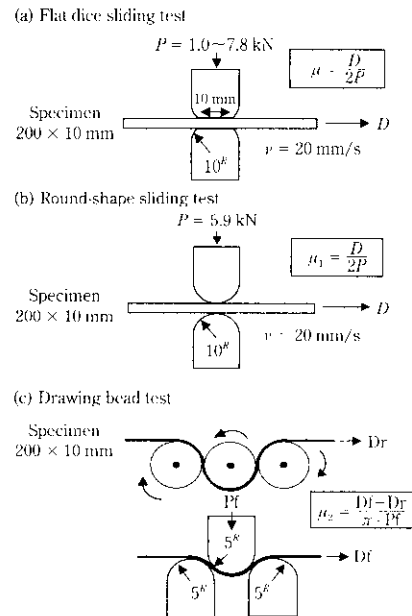


Fig. 2 Friction test method

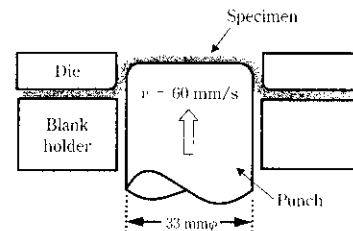


Fig. 3 Cup drawing test

鉛めっきの剝離について、摺動前後の Zn カウントを蛍光 X 線により測定し、めっき剝離率を測定した。

2.2.2 円筒深絞り試験

Fig. 3 に示す条件、すなわちポンチ径 33 mmφ、ダイス肩部曲率 3 mm、ブランク径 68 mm、成形速度 60 mm/s で円筒深絞り試験を実施した。評価は成形可能な限界しわ押え荷重 (kN) 測定により実施した。本評価では GA 鋼板を用いた。

2.2.3 円錐台成形試験

Fig. 4 に示す条件、すなわちダイス径 140 mmφ、ポンチ径 80 mmφ、ダイス肩部曲率 4.5 mm、成形速度 30 mm/s にて、円錐台成形を実施した。評価は成形時のしわ押え荷重を 6 kN とした場合の破断が発生しない限界成形高さを評価した。本評価では熱間圧延鋼板を用いた。

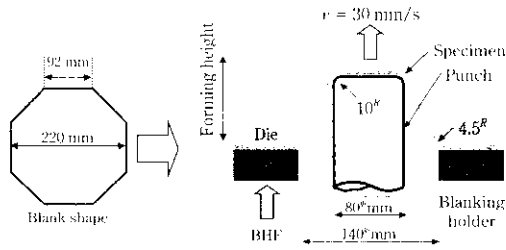


Fig. 4 Conic trapezoid shape forming test method

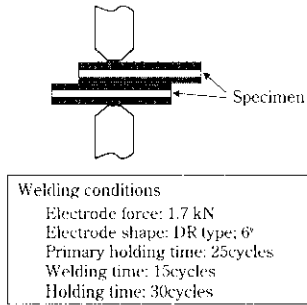


Fig. 5 Spot welding conditions

2.3 各種特性評価

2.3.1 アルカリ脱脂膜および化成処理性

市販のアルカリ脱脂（日本パーカライジング(株)製：FCL4460、処理温度 40°C）を用いて、浸漬脱脂時間を変化させてアルカリ脱脂処理を実施し、脱脂前後の供試材表面の C 量を蛍光 X 線により測定し、皮膜脱脂率を式 (1) により算出した。

$$\text{脱脂率} = \frac{(\text{脱脂前の C カウント}) - (\text{脱脂後の C カウント})}{(\text{脱脂前の C カウント}) - (\text{無塗装鋼板の C カウント})} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (1)$$

化成処理は、市販の化成処理液（日本パーカライジング(株)製：PBL3020、処理温度 40°C）を使用し、化成結晶形態と付着量により評価した。本評価は GA 鋼板について行った。

2.3.2 スポット溶接性

Fig. 5 にスポット溶接性評価条件を示す。本評価は GA 鋼板について行った。単層交流スポット溶接機を使用し、溶接チップは、先端形状 6mmφ の DR 型 Al₂O₃ 分散型銅電極を使用した。溶接条件は加圧力 1.7 kN、溶接サイクルは 15cycle として、ナゲット形成 (4/t (ここで t = 板厚)) からチリ発生までの溶接適正電流範囲と連続打点性を評価した。

