

討20

複合組織型鋼板の引張特性プレス成形時の形状性
および深絞り成形後の靱性と組織との関係

(株) 神戸製鋼所 中央研究所 ○須藤正俊 東 正則

大木継秋 堀 広巳 柴田善一 神戸章史

1. 緒 言

自動車の燃費向上と安全対策の一環として車体用鋼板の高強度化が試みられていたが、プレス成形性のすぐれた高強度鋼板として高 r 値型P添加アルミキルド鋼板、低降伏比型複合組織型鋼板が開発されたことを契機にその車体用鋼板への適用が本格化してきている。本報告においては複合組織型鋼板が優れた成形性を有する金属学的機構¹⁾について簡単に触れたのち、ユーザーの立場から問題となるプレス成形時の形状性および成形品の靱性と冶金学的因子との関係についてえられた知見を簡単に記す。

2. フェライト-マルテンサイト複合組織型鋼の引張特性と冶金学的因子との関係

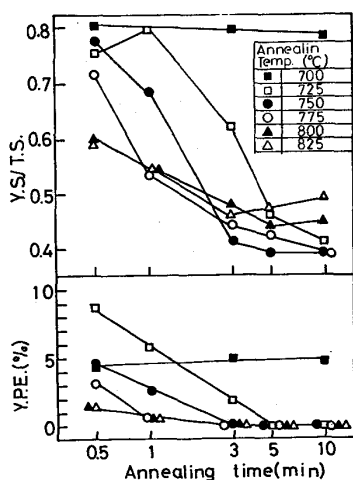
フェライト-マルテンサイト複合組織鋼(F.M.鋼)の特徴は①降伏比(Y.S./T.S.)が低い、②降伏点伸び(Y.P.E.)が消滅する、③強度-伸びバランスが良い、²⁾ことにある。このうち①、②が生じる機構について、Mn, Cr量の異なる4鋼種を主供試材(表1)として検討を加えた。

ソルトバスによる急熱焼鈍時の温度および時間と空冷(約10℃/s)後の特性との関係を調べた。焼鈍温度が高くなるにつれて、短時間の焼鈍で降伏比は低下し、降伏点伸びは零となる傾向(図1)にある。焼鈍時間と冶金学的因子との関係をみると、長時間になるにつれて加熱時のオーステナイト量は増加し、フェライト中の固溶炭素量は減少する。これに伴い空冷(A.C.)後の第二相量も増加(図2)する。

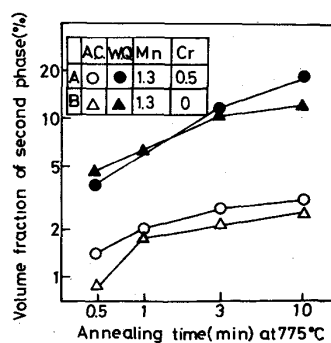
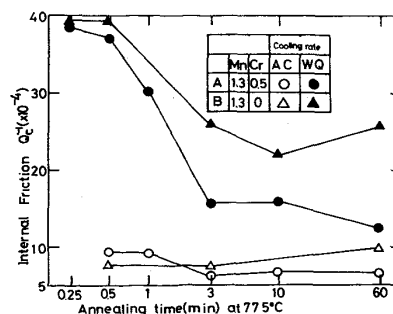
以上の結果に基づき降伏比および降伏点伸びの変化を第二相の種類、量および固溶炭素量(内部摩擦値 Q_c^{-1})との関係から説明を試みる。降伏比は第二相量の関数であり、2~10%の体積率のときに低降伏比となるが、同一第二相量ではCr無添加鋼Bの降伏比は高い。降伏比と Q_c^{-1} との相関関係は本実験範囲内では小さい。ただし水冷(W.Q.)材の降伏比が高いことから、 Q_c^{-1} は小さいことが望ましい(図3)。降伏点伸びも第二相量の関数であり、鋼Aでは第二相量が約2%以上、鋼Bでは約10%以上で零となる。第二相を顕微鏡観察し、マルテンサイトとベイナイトに分離し、マルテンサイト量と降伏点伸びあるいは降伏比との関係に直すと

表1 供試材化学成分(wt%)

	C	Si	Mn	P	Cr	Al
A	0.06	tr.	1.23	0.05	0.48	0.02
B	0.06	tr.	1.30	0.05	tr	0.02
C	0.06	tr.	2.25	0.05	0.49	0.02
D	0.05	tr.	1.24	0.04	0.94	0.02

