

討16 γ - α 変態域圧延による鋼の強靱化

新日本製鐵(株)生産技術研究所 工博 合田進
堺製鐵所 渡辺國男, 橋本嘉雄
八幡製鐵所 十河泰雄, 南田勝昭, 万谷興亜

1. 緒言

鋼の γ - α 変態域における加工は従来通常避けなければならないと考えられていたのに対し, 加工熱処理法の一つとしてその有用性が確認されて来た¹⁾²⁾。しかしながら, 制御圧延の延長と考えられた変態域圧延法では次のような問題点が指摘されている。①強度・靱性をともに高められない, ②変態域における強加工は強い集合組織形成の原因となり, セパレーションの増加, 吸収エネルギーの低下など好ましくない³⁾⁵⁾。このような変態域圧延法に対する異った評価は変態域で加工される α の組織変化の研究が不足していることに原因があると考えられる。以下われわれが, γ - α 変態域圧延中・後のフェライトの組織変化挙動の研究を回復抑制効果をもつNb, Vなどの添加元素のない普通鋼よりはじめて, 室内圧延実験による強靱化効果の確認および考察, ホットストリップミルへの適用例, 厚板圧延での実用化について報告する。

2. 変態域圧延材における組織上の特徴

2.1 変態域圧延中・後の α の組織変化

0.13% C - 0.34% Si - 1.32% Mn 鋼を用いて, 実験室圧延により変態域圧延中・後の組織変化を調査した。圧延条件は加熱1250°C×15 min, 圧延前730°C×30 min 保持し直後圧延, 圧下率は15, 30, 50, 80%に変えた。実験結果は次の通り。

(1) 変態域圧延中の α の回復挙動 圧下率15~50%で圧延直後焼入れた試料には α の回復組織が認められ, その程度(粒内に亜粒界が認められる粒の比率)は圧下率とともに増加する。

(2) 圧延後空冷した試料を700°C以下の温度で熱処理した場合, 変態域圧延材中の動的回復組織は極めて安定であることが組織および硬度変化から確認された(写真1)。

(3) 変態域で加工された γ から変態した α とパーライト組織は γ 単相域で圧延した場合よりはるかに細粒であり, このことが変態域圧延の優れた特徴の一つである。

以上は普通鋼の場合の実験結果であるが, Nb, Vなどの添加鋼においては回復が著しく抑制されるため, 回復を促進させる条件を選ぶ必要がある。

2.2 変態域圧延の集合組織

変態域圧延のもう一つの特徴として集合組織の発達がある。一例として, 0.11% C - 0.26% Si - 1.38% Mn 鋼をホットストリップミルで圧延したときの板厚中心層の(200)正極点図を図1に示す。ここで(a)は通常圧延材

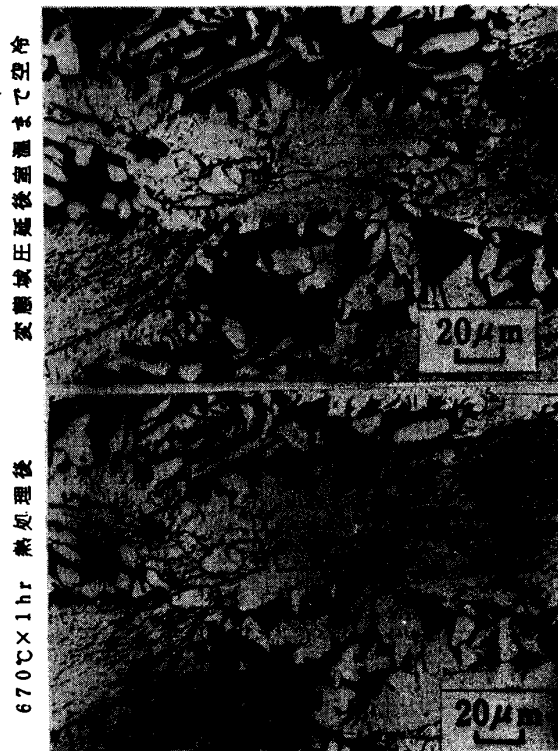
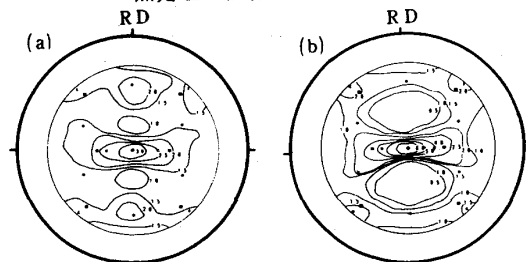