3 開発鋼板の皮膜設計

皮膜開発にあたり、潤滑性向上には成形時における金型と潤滑処理下地鋼板との直接接触を防ぐことが重要であることに着目した。ベース樹脂の組成変化によるガラス転移温度 (Tg) の最適化と添加剤開発を実施した。Fig. 6 に各種因子の添加効果を示す。resin A、resin B の Tg はそれぞれ 40°C および 70°C である。また、resin A に対して、リン酸亜鉛、ポリエチレンワックスの添加効果を示した樹脂 Tg の上昇により円筒成形時の限界成形荷重は向上した。またリン酸亜鉛、ポリエチレンワックスを添加することにより、潤滑性が順次向上することが分かる。Photo 1 に平面摺動試験後のサンプルの摺動面を示す。白色部分は型かじりによる鋼板露出面を示す。

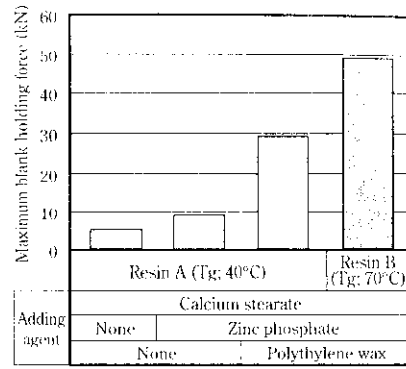


Fig. 6 Effect of Tg of resin and adding agent on press formability

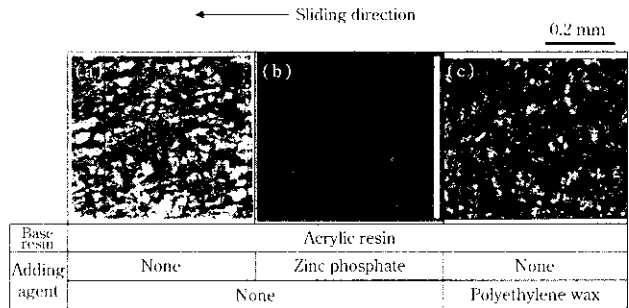


Photo 1 Effect of zinc phosphate on anti galling property

(c) ポリエチレンワックスの添加では、(a) ベース樹脂のみと比較して、わずかな鋼板露出面の減少である。これに対して、(b) リン酸亜鉛添加は、摺動試験後の鋼板露出が著しく減少していることから、リン酸亜鉛の添加により、潤滑性向上だけでなく、耐型かじり性にも寄与することが明らかとなった。

以上から、本開発鋼板の優れた潤滑性及びプレス成形性は、樹脂の Tg 上昇による皮膜の強化およびリン酸亜鉛およびポリエチレンワックス添加による潤滑性向上および型かじり性向上により達成されたといえる。

4 実験結果および考察

4.1 摺動特性と成形性

熱間圧延鋼板を下地とし、潤滑処理の異なる材料について、摺動試験時に面圧を変化させた場合の動摩擦係数測定結果を Fig. 7 に示す。specimen C (新開発の固形潤滑処理鋼板) は評価した面圧範囲内で、specimen D および E よりも μ が小さい、すなわち潤滑性能が優れている。

Fig. 8 に、各種 GA 鋼板の摺動試験による動摩擦係数測定結果を示す。specimen F (固形潤滑処理鋼板) は、無処理材および摺動性改善に実績のある specimen H (GA 鋼板に Fe-P めっき処理を施した GA2 層鋼板) と比較して、摩擦係数が著しく低下した。

ドロワービード試験による、供試材の亜鉛めっき剝離率を Fig. 9 に示す。固形潤滑処理により、摺動時のめっき剝離および離脱が防止できることが分かる。

Fig. 10 に各鋼板の円筒深絞り試験における、限界しわ押さえ荷重を示す。specimen G (無処理材) および specimen H (Fe-P めっき処理鋼板) と比較して、specimen F (固形潤滑処理材) は限界しわ押さえ荷重が最も高い。さらに、金型温

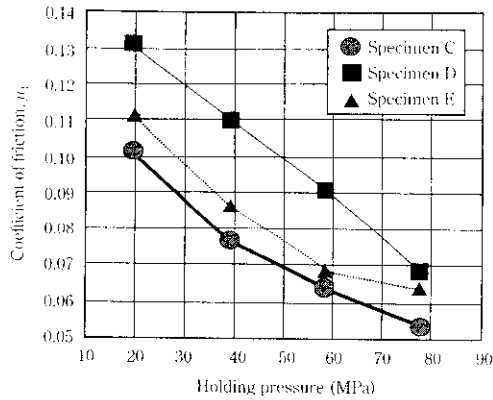


Fig. 7 Relationship between coefficient of friction and holding pressure (hot rolled steel sheet)

