

0.2C-Si-Mn高強度TRIP型複合組織鋼板のプレス成形性 に及ぼす第2相形態の影響*

長坂 明彦**・原田 貴巳博***・小島 敦***

Effects of Second Phase Morphology on Press Formability in 0.2C-Si-Mn High Strength TRIP-aided Dual-phase Steel Sheets

Akihiko NAGASAKA, Kimihiro HARADA and Atushi KOJIMA

The effects of second phase morphology on press-formability in 0.2C-(1.0-2.5)Si-(1.0-2.0)Mn (mass%) high strength TRIP-aided dual-phase (TDP) sheet steels were investigated. Good stretch-flangeability in terms of hole-punching and the successive hole-expanding was achieved in a TDP steel with an isolated fine and acicular second phase. In the acicular type of TDP steel, volume fraction and carbon concentration (stability) of retained austenite increased considerably over a conventional type of TDP steel with a network second phase along ferrite grain boundary. The acicular type of TDP steel also had the best balance of stretch-formability and stretch-flangeability of conventional high strength steels, such as a ferrite-bainite steel which have an excellent stretch-flangeability.

キーワード：プレス成形性，伸びフランジ性，残留オーステナイト，変態誘起塑性，第2相形態

1. はじめに

近年，成形性の良好な自動車用高強度鋼板として開発された残留オーステナイト (γ_R) の変態誘起塑性 (TRIP: Transformation Induced Plasticity) ¹⁾により成形性を著しく高めたTRIP型複合組織鋼 (TDP鋼) の適用研究が，積極的に行われている。著者らは，すでに，張出し性は極めて良好である²⁾が，他の複合組織鋼に比べて低い伸びフランジ性を，温間パンチ打抜きと温間穴広げの併用により改善できる

3,4)ことを報告してきたが，期待するほどの成果はいまだ得られていない。そこでこの伸びフランジ性のさらなる改善を目的として，第2相形態の効果について実験的に検討した。

2. 実験方法

γ_R の体積率 f_{γ_0} と炭素濃度 C_{γ_0} を変化させるため，SiおよびMn添加量を1.0~2.5mass%の範囲で変化させた6種類の0.2C-(1.0-2.5)Si-(1.0-2.0)Mn冷延まま鋼板 (板厚1.2mm) を用いた (表1)。製造条件は文献4に準じた。これらの鋼板に2台の塩浴炉を用いて，2相域 ($T_{\alpha+\gamma}$) 焼なまし+オーステンパ処理を施したTYPE I と，TYPE I の熱処理前にオーステナイト域 (T_γ) 焼入れのTYPE II とし²⁾，フェライト (α_f) + ベイナイト (α_b) + γ_R の3相組織とした (図1)。比較のため，0.15C-0.25Si-1.70Mn-

* 平成9年3月29日 日本機械学会 第74期通常総会講演会にて一部発表

本研究の一部は平成8年度 (財) 谷川熱技術振興基金および平成9年度長野高専教育研究特別経費の助成を受けて行われた。

** 機械工学科 助手

*** 平成8年度機械工学科卒業

原稿受付 1997年10月31日

表1 TDP鋼の化学成分

Steel	C	Si	Mn	P	S	Al
A	0.21	1.51	1.00	0.015	0.0013	0.041
B	0.20	1.50	1.50	0.015	0.0012	0.041
C	0.20	1.49	1.99	0.015	0.0015	0.039
E	0.20	1.00	1.50	0.014	0.0013	0.038
F	0.18	2.00	1.50	0.015	0.0013	0.037
G	0.19	2.48	1.49	0.014	0.0013	0.036

0.0010P-0.0030S-0.030Al冷延鋼板を用い、熱処理により、 $\alpha_f + \text{マルテンサイト} (\alpha_m)$ 2相からなるMDP鋼、および $\alpha_f + \alpha_b$ 2相からなるBDP鋼を作製した³⁾。MDP鋼については、焼なましのままの他に、200、400、600℃で1hの焼戻しも施した⁵⁾。 $f_{\gamma 0}$ および $C_{\gamma 0}$ はX線回折法により測定した²⁾。

