

自動車用非調質鋼

松島義武・長谷川豊文
神戸製鉄所・条鋼技術部

Microalloyed Steels for Automobile Components

Yoshitake Matsushima・Toyofumi Hasegawa

Microalloyed steels have been developed to simplify the process for automobile components and to reduce the cost. Microalloyed steels are classified into three main categories; steels for hot-forging for cold-working and for direct cutting according to the manufacturing process of components. In this paper the current developmental status and examples in practical use of the steels are introduced.

まえがき = 自動車のエンジン部品や動力伝達・足廻り部品の多くは、特殊鋼を素材として、鍛造、熱処理、切削の加工工程を経て製造されている。しかし、消費者の低価格指向や、海外の自動車メーカーとの競争激化、さらに環境問題に対応した省エネルギー化の動きを反映して、自動車部品の製造工程の合理化と低コスト化が強く求められている。

このような動きに対し、欧州や日本の鉄鋼メーカーを中心に、焼入れ・焼戻し処理や球状化焼なまし処理などの熱処理の省略可能な非調質鋼の開発が進められてきた。当社では炉外精錬や連続鋳造、制御圧延などの鋼材の新製造技術を活用しつつ、部品の性能や加工性を損なうことなく熱処理の省略可能な各種非調質鋼の開発を進め、多くの自動車部品で実用化されている。以下に当社で開発した鋼を中心に、各種非調質鋼の特徴と自動車部品への適用例について紹介する。

1. 非調質鋼の開発経緯と種類

非調質鋼を適用すると、焼入れ・焼戻し処理に必要な労務費やエネルギーが削減でき、生産のリードタイムも大幅に短縮される¹⁾。クランクシャフトなどの複雑な形状

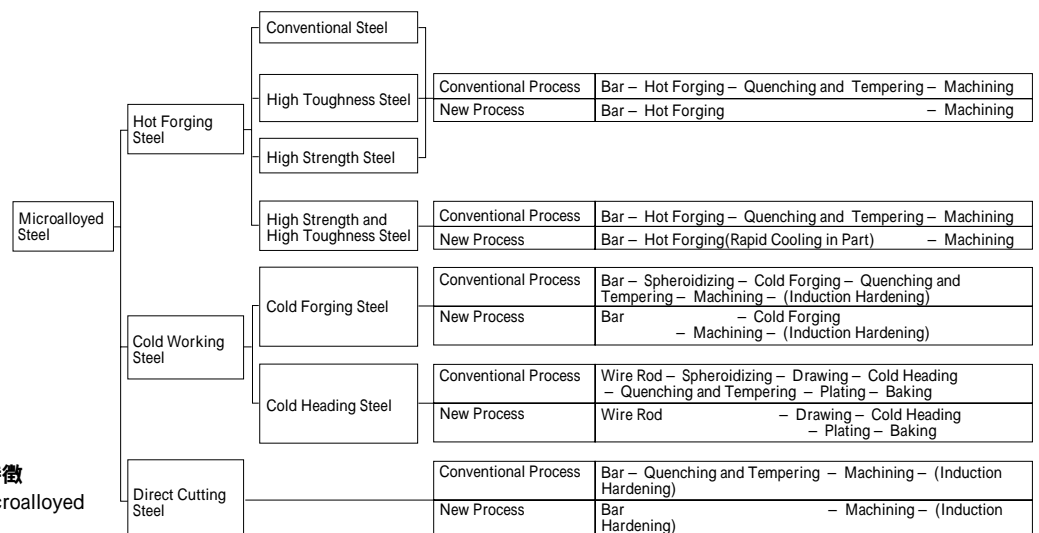
の部品では熱処理歪みが低減し、焼入れ・焼戻し処理後の矯正や歪み取り焼なましも省略できる²⁾。このように非調質鋼の適用によるメリットは大きく、日本では1980年頃より熱間鍛造後の焼入れ・焼戻し処理が省略可能な非調質鋼が開発され、自動車部品を中心に使用されるようになった。その後も以下に示した各種非調質鋼が開発され、実用化された。