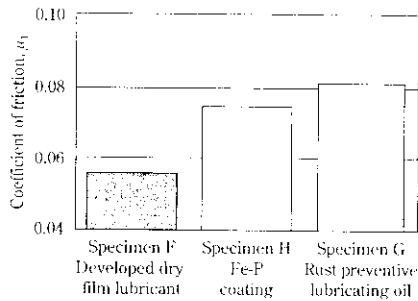


Fig. 8 Effect of dry film lubricant on coefficient of friction (galvannealed sheet steel)

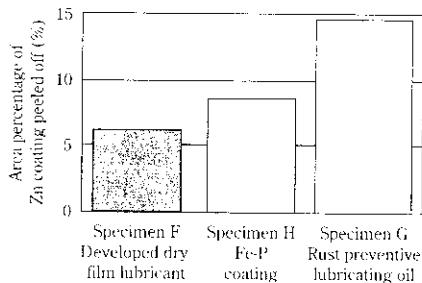


Fig. 9 Effect of dry film lubricant on percentage of Zn coating peeled off after friction test (galvannealed sheet steel)

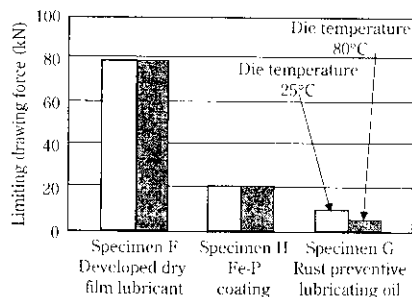


Fig. 10 Effect of film lubricant on limiting drawing force (galvannealed sheet steel)

度を 80°C とした場合、無処理材では金型温度 25°C と比較して、限界しお押さえ荷重が低下した。これに対して、固形潤滑処理材では性能低下は認められなかった。これは、無処理材では、温度上昇による防錆油の粘度低下を生じ、その結果摺動特性の低下が生じたものと考えられる。これに対して、潤滑処理鋼板では、新開発した固形潤滑処理皮膜は、摺動性に温度依存性がないためと考えられる。

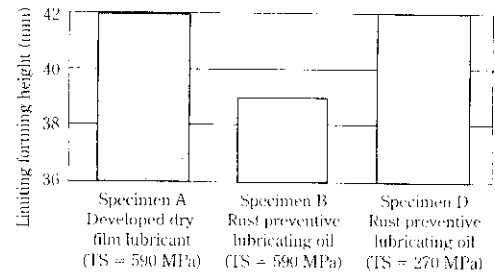


Fig. 11 Effect of dry film lubricant on press formability (blank holding force; 55 kN)

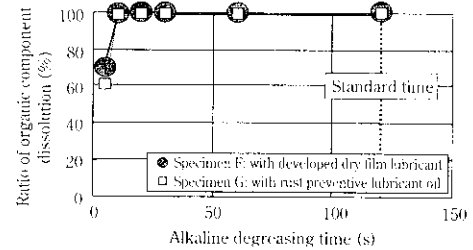


Fig. 12 Effect of dry film lubricant on alkaline degreasability

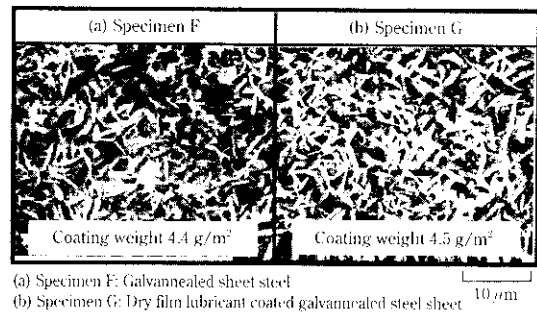


Photo 2 Micrographs of zinc phosphate layer

固形潤滑処理による高張力鋼板の円錐台成形試験による限界成形高さを Fig. 11 に示す。specimen A (固形潤滑処理 590 MPa 級高張力鋼板) は、specimen B (無処理材) と比較して限界成形高さが 3 mm 上昇した。なお、specimen C (270 MPa 級鋼板無処理材) と同等の限界成形高さであった。限界成形高さの上昇は、潤滑性向上による局所的な歪集中が回避されたことに起因すると考えられる。

