
プレス加工用熱延鋼板 KFN について

Deep-drawing Quality Hot Rolled Steel Sheet KFN

伊藤 庸(Yo Ito) 中沢 正敏(Masatoshi Nakazawa) 中里 嘉夫(Yoshio Nakazato)
大橋 延夫(Nobuo Ohashi)

要旨：

当社が、新たに開発したプレス加工用熱延鋼板、川鉄規格 KFN について、品質設計上の要点とその冶金技術面からの背景を説明し、あわせてその材質水準について紹介した。この KFN は B の添加と熱延条件を組み合わせることで結晶粒度と炭化物形状の調整を行なうことを材質改善の基本とし、これにさらに必要に応じて R-H 脱ガス処理による極低炭素組成までの成分調整、スラブ連続 casting の採用ならびに希土類金属の添加などの最新の技術を適用して化学成分、侵入型元素の固溶量、結晶粒度、炭化物、非金属介在物、集合組織などの基本的な冶金要因を調整管理することによって、機械的性質、プレス加工性、時効性、そして表面性状を改善し、その用途に応じて最適のプレス加工用素材となるように品質設計したものである。

Synopsis：

Hot rolled steel sheet KFN specified for press forming use has been developed by Kawasaki Steel Corporation. KFN has the metallurgical features in controlled ferrite grain size and dispersed fine carbide which are derived from the effect of added B under the controlled hot rolling condition. As occasion demands, moreover, R-H degassing and decarburizing processes, continuous slab casting method and the addition of rare earth metal are applied. The quality which is composed of mechanical properties, press formabilities, aging property and also surface appearance is pertinently designed to fit ordered applications by controlling the metallurgical factors, i.e. chemical composition, amount of interstitial atoms, ferrite grain size, amount, shape and distribution of carbide and inclusion and crystallographic texture.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

プレス加工用熱延鋼板 KFN について

Deep-drawing Quality Hot Rolled Steel Sheet KFN

伊 藤 庸*

Yo Ito

中 沢 正 敏**

Masatoshi Nakazawa

中 里 嘉 夫***

Yoshio Nakazato

大 橋 延 夫****

Nobuo Ohashi

Synopsis :

Hot rolled steel sheet KFN specified for press forming use has been developed by Kawasaki Steel Corporation. KFN has the metallurgical features in controlled ferrite grain size and dispersed line carbide which are derived from the effect of added B under the controlled hot rolling condition. As occasion demands, moreover, R-H degassing and decarburizing processes, continuous slab casting method and the addition of rare earth metal are applied. The quality which is composed of mechanical properties, press formabilities, aging property and also surface appearance is pertinently designed to fit ordered applications by controlling the metallurgical factors, i.e. chemical composition, amount of interstitial atoms, ferrite grain size, amount, shape and distribution of carbide and inclusion and crystallographic texture.

1. ま え が き

近代工業の重要な基礎資材の一つである薄鋼板は、近年プレス加工分野でその用途をますます拡大しつつある。現在製造されている薄鋼板は、ホットストリップミルで熱間圧延した状態で製品となっている熱延鋼板と、これをコールドストリップミルで冷間圧延した後軟化焼鈍を施した状態で製品となっている冷延鋼板の2種類に大別できるが、この両者をプレス加工用素材としての観点から比較した場合、表面性状についての本質的な差だけでなく、プレス加工性自身についても熱延鋼板は冷延鋼板より劣ることが一般的な常識とされ

てきた。この理由は熱延鋼板はその製造工程が単純なため、材質を調整する冶金的手段の適用が冷延鋼板の場合よりも困難なことによるものである。このために熱延鋼板を使用せざるを得ないような厚番手でかつ難かしい形状のプレス部品を成形しようとする場合には、従来は高い不良率あるいは工数の増加といった犠牲を払わねばならなかった。また熱延鋼板と冷延鋼板のいずれも選択できる板厚範囲においても、このプレス加工性の差のために価格的に不利な冷延鋼板を使用せざるを得ないような例も多い。

当社はこの種の用途がますます増加する傾向にあることに着目し、熱延鋼板のプレス加工性の改善に鋭意努力してきた結果、川鉄規格プレス加工

* 技術研究所水島研究室主任研究員
*** 千葉製鉄所管理部薄板管理課課長

** 千葉製鉄所管理部薄板管理課
**** 技術研究所薄板研究室室長・工博

用熱延鋼板 KFN の開発に成功し、昭和47年6月より市販を開始するに至った。この KFN はプレス加工性のみならず、プレス製品の形状、精度さらには表面外観上の問題点まで含めて、総合的に需要家の方々の高度な要求と期待に答えられるものと確信している。

