

# 延性と耐 2 次加工脆性に優れた 深絞り成形用熱間圧延鋼板「KFN5」<sup>\*1</sup>

登坂 章男<sup>\*2</sup> 古君 修<sup>\*3</sup> 桑子 浩<sup>\*4</sup>

## Hot-Rolled Steels with Good Deep Drawability and Good Anti-Second Working Embrittlement Property, “KFN5”

Akio Tosaka Osamu Furukimi Hiroshi Kuwako

### 1 はじめに

厚肉の深絞り成形部品用としては延性に極めて優れた熱間圧延鋼板が用いられている。たとえば自動車用のクラッチカバーや深い円筒形状の容器であるコンプレッサーシェルなどである。このような用途に対して本鋼板を適用するとプレス成形工程で付随的な中間の焼鈍などを行なうことなく、部品の効率的な製造を可能とすることができる。これらの用途の鋼板には、深絞り成形性に対応する延性はもちろんのこと、部品の信頼性の観点から成形後の耐 2 次加工脆性についても優れた特性が要求される<sup>1)</sup>。ところが、優れた延性と耐 2 次加工脆性を両立させることは困難である。たとえば延性を改善する手段として結晶粒径の粗大化があるが、この方法では耐 2 次加工脆性が顕著に低下する。

当社では、極低炭素鋼に新しい組織制御法を適用し、延性と耐 2 次加工脆性の両特性を従来の熱間圧延鋼板に比較して格段に向上させた深絞り成形用高延性熱間圧延鋼板を開発したので、その特性を紹介する。

### 2 開発の考え方

開発鋼は化学成分とともに高度な熱間圧延条件の最適化による組織制御技術を活用し、高い延性、深絞り性とともにより優れた耐 2 次加工脆性を実現している。

深絞り性にもっとも影響を及ぼす物性値は  $r$  値である<sup>2)</sup> が、熱間圧延鋼板ではその製造工程で  $\gamma \rightarrow \alpha$  の変態にともなう集合組織のランダム化が不可避であるため、一般に  $r$  値の向上は困難である。したがって、延性をより高めることで低い  $r$  値を補償し、難成形部品の加工を可能とする必要がある。成分的には C が 20 ppm 程度の極低炭素鋼に Ti および B を適正な範囲で添加した素材を用いることにより良好な延性、深絞り性の確保と耐 2 次加工脆性改善のための組織の均一微細化を達成している。

#### 2.1 成形性

鋼の延性向上には、次の 3 つの金属組織学的手法を適用している。

- (1) 軟質なフェライト単一相の微細組織化
- (2) フェライト中の硬質で脆い炭化物の低減<sup>3)</sup>
- (3) フェライト中の固溶 C 量の低減

ただし、極微量の C は結晶粒界の強度を高め<sup>4)</sup>、耐 2 次加工脆性を改善するのに有効である<sup>5)</sup>ので、固溶 C 量は最適範囲に制御する。最適な固溶 C 量の制御を達成するためには、鋼成分は極低炭素に微量の炭窒化物形成元素を添加することが有利である。研究の結果、Ti 添加鋼が最適である<sup>6)</sup>ことが明らかとなっている。

#### 2.2 2 次加工脆性

2 次加工脆性は、1 次加工を行なった材料に 2 次的に衝撃的な力が加わった場合に生ずる脆性破壊現象である。脆化は、深絞り成形が厳しいほど、また 2 次加工の温度が低いほど顕著となる。円筒成形材の場合はいわゆる「縦割れ」と呼ばれる円筒成形時の成形方向に沿って直線的に割れる特徴的な破断形態を示すことが多い<sup>7)</sup>。通常の低炭素鋼で生ずる脆性破壊はへき開破壊破面を呈し、極低炭素鋼（特に固溶 C が存在しない IF 鋼：interstitial atom free 鋼）では粒界破面である。後者の脆化がより高い温度で生ずるとされており、固溶 C 量の最適制御<sup>8)</sup>、B の微量添加などにより脆化を回避することができる。ここで微量の固溶 C による耐 2 次加工脆性改善効果としては、C 原子による結晶粒界結合力の強化<sup>9)</sup>と、C の固溶軟化現象による低温域の降伏応力の低下<sup>10)</sup>の 2 つの可能性が考えられる。

Fig. 1 に模式的に示すように、絞り成形の過酷化、板厚の増大は耐 2 次加工脆性に対しては不利であり、より優れた耐 2 次加工脆性を有する鋼板が要求される。

#### 2.3 耐 2 次加工脆性改善手法

耐 2 次加工脆性の一層の改善を目的に、基本成分は極低炭素 Ti-B 添加鋼として、加工熱履歴と熱延後の冷却条件を最適化した。

組織を微細化することで顕著な耐 2 次加工脆性の改善が可能となる。これは 1 次成形時に生ずる潜在亀裂の長さの減少あるいは結晶粒界がへき開亀裂の進展を有効に阻害するためと推定される。この状況を模式的に Fig. 2 に示す。脆化を生ずる臨界温度は降伏応力とへき開応力の関係で決定される。結晶粒を微細化することで、へ

\*1 平成11年11月30日原稿受付

\*2 技術研究所 薄板研究部門 主任研究員(課長)

\*3 技術研究所 薄板研究部門長・工博

\*4 千葉製鉄所 管理部薄板管理室 主査(主席掛長)

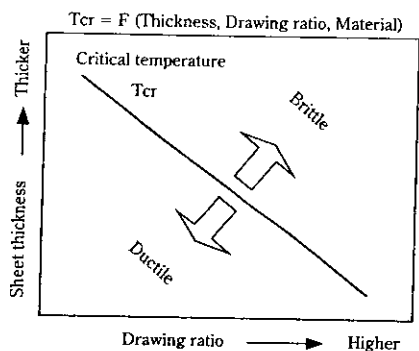


Fig. 1 Schematic illustration showing effect of drawing ratio and thickness on the transition temperature

