

## 討 8 高 強 度 薄 鋼 板 の 将 来

理 化 学 研 究 所 ○ 吉 田 清 太  
新 日 本 製 鉄 ㈱ 佐 藤 泰 一

### 1. は じ め に

自動車の安全化ならびに無公害化の規制とエネルギー危機が重なって、車体重量軽減問題が真剣に取り組まれて、その有効手段の一つとして高強度薄鋼板の使用が注目、検討されるようになってから早くも数年がたつ。その間、数多くの開発的な試みが鋼板製造および利用の場でなされて、既に一部の量産車の部品に用いられていることは良く知られている。しかしながら、当初の期待に比して、その大巾な実用化がやや遅れている事実は否めないように思われる。その理由の一つは剛性の問題を含めて高強度材料を用いてゲージダウンをはかる設計自体が難しいことであろう。図1に各種変形モードにおけるゲージダウンの可能限界を示す。現状の部品の衝突時に想定される変形モードは板厚減少化の面では低効率な曲げ変形近傍に集中している。しかし最近では車体重量の軽減はエンジン等の重量軽減を生み、さらに車体重量に再びはねかえる iterative な効果<sup>(1)</sup>の主張や走行時の燃料節約をも見込んだトータルの経済的メリットの試算も盛んに行なわれており、<sup>(2)</sup>効果的な高強度鋼板の利用法に関しては検討の余地が多い。又、高強度鋼板のエキストラ価格と板厚減少による材料重量の節約の関係から、製造側の努力により50級(T.S.)鋼板をより使いやすい価格に位置づけられるならば高強度鋼板多用の一つのトリガーになり得よう。いま一つの理由は成形をはじめとして後処理から再生に至る諸条件を満足する特性に関して十分な検討がされつくされていないことであろう。

本稿では、従来比較的よく検討されてきた成形性を中心に高強度鋼板の諸特性について将来にわたり考慮すべき点を整理すると同時に、さらに今後ますます社会的にも重要視されると考えられる製品の耐久性や資源のリサイクル等に関連する課題についても考察してみたい。

### 2. 板厚、強度レベルおよび製造方法について

板厚、強度水準などの将来の需要動向を予測することは難しい。高強度鋼板の開発当初は成形性、溶接性、溶接部疲労等を勘案して $50 \text{ Kg/mm}^2$ (T.S.)級位が量産使用の限度と考えられた時期があったが現在 $60 \text{ Kg/mm}^2$ 級も使われている。より薄い板厚、より高い強度の鋼板が利用される傾向になるのは必至と考えられるが、薄い板厚( $t < 2.0 \text{ mm}$ )領域では補強部材として $80 \text{ Kg/mm}^2$ 級、一般内・外板として $50 \sim 60 \text{ Kg/mm}^2$ 級の多用がひとつの区切りとなる。

高強度鋼板の製造方法に関しては現在行なわれている合金元素添加による強化方法の基本は変わらないであろう。薄手の高強度鋼板の需要が増えるに従い連続焼鈍プロセスの採用がますます一般化されるに違いない。その焼鈍温度分布や冷却速度の制御におけるポテンシャルは添加元素の有効活用、後述の低降伏点設計の容易さ、均一な強度分布付与など多くの利点を与えることが認められている。<sup>(3)</sup>なかんずく少量の添加元素で高い強度が得られる点は次章に述べる諸特性を損う添加元素の種類、量の制約を緩和する。図2は最も基本的なC-Mn系の例で冷却速度のコントロールにより $10 \sim 20 \text{ Kg/mm}^2$ の強度の増減が容易になし得ることを示している。

その他、わが国ではあまり用いられていない製造方法、例えば、焼鈍時あるいは成形後に窒化処理をし析出物を形成させる方法、焼鈍と塗装焼付けの中間温度で析出強化させるもの、成形後の熱処理で強化する方法等も周囲の状況の変化に応じて大巾に採用される可能性もある。

さらに、成形方法における工夫あるいはロールフォーミングなどのプレス成形以外の成形法も組み合わせることにより、未焼鈍冷延鋼板の高強度鋼板としての活用用途は拡げられよう。