本報ではその開発に際して明らかとなった冶金技術上興味ある二、三の新しい知見を報告するとともに、その品質設計の概略と材質水準について紹介を加える。

2. 冶金的特長

KFN の特長について述べるに先だって、熱延鋼板のプレス加工性を改善するということが具体的にどのようなことを意味しているかを、冷延鋼板と熱延鋼板の材質を冶金学的な観点から対比することによって説明する。

まず第一に機械的性質を左右する因子として、フェライト結晶粒度が重要である。すなわち、結晶粒が微細な場合には降伏点、抗張力および降伏比が上昇し延性が低下するだけでなく^{1,2)}、降伏伸びを消去するのに高い調質圧延率を要し、したがってプレス加工性が不良となる。一方、結晶粒があまりにも粗大になるとプレス後の表面に肌荒れが生じ、またこの肌荒れがはなはだしいとそれが原因となって加工限をも低下させるので、プレス加工用鋼板としてはこの両者を勘案して粒度番号8前後の組織が最適であるとされている。冷延鋼板の場合は焼鈍工程を通るため、その条件を調整することによって結晶粒度の管理は比較的容易にできるが、熱延鋼板の場合にはこのような適切な手段がなく、最適な組織が得られないまま製品となっているのが現状といえる。

第二の冶金の因子としては、延性破壊に際してその起源の役割を果す異相粒子の形態およびその分布状態があげられる。熱延鋼板は高温で可塑性のある非金属介在物が圧延方向に長く伸びた形態で存在し、これが面内方向での延性の差を生じさせる原因となっている。また熱延鋼板では粗大な炭化物が析出しているが、これも延性を劣化させる原因となっている。冷延鋼板ではこれらの非金属

介在物は冷間圧延によって破碎され、炭化物も微細に分散した形態となってその影響は軽減され、材質が改善される。

第三に熱延鋼板は最終熱履歴の冷却速度すなわちホットコイルに巻取った後の冷却速度が、冷延鋼板の最終焼鈍時の冷却速度に比べてかなり早くかつコイル内で不均一なため、Cの析出が不十分な場合や、またNを固定する目的でAlを添加してもAIN析出が不完全な場合があり、これらの固溶C、Nによる延性の低下や時効硬化も問題点の一つとして残っている。

第四に深絞り性を左右する因子として集合組織に起因する塑性異方性があげられる。冷延鋼板は本報の別資料で紹介されているように冷間圧延と焼鈍の工程で集合組織を調整することによって塑性歪比(r 値)を高め、深絞り性を改善できるが^{3,4)}、これはオーステナイトから変態したままの状態での製品となる熱延鋼板には本質的に望めないことである。

今までに述べた比較は、同一組成の鋼を想定した場合についてのものであるが、実際には各々異なった製造工程に対してもっとも適応した化学成分を選ぶことがすぐれたプレス加工性を得るために基本的に必要であることはいうまでもない。

以上簡単に列挙したおのおのの冶金の因子について、従来のプレス加工用鋼板に比べてKFNがいかに改善されているかを次に述べる。

2.1 結晶粒度

熱延鋼板の結晶粒度を調整するもっとも一般的な従来の方法は熱延時のコイル巻取温度を変えることである。すなわち、Fig. 1に示すように、低炭素リムド鋼では巻取温度を550°Cから700°Cの範囲で変えることによって、熱延後の組織をフェライト粒度番号で10.5から7.5の範囲で調整することができる。しかし通常深絞り用に使われているAlキルド鋼の場合は、巻取温度を700°Cまで高めてもその結晶粒度をプレス加工に適した粒度番号8前後にすることはできない。それだけでなく巻取温度を高めることにより、スケール量の増加や脱スケール性の低下による表面性状の劣化を招き、また鋼板同志の圧着、コイルの変形に

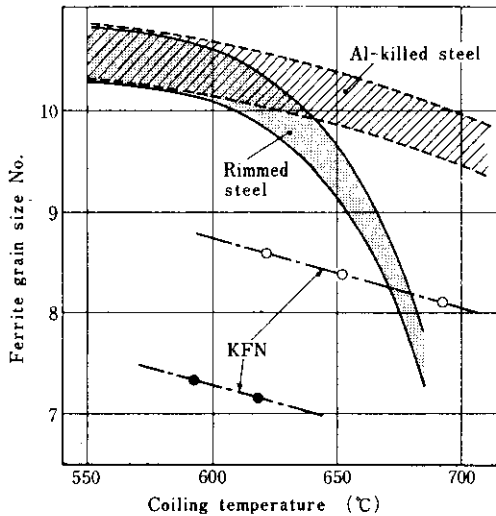


Fig. 1 Effect of coiling temperature on the ferrite grain sizes in hot rolled steel sheets