非調質鋼は部品の成形加工法の違いにより、
熱間鍛造用鋼
冷間加工用鋼
直接切削用鋼

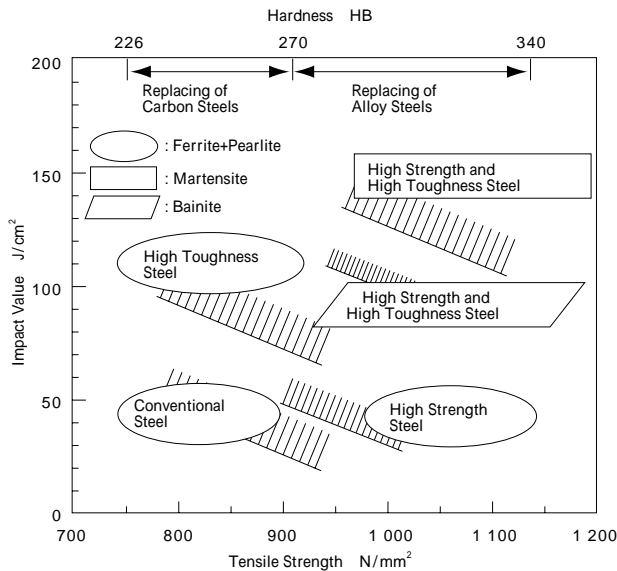
の3種類に分類される。第1図に各々のタイプの非調質鋼の特徴と部品の加工工程を示す。の熱間鍛造用と直接切削用の非調質鋼は棒鋼から部品に加工される場合が多い。の冷間加工用非調質鋼は鍛造型と圧造型に分類され、前者は棒鋼から、後者は主にボルト用として線材から部品に加工されることが多い。以下に各種非調質鋼の特徴と実部品への適用例を紹介する。

2. 熱間鍛造用非調質鋼

熱間鍛造用の非調質鋼は、第2図に示すように強度と



第1図 非調質鋼の種類と特徴
Fig. 1 Classification of microalloyed steels



第2図 各種熱間鍛造用非調質鋼の強度・靱性バランス
Fig. 2 Relationship between tensile strength and toughness in microalloyed steels

衝撃特性に応じて、基本型非調質鋼、高靱性非調質鋼、高強度非調質鋼と高強度・高靱性非調質鋼の4種に分類される³⁾。

2.1 基本型非調質鋼

引張強さが700~800N/mm²級の構造用部品は、従来炭素鋼を焼入れ・焼戻し処理して製造されてきた。焼入れ・焼戻し処理の省略を図るため、高張力鋼板の分野において利用されているマイクロアロイング技術を適用した鋼が基本型非調質鋼である。具体的には中炭素鋼に少量のVを添加した鋼であり、熱間鍛造後の冷却過程においてフェライト部にVの炭窒化物を析出させ、鍛造後冷却のまま高い強度がえられる。析出強化元素としてVが広くもちいられている理由は、鍛造加熱時にオーステナイト中に固溶しやすく、熱間鍛造時に加熱温度が変化しても強度の変動が少ないためである⁴⁾。

ただし、安定した強度特性をえるには、熱間鍛造時の加熱温度や冷却速度を管理する必要がある³⁾。また非調質鋼は調質鋼にくらべ内部硬さが高くなるため、ドリル寿命が低下する⁴⁾。このように、切削様式によってはSやPbなどの快削性元素を添加した鋼の適用を検討する必要がある。

本鋼種は以上の点を考慮しつつ実部品に適用され、クランクシャフトやコネクティングロッドなどのエンジン部品、ホイールハブやロアーアームなどの足廻り部品に適用され、現在非調質鋼の中でもっとも多量に使用されている。

2.2 高靱性非調質鋼

基本型非調質鋼は、ミクロ組織が粗いフェライト・パーライト組織であるため、焼入れ・焼戻し材にくらべ衝撃値が低く、衝撃荷重がかかる部品には適用できない⁵⁾。

高靱性非調質鋼としてC量を低減しC量低減による強度低下を補うためMn、Crを増量添加した低炭素フェライト・パーライト鋼を基本成分とし、Tiを少量添加して組織の微細化を図った鋼が開発された^{6),7)}。さらに、Sを増量添加して熱間鍛造後の冷却時においてMnSを核