図1 焼鈍温度、時間と降伏比、
降伏点伸びとの関係

全鋼種の結果が同一線上にくる。

図2 775℃における焼鈍時間と第二相量(a)
および内部摩擦値(b)との関係

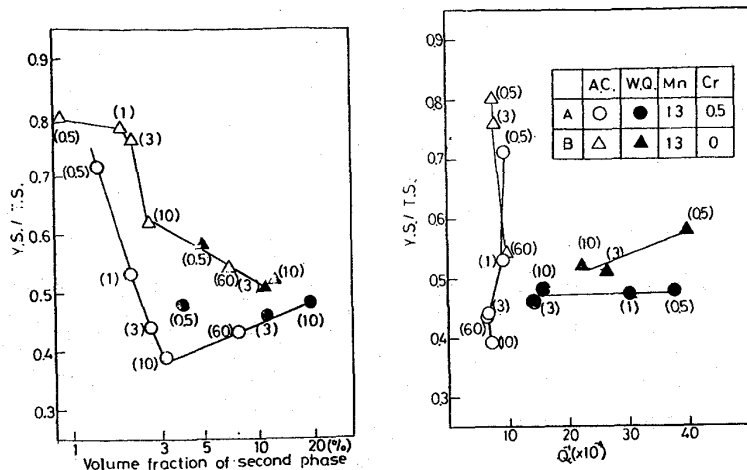


図3 降伏比と第二相量 (a) および Qc^{-1} (b) との関係

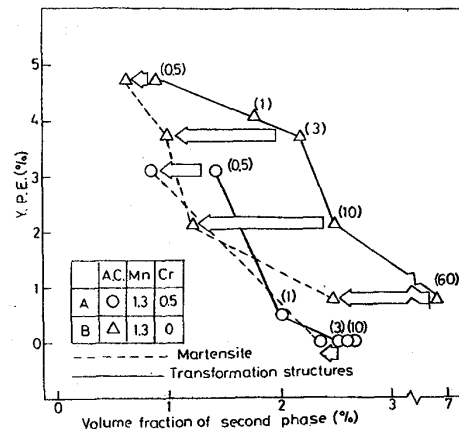


図4 第二相の量および種類と降伏点伸びとの関係

3. しわの発生・成長・消去挙動および形状凍結性と材料特性との関係

高強度鋼板をプレス成形するさい、破断による成形不良以外にしわ、たるみあるいはそり等の不良現象が問題となってくる。ここではしわの発生・成長・消去および形状凍結性などの不良現象におよぼす材料特性の影響を調べた。供試材は固溶強化型、析出強化型および変態強化型高強度鋼板に r 値の異なる軟鋼板を加えた計 12 種の板厚 0.2mm の薄鋼板である。実験方法を表 2 にまとめる。しわの発生・成長は不均一引張、⁸⁾ その消去は平底ポンチ張出しを採用し、しわ形状 h/l および肉あまり量 Δl により評価した。また形状凍結性は円錐台成形品のオーバーハング部のそり量 Δh により評価した。

不均一引張り時の引張り歪量に対する h/l および Δl の変化の傾向は材料により異なり、低歪域での順位が高歪域での順位に必ずしも一致するとは限らないが、F.M. 鋼板は固溶強化型および析出強化型高強度鋼板にくらべ h/l の値は小さくなる傾向にあり、また低降伏比、高 r 値の鋼板は h/l が最小となっている。不均一引張り歪量 1% のときの h/l および Δl と降伏応力、降伏比、 n 値、 r 値との関係を見ると、F.M. 鋼板と他の鋼板とでは各特性値と h/l および Δl との相関は異っているが、降伏比が低く、 r 値、 n 値の大きい材料ほどしわが軽度になる傾向 (図 5) にある。しわの抑制に対して降伏強度の低い材料が望ましいといわれているが、本実験ではその傾向は認められなかった。しわの成長に対して降伏比が影響をおよぼす理由、降伏応力との相関が弱い理由は明らかでない。

表 2 しわの成長・消去および形状凍結性に関する実験条件

	Tools	Tool Dimensions	Forming Conditions	Evaluation
Growth of Wrinkle		$r_c: 10 \text{ mm}$	Blank Size: $110 \text{ mm}^2 \times 0.2 \text{ mm}^t$	h/l
Removal of Wrinkle		$D_p: 50 \text{ mm}$ $r_p: 3 \text{ mm}$ $D_d: 52.4 \text{ mm}$ $r_d: 5 \text{ mm}$	B.H.F. : 7 ton Lubricant: Polyethylene	$\Delta l = l_1 - l$
Shape Fixability		$D_p: 33 \text{ mm}$ $r_p: 45 \text{ mm}$ $D_d: 52.4 \text{ mm}$ $r_d: 3 \text{ mm}$	B.H.F. : 7 ton Lubricant: Polyethylene	Δh