写真1. 変態域圧延材の回復組織およびその熱処理の影響



□ {110} <001> ◆ {100} <011> ○ {311} <011>
■ {211} <011> ● {554} <225>

図1. 圧延材の{200}極点図(板厚中心部)

(FT805℃), (b)は変態域圧延材(同715℃)である。変態域圧延材の集合組織は板厚中心で特に強く、優先方位は{100} <011>を中心に圧延方向を軸として±35°回転した繊維組織である。しかし、ホットストリップ変態域圧延材の機械的性質の面内異方性はそれほど大きくない⁶⁾。

3. 材質制御における製造要因の影響

3.1 強靱化効果の検討

2.1に用いたSi-Mn系普通鋼について室内圧延実験により以下の諸要因の影響を調査した。

(1) 加熱温度 加熱温度低下とともにYPは上昇し、vTrsはとくに1100℃以下で-100℃以下となり靱性の改善効果は大きい。

(2) γ域圧延温度 低温になるほどvTrsは低下する。

(3) 変態域圧延温度 圧延後冷却途中600℃に保定すると、室温まで空冷材に見られる低温圧延による強度の上昇は小さくなる。一方、vTrsは変態域圧延になると大幅に改善されるが、さらに温度が低下すると再び上昇する(図2)。

(4) 変態域圧延圧下率 従来圧下率を増すとvEoが低下することが指摘されているが、この実験結果では30%まで減少しない。圧下率とともにvTrsが低下する点は従来の結果と一致している。

(5) 圧延後熱履歴 ホットストリップミルへの適用を考えた圧延後空冷途中の熱処理の影響は図3に示す通り、650

~700℃保持の場合強度・靱性ともに低下する。また、600℃から500℃まで低下するとYP、TSともに上昇する。一方、圧延後空冷材の焼もどし温度と強度・靱性の関係は冷却途中保持の場合と同じである。