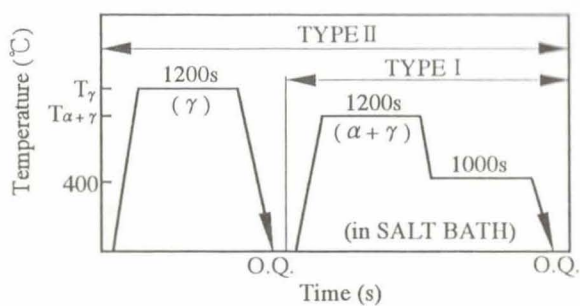


図1 TDP鋼の熱処理

パンチ打抜きおよび穴広げ試験にはインストロン型万能試験機を用い、試験片形状は $\phi 50 \times 1.2 \text{mm}$ の円盤状試験片とした。伸びフランジ性は穴広げ率 $\lambda = (d_f - d_0) / d_0 \times 100\%$ (d_0 : 初期穴径, d_f : き裂発生

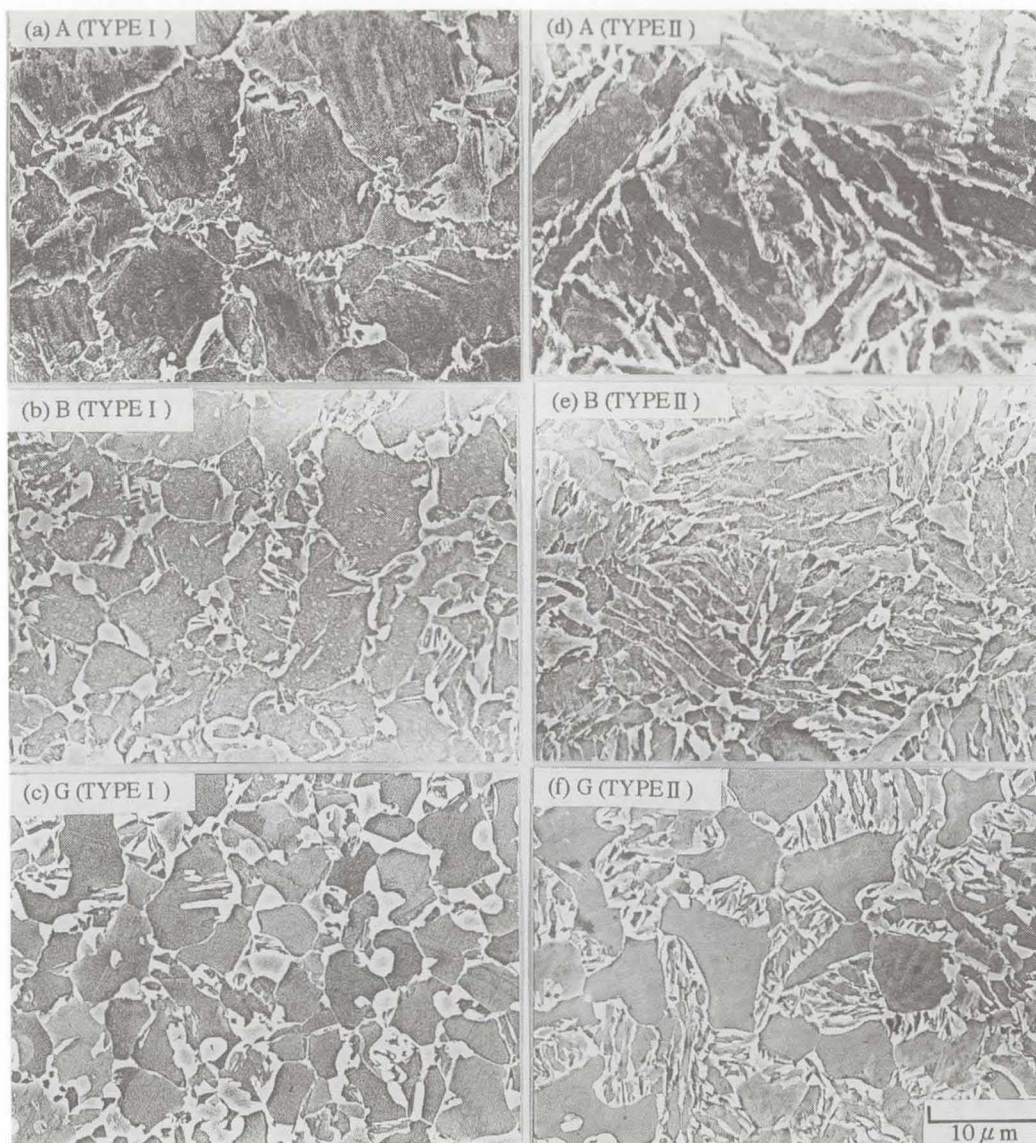


図2 TDP鋼の微細組織

時の穴径)で評価し、金型形状および加工条件については文献3に準じた。また、張出し性は最大張出し高さ H_{max} で評価した²⁾。更に、走査電子顕微鏡 (SEM) 観察を必要に応じ行った。

3. 実験結果および考察

3-1 微細組織と引張特性

TDP鋼組織のA, BおよびG鋼のSEM写真を図2に示す。各鋼において、第2相形態は(a, b, c)TYPE Iのネットワーク・タイプと(d, e, f)TYPE IIのラス・タイプに分類される。TDP鋼の引張特性および γ_R パラメータを表2に示す。 $f_{\gamma 0}$ はSiとMn添加量の増加につれて増加し、 $C_{\gamma 0}$ は逆に減少した(表2)。