よるかき疵あるいは巻もどし時の腰折れなどの表面欠陥が発生しやすくなることにも問題がある。

そこで KFN については巻取温度を高める方法ではなく、B が変態時のフェライト粒の核発生ひん度を低下させる作用を利用して結晶粒度を調整するという新技術を適用している。B は鋼の焼入深度を増す元素として知られており、この理由は B がオーステナイト粒を粗大化させるだけでなく⁹⁾、亜共析鋼においてはフェライトあるいはベイナイトの核発生を阻止し、変態を低温まで抑制することによるものであることが明らかになっている⁹⁾が、これを低炭素熱延鋼板のフェライト粒度調整の目的で使用した例は今まで発表されていない。これは B を添加した鋼を熱間圧延した場合、つねにこの効果が生ずるというわけではなく、熱延条件の管理と組み合わせて初めて結晶粒度の調整が可能となることによるものであろう。すなわち、Fig. 2 にその一例として B 添加鋼の結晶粒度と熱延終了温度の関係を示す。このように B の効果が熱延条件との交互作用として現われることについては、焼入れの場合に分析値では十分な量の B が含有されていても焼入性向上の効果が認められない場合があることに類似している。この現象についてはオーステナイトに固溶してい

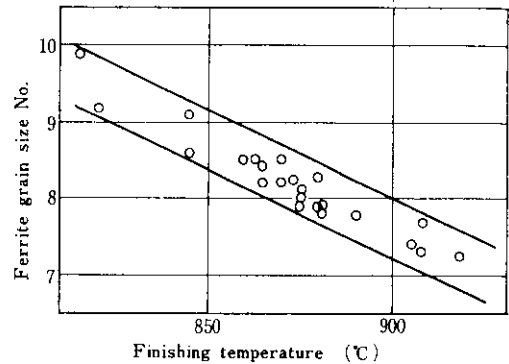


Fig. 2 Effect of finishing temperature on the ferrite grain size in hot rolled B-treated steel sheet

る B のみが有効であるとの考えが数多くの報告によって支持されているが⁷⁾、同様な観点に立てば熱間圧延時の変態直前のオーステナイト中に適量の B を固溶させた場合にのみフェライト粒度調整の効果が生ずると考えられる。

さて鋼中に存在する B は N との親和力が強く、熱延中に BN として析出することが考えられる。Fe-B-N 系の状態図は Fountain と Chipman⁸⁾ による 950°C と 1100°C の恒温状態図が発表されているだけであるが、これによると通常のキルド鋼中に含有されている 50ppm 前後の N と、BN として化学量論的に等価の 40ppm の B が共存する場合、1150°C では B はすべて固溶状態にあるが、950°C ではその約 80% が BN として析出してしまふ。これをさらに低温の変態温度付近まで外押すると、平衡値としては固溶 B はたかだか数 ppm 以下しか残存しないことになる。しかし実際に KFN の場合は焼入鋼のように B よりも N との親和力が強い Ti, Zr などの元素を複合添加しておく必要がないだけでなく、化学量論比にして B が N に対して 1/2 以下の不足の場合でも結晶粒度調整作用は失なわれない。このことから考えて、熱延中の BN の析出挙動は平衡値とは大きなずれがあると考えられるが、これについては AIN の場合⁹⁾ のような報告がなく今後の問題として残されている。

一方、B は BN のほかにも boron constituent と呼ばれる特殊硼化物として析出し、焼入鋼の場

合にこの boron constituent が析出するようなオーステナイト化条件を選ぶとやはり焼入性が著しく劣化することが知られている¹⁰⁾。KFN の場合に B 含有量がある限界を越えるとふたたび結晶粒が微細になる傾向が認められるが、これは boron constituent が熱延途中で析出するため圧延終了後、変態前のオーステナイト中に固溶した有効 B の量がかえて低下することによるものと考えられる。しかし boron constituent が析出した場合のこの結晶粒微細化傾向はそれほど顕著なものではない。

KFN の結晶粒度におよぼす熱延後の巻取温度の影響は、Fig. 1 に示すように Al キルド鋼と同程度で小さく、したがってこれを結晶粒度調整の手段として重視する必要はない。実際の KFN 製造に際しては、巻取温度を表面性状の面から好ましい条件に固定しても、化学成分およびその他の熱延条件を管理することによって粒度番号で約 7 から 10 の範囲の任意の結晶粒度に調整することが可能である。ただしプレス製品のストレッチャーストレインが問題になる場合は、通常工程で採用されている約 1 % 前後の延性低下を伴わない範囲の調質圧延で降伏伸びを完全に消去するために、