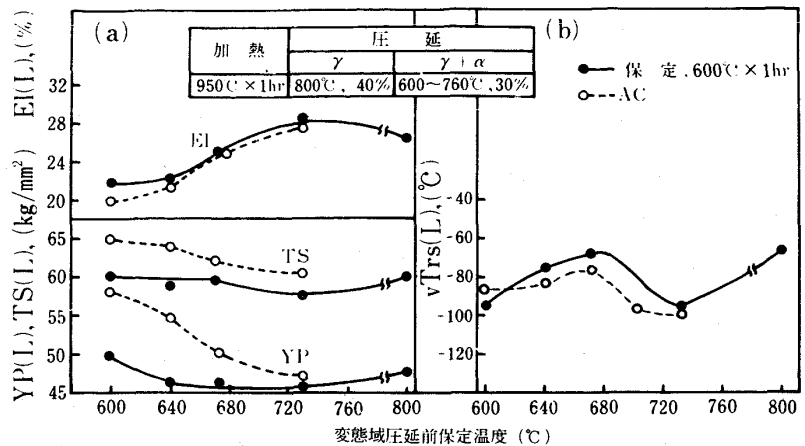


図2. 引張試験, シャルピー試験値と変態域圧延温度の関係

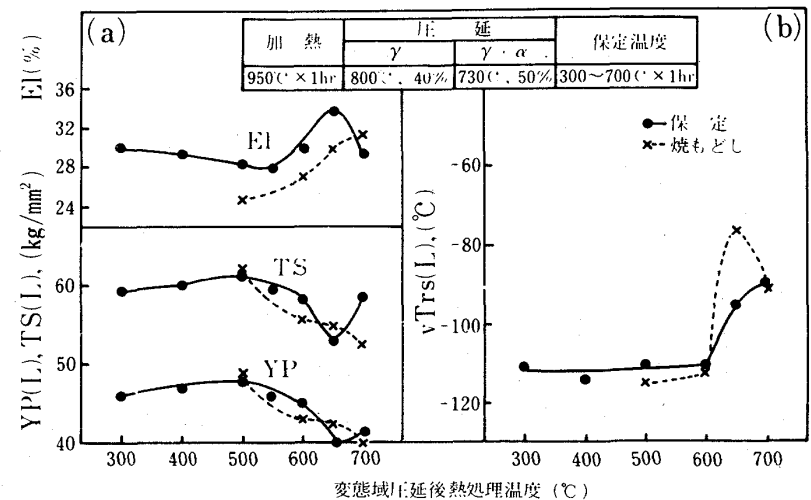


図3. 引張試験値, シャルピーvTrsと圧延後熱処理温度の関係

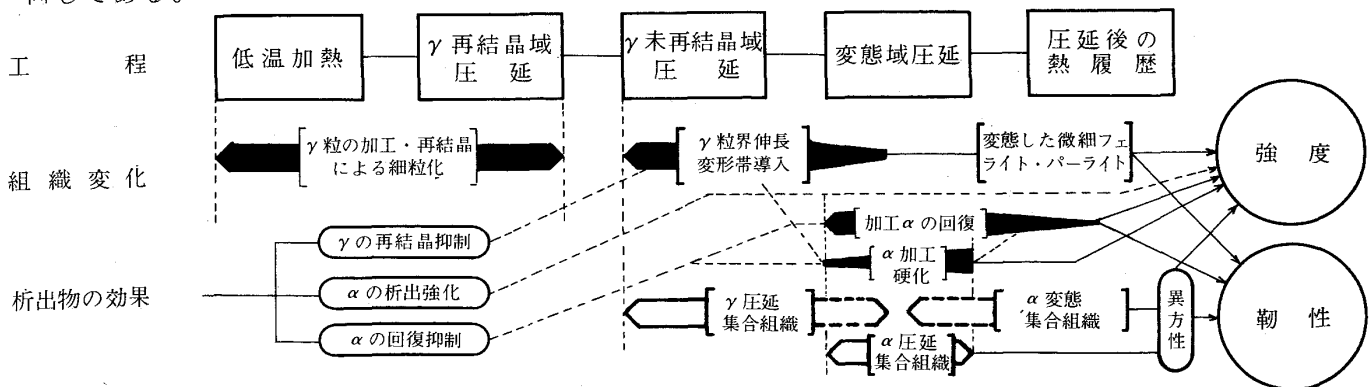


図4. 変態域圧延材の強靱化機構

3.2 変態域圧延の強靱化機構

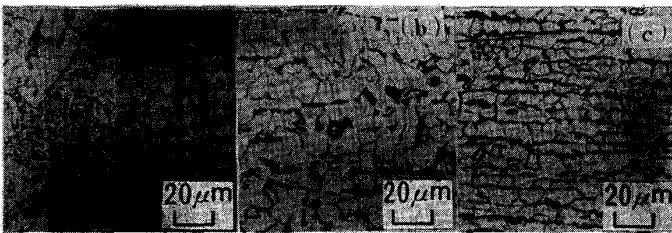
変態域圧延の強靱化機構を製造工程と強度・靱性を支配する組織変化と関連づけて図4に示す。変態域圧延の材質的特徴は変態域で加工される α の加工硬化と回復(再結晶)および変態 α -パーライトの微細化の程度とそれぞれの体積分率によって決まる点にある。

4. ホットストリップミルへの適用

表1に示す化学成分を有する鋼を転炉溶製、造塊、分塊圧延、低温加熱-変態域圧延後、600℃で捲取り、板厚9.0mmのホットコイルを製造した。ホットコイルはAPI 5LS-X52を目標としたスパイラル鋼管に造管し、通常加熱-通常圧延材、低温加熱-通常圧延材とパイプ材質で比較した。YP, vTrsは図5に示すように変態域圧延材のみがX52の規格を満足し、良好な低温靱性を有していることが明らかである。顕微鏡組織は写真2に示すように微細 α とパーライトであり、これが変態域圧延材の強靱化の原因となっている。

表1 供試鋼化学成分 (wt% *チェック分析値)