3. 成 形

加工硬化特性をはじめとして、鋼板の成形性は強度上昇と共に一般に顕著に劣化する。さらに大寸法あるいは複雑形状の成形におけるしわなどの形状不良発生の容易さを含めると使いにくさは倍加される。強度と本質的に相反しない特性を高めることによって、相補的に成形の困難さを緩和する必要がある。従来、種々の成分と処理の組合わせが検討された結果、比較的效果が大きいのは高r値化と低降伏点化材質設計と考えられている。r値は高強度鋼板の場合でも伸びフランジ性向上、しわ消去の容易さ等に寄与することが認められているが、<sup>(4)</sup>しわの形成機構を配慮した成形方法、型設計など、この特質を効果的に利用することが再検討されねばならない。低降伏点設計は変態組織形成を利用して実現されるが、スプリングバック量の低減に効果が認められており、又、一般の外板の成形において最も制御の困難な微小歪領域における形状不良、形状凍結不良に対する効果も本格的に調べられはじめている。しかし、低い強度の鋼板でつくりにくいこと、図3のように予歪により降伏点の絶対値の変化が大きいなど従来の鋼板に認められない特徴があり、この特性を使いこなすことは鋼板の製造、使用両サイドの協調を必要とする検討課題であろう。その他、パネル内板として軽量で剛性の高いことがますます要求されるであろうから薄ゲージの板の深い成形が多くなる。上に述べた特性の他に既に開発の進んでいる乾性皮膜潤滑鋼板の特色 — 静摩擦係数が大きく、動摩擦係数が小さい — (図4)<sup>(5)</sup>をしわ等の制御に活用できる可能性ももっと追求されて良い。

高強度鋼板使用に際する成形作業上の問題点として、型と板の摺動による表面損傷(型かじり)が最近大きくとりあげられている。高強度鋼板が型かじりを生じやすいという一般認識はしわなどにより型上に局部的に大きな接触面圧が生じやすいことと、図5<sup>(6)</sup>に示すような接触面圧の高い領域で生ずる型と板の相互の表面破壊が強度の高い鋼板ほど大きな損傷に発展しやすい現象との重畳効果として捉えられている。各種の対策が考えられており、型材質の選択、鋼板化学成分等の影響、潤滑剤の効果などが詳しく調べられているが、一般性のある定量的評価という面ではまだ今後の検討にまつところが大きい。

その他、打抜き加工時の抜き刃の保守が容易で、かえりの生じにくい性質などが材質設計に組込むことができるならば、そのメリットは多大とみなされよう。

4. 接 合

点溶接部の強度と添加成分元素との関係は良く調べられており、金属学的な裏づけも検討されているが、十字引張り強さを極度に低下せしめることのない成分の選択が必要なことにつきる。

しかし、高強度鋼板が本格的に多用されるとなると、さらに詳細な関係、例えばテンパー電流を与えた溶接部の強度、疲労特性に対する化学成分の影響などが明らかにされる必要がある。一方、鋼板の使用側でも接合部にかかる応力の形態と疲労限界の関係等のデータ蓄積が精力的に進められており、必要

$$\frac{(t_1 - t_2)}{t_1} = 1 - \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right)^n$$

$\sigma_1 = 30 \text{ k(T.S.)}$   
 $\sigma_2 = 50 \text{ k(T.S.)}$  ----  
 $\sigma_2 = 60 \text{ k(T.S.)}$  ——

n	変形モード	板厚減少率 (%)			
		0	20	40	60
1	引張り	-----	-----	-----	-----
1/2	曲げ	-----	-----	-----	-----
1/3	振り	-----	-----	-----	-----
2/7	縦座屈 (塑性)	-----	-----	-----	-----
0	縦座屈 (弾性)	-----	-----	-----	-----

図1. ゲージダウン可能限界例

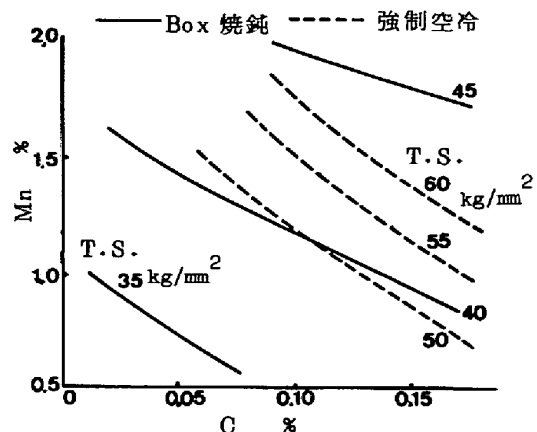


図2. C-Mn系高強度冷延鋼板の強度に対する冷却速度の影響

な特性の全容が固められつつある。

又、高強度鋼板の使用とは直接関係はなしに溶接以外の接合方法（接着、かしめ等）の開発が盛んになると考えられるが、接着剤等による接合が仮に採用されるならば高強度鋼板の材料設計はおろか高強度鋼板自体に対する考え方が変わることは疑いをいれない。

