

討21

自動車外板用新冷延二相鋼の特性

日本鋼管(株)技術研究所

○西本昭彦 細谷佳弘

工博 中岡一秀

1 緒 言

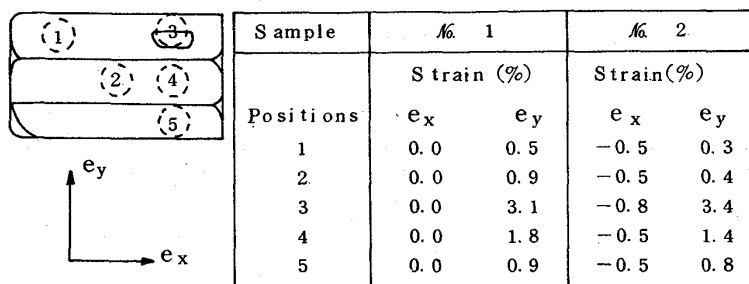
安全性および軽量化による燃費軽減の観点から、高強度薄鋼板が使用されてきたがまだ種々な問題点がある。ここでは外板 (Outer Panel) 用冷延鋼板を取り上げるが、現在のところ外板用高張力鋼板は箱焼鈍によるTS40キロ級のP添加鋼が主流になっている。しかしP添加鋼においてもプレス成形時に発生する面歪が十分に解決されず、耐デント性に反する方向すなわち強度を下げる対応で処理されることもある。外板用材料に必要なとされる材料特性についての定量的見解は研究者によって異なるものと思うが、次のような考えにもとずき、外板用として新しい高強度冷延鋼板の試作をおこなった。

2 自動車外板用鋼板として必要な特性

外板に高強度材を使用する主目的の耐デント性の向上は成形後の降伏強度に比例すること、一方プレス前の降伏強度は低い方が面歪の発生の少いことが認められている。プレス時の加工硬化によって降伏強度は上昇するが、Fig. 1 に示すように加工歪量は成形品の場所によって異なり、その変形量も非常に小さい場所が多い。そのため加工硬化だけで全ての場所での耐デント性の向上を期待するのは困難である。しかし、P添加材の事例から考え、平均的には2%歪で焼付塗装後30 kgf/mm²以上の降伏強度があれば満足できるものと推定される。また、プレス成形前の鋼板の降伏強度は面歪防止の観点から低い方が好ましいが、24 kgf/mm²以下であれば問題は解決できると考えられる。外板にも深絞り加工の部分と伸びフランジ変形を受ける部分が共存する部品があり、深絞り性は $\bar{r}$ 値が高いことが好ましいことは言うまでもないが、剪断縁の伸びフランジ性はFig. 2¹⁾に示すように軟質冷延鋼板の場合²⁾と同様に $\bar{r}$ と強い相関を持つ。 $\bar{r}$ 値は軟質材の例から考え1.5程度あれば外板用材料として一応満足できると考えられる。外板用鋼板としての重要な特性に耐時効性があり、軟質材においてもストレッチャーストレインの防止が重要であった。これら軟質材の例から、38℃×8日間の時効で降伏点伸びが0.5%未満であることが一応の目安と考えられる。

3 製造方法の考え方

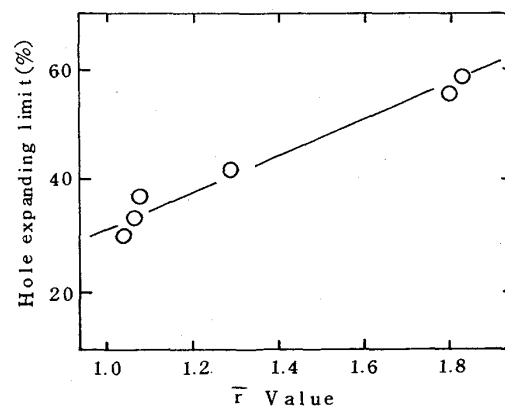
成品の強度上昇には焼付硬化 (BH)性の付与が効果的であるが、単に固溶Cを残すと常温時効を起す。そこで以前に報告^{3) 4)}した二相組織による遅時効化の考え方を利用する。水焼入連続焼鈍法を利用すれ