また、有効炭素濃度 $f_{\gamma 0} \times C_{\gamma 0}$ は、ラス境界に γ_R をうまく析出させることにより α_0 変態はラス境界に阻止され、TYPE IIの方が全体的に上回った。

3-2 プレス成形性

図3は各種高強度鋼の(a)最大張出し高さ(H_{max})および(b)穴広げ率(λ)と引張強さ(TS)の関係を示す。図中、TDP鋼のTYPE I (20℃と最適成形温度Top)およびTYPE II, BDP鋼およびMDP鋼では20℃での結果を示す⁵⁾。

(1) TS を一定としてみると、TYPE IIは極めて優れた張出し性を有する。TYPE IIの優れた張出し性は主

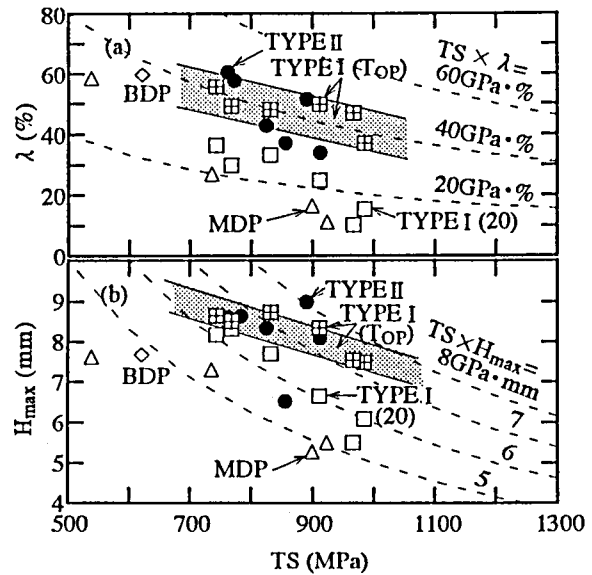


図3 プレス成形性

に、 γ_R のひずみ誘起変態 (SIT) によって高ひずみ域でのひずみ硬化率が高い値に保たれ、かつ母相/第2相界面でのき裂発生が抑制されたことに起因する。

(2) TYPE IIの伸びフランジ性は、高強度鋼板の中で特に優れた伸びフランジ性を有するBDP鋼と同程度か、少し上回る。もちろん、MDP鋼よりはかなり優れている。TYPE IIの優れた伸びフランジ性は、 γ_R のSITによる局所的応力集中の緩和により、母相/第2相界面でのボイドの発生が抑制されたことに因る。