5 耐 久 性

〔疲労〕 前述の点溶接部の疲労特性に劣らず大きな変形を受けた部分の疲労強度ならびに残留応力の影響が重要視されよう。筆者等は図6のような簡便な疲労試験方法<sup>(7)</sup>により種々の高強度鋼板の加工部分の疲労特性に対する強化機構や製造条件の影響を調べているが、表面状態、ミクロな内部応力の影響が小さくないことを見出している。

〔耐食〕 加工用高強度薄鋼板の耐食性を系統的に調べた報告例<sup>(8),(9)</sup>は現在でも数少ないが、それらを母材の耐食性、りん酸塩処理性、塗膜密着性についてまとめると一現在の高強度鋼板自身の耐食性は塩水環境、酸性環境では従来の軟鋼板と大きな違いはないが、酸性環境ではP添加、塩水環境ではSi添加がやや好ましくない効果を与える。りん酸塩処理性は母材の酸性環境における耐食性と相反的な特性で高Si、Mn添加、Cr添加の場合、皮膜が形成されにくく塗装後の耐食性を悪くする。塗料の密着性に一次的に効くのは化成皮膜々厚の適正さである。異なる化学成分、強度の成形品を同一条件で処理する場合、厚く皮膜のつき過ぎた部分の塗料密着性が著しく損われることになるから、ここに又新たな成分設計の制約が生ずることにもなる。

その他に加工から後処理全般にわたって鋼板の表面あらさの役割は重要である。強度の高い鋼板は一般にあらさを転写しにくい、あらさの附与方法を含めて、どの位の大きさ、どのような形態のあらさが高強度鋼板において効果的であるかが明確になされねばならない。

〔メッキ性〕 高強度鋼板を使用してゲージダウンをはかる場合、必然的に耐食性の面における補強が必要なことおよび従来から問題にされている塗装の充分まわりきらない部分の腐食対策として亜鉛メッキ等で被覆された高強度鋼板の要請は当然高まってこよう。メッキ付着量、生産性等から考えて溶融亜鉛メッキに依ることになるが、合金添加元素の高い鋼板ではメッキの際脆い合金層が形成されやすく、メッキが付着しにくい。又、わずかな加工や振動によりメッキ層の剝離が生じやすい。現在の高強度鋼板の基本化学成分の一つであるSiの影響は特に著しく、又、Mnの影響も小さくない(図7)。

〔ステンレス〕 さらに強力な耐食性が要望される場合はステンレス鋼板が用いられよう。現状のフェライト系ステンレス鋼板は概ね50 kg/mm<sup>2</sup>級の強度を有するが、自動車用鋼板としては成形性の面で補う必要がある。図8に耐食性とCr添加量の関係例を示した。必要な耐食性とコストのバランスが追及され

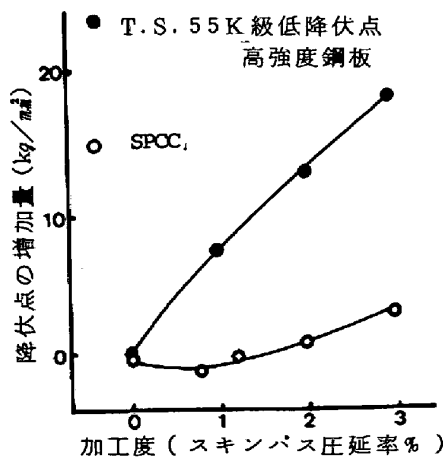


図3. 加工による降伏点の変化

	摩擦係数			
	静摩擦	動摩擦	静摩擦	動摩擦
乾性皮膜	0.1	0.2	0.3	0.4
潤滑剤	0.1	0.2	0.3	0.4
プレス油 #640	0.1	0.2	0.3	0.4
// #620	0.1	0.2	0.3	0.4
防錆油	0.1	0.2	0.3	0.4
脱脂	0.1	0.2	0.3	0.4

