討32　線材の加工性に及ぼすP・S・Nの低減の効果

新日鉄　生産技研○矢田　浩　光研究部　富永治朗
君津研究部　落合征雄　釜石研究部　村上雅昭
本　社　藤井資也

1. 緒　言

近年　製鋼技術の発達により鋼の不純物元素量が低減の一途を辿り，これにより鋼材の諸特性も一般に向上しつつあることは周知の通りである。とくに最近溶銑予備処理技術の開発が進められており，これにより従来量産鋼では難しかったPやNの低減も可能になってきた。線材は一般に苛酷な2次・3次加工を行って使用に供せられるので，高級鋼を中心に高純化による加工性の向上がこれまでも種々検討されてきた。[1] 今回は上記の新製鋼技術の展望の上に，最も汎用的な品種である軟鋼線材および硬鋼線材を対象に，加工性に及ぼす高純化の効果について系統的な検討を行い，加工プロセスへの影響についても考察を行った。

2. 実　験

供試材は高純原料を用いて真空溶解し，主として100Kgの鋼塊とし，熱間鍛造を行って80～120㎜φとし，プロパー製品のビレットに溶接して線材ミルで加熱・圧延を行った。試験を行った品種・検討範囲・圧延寸法等をTable 1 にまとめて示す。

軟鋼線材は細引を行うM6級で軟質化あるいは加工性の向上の効果が考えられるのでこれを選んだ。

硬鋼線材は細径までの伸線性の向上効果が考えられるH72Aと，比較的太径のPC鋼線等で熱処理の簡省略や強度・靱性の向上を期待できるS77B, 87Bを選んだ。S62Bは比較材として作製した。

以上の他に転炉出鋼のプロパー材も比較材として試験した。

Table 1. Steel used

Classification	JIS Symbol	impurity range(%)	Finishing speed(m/S)	Rod diameter(mm)	Coiling (cooling)
Low carbon Steel Wire rod	SWRM6	C：0.006～0.076 P：0.003～0.018 S：0.002～0.013 N：0.0005～0.0029	30	5.5	Laying
High carbon Steel Wire rod	SWRH72A	P：0.002～0.021 S：0.002～0.017 N：0.0004～0.0036	30	5.5	Vertical Loop DP
			60		Stelmor DP
	SWRS77B		30	12	Vertical Loop DP
			60		Stelmor DP
	SWRS77B SWRS87B (SWRS62B)		60	8	Stelmor DP

3. 結　果

3.1　軟鋼線材

Table 2 に調査した項目と結果の概要を示す。以下主な結果について説明する。

Fig.1は圧延まゝの線材の引張特性に対するN低減の効果で，0.001%当り0.7～1.1Kg/㎟程度の軟化が見られる。この場合はC量，冷却速度などの製造条件のばらつきがあって正確ではないので，別途実験室的に成分を一定とし，熱処理によりパーライト量・フェライト量などの組織因子

Table 2. Summary of effect of decrease in P・S・N content on workabilities of low-carbon wire rod

Properties	P	S	N	Total effect
Tensile test (Softening)	○	－	○	○
Drawability	△	△	○	○
Strength and toughness of wire	△	△	○	○
Cold upsetability	△	○	△	○
Workability in flat rolling	△	○	△	○
Properties of flat rolled wire	△	△	△	△
Softening by annealing	○	－	○	○