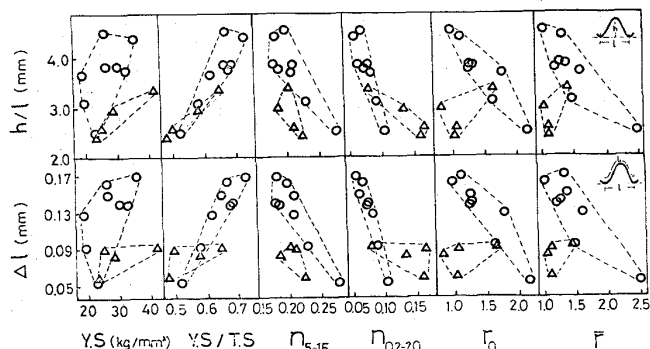


図5 しわの成長挙動におよぼす材料特性の影響

一方しわの消去過程についても、ポンチストロークと h/ℓ との関係は材料により異なる。フェライト-パーライト型(F.P.)鋼板はポンチストロークの増大に伴い h/ℓ は勾配の変化を伴わず直線的に消失していくが、析出強化型、固溶強化型鋼板は消去後期においてその勾配がゆるやかになり消失にいたる。 $\Delta\ell$ もほぼ h/ℓ と同様な変化傾向を示す。しわの消去に必要なポンチストロークと材料特性値との関係(図6)から、しわの消去に対しては低歪域での応力が効いており、降伏点から歪2%程度までの応力の低い材料がしわの消去されやすい材料といえそうである。

形状凍結性については、いずれの材料もポンチストローク(h)が大きくなるに従って Δh は大きくなるが、その勾配は材料により異なり降伏比の小さいF.M.鋼板は他の強化鋼板にくらべ勾配が急である。 h の小さいところでは Δh は降伏応力の増大につれて増加する傾向にあるが、 h が大きくなるとその傾向はくずれてくる。一方 Δh と抗張力との関係は、 h が大きくなるにつれてその相関が強くなり、抗張力の増大につれて Δh が増加する傾向にある。要約すると材料の形状凍結性の指標としてのそり量は変形を加えたときの応力によって決り、変形応力の小さな材料が形状凍結性にとって有利である。このことから複合組織型高強度鋼板は変形量の少ない成形品の形状凍結性には適しているといえる。

4. 深絞り成形品の靱性と冶金学的因子との関係

高強度鋼板のプレス成形条件は苛酷なものとなっており、薄物とはいえ低温靱性についても一応留意する必要がある。深絞り成形後の靱性と材料特性値、あるいは強化機構との関係を調べ、さらに低強度鋼板でえられた知見⁴⁾との比較検討も行なった。

二段絞り成形容器(ブランク径80mm ϕ 、容器径38mm ϕ)の絞り比2のところから低絞り側に10mm幅のリングを切りだし、1mm Vノッチを圧延方向につけてリング引張り試験を行ない、脆性破面率が50%となることを遷移温度($vTrs$)とした。本方法により求めた遷移温度は高強度あるいは低延性になるにつれて高温側へ移行する。しかしながらその依存性はあまり強くなく、遷移温度と強度、切欠き伸びとの重相関をとると1%で有意がえられた。同一強度で比較すると大多数のF.M.鋼はベイナイト鋼(B)鋼にくらべて高い遷移温度をもつが、なかに2点ほど例外があり(図8)、高靱性を有するF.M.鋼を製造しうることが示唆された。