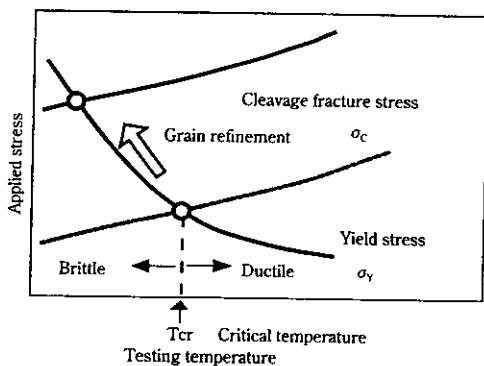


Fig. 2 Schematic illustration showing the transition temperature of secondary working embrittlement

Table 1 Chemical compositions of hot-rolled mild sheet steels

	(mass%)				
	C	Mn	P	S	Others
SPHE	0.04	0.3	0.01	0.01	Al-killed
KFN3	0.002	0.1	0.01	0.003	Ti, B added
KFN5 (Newly developed)	0.002	0.1	0.01	0.003	Ti, B added

き開破壊応力が上昇し、臨界温度が低下するため、耐2次加工脆性が改善される。

### 3 開発鋼の特性

#### 3.1 引張特性と耐2次加工脆性

従来鋼 (SPHE) と深絞り用熱間圧延鋼板 KFN3 および開発鋼 KFN5 の成分例と代表的な機械的性質を Table 1 および 2 に示す。熱間圧延工程での加工熱処理技術の適正化により組織の均一微細化と析出炭化物の微細分散化を達成している。本開発鋼板の耐2次加工脆性を調べた。実験方法の概要を Fig. 3 に、結果を Table 3 に示す。SPHE が -120°C で脆性割れを生ずるのに対し、本開発鋼は -196°C でも脆性割れを生じない。このように開発鋼は極めて優れた耐2次加工脆性を有するため、信頼性の高い容器、部品として

Table 2 Mechanical properties of hot-rolled mild sheet steels

	Thickness (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	Average r-value
SPHE	4.5	225	335	48	0.8
KFN3	4.5	185	285	56	0.9
KFN5 (Newly developed)	4.5	203	295	56	0.9

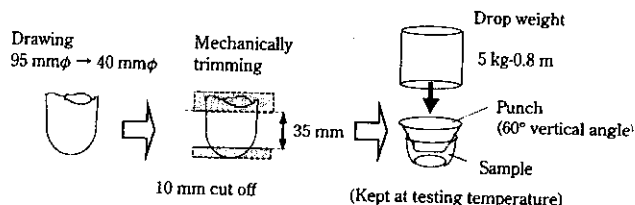


Fig. 3 Experimental procedure for evaluation of secondary working embrittlement

Table 3 Results of secondary embrittlement test

	Testing temperature (°C)						
	-100	-120	-130	-140	-150	-180	-196
SPHE		××					
KFN3		○○	○×	××			
KFN5 (Newly developed)	○○	○○	○○	○○	○○	○○	○○

○ : Ductile    × : Brittle

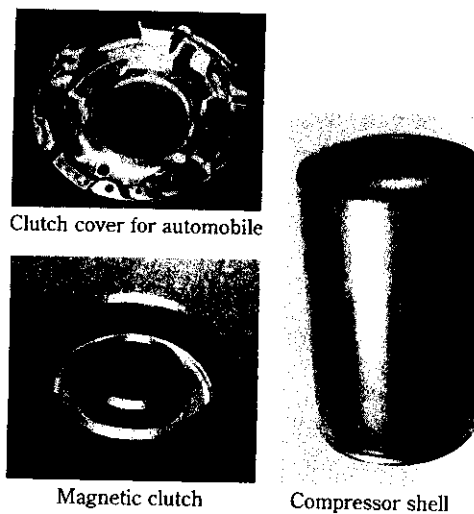


Photo 1 Example of application of developed steel

適性を有する。

#### 3.2 開発鋼の用途例

本開発鋼の用途の例を Photo 1 に示す。厳しい深絞りが必要な部品や表面欠陥を回避する必要がある深絞り成形部品に好適である。なお、KFN3 および本開発鋼板は成形後に「ろう付け」などの加工が行なわれる際にもいわゆるろう脆性などの問題を起こしにくいことを確認している。

#### 4 おわりに

本報で紹介した深絞り成形用高延性熱間圧延鋼板は成形性と耐2

次加工脆性を改善することを目的として開発した製品である。自動車分野を初め電機・一般薄鋼板分野などでも種々の部品への適用拡大が期待される。

#### 参考文献

- 1) 坂田 敬, 橋口耕一, 岡野 忍, 東野建夫, 井上雅隆, 佐藤 進: 川崎製鉄技報, 19(1987)3, 189-194
- 2) 吉田清太監修, 薄鋼板成形技術研究会編: 「プレス成形難易ハンドブック」, (1987), [日刊工業新聞社]
- 3) C. J. McMahon, Jr. and M. Cohen: *Acta Met.*, 13(1965)591
- 4) 木村 宏: 鉄と鋼, 79(1993)11, N754-N760
- 5) Y. Aono, E. Kuramoto, and K. Kitajima: *Rep. Res. Inst. Appl. Mechanics*,

Kyushu Univ., XXIX, 92(1981)127

〈問い合わせ先〉

薄板セクター室

東京都千代田区内幸町2丁目2番3号(日比谷国際ビル)

TEL 03(3597)3505 FAX 03(3597)3494