○：Definite effect
△：Effect not obvious
－：No effect

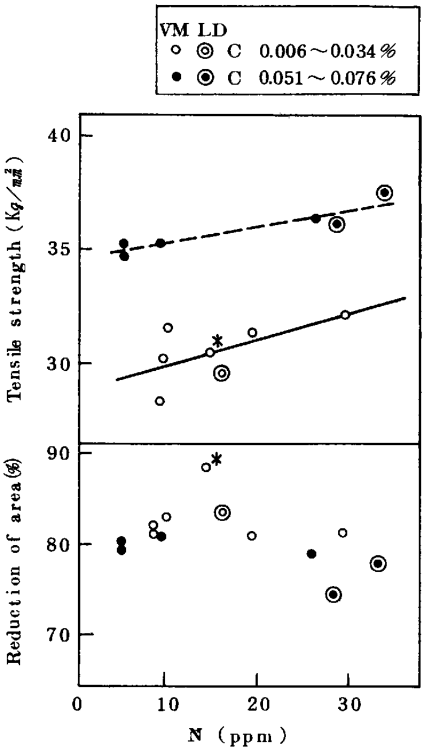

Fig. 1 Effect of N content on the tensile properties of Low-carbon wire rod

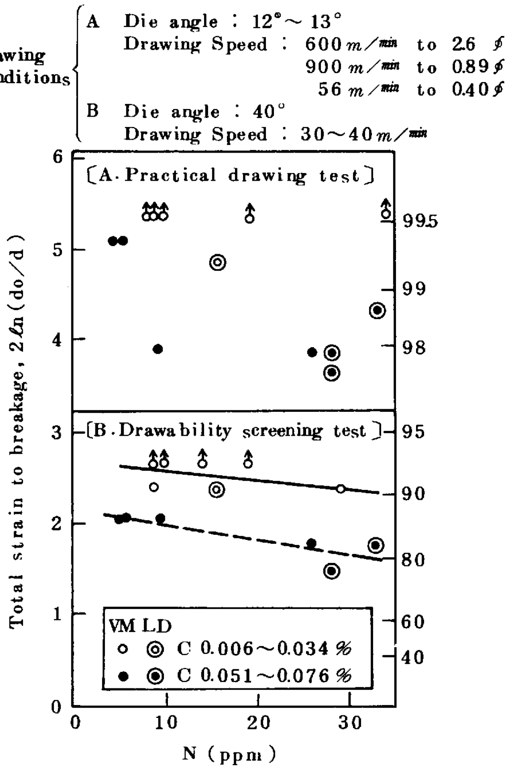

Fig. 2 Effect of N content on the drawability limit of low carbon steel wire rod

もできるだけ一定とした実験を行った結果，N量，12～27 ppm の範囲で 0.001％当り 0.7Kg/mm² の軟化効果があるという結論を得た。これは全量固溶と考えたときの従来報告されている強化効果をほぼ一致する。[2]

同様にしてPの低減も 0.01％当り 1.1～1.5 Kg/mm² の軟化効果があるという従来の知見[3]とほぼ一致する結論を得た。

絞りはおおむね軟化とともに向上する傾向を示すが，C・P・S・Nのすべてが低い鋼はとくにすぐれた値を示す。(Fig.1 ＊印：0.01C，0.004P，0.002S)

Fig.2 は伸線試験で伸線限界を求めた結果である。実用条件での高速伸線（条件A）およびダイスの入口角を高めた伸線試験のいずれでも低N化による伸線性の向上効果が認められる。ただし低C鋼では実験した範囲内で伸線限界が求められない場合が多いので効果は必ずしも明確ではなかった。その他の元素については効果はそれほど顕著ではなかった。

Fig.3 は伸線材の特性の例であり，上記の線材の特性に対する高純化の効果がさらに拡大され，とくにCを含めすべての不純物元素を低減したA鋼は伸線加工によって靱性が殆んど低下しない。個々の元素の効果を検討し

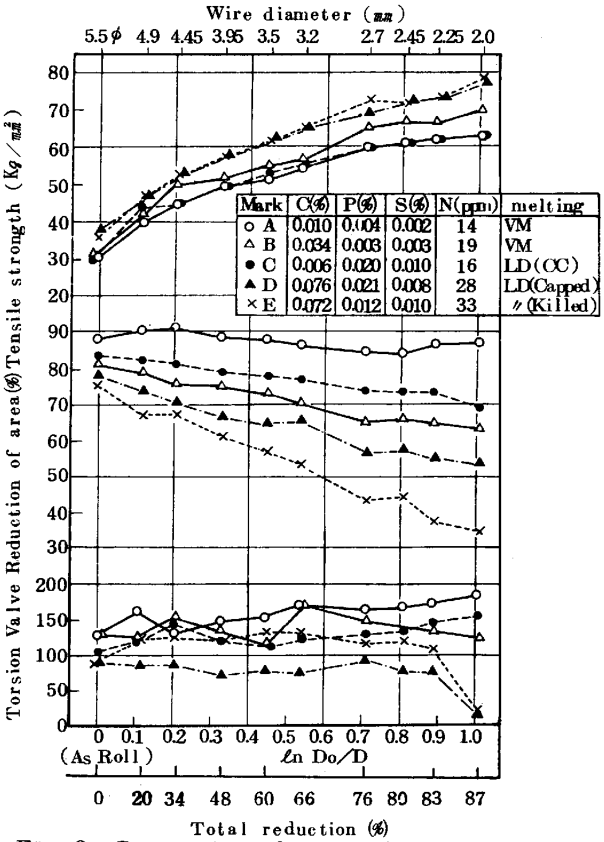

Fig. 3 Properties of some as-drawn wires

た結果では，低N化の効果が加工硬化の減少，絞り・捻回値の向上のいずれについても認められ，P・Sについては必ずしも明確でなかった。

平圧性，冷間鍛造性については主として低S化の効果が認められる。Photo. 1 に示すように，P・S・Nをいずれも低減すると静的圧縮で切欠から亀裂が全く進展しなくなる。