Tensile properties of samples

Sample	YS Kgf/mm ²	TS Kgf/mm ²	Comment
No. 1	24.1	40.5	Rephosphorized Steel
No. 2	17.3	32.1	Al-killed Steel

Fig.1 Strain of formed door outer

Fig. 2 Relation between $\bar{r}$ value and hole expanding limit

ば、低成分系の鋼を容易に二相組織にすることができ、更に r 値を高める手段としては熱延高温巻取材を高温で連続焼鈍する方法⁽⁵⁾が利用できる。

Table 1. Chemical composition and thickness

Steel	Composition (wt %)							Thickness(鋼)	
	C	Si	Mn	P	S	sol. Al	N	Hot	cold
1	0.04	0.01	0.16	0.010	0.015	0.046	0.0048	2.8	0.6
2	0.04	tr	0.18	0.018	0.020	0.030	0.0053	2.8	0.6
3	0.03	tr	0.16	0.018	0.003	0.042	0.0039	3.2	0.8
4	0.03	tr	0.16	0.037	0.003	0.029	0.0026	3.2	0.8
5	0.03	tr	0.16	0.054	0.003	0.038	0.0029	3.2	0.8

4. 実験方法

供試材はTable 1に示す成分の熱延鋼板でSteel 1と2は現場で700℃で巻取られたもの、Steel 3、4、5は実験室溶解材で、

700℃巻取りをシミュレーションしたものである。これら熱板板を実験室圧延機で冷延(約75%)し、ソルトバスを用いFig. 3に示す熱サイクルで処理した。これらの試料は r 値の測定以外は圧延直角方向に切断し、実験室圧延機で1%の調質圧延を施しその直後と38℃×8日間の時効処理後引張り試験を行った。成形後のBH性を評価するため、調質後の試料に2%の引張り予歪を与えた後170℃×20分の時効処理を施し引張り試験を行った。

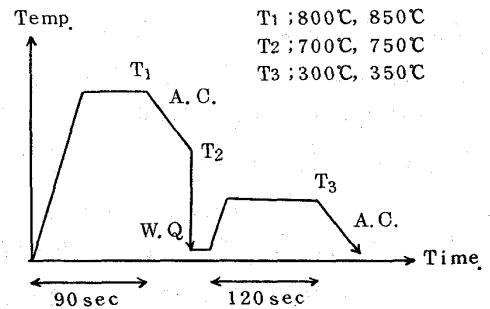


Fig. 3 Heat treatment cycles

5. 実験結果および考察

Photo.1に顕微鏡組織の代表例を、Table 2に機械的性質の代表例を示す。Photo.1から第二相の焼戻マルテンサイトの量は焼入温度 T_2 によって変化し、また T_1 から T_2 への空冷間での $r \rightarrow \alpha$ の相変化で、 r 相の中にも α 相が発生するため、マルテンサイトの形態が群落状になることがわかる。この形態の変化は T_1 と T_2 の差が大きいほど顕著になる。Table 2の熱サイクルは T_1 、 T_2 、 T_3 とも全て高い例と全て低い例を示してあるが、この条件の中にも降伏強度(0.2% off set)が24 kgf/mm²以下、全伸びが40%以上、 r 値が1.5以上で、常温遅時効でありながらBH性がある鋼板が得られる場合がある。特に、38℃×8日間の時効で降伏点

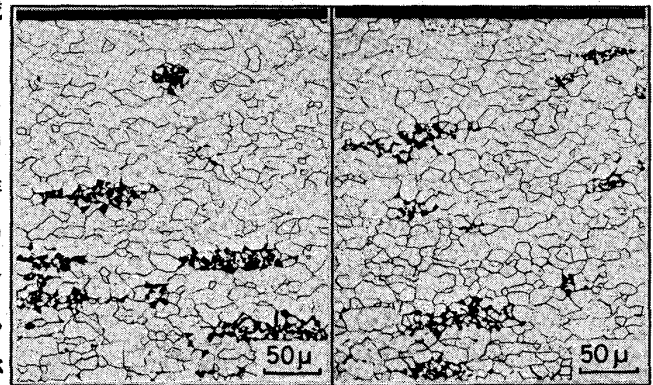


Photo 1. Microstructure of steel 1

T_2 : 850°C, T_3 : 350°C

T_2 : 750°C (Left), 700°C (Right)