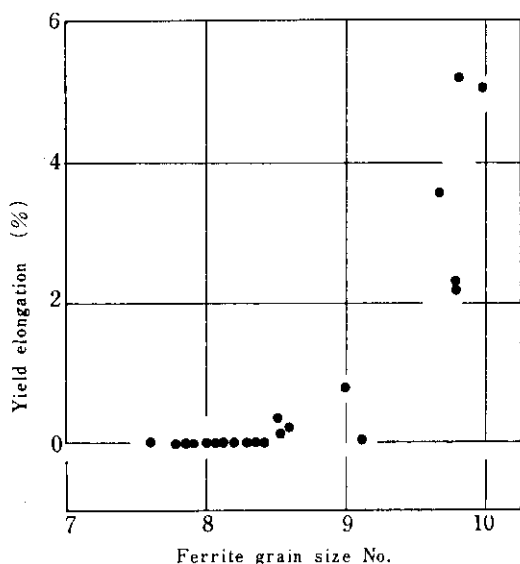


Fig. 3 Effect of ferrite grain size on the yield elongation after temper rolling by about 1 % in reduction rate

Fig. 3 に示すように粒度番号 9 以下の組織に管理する必要がある。Photo. 1 に、結晶粒度をプレス加工用としての最適な粒度番号 8 前後に調整した代表的な KFN の顕微鏡組織を従来の深絞り用 Al キルド鋼板と比較して示す。

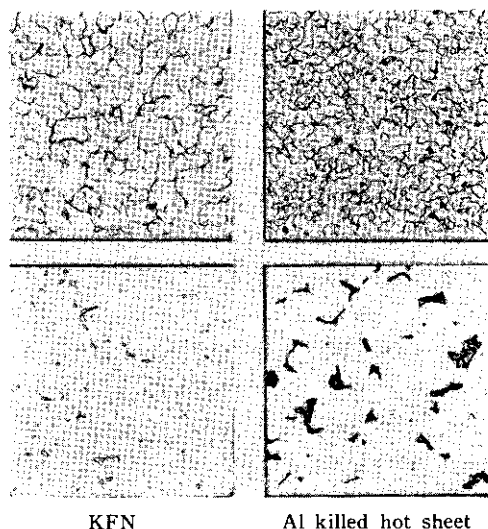


Photo. 1 Microstructures ($\times 100$) and carbide ($\times 400$) in KFN and usual drawing quality hot rolled Al killed steel sheet

2.2 炭化物の形状と分布

KFN で boron constituent の析出が認められる程度にまで B を添加すると熱延後の炭化物の形態は Photo. 1 に示すように微細に分散したものとなる。B が熱延鋼板の炭化物を微細化する作用ならびにその機構についての報告はいままでのないようであるが、現在のところ熱延時のオーステナイト相中に析出した boron constituent がその後析出する炭化物の核となっていることが考えられる。すなわち炭化物を微細化するためには boron constituent の析出が前提条件であり、したがって結晶粒度調整のための最適条件より B を過剰に添加しなければならないが、前述したように boron constituent 析出による粒度調整効果の減少はわずかなものなので、結晶粒度の調整と炭化物の形態の改善がともに安定して得られる B 含有量の範囲が存在する。

2-3 非金属介在物の形状と分布

現在深絞り用途に供されている熱延鋼板、たとえば川鉄規格 KPSD や KSSD は、プレス加工に有害な非金属介在物の量を極力減少させるために Al で完全に脱酸したキルド鋼で製造されている。この鋼の非金属介在物は主として熱間可塑性に乏しいアルミナ系の脱酸生成物なので、介在物の形態の異方性、いわゆる mechanical fiber に起因する面内方向の延性の差も他の鋼種に比べてかなり小さい。しかしこの Al キルド熱延鋼板でも硫化物系介在物は圧延方向に長く伸びた形態で存在し、このために延性の面内方向性を冷延鋼板と同程度にまで改善することは至難となっている。

実際にこの硫化物系介在物による材質劣化すら問題となるような用途に対しては、KFN では希土類金属の添加によって材質をさらに改善する技術が確立されている。すなわち希土類金属は S との親和力が非常に強く、またその硫化物は熱間可塑性がないため熱延後も塊状のままであり、この形態改善によって硫化物系介在物の影響は著しく軽減される。KFN の場合は前述の炭化物の形態改善効果と酸化物系介在物、さらにこの硫化物系介在物の形態改善効果の相乗作用が重要で、この3つの手段の組み合わせによりプレス難易度に応じての効果的な品質設計が可能となっている。

2-4 固溶 C, N 量

時効硬化あるいはストレッチャーストレインを防止する目的に対しては、熱延鋼板についても冷延鋼板と同様に Al キルド鋼が常用されているが、N を Al で固定するためには巻取温度を高温にする必要があり、これによって前述したように表面性状の劣化が避けられなくなる。それだけでなくコイル両端は冷却速度が早いために AlN 析出が不完全で非時効性とはならない。これに対して KFN は低い温度で巻取られているにもかかわらず Fig. 4 に示すようにコイル全長にわたって時効指数は10%以下で実質的に非時効性となっている。