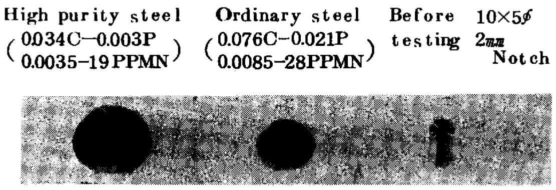

Photo. 1 Example of specimens in upsetting test

3.2 硬鋼線材

Table 3 に調査した項目と結果の概要を示す。以下主な結果について説明する。

Fig.4は実用伸線条件での伸線性に対する成分の効果で，低N化の効果が明らかに認められる。P・Sの効果は必ずしも明確ではない。この図から20ppm程度の低N化により，C量が0.10～0.15％低い鋼と同等程度まで伸線可能なことがわかる。

Fig.5は鋼線の強度も靱性の関係を示したもので，高純鋼は伸線加工度・C量に係らず通常鋼に比べ高水準の靱性を有することに示している。しかし87Bほど高C化すると，高純化によっても高靱性は得られないことがわかる。DP材LP材と全く同等の強度一靱性バランスを示す。

個々の元素の効果では，軟鋼線材と同様Nの効果が明確に認められた。

平圧試験では平圧時の割れ性に低S化の効果が認められ，平圧材の捻回・屈曲値に綜合的高純化効果が認められた。

Table 3 Summary of effect of decrease in P·S·N content on the workability of high-carbon wire rod

Properties	P	S	N	Total effect
Toughness of wire rod	−	△	△	△
Drawability (DP)	△	△	○	○
Toughness of wire (DP)	△	△	○	○
〃 (LP)	△	△	○	○
Workability in flat rolling (DP, wire)	−	○	−	○
Toughness of stress relieved wire (DP)	△	△	○	○
〃 〃 (LP)	△	△	△	○
Relaxation of stress relieved wire	−	−	−	−

○ : Definite effect
△ : Effect not obvious
− : No effect

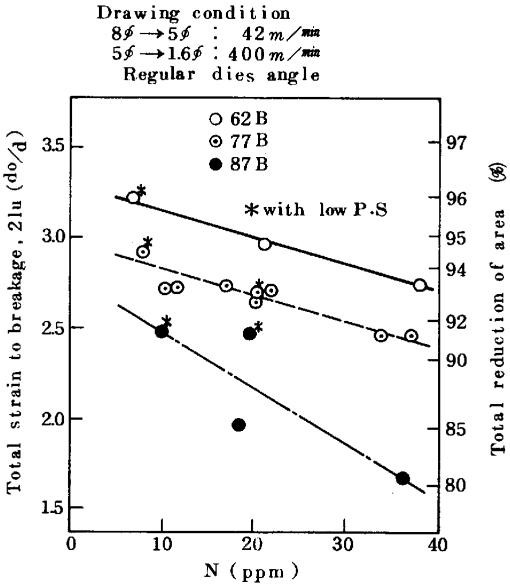

Fig. 4 Effect of N content on the drawability limit of as-rolled high-carbon wire rod

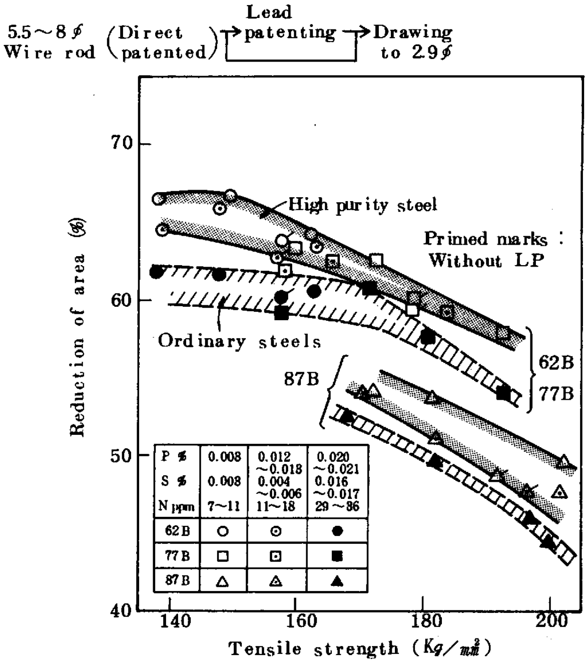

Fig. 5 Effect of impurity level on the strength-toughness relationship of wire

ブルーイング材における高純化効果の例をFig.6に示したが，高純鋼は350～400℃での焼戻脆性がかなり軽減される。この場合もNの低減の効果が比較的明確に認められた。