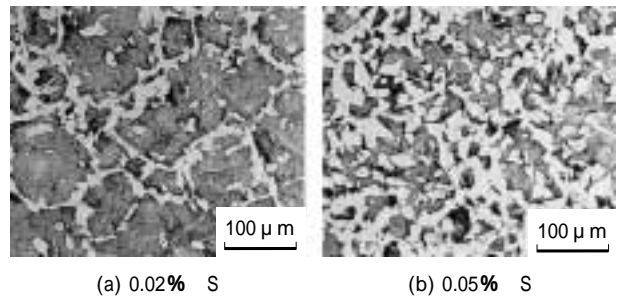


写真1 非調質鋼の組織に及ぼすSの効果

Photo.1 Effect of S content on microstructure of microalloyed steels

第1表 高靱性非調質鋼と高強度非調質鋼の機械的性質

Table 1 Mechanical properties of high toughness microalloyed steel and high strength microalloyed steel

Steels	Hardness HB	Tensile Properties				Impact Properties uE ₂₀ J/cm ²	Fatigue Properties σ _w N/mm ²
		PS N/mm ²	TS N/mm ²	El. %	RA %		
High Toughness Microalloyed Steel (KNF23M)	253	578	811	24	58	79	421
High Strength Microalloyed Steel (KNF33M)	280	676	911	22	50	50	470
Conventional Microalloyed Steel	258	554	847	19	38	38	382
JIS S55C	248	465	818	26	57	76	384

として、多数の粒内フェライトを生成させ、組織の微細化を図った鋼が開発された^{6),8)}。Sの組織微細化効果の例を写真1に示す。

第1表に当社開発の高靱性非調質鋼KNF23Mの機械的性質を示す。基本型非調質鋼にくらべ衝撃値は高く、焼入れ・焼戻し鋼と同等の衝撃特性を有している。

高靱性非調質鋼はナックルアームやフロントアクスルIビームなどの足廻り部品に適用されている。

2.3 高強度非調質鋼

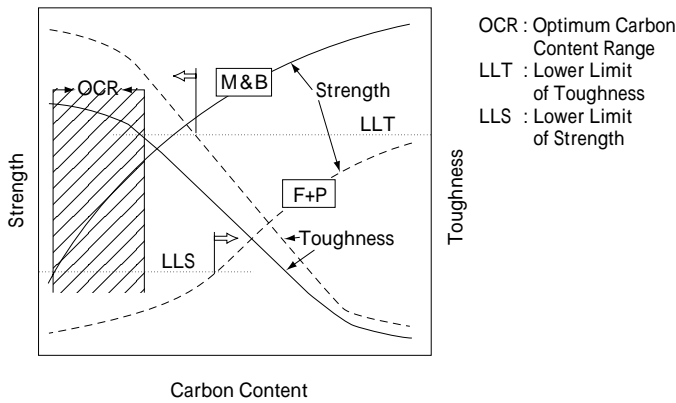
基本型非調質鋼をもちいて製造されている部品の小型・軽量化や、合金鋼をもちいて焼入れ・焼戻し処理して製造されている部品への適用を狙って開発された鋼であり、引張強さは900N/mm²以上である。熱間鍛造後の組織はフェライト・パーライトで、耐力や疲労強度を改善するため、基本型鋼にくらべC量を低減し、V量を増加させたり⁹⁾、Mn、Cr量を適正化している¹⁰⁾。