3-3 伸びフランジ性

伸びフランジ性に特に注目すると、 γ_R の安定性(高 $C_{\gamma 0}$)および $f_{\gamma 0}$ の増加も穴広げ率 λ すなわち強度・伸びフランジ性バランス($TS \times \lambda$)の上昇に寄

表2 TDP鋼の引張特性および γ_R パラメータ

Steel	Morphology	TS (MPa)	TEI (%)	$f_{\gamma 0}$	$C_{\gamma 0}$ (mass%)
A	TYPE I	742	32.3	0.058	1.51
B		831	35.8	0.079	1.38
C		984	22.9	0.137	1.26
E		767	29.0	0.076	1.41
F		911	31.9	0.085	1.29
G		966	28.8	0.103	1.29
A		TYPE II	761	23.4	0.053
B	890		32.4	0.105	1.46
C	912		31.8	0.113	1.36
E	772		22.1	0.083	1.43
F	824		36.7	0.124	1.34
G	855		25.6	0.112	1.33

TS: Tensile strength, TEI: Total elongation,
 $f_{\gamma 0}$: Initial volume fraction of the retained austenite,
 $C_{\gamma 0}$: Carbon concentration in the retained austenite.

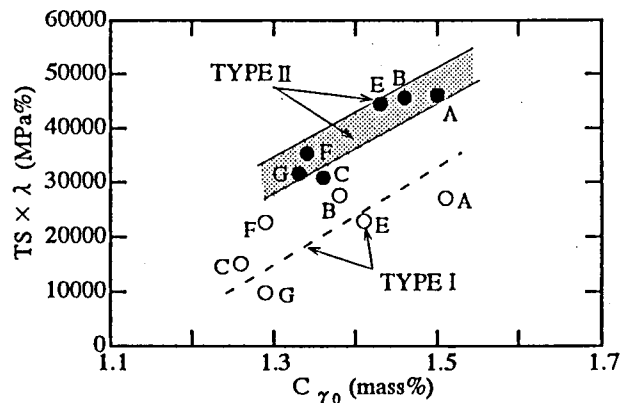


図4 強度・伸びフランジ性バランスと γ_R 炭素濃度

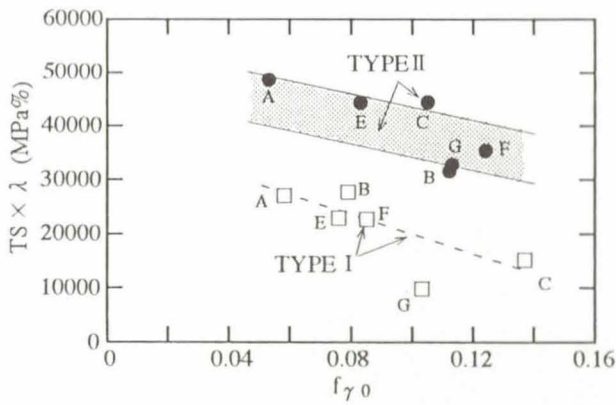


図5 強度・伸びフランジ性バランスと γ_R 体積率

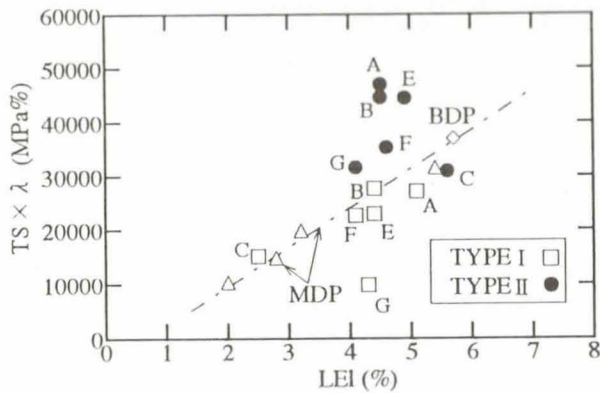


図6 強度・伸びフランジ性バランスと局部伸び

与するが(図4および5), 組織の微細針状化による極限変形能(局部伸び: $LEI = TEI - UEI$)増加(図6)および大きな均一伸びまたは全伸び(TEI)⁴⁾が伸びフランジ性改善の主な要因である。