Table 2. Examples of mechanical properties *1

	After temper rolling (1%)							After 38℃×8 days				After baking *2		
*3 Sample	YS kgf/mm ²	YPel %	TS kg/mm ²	El %	YR %	n 6-12%	$\bar{r}$	YP kgf/mm ²	YPel %	TS kgf/mm ²	El %	YP kgf/mm ²	YP el %	Δ YP kgf/mm ²
1 - A	24.3	0	37.2	41.0	65	0.199	1.48	24.3	0	36.7	39.8	31.9	1.3	7.6
1 - B	24.0	0	35.4	41.9	68	0.201	1.48	25.4	0.1	35.7	41.4	31.8	1.4	7.8
2 - A	22.6	0	36.1	40.7	63	0.187	1.55	22.3	0	36.0	40.3	31.2	1.2	8.6
2 - B	21.5	0	34.9	42.1	62	0.210	1.44	25.3	0	35.1	41.0	30.8	1.8	9.3

*1 JIS 5 test piece, transverse to the rolling direction, thickness 0.6 mm

*2 2% plastic tensile prestrain and baking at 170℃ for 20 min

*3	T_1	T_2	T_3
A	850℃	750℃	350℃
B	800℃	700℃	300℃

伸びの回復はほとんどなく、第二相の降伏点伸び発生に対する抑制効果が大きいことが認められる。

降伏強度、全伸び、 $\bar{r}$ 値およびBH性等の材料特性に対する熱サイクルの影響を見たのがFig.4である。Fig.4-a※から、調質圧延直後の降伏強度は焼戻温度 T_3 の高い方が低く、 T_1 にはほとんど影響されない。これは降伏強度が結晶粒径よりもフェライト中の固溶Cによる固溶硬化と後述する第二相の量に依存する割合が大きいと考えられる。全伸びは降伏強度の影響を受けるため T_3 に大きく左右されるが、 T_1 が高い方が若干ながら良い傾向を示し、結晶粒の影響を示唆している。

Fig.4-bから $\bar{r}$ 値は加熱温度 T_1 が高い方が良く、焼入温度 T_2 にはほとんど影響されないことがわかる。 T_1 の影響は高温焼鈍による粒成長により $\bar{r}$ 値に好ましい方位の粒の存在比率が高まることによる。また、850℃の熱サイクルについては降伏強度と $\bar{r}$ に逆相関が認められる。これは低強度側の素材の粒成長がよくなるためと推定されるがその理由は不明である。

Fig.4-cは加熱温度 T_1 を850℃に限って、降伏強度と2%予歪後のBH性について焼入温度 T_2 と焼戻温度 T_3 の影響を見たものであるが、この図から焼入温度 T_2 が低い方が降伏強度が低いことがわかる。この理由はPhoto.1からも明らかなように焼入温度 T_2 が低いと第二相のマルテンサイトの体積率が小さいためである。また、焼戻温度 T_3 の影響についてもFig.4-aと同じである。2%予歪+BH(4σ)に対する焼入温度 T_2 の影響はほとんどなく、焼戻温度 T_3 の影響が認められ T_3 の低い300℃の4σが約1 kgf/mm²ほど大きい。これは固溶C量に T_3 の温度と時間が大きく影響するためであることは言うまでもない。