C	Si	Mn	P	S	Al	REM
0.16	0.088	1.03	0.020	0.008	0.017	*0.012 ~0.025



通常加熱-通常圧延 低温加熱-通常圧延 低温加熱-変態域圧延
写真2. 加熱・圧延条件による顕微鏡組織の変化

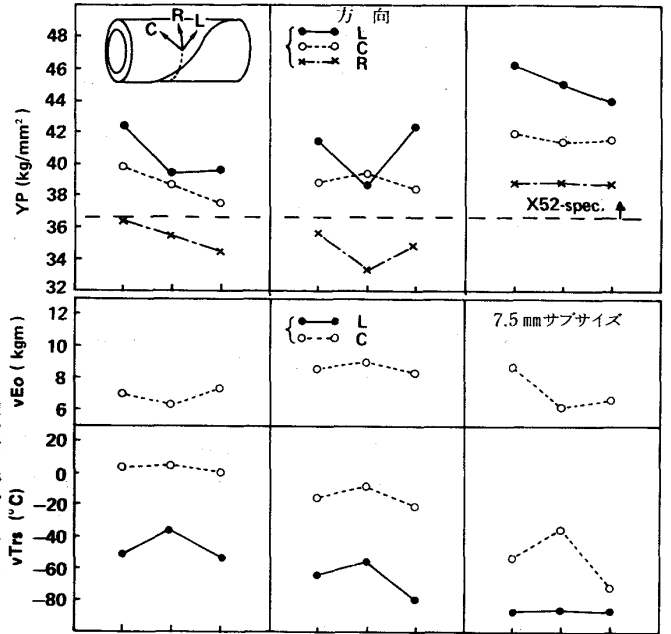


図5. スパイラル鋼管母材部の降伏点とシャルピー試験値

5. 変態域圧延法(NIC法)による厚板の製造

本プロセスでは高強度化と高靱化がはかれるが、これらの効果は厚板における低 C_{eq} 化に伴う溶接性の改善と優れた低温靱性の保証に結びつけられる。そこで表2に示すSi-Mn鋼高張力厚板を試作し、変態域圧延厚板材の特性を調査した。スラブ加熱は1100℃とし圧延条件および板厚の変化と材質変動との関係を求めた。

図6に変態域圧延での噛み込み温度が材質におよぼす影響を示す。 A_{r3} 点近くの温度を除くとかなり広い温度域で材質は安定している。また変態域での圧下率も40~80%の範囲で材質への影響はあまり大きくなかった。図7に本法による試作鋼板の材質板内分布の調査結果を示すが、熱処理材と匹敵する均一性が得られている。図8は板厚と材質との関係を焼準材と比較してまとめたものである。変態域圧延材の強度は焼準材のそれに比して約5Kg/mm²程度高目であり、vTrs

表2 供試鋼化学成分 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Al
0.14	0.43	1.40	0.017	0.004	0.03