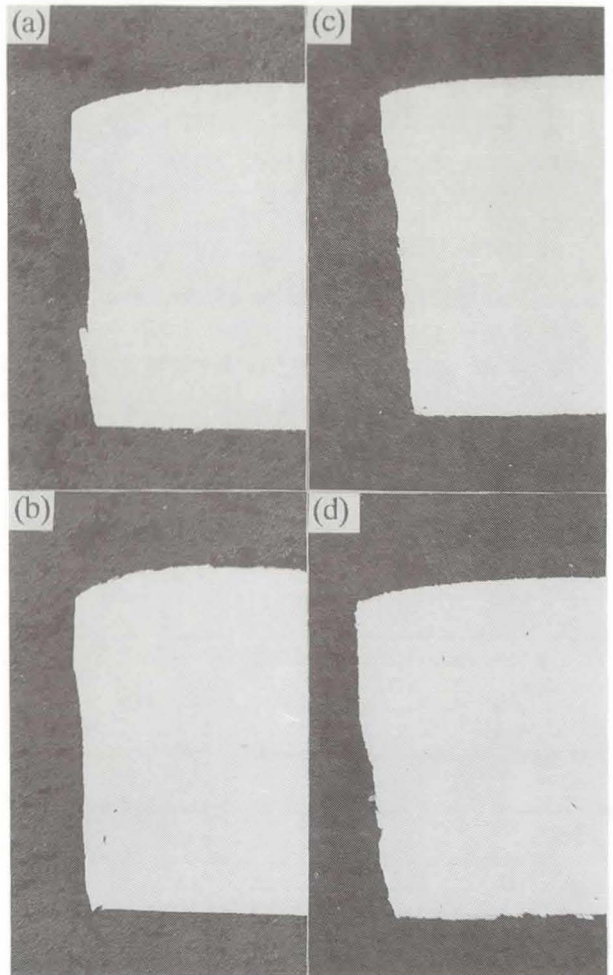
また,パンチ打抜き時のSIT挙動は,せん断部形状に影響を及ぼす。せん断部はダレ,せん断面,破断面とカエリの部分から構成されている。塑性変形の程度はパンチのせん断面長さで整理できる。図7に強度・伸びフランジ性バランスとせん断面長さの関係を示す。各TDP鋼において,板厚に対するせん断面長さの割合は,TYPE Iの打抜きから最も効果のあったTYPE IIで約10%増加し,逆に破断面は減少した。図8にB鋼の破断面のSEM写真を示す。これはTYPE IIによる第2相形態の微細化により打抜き時のボイド・き裂発生を抑制させたことによるものと考えられる。図9にB鋼TYPE IIの破断面の γ_R のSIT α_m 変態後を線分析したもののSEM写真を示す。波形が台形波から波形になることから確認できた。

4. おわりに

(1)TDP鋼の伸びフランジ性は γ_R の炭素濃度とひずみ誘起変態(SIT)挙動,および第2相形態の微細針状化により格段に向上する。

(2)第2相形態の微細針状化は γ_R のSITを抑制し,穴表面のひずみ硬化とボイド発生を抑制する。その後の穴広げ加工はTRIP効果を効果的に生じさせ,極限変形能を増加する。