これらの低成分系の鋼における2%歪の加工硬化量 σ_{WH} と170℃×20分間の焼付硬化量 σ_{BH} の割合を調質圧延直後の降伏強

※(注)板厚0.6 mmの全伸びはOliverの式(実験にもとづき $n = 0.24$ として)を用いて板厚0.8 mmに換算した。

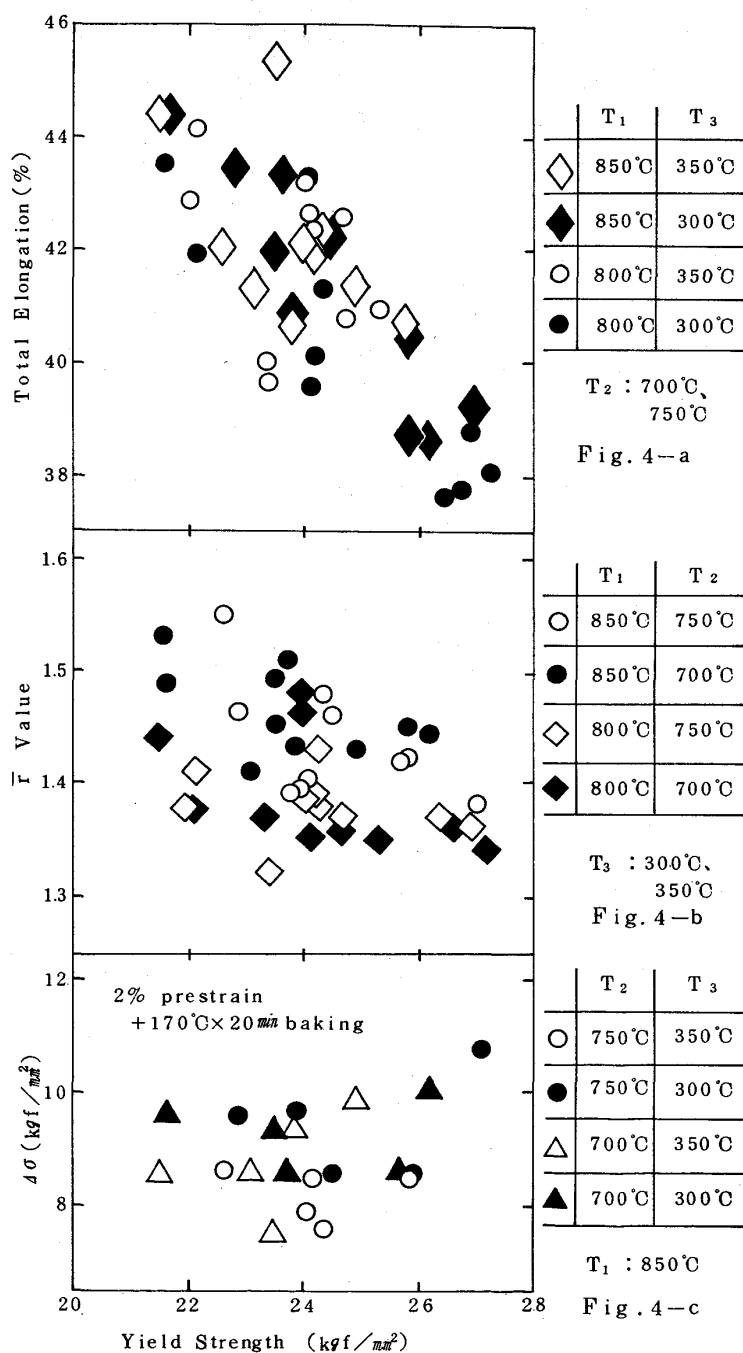


Fig. 4 Total elongation, $\bar{r}$ value and bake hardening as a function of yield strength after temper rolling

度に対して図示したのがFig.5である。この図から、降伏強度が 24 kgf/mm^2 以下では σ_{WH} と σ_{BH} はほぼ等しく、降伏強度が高いと σ_{WH} が小さく σ_{BH} が大きくなる傾向がある。しかし、 $\sigma_{WH} + \sigma_{BH}$ の量は降伏強度に関係なく、約 9 kgf/mm^2 である。したがってプレス前の降伏強度が 22 kgf/mm^2 の鋼板がプレス、塗装焼付後約 30 kgf/mm^2 以上の降伏強度となりうる。

Fig.5には 38°C 時効の結果も示してあるが、8日間では降伏強度の上昇はほとんどないといえる。

6. 現場試作結果および結言

以上の実験室での知見にもとづき、福山№2 CALで試作を行った結果をTable 3に示す。熱サイクルとして、厳密にはFig.3と異なるが、 T_1 、 T_2 、 T_3 に相当する温度を同表に併記した。この熱サイクルの影響は実験室の結果とはほぼ同じ傾向を示している。この現場試作の結果からも、軟質用の低成分系の鋼を用いて、 24 kgf/mm^2 以下の降伏強度、40%以上の全伸びで、1.5以上の r 値、遅時効でかつ2%予歪で焼付硬化後約 30 kgf/mm^2 以上の降伏強度を持つ冷延二相鋼板が製造できることがわかった。