これはまず第一に B の N 固定作用によるところ

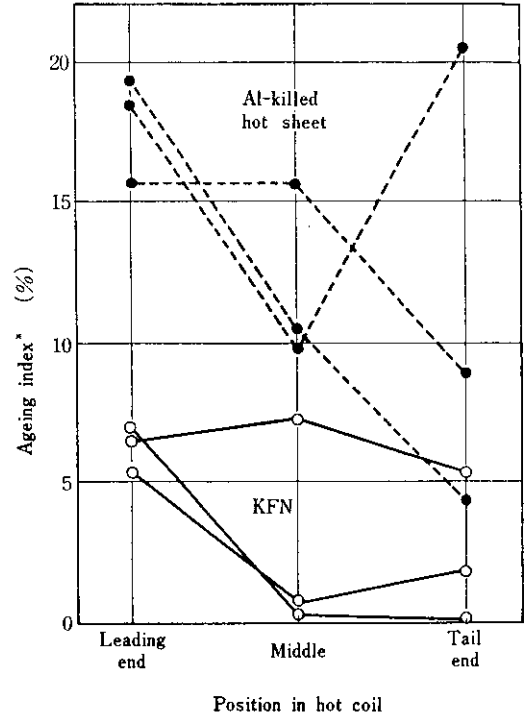


Fig. 4 Examples of aging property of KFN and usual drawing quality hot rolled Al killed steel sheet

* 7.5% prestrained and artificially aged for 30min at 100°C

が大きい。すなわち、化学量論的に N を固定するのに十分な B が Al と共存している鋼を熱延し巻き取った状態では鋼中の N の大部分は N_{insol} として分析されるが、これは N が AlN ではなく BN として析出していることを意味している。標準生成自由エネルギー¹¹⁾で比べると Al よりも弱い窒化物生成元素である B が鋼中ではこのように Al よりも強い N 固定作用を示す理由については、平衡論的には鋼中の B は Al よりも非常に高いエネルギー状態にあることがその相互作用係数の比較¹²⁾から推測され、また速度論的には Al と B の拡散速度の差も無視できないものと思われる。

一方固溶 C の影響によって時効指数が10%以下で変動することは実用上はそれほど問題にならないが、KFN は微細な炭化物を析出させ炭化物間距離を小さくすることによって、巻取後の冷却条件が同一であっても固溶 C を低下させ時効性をさらに改善することも可能である^{13,14)}。

2-5 化学成分と集合組織

オーステナイト-フェライト変態によって形成された熱延鋼板の集合組織はランダム方位に近い非常に弱いもので^{15,16)}、この点冷延鋼板の再結晶集合組織とは本質的に異なっており、したがって集合組織の調整による r 値の大幅な改善は期待できない。現実的には、むしろ熱延時にオーステナイトとフェライトが共存する温度領域で圧延されることによって形成される $\{100\} \langle 011 \rangle$ を主方位とする集合組織、ひいてはこの集合組織に原因する r 値の低下を防止することの方が、消極的ながら重要といえる。このことは熱間圧延をオーステナイト単相領域で終了するように温度管理を行なうことを意味しているが、これは通常のプレス用熱延鋼板の化学成分範囲内ではとくに温度低下のはなはだしい板厚の薄い場合でない限りそれほど困難なことではない。ところが加工性のよりすぐれた熱延鋼板を得ることを目指して鋼中の不純成分、なかでもCの含有量を減少させていくと、それにしたがって変態温度が上昇するため、実質

的にはフェライト領域で熱延を行なうようなことになりがちであり、逆に材質ははなはだしく劣化してしまう。いいかえればプレス加工用熱延鋼板の製造にあたってはC含有量に見合った熱延温度の下限規制が必要で、C含有量を下げれば下げるほどこの下限温度を高めねばならなくなる。ところが熱延温度をあまりにも高めることはスケール疵などによる表面性状の劣化や圧延能率の低下などの点から好ましいことではない。近年RH脱ガス法が開発されて極低碳素鋼が容易に製造されるようになったにもかかわらず、それがプレス加工用熱延鋼板の材質向上の目的に十分生かされていない理由はこの圧延技術上の問題点が未解決であったからといえる。

Bがオーステナイトからフェライトへの変態を阻止し、変態温度を低下させる元素であることは前に述べたが、FORMASTORを用いKFNに相当する成分の鋼についてその熱延条件に準じた熱履歴で冷却した場合の変態温度の測定結果をFig. 5に示す。この結果によれば、変態点降下におよぼすBの効果は熱履歴の影響を鋭敏に受け