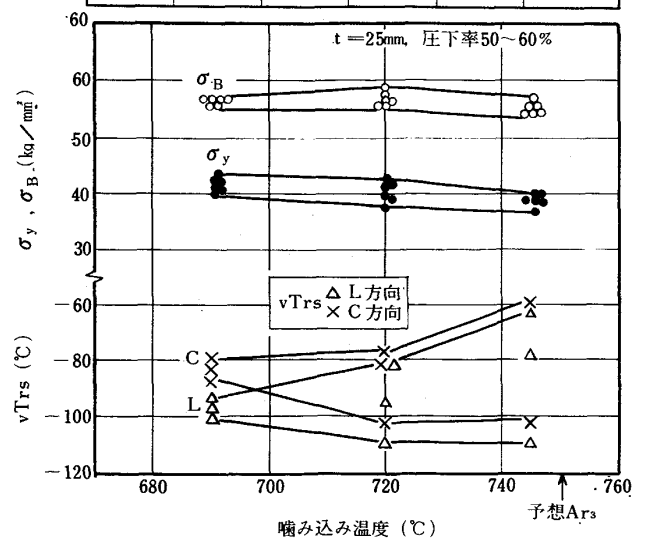


図6. 材質と噛み込み温度の関係

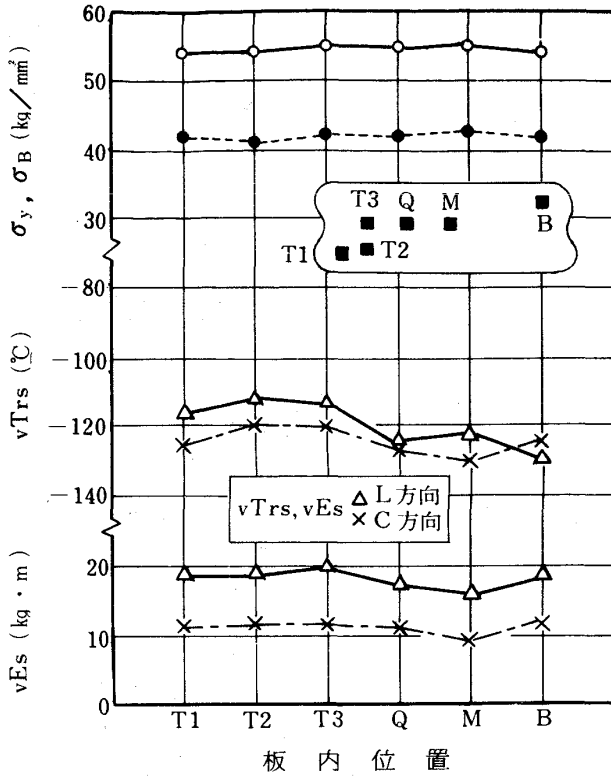


図7. 材質の板内分布

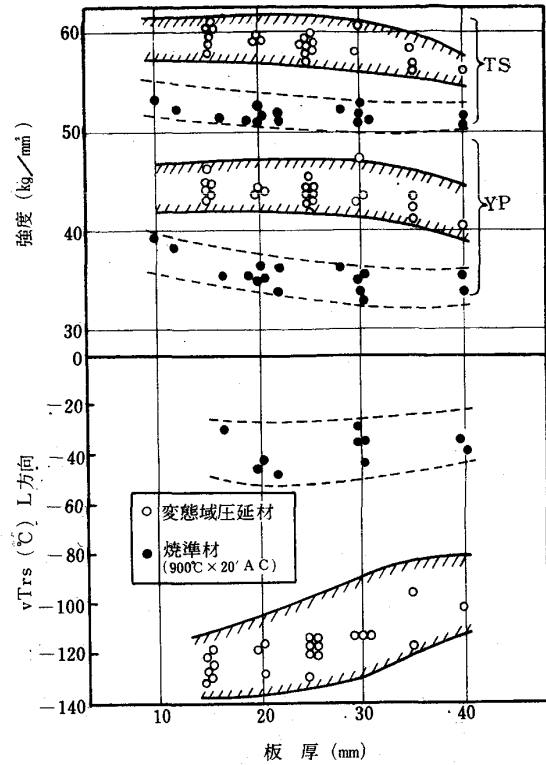


図8. 材質におよぼす板厚の影響

は 50 ~ 70 °C くらい低くなっている。また板厚の影響も 10 ~ 40 mm の範囲で焼準材における場合と大差ない。

以上の結果は実験室圧延から予想された如く、現場の厚板ミルにおける多パス圧延でも適正な温度領域と適量の累積圧下の組合せで強度と靱性の向上をはかれることを示している。これらの結果に基づき従来工程材より大幅に低 C_{eq} 化した溶接性高張力鋼や低温用鋼の変態域圧延法 (NIC法) による製造体制を確立した。

6. 結言

変態域圧延法は鋼の強靱化をはかる加工熱処理法として、ホットストリップミル、厚板ミルにともに有効に利用でき、成分元素 (特に Nb, V などの析出強化元素) の節減, 溶接性の向上, 材質の均一性の向上などの特徴・利点をもつ圧延法である。

参考文献

- 1) 合田ら: 鉄と鋼, 65 (1979), No.9 掲載
- 2) 合田ら: 同上, 64 (1978), S341, S342, S804, S829
- 3) 田中ら: 川鉄技報, 6 (1974), P.522
- 4) 田中ら: 鉄と鋼, 61 (1975), S672
- 5) Speich et al: The Hot Deformation of Austenite, ed by Ballance (1977), P.557 (AIME)
- 6) 合田ら: 鉄と鋼, 65 (1979), S480