前述の第1表中に当社開発の高強度非調質鋼KNF33Mの機械的性質も併せて示したが、基本型非調質鋼や焼入れ・焼戻し鋼にくらべ耐力や疲労強度が大幅に向上している。

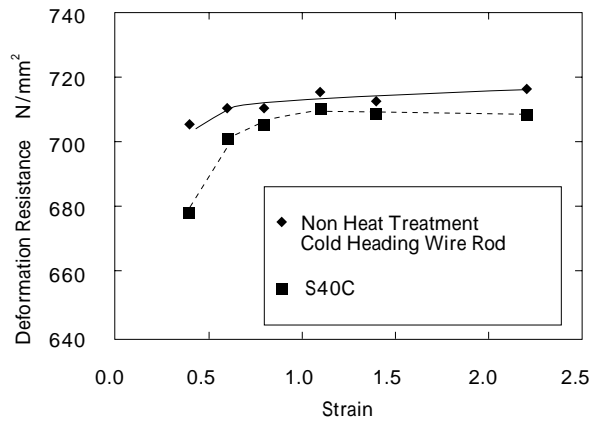
高強度非調質鋼は高耐力、高疲労強度が要求されるコネクティングロッドや、ナックルスピンデルなどの足廻り部品に適用されている。

2.4 高強度・高靱性非調質鋼

合金鋼をもちいて焼入れ・焼戻し処理して製造されており、引張強さが900N/mm²以上で、かつ優れた衝撃特性が要求される部品への適用を狙って開発された鋼である。高強度と高靱性を確保するため、第3図に示すように、開発鋼はいずれもC量を低減し、組織をベイナイ

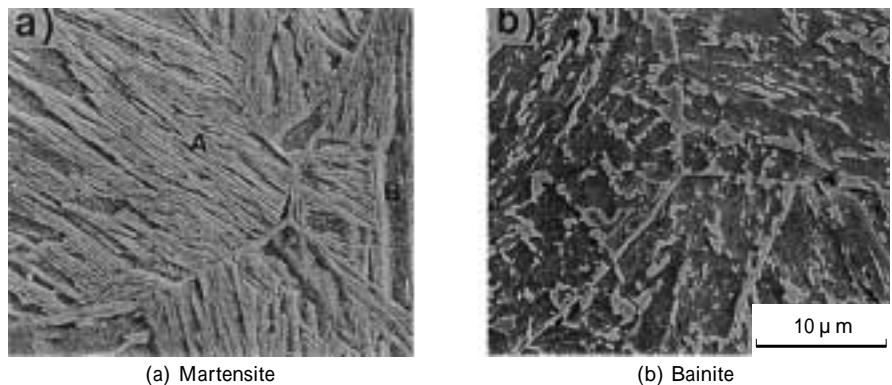


第3図 炭素量と強度、靱性の関係の模式図
 Fig. 3 Schematic representation of relationship among strength, toughness and carbon content



第4図 非調質鋼の変形抵抗曲線
 Fig. 4 Deformation resistance-strain curve of non heat treatment cold heading wire rod

写真2 高強度・高靱性非調質鋼の組織
 Photo.2 SEM micrographs of high strength and high toughness microalloyed steels



またはマルテンサイト主体の組織となるように化学成分を調整している¹¹⁾。写真2にその組織写真を示す。

ベイナイト鋼は熱間鍛造後に放冷または衝風冷却するもので、熱間鍛造後に焼戻しによる時効処理を施し、高耐力と高疲労強度を確保した鋼も開発されている¹²⁾。マルテンサイト鋼は鍛造後に急冷処理を施すことにより、引張強さが980N/mm²級で、98J/cm²を越える高い衝撃値がえられる。