図4. 各種潤滑剤、油の摩擦特性

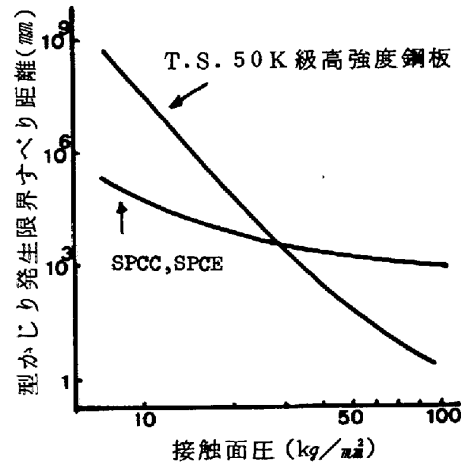


図5. 型かじり特性比較

ねばならないが、資源の効率的利用の面をも考え合わせて、表層のみに元素添加なされた鋼板の実用化等も実現されていくに違いない。その他、詳細は他講演に譲りたい。

6. リサイクル

省資源が叫ばれる現在、材料の効率的利用、リサイクルなどに対する配慮なしには新しい材料開発、用途開発は進められない。薄鋼板の製造から利用の流れ、循環過程は鉄鋼材料中で特に動きが激しく複雑であるが、大略大小二つのループ（単一の企業体あるいはプレス工場内のループ、あらゆる産業系を含めたループ）よりなると考えられる。高強度鋼板が大量に用いられる場合、このループに円滑にのることができるか否かが問われよう。例えば、鋼板製造におけるリサイクルで他の製品に有害なトランプエレメントの増加を生じたり、あるいは自動車メーカーにおいて、従来おこなってきたスクラップの利用が困難になるような成分系である場合、又、再利用以降、製品用途が著しく限られてしまう成分や形態（メッキなど）は総合的な見地からの評価がなされねばならない。

7. おわりに

以上、加工用高強度鋼板の現状における問題点と将来への要望を予測めいたことを含めて述べてみたが、種々の解決すべき課題を着実に処理し、総合的な評価をくりかえすことによりその利用される量や形態の拡大あるいは製品開発の新展開が期待できる。

幸い、我国は薄ゲージの高強度鋼板については製造実績、利用に関するデータ、新しい鋼板製造方法など、あらゆる面で世界をリードする状況にある。鋼板の製造と利用の両サイドの密接なコンタクトの中におけるフランクな議論と相互の技術的研鑽とによりこの優位を保持していきたいものである。

8. 文 献

- (1) D.A. Adams et al. SAE Report 76027 (1976)
- (2) 吉田 自動車技術 30 (1975) 108 など
- (3) Toda et al. Met. Trans. 投稿中
- (4) 花井, 佐藤 塑性と加工 15 (1974) 885
- (5) 薄鋼板成形技術研究会資料 S.49-
- (6) 堀田ほか 金属学会秋期講演会予稿 (1975)
- (7) 池ほか 昭50春期塑性加工学会講演会予稿
- (8) R.J. Neville et al. Mat. Perform. (1975) 18
- (9) 戸来ほか 私信

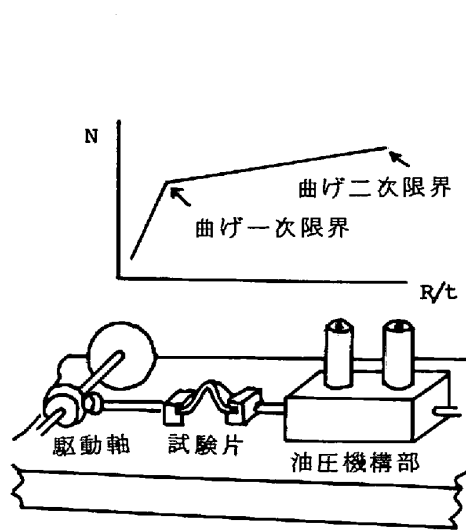


図6. 加工部分の疲労試験法

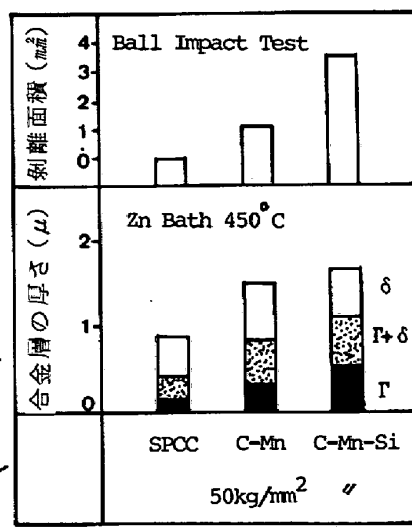


図7. 亜鉛メッキ合金層と密着性

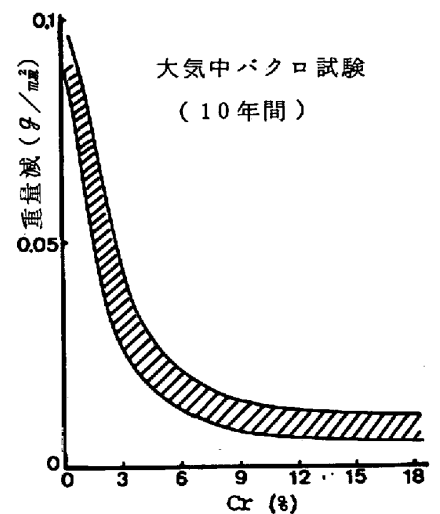


図8. 鋼の大気中腐食に対するCrの影響