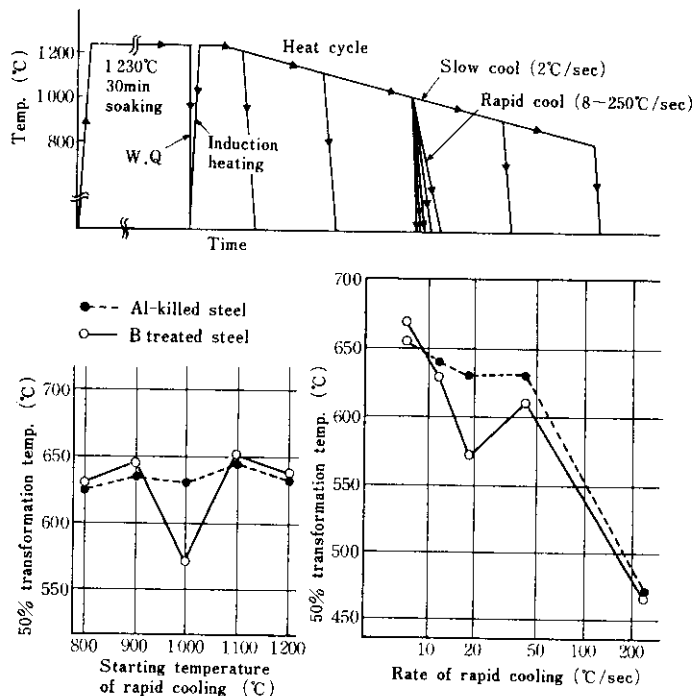


Fig. 5 Effect of B and heat cycle on the A_{r3} transformation temperature

ることが明らかである。すなわち、熱間圧延における仕上圧延開始温度に相当する急冷開始温度を1000°C近傍に選び、仕上圧延中の温度降下速度に相当する冷却速度を10~30°C/secの範囲に選んだ場合に変態点の降下がもっとも大きく、50%変態完了温度はAlキルド鋼に比べて最大70°Cの差が生じている。なお、このBの変態温度におよぼす影響は、オーステナイト中に固溶したBによる前述のフェライト粒度への影響とも関連しており、このことから熱延条件の規制が粒度調整の目的に対して重要なことがわかる。

さてFig. 5の結果から明らかなように、Bの変態点降下作用は実質的な熱延温度が低下した場合にはその効果はまったく消失してしまう。しかしC含有量が低く変態温度が高いため熱延温度を通常の条件より著しく高めなければならないような場合にはこのBの変態点低下作用は効果的に利用できる。すなわちKFNに添加されているBはフェライト粒度調整、炭化物の形態調整、Nの固定などの目的他にプレス加工用途に応じた極低炭素組成の材質設計を実現させたものであるということが出来る。

3. 品質設計と材質

KFNは以上に述べたように、

- (1) 結晶粒度の調整
- (2) 炭化物の形態とその分布状態の改善
- (3) 非金属介在物量の減少とその形態の改善
- (4) Nの完全固定と固溶C量の減少
- (5) C含有量の極低炭素組成までの広範囲な調整
- (6) オーステナイト単相領域での熱延による集合組織の管理

の6項目からなる冶金管理技術と、必要に応じての

- (7) スラブ連続鋳造法の適用による製品の均質化

を組み合わせることによって、その用途に対しもっとも適切な品質設計がなされたプレス加工用熱延鋼板である。その化学成分の規格および例を従来の加工用熱延鋼板と比較してTable 1および2に示す。その機械的性質およびプレス成形性試験値の実績については、上述した説明から明らかなように品質設計によってかなり広範囲に変え得るので、代表的な数例を選んでTable 3~7に示す。

Table 1 Specification in chemical composition

Spec.	Grade	C	Mn	P	S	Note
Kawasaki Steel	KFN	0.08%≥	0.40%≥	0.030%≥	0.030%≥	Al killed steel with additional special element
	KPSD	0.08%≥	0.25~0.40%	0.030%≥	0.030%≥	Al killed steel
JIS	SPHE	—	—	0.030%≥	0.035%≥	

Table 2 Representative chemical composition

Grade	C	Si	Mn	P	S	Thickness
KFN Ex. 1, 2	0.02%	tr	0.28%	0.010%	0.012%	3.2mm, 4.5mm
KFN Ex. 3, 4	0.06%	tr	0.34%	0.008%	0.022%	3.2mm, 4.5mm
KPSD	0.07%	tr	0.35%	0.019%	0.019%	

Table 3 Tensile test

Grade	Longitudinal direction			Transverse direction	Thickness (mm)
	Y.P. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	El. (%)	Y. El. (%)	
KFN Ex. 1	20	31	51	0	3.2
Ex. 2	20	31	51	0	4.5
KFN Ex. 3	20	33	47	0	3.2
Ex. 4	22	33	48	0	4.5
KPSD	25	35	46	0	3.2