このような特性の鋼板が外板のどの部品に最適であるか、また内板に対して適用されうるか否かも今後の検討課題と考える。

参考文献

- (1) 下村、由田、酒匂、松藤：Proceeding of 12 th, IDDRG (1980).
- (2) 久保寺、中岡、橋本、荒木、西本：鉄と鋼，55 (1969), S539.
- (3) 中岡、荒木、金原：鉄と鋼，62 (1976), A139.
- (4) 中岡、荒木、栗原、福中：鉄と鋼，61 (1975), S571.
- (5) 久保寺、中岡、荒木、渡辺、岩瀬：鉄と鋼，62 (1976), 846.

Table 3. Chemical compositions and mechanical properties of the steel sheets produced at Fukuyama Works.

C	Si	Mn	P	S	sol. Al	N
0.04	0.02	0.21	0.015	0.017	0.052	0.0027

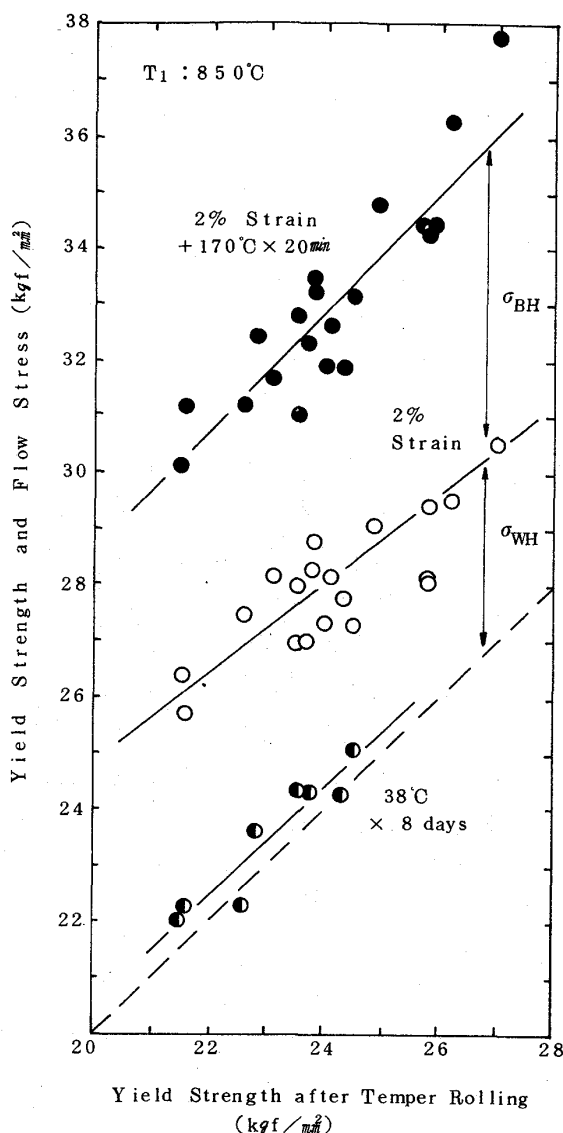


Fig. 5 Work hardening, bake hardening and aging behaviors as a function of yield strength after temper rolling

CAL Cycle	After temper rolling (1%)							After 38°C x 8 days				2% prestrain+baking		
	YS kgf/mm²	YPe1 %	TS kgf/mm²	El %	YR %	n 10%-20%	$\bar{r}$	YP kgf/mm²	YPe1 %	TS kgf/mm²	El %	$\Delta\sigma_{WH}$ kgf/mm²	$\Delta\sigma_{BH}$ kgf/mm²	$\Delta\sigma_{Total}$ kgf/mm²
1	23.9	0	37.0	39.5	65	0.170	1.62	24.0	0	37.5	37.3	5.3	5.4	10.7
2	22.6	0	36.2	42.9	62	0.187	1.61	22.4	0	35.8	41.9	5.2	3.8	9.0

JIS №5 test piece, transverse to the rolling direction, thickness 0.7 mm.