なお低N化により懸念されるリラキゼーション特性の劣化は見られなかった。

4. 考　察

4.1　高純化効果

圧延まゝあるいは熱処理後の線材でも高純化の効果がある程度認められるが，伸線性，伸線材の靱性等ではこの効果がより明確となり，そのうちでもNの寄与が顕著である。これは従来から報告されているNの歪時効脆化[4]が軽減することによるものであろう。この効果は圧延ままの固溶N量とではなく，全N量と相関が認められた。

冷鍛性・平圧性等について主として低S化の効果が認められたが，これは従来も報告されているように[1],[5]鋼の清浄化と関連した現象と考えられる。とくに軟線において，伸線材の特性や冷鍛性にP・S・Nの綜合的な低減効果が見られたが，これは極めて小さい応力集中源でも破壊の起点として働くようになるためと思われる。

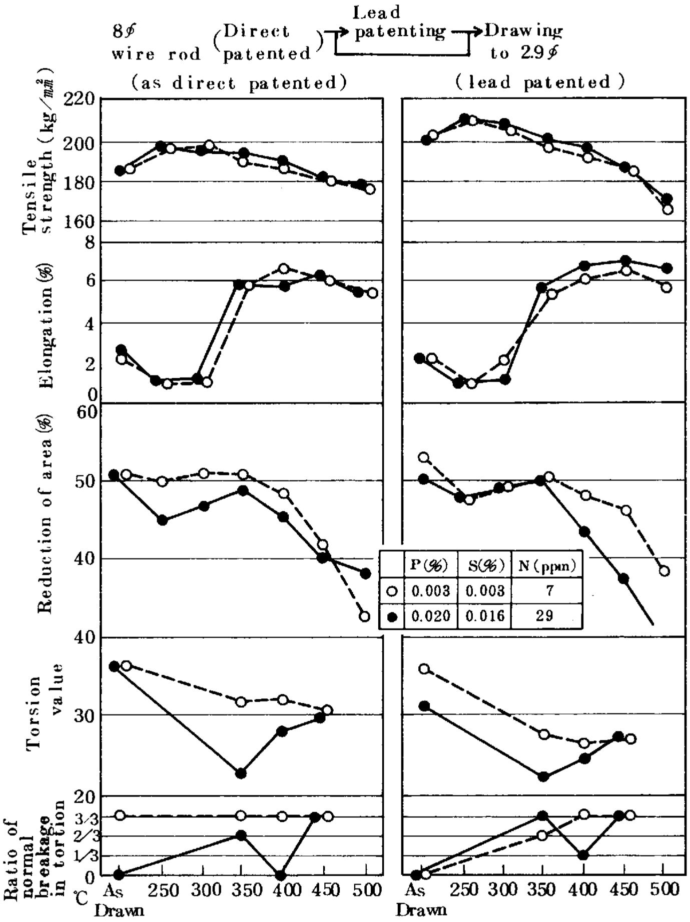

Fig. 6　Change of properties of wire by stress－relieving heat tretment

4.2　高純化効果の活用

軟線の軟質化は加工上有利であるが，とくにCC化が進みつつある現在CC化による硬質化傾向に対する一つの対策となり得よう。また低炭材では著るしく高減面伸線が可能で，極細線製造において中間焼鈍の省略も期待できると思われる。

硬鋼線においては伸線限界の向上・伸線材の靱性の向上効果を併せて，伸線加工度または高C化で，他の条件を一定として10Kg／mm²以上の強化が可能である。またある目標強度に対してはLP材と同等の強度・靱性がDP材でも得られる可能性をも示している。

以上のような高純化効果は現在開発されつつある新調整冷却技術[6]と結びついてより大きい効果が期待される。

〔参考文献〕

1）例えばT.Sato.M.Murakami and H.Sato:24th Mech. & Steel Processing Conf. AIME, 1982・10・28
2）例えばF.B.Pickering："Hardenability Concepts with Applications to Steel", edited by D.V. Doane and J.S.Kirkaldy, AIME（1978），p.179.
3）日本学術振興会製鋼第19委員会："鉄鋼と合金元素（下）"誠文堂新光社（1966）p.19
4）山田：鉄と鋼，61（1975），p.2238.
5）中沢，小椋，村上，井手：鉄と鋼，66（1980），S1108.
6）矢田・森・村上・富永・落合：製鉄研究，第310号（1982），p.264.