Table 4 Bulge test (diameter 150mm)

Grade	Bulging height (mm)	Thickness (mm)
KFN Ex. 1	60.2	3.2
KFN Ex. 3	59.8	3.2
KPSD	56.8	3.2

Table 5 Side-bend test

Grade	Side-bend elongation (%)		Thickness (mm)
	L-direction	C-direction	
KFN Ex. 1	66	67	3.2
Ex. 2	75	71	4.5
KFN Ex. 3	72	66	3.2
Ex. 4	74	68	4.5
KPSD	72	67	3.2
	74	69	4.5

Table 6 Bore-expanding test (bore diameter 10mm, reamer finished)

Grade	Bore-expanding limit (%)	Thickness (mm)
KFN Ex. 1	294	3.2
Ex. 2	387	4.5
KFN Ex. 3	257	3.2
Ex. 4	346	4.5
KPSD	254	3.2

Table 7 Erichsen deep drawing cup test (punch diameter 33mm)

Grade	Drawing ratio				Thickness (mm)
	1.90	1.96	2.00	2.06	
KFN Ex. 3	○ ○	○ ○	○ ×	× ×	3.2
	○ ○	○ ○	○ ×	× ×	
KPSD	○ ○	× ×			3.2
	○ ○	× ×			

○ : success × : failure

3.1 機械的性質

(1) 降伏点, 降伏伸びおよび時効性

通常の Al キルド熱延鋼板の降伏点は大体 $23 \sim 29 \text{ kg/mm}^2$ の範囲にあるが, KFN は結晶粒度の調整と N の固定ならびに固溶 C 量の減少によってこの水準からさらに最低約 18 kg/mm^2 までの調整が可能である。化学成分が通常の低炭素組成で, 結晶粒度番号をプレス加工に適した 8 程度とした代表的な例についていえば, その水準は大体 $20 \sim 22 \text{ kg/mm}^2$ 程度である。ストレッチャーストレイン不可の用途については調質圧延で降伏伸びを完全に消去した状態で出荷され, また Fig. 4 で説明したように非時効性であるので 6 カ月程度の保管期間をおいても降伏伸びの回復, 加工性の劣化を生じるようなことはない。

(2) 抗張力および全伸び

抗張力と全伸びは互いに逆相関の関係にあるが, その水準は主として C 含有量の調整によって設定される。従来の熱延鋼板は軟質側の製造が困難であったが, KFN は Table 3 の実例から明かなように, 板厚 3.2 mm で抗張力 31 kg/mm^2 , 全伸び 50% 以上という冷延鋼板と同等の水準まで材質設計が可能である。

3.2 プレス成形性

(1) 曲げ加工性および張出し性

曲げ加工については従来の深絞り用熱延鋼板および KFN のいずれも C 方向の密着曲げ程度の加工では不良が生じないので両者の差は明らかでないが, 延性の良好な KFN は拘束下での曲げ加工などの困難な条件下においても適用可能である。

張出し性は引張試験の伸びからもその優劣が推定できるが, 液圧バルジ試験を行なって直接張出し性の比較を行なった Table 4 の結果もやはり KFN がすぐれていることを示している。

(2) 伸びフランジ性

熱延鋼板は冷延鋼板に比べてとくに C 方向

の伸びフランジ性が劣る点在实际に問題となる場合が多いが, KFN は炭化物と非金属介在物の両者の量およびその形態を複合的に調整することによって, 成形難易度に応じての適切な材質設計を行なっている。Table 5, 6 にその平均的なサイドベンド伸び率と穴だがり率を示す。

(3) 深絞り性

深絞り性については, 前述したように, 集合組織に起因する塑性異方性の積極的な利用が熱延鋼板では実質的に不可能なために, その飛躍的な改善は望めないが, それでも Table 7 に示すように限界絞り比で約 0.1 程度向上しており, 熱延鋼板としては最良の値となっている。

3.3 溶接性

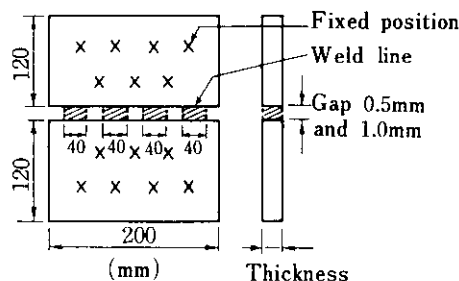
熱延鋼板に施工例の多い CO_2 溶接について, Table 8 に示す代表的な条件で C 型治具拘束突き合わせ溶接によるフィスコ割れ試験 (JIS Z3155) を行なったが, その結果は良好で溶接上の問題点はなかった。また実際の生産ラインでの使用結果についても従来の Al キルド深絞り用熱延鋼板との差は認められていない。