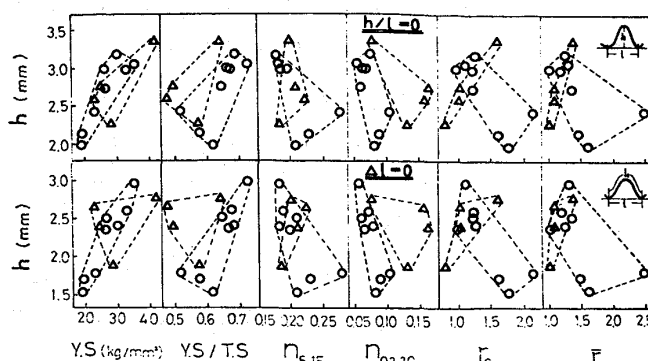


図6 しわの消去するポンチストローク(h)におよぼす材料特性の影響

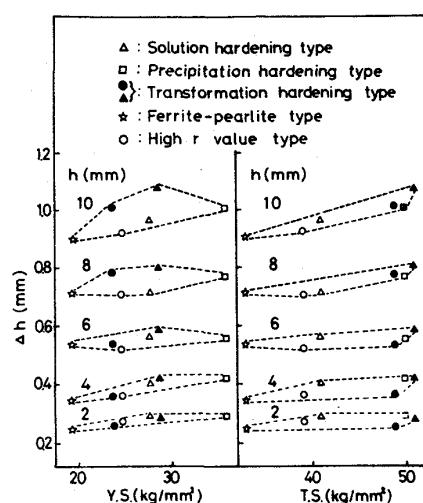


図7 そり量(Δh)と降伏応力(a)および抗張力(b)との関係

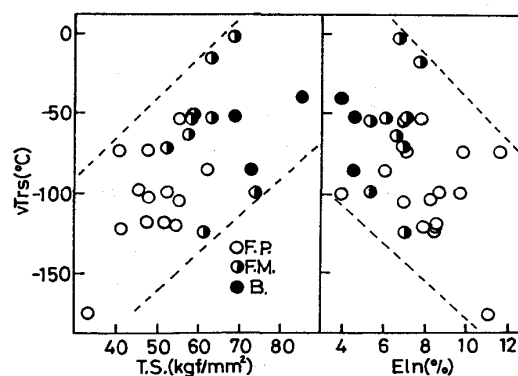


図8 深絞り成形品の遷移温度と抗張力および切欠き伸び(Eln)との関係

F.M.鋼のうち低い遷移温度を示すのはNb, Mo添加鋼であり、他鋼種にくらべて細粒であることが第1の特徴である。そこで粒径と遷移温度の関係をみると(図9)、F.M.鋼では細粒になるにつれて遷移温度は低下する傾向にある。一方F.P.鋼および熱延板脱炭処理を行ないパーライトが存在しない鋼(D)では遷移温度の粒径依存性は認められず、本実験範囲内では粒径以外に靱性を支配する因子があることになる。

そこで第二相分散状態を示す簡便な指標としてマルテンサイト体積率を粒径で割った値(M.V.F./G.S.)と遷移温度との関係を求めると良い相関関係がえられ、マルテンサイトを微細に分散させることが靱性向上に有効である(図10)ことが示された。破面単位と遷移温度との関係もF.P.鋼とF.M.鋼では見かけ上逆の傾向(図11)にある。F.P.鋼においてはSi量の悪影響が顕著なためであろう。

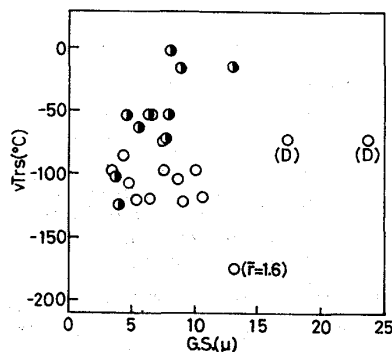


図9 深絞り成形品の遷移温度と粒径との関係

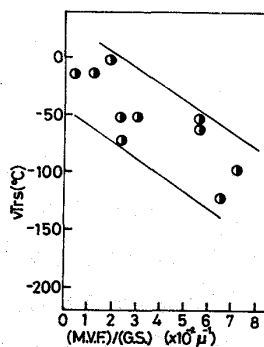


図10 深絞り成形品の遷移温度と(M.V.F./G.S.)との関係

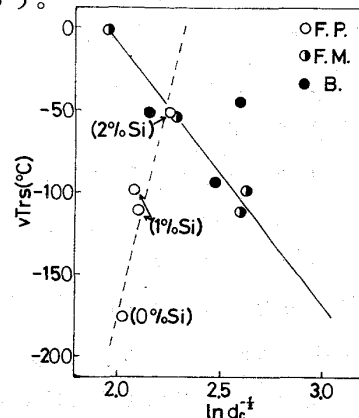


図11 深絞り成形品の遷移温度と破面単位(d_c)との関係

5. 結 言

高強度鋼板の引張特性、プレス成形時の形状性、深絞り成形後の靱性について、複合組織型鋼板に主眼をおき、従来鋼板と比較しつつ調査を行ない次の結果をえた。

- 1) 複合組織型鋼板の優れた特性をうるためには第二相をマルテンサイトとし、その量を2~10%とすることが必要であり、またフェライト中の固溶炭素量をできるだけ少なくすることが望ましい。
- 2) しわは、降伏比が低くr値、n値の大きい材料ほど成長しにくく、低歪域での応力の低い材料ほど消去されやすい。形状凍結性は変形応力の小さな材料が良好である。したがって複合組織型鋼板は低歪域で発生するこれらの不良現象に対して有利であるといえる。
- 3) 複合組織型鋼板の深絞り成形品の靱性はベイナイト鋼よりも若干劣る恐れがあるが、マルテンサイトを微細に分散させると靱性は向上する。フェライトーパーライト鋼の靱性はパーライトの分散状態よりも強化元素の種類に依存し、Si量が増加すると靱性は急激に悪くなるが、Nbによる析出強化はあまり悪影響を与えない。

参 考 文 献

- 1) たとえば、武智；塑性と加工 21, (1980-2), 109
- 2) 大木、柴田、須藤；鉄鋼協会第100回講演大会発表予定
- 3) 石田、杉森、牧野内、吉田；理研報告 49, (1973), 79
- 4) 小久保、大木、柴田、須藤；24回塑加連講論 (1973), 149