これらの鋼種はローアームやナックルスピンドルなどの足廻り部品に適用されている。

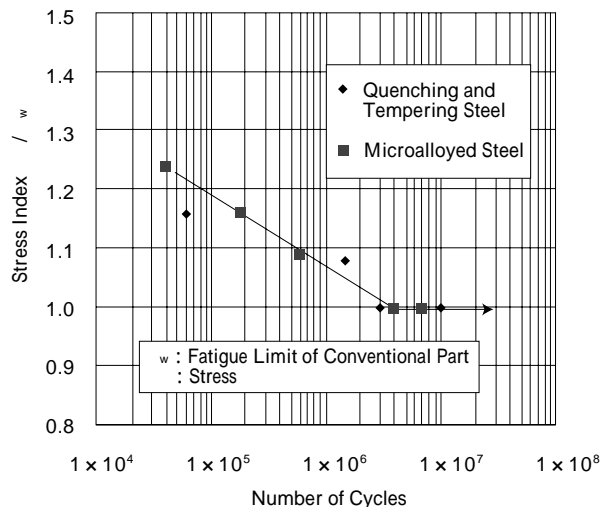
3. 冷間加工用非調質鋼

以上述べた非調質鋼は熱間鍛造時の残熱を利用して焼入れ・焼戻し処理の省略を可能にした鋼であるが、以下にのべる冷間加工用非調質鋼はいずれも、冷間加工時の加工硬化を利用して、焼入れ・焼戻し処理の省略を可能とした鋼である。

3.1 冷間鍛造用非調質鋼

機械構造用鋼をもちいて球状化焼なまし処理を施し、冷間鍛造にて成形加工し、焼入れ・焼戻し処理と高周波焼入れ処理して製造される部品において、球状化焼なましと焼入れ・焼戻し処理の省略を狙って開発された鋼である。この鋼は冷鍛性阻害元素であるCやSi、Sなどの量を低減し、冷鍛性に影響の少ないBを添加して高周波焼入れ性を改善することにより必要な強度特性を確保した鋼である¹³⁾。

冷間鍛造用非調質鋼と球状化焼なまし処理した中炭素



第5図 リアスピンドルのS-N曲線図
 Fig. 5 S-N diagram for rear spindle

鋼の冷間鍛造時の変形抵抗を第4図に示す。本鋼は圧延ままの状態にもかかわらず、中炭素鋼を球状化焼なまし処理したものと同等の低変形抵抗を示している。

冷間鍛造用非調質鋼と中炭素鋼をもちいて、冷間鍛造にて足廻り部品の一つであるリアスピンドルに加工し、中炭素鋼についてはさらに焼入れ・焼戻し処理した。その後、両鋼とも高周波焼入れ処理し、実体耐久試験をおこなった。結果を第5図に示す。非調質鋼は焼入れ・焼戻し鋼と同等の疲労強度を有している。

3.2 冷間圧造用非調質鋼

引張強さが700N/mm²以上の高張力ボルトは、S45C

第2表 非調質ボルト用鋼の適用状況

Table 2 Application progress of steels for non heat treatment cold headed bolts

Strength	Bolt Type				
	Stud Bolt	U Bolt	Hexagon Head Bolt	Hexagon Head Bolt with Flange	Hexagon Socket Head Bolt
7T					x
8T					x
9T		—		x	x
10T		—		x	x

: already in practical use

: in limited use for bolts with low compression ratio

x : out of use

第3表 熱間鍛造用非調質鋼の化学成分 (ISO 11692 : 1994 (E))

Table 3 Chemical composition of microalloyed steel for hot-forging (ISO 11692 : 1994 (E))

Type of Steel Designation		Chemical Composition %					
Number	Name	C	Si max	Mn	P max	S	V
1	19MnVS6	0.15 to 0.22	0.80	1.20 to 1.60	0.035	0.020 to 0.060	0.08 to 0.20
2	30MnVS6	0.26 to 0.33	0.80	1.20 to 1.60	0.035	0.020 to 0.060	0.08 to 0.20
3	38MnVS6	0.34 to 0.41	0.80	1.20 to 1.60	0.035	0.020 to 0.060	0.08 to 0.20
4	46MnVS6	0.42 to 0.49	0.80	1.20 to 1.60	0.035	0.020 to 0.060	0.08 to 0.20
5	46MnVS3	0.42 to 0.49	0.80	0.60 to 1.00	0.035	0.020 to 0.060	0.08 to 0.20

などの中炭素鋼をもちいて球状化焼なましを施し、冷間圧造にてボルトに加工し、焼入れ・焼戻し処理して製造されてきた。本鋼は、このうちの球状化焼なましと焼入れ・焼戻し処理の省略を可能にした鋼であり、非調質ボルト用線材とも呼ばれている¹⁴⁾。球状化焼なましを省略するため、C量を低減し、低炭素化による強度低下をMnの増量添加などで補った鋼である。金属組織は部品としての強度バラツキを小さくするため、フェライト・パーライトになるよう圧延条件を制御している。