Table 8 Weldability test

FISCO cracking test (JIS Z3155)

Welding condition

Welding current	240A
Arc voltage	30V
Welding speed	1m/min
CO_2 gas flow rate	20 l/min
Tip height	15mm
Wire	KC-50 1.2mm



3.4 表面性状

KFN は表面性状に対して不利な工程条件をとることなく材質改善がなされているため、とくにプレス製品の表面外観が問題になるような用途に対してその特長を最大限に発揮する。その代表的な一例として KFN を使用した自動車のパンパーを **Photo. 2** に示す。この自動車のパンパーは従

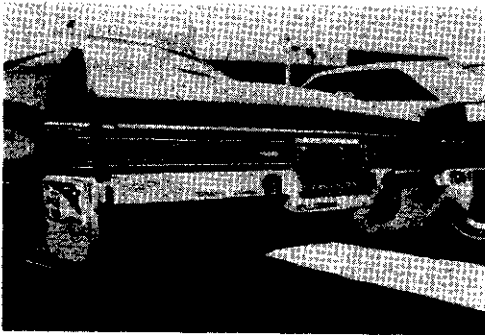


Photo. 2 Automobile rear bumper made of KFN

来深絞り用 AI キルド熱延鋼板を使用して高い不良率に悩まされていただけでなく、プレス加工に先立っての研磨工程で除去できない表面疵はもとより、ストレッチャーストレイン、腰折れやたみじわなど今まで熱延鋼板では当然と考えられていた欠陥がすべて不可となる厳しい条件が付されていたものである。これはいいかえれば表面を研磨した熱延鋼板素材がブライト仕上の深絞り用冷延鋼板と表面、材質ともに同等の性状を備えていなければならないことを意味する。このような加

工性と表面性状についての高度の要求を KFN は同時に満すことができ、このパンパーの実際の生産で満足すべき使用実績を収めている。

4. む す び

以上当社が今回新たに開発したプレス加工用熱延鋼板、川鉄規格 KFN について、品質設計上の要点とその冶金技術面からの背景を説明し、あわせて材質水準についての紹介を行なった。

この KFN は製鋼工程での厳密な化学成分の調整と B の添加、さらには必要に応じての RH 脱ガス法による脱炭処理とスラブ連続鑄造の採用ならびに希土類金属の添加、そして熱延工程での条件設定を組み合わせ、成分、結晶粒度、炭化物、非金属介在物、集合組織などの基本的な冶金要因を調整することによって、機械的性質、プレス加工性、耐時効性そして表面性状を改善し、その用途に応じて最適のプレス加工用素材となるように品質設計したものである。

なお本報で報告した熱延鋼板の材質におよぼす B の影響については、冶金技術上興味ある問題を二、三含んでいるのであらためて詳細な報告を行なう予定である。

最後にとくに需要家の方々へ今後この KFN の特長を生かした用途の開発をお願いするとともに、その際品質設計の指針となる技術情報の提供、さらには一層の材質向上のためのご鞭撻をお願いしたいことを付言して報告を終らせていただきます。

参 考 文 献

- 1) N.J.Petch : JISI, **173** (1953), 25
- 2) 藤井, 小川, 日野 : 塑性と加工, **65** (1966) 7, 315
- 3) W.J.Lankford, S.C.Snyder & T.A.Bansher : Trans. ASM, **42** (1950), 1197
- 4) 伊藤, 神崎 : 鉄と鋼, **52** (1966) 8, 1188
- 5) L.J.Rohr : JISI, **176** (1954), 173
- 6) 学振19委第3分科会 : 鋼中微量元素協議会資料
- 7) S.Elsea & Manning : Trans. AIME, **206** (1956), 984
- 8) R.W.Fountain & J. Chipman : Trans. AIME, **224** (1962), 599
- 9) W.C.Leslie, R.L.Rickett, C.L.Dotson & C.S.Walton : Trans. ASM, **46** (1954), 1470
- 10) 金沢, 中島, 田辺, 安田 : 富士製鉄技報, **12** (1963), 162

- 11) 沢村：理論鉄冶金学，〔丸善〕
- 12) H.Schenck & E.Steinmetz：Stahleisen-Sonderberichte, 7 (1968)
- 13) P.Stark, B.L. Averbach & M.Cohen：Acta Met., 6 (1958), 149
- 14) G.Lagerberg & A.Joffson：Acta Met., 3 (1955), 236
- 15) 久保寺，中岡，長嶺：鉄と鋼，52 (1966) 8, 1171
- 16) 高階，坂本，秋末：塑性と加工，93 (1968) 9, 698