本研究の一部は平成8年度(財)谷川熱技術振興基金および平成9年度長野高専教育研究特別経費の助成を受けて行われた。ここに深謝する次第である。



(a) B (TYPE I), (b) B (TYPE II), (c) MDP0, (d) BDP

図7 パンチ打抜き面の光顕写真

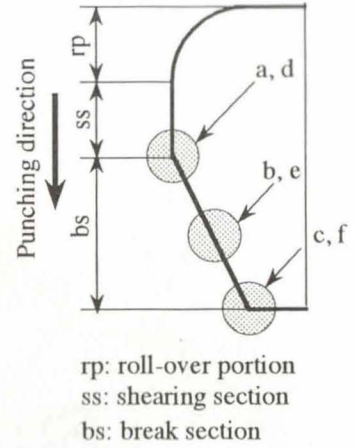
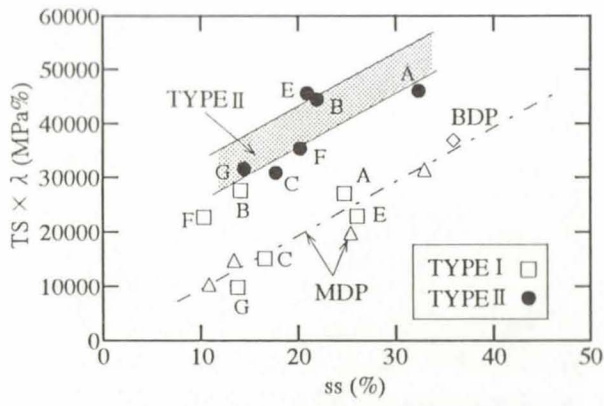