4.2 アルカリ脱膜性および化成処理性

Fig. 12 に固形潤滑皮膜の脱膜率に及ぼすアルカリ脱脂液への浸漬時間の影響を示す。固形潤滑皮膜は浸漬脱脂時間 10 s で完全に脱脂が可能であり、防錆油の脱脂と遜色ないことが分かる。また今回使用した脱脂液の標準脱脂時間が 120 s であることから、通常の脱脂工程で固形潤滑皮膜のアルカリ脱膜が完全に可能であることがわかる。

Photo 2 には、specimen F (GA 鋼板) と specimen G (固形潤滑処理 GA 鋼板) について、化成処理結晶写真を示す。両者の比較から、固形潤滑処理材は無処理材と同等の結晶形態および化成処理皮膜付着量を示す。

4.3 スポット溶接性

スポット溶接時の適正電流範囲を Fig. 13 に示す。固形潤滑処理を行っても適正電流範囲に変化は少なく、無処理材と同等とみなすことができる。ここで、適性電流範囲の絶対値は低電流側へシフト

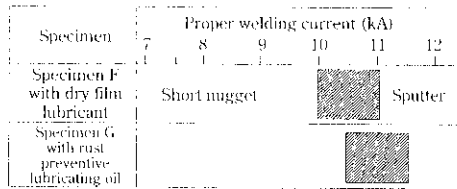


Fig. 13 Spot weldability of sheet steel with dry film lubricant (galvanized sheet steel)

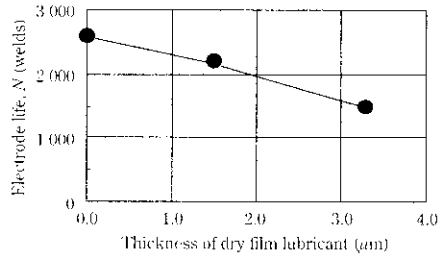


Fig. 14 Effect of dry film lubricant thickness on electrode life (galvanized sheet steel)

した。これは、固形潤滑皮膜の存在により、溶接電気抵抗が上昇した結果、低電流でもナゲットが形成される反面、溶着が発生する電流値も低下したためと考えられる。

Fig. 14 に固形潤滑処理材における皮膜付着量と電極寿命の関係

を示す。固形潤滑処理皮膜の厚さの増加にしたがい、電極寿命が短くなる傾向にある。しかし、摺動特性のよい、皮膜厚 2 μm 程度で約 2000 点の連続溶接が可能であり、実用上問題のないレベルであった。なお、皮膜付着量約 3 μm における電極寿命低下の原因は、溶接時に電極先端部へ皮膜が付着し、電極先端における局所的な電流密度上昇を起因とした電極磨耗が生じ、電極径が拡大した結果、ナゲット径確保が困難となったためと考えられる。

5 結 言

新たに開発した固形潤滑処理熱間圧延鋼板および GA 鋼板について、各種特性を評価し、次の結果を得た。

- (1) 新開発の有機系固形潤滑処理鋼板は、摺動試験時の摩擦係数が低減し、円筒深絞り性が著しく向上した。また成型温度が上昇しても、円筒深絞り性は低下しなかった。
- (2) 新開発の有機系固形潤滑処理 GA 鋼板は、GA2 層めっき (Fe-P めっき処理) と比較して、ドロワービード摺動時のめっき損傷量が減少する。
- (3) 本固形潤滑処理について、高張力鋼板へ適用した場合、円錐台成形試験の結果から、成形性向上に有効であることが分かった。
- (4) 新開発の有機系固形潤滑処理鋼板は、自動車用鋼板として要求されるアルカリ脱膜性、化成処理性およびスポット溶接時の適正電流範囲が無処理材と同等であった。

参 考 文 献

- 1) 林 央, 自動車技術, **49**(1995)5, 11
- 2) 花畑浩彦, 鈴木博幸, 福留 博, 田中 茂, 藤村純一, 住友金属, **42**(1990)5, 60
- 3) 飛山洋一, 高村日出夫, 加藤千昭, 安田 顕, 森戸延行: *CAMP-ISIJ*, **5**(1992), 1714
- 4) 入江広司, 山本貴之, 清水正文: *CAMP-ISIJ*, **13**(2000), 520
- 5) 安田 顕, 大堀 学, 高村日出夫, 安田功一, 橋口耕一: 川崎製鉄技報, **23**(1991)4, 333