冷間圧造用非調質鋼の適用例を第2表に示す。本鋼を高加工率で冷間加工した場合、球状化焼なまし材にくらべ変形抵抗が高くなるため、スタッドやUボルトなどの比較的加工度の小さい部品に適用されている。六角ボルトについては、低強度ボルトまたは加工度が小さいボルトに適用可能である。

4. 直接切削用非調質鋼

ステアリングシャフトやピンなどのように、圧延材を焼入れ・焼戻し処理し、その後直接切削加工して製造される部品に適した鋼である。組織はフェライト・パーライトであり、必要強度を確保するため中炭素鋼にVを少量添加し、衝撃特性を改善するため制御圧延を実施している¹⁵⁾。本鋼は圧延での強度特性が部品強度に直結するため、強度別に鋼種区分が設けられている。

5. 海外の動向

1970年代の始め、クランクシャフト用非調質鋼がドイツで開発された¹⁶⁾。この鋼の主要化学成分は0.47%C-0.75%Mn-0.06%S-0.1%Vであり、基本型の熱間鍛造用

非調質鋼に該当する。1980年代の中頃、衝撃特性の改善を狙って、C量が0.1~0.3%の低炭素マンガング鋼に0.1%程度のVを添加した高靱性型の熱間鍛造用非調質鋼が開発されている¹⁷⁾。

このような海外ならびに日本での非調質鋼化の動きに対応して、1994年ISO11692にて非調質鋼が規格化された。本規格では、熱間鍛造用と直接切削用のフェライト・パーライト組織を有する析出硬化タイプの鋼について記載されている。熱間鍛造用の非調質鋼は、第3表に示した化学成分範囲が規定されており、直接切削用の非調質鋼は強度別に鋼種が規定されている。

むすび=国内外における非調質鋼の開発状況と適用例について紹介した。自動車メーカーにおけるコストダウン指向を反映して、非調質鋼の適用はさらに拡大するものと推定される。中期的には、自動車の軽量化の動きに対応して、より高強度な非調質鋼が必要となる。この場合、鍛造性や切削性などの加工のしやすさも十分考慮しながら鋼材開発を進めていく必要がある。

さらに、自動車の開発期間の短縮化が求められている中で、非調質鋼のような新しい鋼材を短期間のうちに実用化するには、鋼材設計および加工技術の両面から総合的に検討する必要がある。このためには、自動車・部品・鉄鋼の各メーカーが連携して進めていくことが重要である。

参考文献

- 1) 前島敬一ほか：鍛造技報, Vol. 53 (1993) p.4.
- 2) 脇門恵洋ほか：自動車技術, Vol.39, No.8 (1985) p.927.
- 3) 仲井覚一：特殊鋼, Vol.42, No.5 (1993) p.45.
- 4) 中村守文ほか：金属, Vol.54, No.3 (1984) p.59.
- 5) 前田寿雄ほか：自動車技術, Vol.43, No.6 (1989) p.79.
- 6) 子安善郎ほか：製鉄研究, Vol.337 (1990) p.42.
- 7) H.Osuzu et al. : SAE Paper 860131.
- 8) 中村守文ほか：鉄と鋼, Vol.70 (1987) S1217.
- 9) 松島義武ほか：材料とプロセス, Vol.5 (1992) p.781.
- 10) 井上善一郎ほか：電気製鋼, Vol.67 (1996) p.56.
- 11) 勝亦正昭ほか：日本金属学会報, Vol.31, No.6 (1992) p.547.
- 12) N. Iwama et al. : SAE Paper 950211
- 13) M. Nakamura et al. : SEA Paper 860129
- 14) 中村芳美ほか：神戸製鋼技報, Vol. 31 No.4 (1981) p.34.
- 15) 小新井治郎ほか：神戸製鋼技報, Vol. 34 No.1 (1984) p.691.
- 16) S. Engineer et al. : Fundamentals of Microalloying Forging Steels, (1986) p.19.
- 17) P. H. Wright : Metal Progress, 12 (1988) p.29.