図8 強度・伸びフランジ性バランスとせん断面長さ

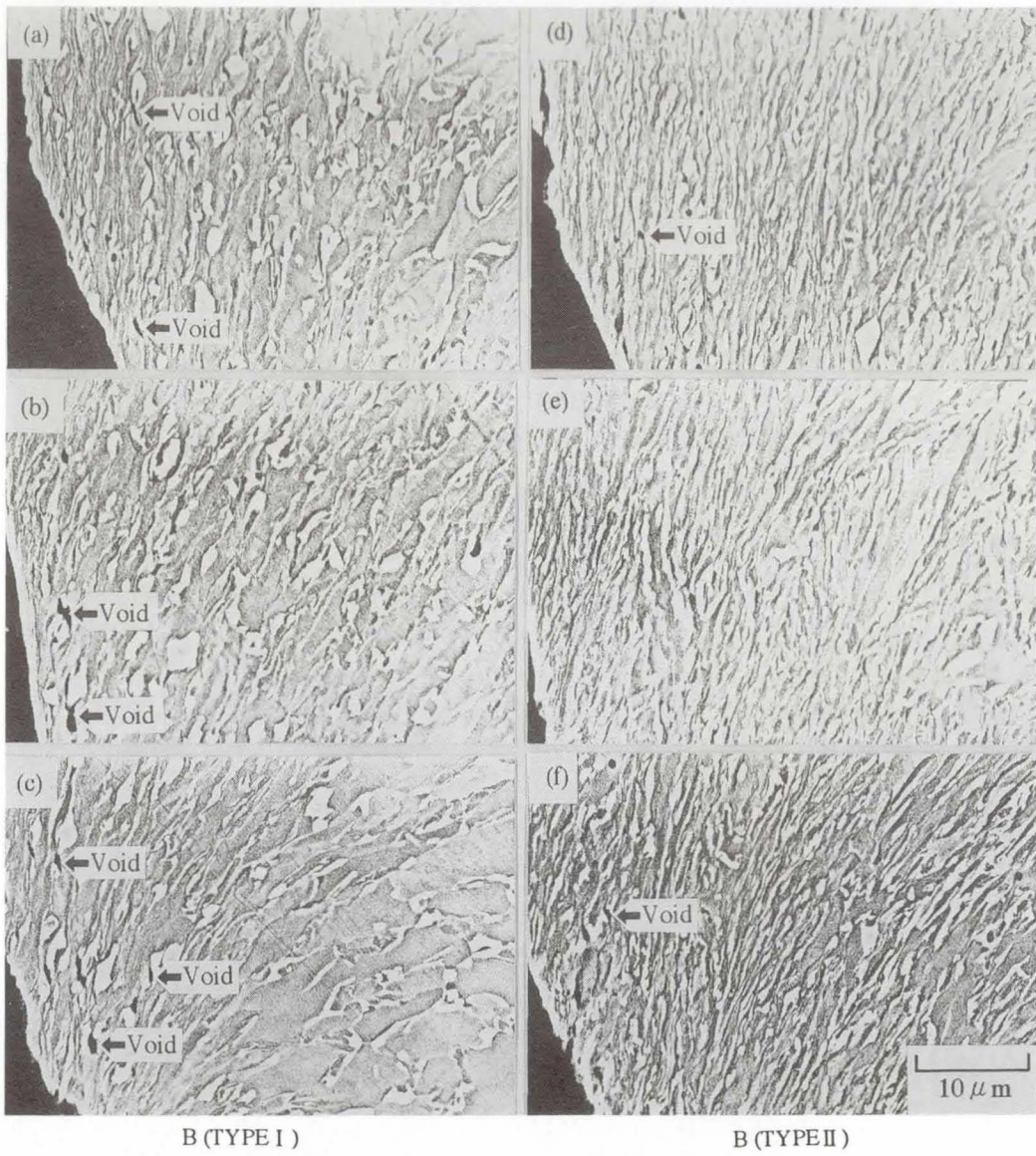


図9 破断面のSEM写真

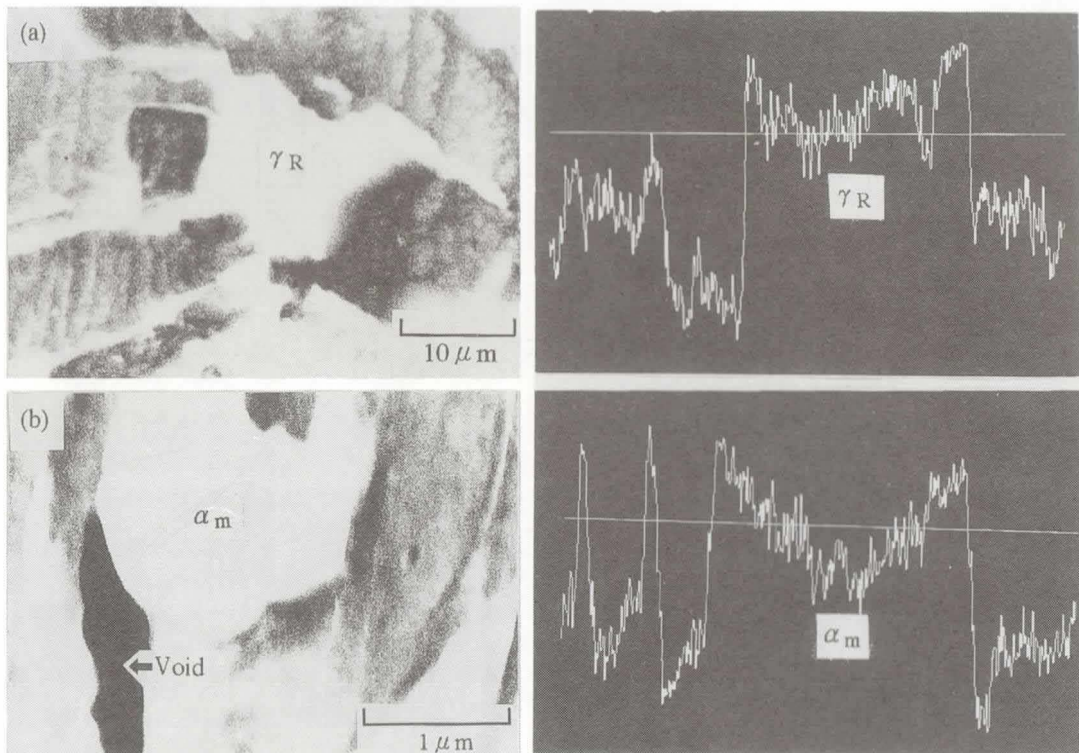


図10 SEMによる線分析写真

参考文献

- 1) V. F. Zackay et al.: Trans. ASM, 60 (1967), p.252.
- 2) K. Sugimoto et al.: ISIJ Int., 35 (1995), p.1407.
- 3) A. Nagasaka et al.: Proc. of 3rd Int. Conf. on HSLA Steels '95, Beijing, China, (1995), p.520.
- 4) 長坂明彦他: 鉄と鋼, 83(1997), p.335.
- 5) 長坂明彦: 長野高専紀要, 30(1996), p.31.