

当社の自動車用鋼材への取り組み

On the Development of Bar and Wire Rod Materials for Automobile Use

西田和彦/Kazuhiko Nishida・条鋼事業部 大阪駐在 専門部長

佐藤武史/Takeshi Satou・小倉製鉄所 条鋼技術室

要 約

需要家ニーズの推移と、当社条鋼製品における対応状況を紹介した。自動車は、車としての性能のみならず、社会との調和、環境問題への対応が求められている。それぞれの課題に対応するために、適した鋼材の開発、及び二・三次加工支援技術を開発してきた。それらの内容を紹介すると共に、今一番強く求められているコストダウンに、工程省略で対応できる非調質鋼、冷間鍛造用鋼等の開発動向について述べた。併せて、今後の材料費低減の1方法であるボロン鋼について、その特徴についても言及した。また、これからの部品開発の1つの方向として、材料とプロセスを組合せた開発の事例についてもふれた。

Synopsis

Explanation of bar and wire rod materials for automobiles in relation to changing user needs. Automobiles must not only fulfil the technical potential of their function as transport, but must also harmonize with society and be constructed with responsibility concerning environmental issues.

To overcome these problems, various bar and wire rod materials have been developed, including technology to assist the drawing and forging processes. Increasing demand for cost reduction has brought a need to eliminate whole processes.

Development trends for cost-reducing materials such as micro-alloy and cold forging materials are mentioned.

When developing parts, the combination of material and process development is now very important. Examples of such methods are also explained.

1. 需要家ニーズの変遷と当社棒鋼・線材製品の対応

当社が機械構造用鋼の製造を本格的に開始したのは、昭和40年代の初めであり、ちょうど、国内でモータリゼーションの急速進展した時期に当たっている。このころ、乗用車の生産台数が年間50万台のペースで増産され、生産能力の向上、及び品質の安定が強く求められていた。切削加工の能力向上に対応できる鋼材が必要とされ、S、Pb、Caなど各種快削鋼の開発と実用化につながった。更に、機械加工ラインの自動化・無人化の進展にともない、快削鋼の生産量は増加の一途をたどった。また、自動車部品の生産能力向上のために、ボルトをはじめとして各種部品の冷間鍛造化が押し進められるようになり、冷間鍛造に適した鋼材の規格化が進められた。

一方では、国内での急激な自動車の普及により、自動車と社会の調和を図っていくことの重要性が認識されはじめ、安全性向上、排ガス浄化、騒音低減等の規制が順次整備され、強化されつつ今日に至っている。その結果、例えば、騒音源の一つである駆動系に対しては、歯車精度の向上が

採り上げられ、鋼材に対して、化学成分、焼入性の狭幅管理が求められ、低歪み鋼開発のニーズが生じた。

これらの動きに対応するために、大断面ブルームCC新設、真空アーク加熱脱ガス設備、線材工場へのステルモア冷却方式とブロックミルの導入、更には、中間加工線製造ラインの新設、H-V圧延の無張力圧延制御装置を組み込んだ棒鋼工場の新設とコイル設備の増設、SFM(スーパーフィニッシングミル)の増設、オンライン自動探傷装置の設置、線材ミルへのH-V圧延の導入などにより、棒鋼・線材製品の表面、断面はもちろん、長手方向についても、均一で安定した成分、焼入性を示す鋼材の供給が可能となった。

2. 最近の需要家ニーズの動向^{1)~5)}

国内の自動車産業がその発展過程で大きく影響を受けた事項としては、(1)国内の急速なモータリゼーションに伴う自動車と社会の調和のための課題(安全向上、排ガス浄化、騒音低減)、(2)第一次オイルショックを契機とする省資源、省エネルギー、(3)円高環境下での国際競争力の維持、生産システムのグローバル化、等が挙げられる。更に、最近で

技術解説

は、国際的な地球環境問題への関心の高まりもあり、自動車にはより厳しい環境問題への対応が求められることになる。

これらの結果として、コストダウン、自動車の高性能化、製造技術のFMS（柔軟製造システム）化、等が重要テーマになりつつある。このような状況下での特殊鋼鋼材に対する需要家のニーズをまとめると第1表のように整理できる。

排ガス規制は自動車の重量増加を招き、軽量化の必要性が高まった。従来のFR車からFF車採用による軽量化のみならず、部品構造の合理化、軽量化素材（高強度化、新素材など）の活用がなされている。鋼材に対しては部品のスリム化（余肉の減少）をはかるために高強度化と同時に表面・内質の向上が求められている。

自動車の騒音減少には、構造面からの共振現象の抑制、音や振動の吸収による工夫など、がなされている。条鋼関係部品では、主として回転部分の隙間の減少、精度向上が計られている。歯車では、精度を上げて歯当たりを良くしたり、歯数を増加することで、騒音低減がはかられている。素材としては、熱処理歪みが小さく、かつ歪み変動の小さい鋼材が望ましい。焼入性狭幅管理された、品質の安定した鋼材で、歯車を高強度化できる、高強度材料が求められている。

オイルショックを契機として、エネルギー節減の重要性が認識され、燃費向上を目指してエンジン性能の向上、走行抵抗の減少など、工夫がなされてきた。エンジン性能の向上に向けた、部品の改良例えば、回転体であるクランクの鋳物から鍛造品への転換、コンロッドが高強度化軽量化された。更なる、コンパクト化への努力が今も続けられている。今までと同一大きさのエンジンで、より大きな出力

を得ることができるようになった。エンジントルクを伝達する変速機についても、車載容量が制約を受けるため、同じ変速機容量で高トルクを受け持つことが求められている。そのために、歯車の高強度化ニーズはエンジンの高出力化と共に常にある。また、エンジンの高トルク化は消費者ニーズの多様化（4WD方式、ターボチャージャー装着等）にも合致する方向となっている。走行抵抗を減少するために、スチールラジアルタイヤが使用されているが、この中には、 $\phi 0.2\text{mm}$ 前後まで極細伸線加工された高炭素鋼線を撚り線化し、ゴムと接着したものが使用されている。極細伸線加工されるため、加工性が非常に重要であり、脱炭、偏析、介在物等について特別管理された超清浄鋼が求められている。

自動車の生産技術の中で最近特に注目されるのは、消費者ニーズの多様化に対応できる柔軟生産システムの構築（FMS化）である。少品種大量生産の従来方式から、多品種少量生産にも対応できるシステム作りが急がれている。そうすることで、需要変動への迅速対応が可能となり、かつ高い生産性を維持できる。

生産の効率化を実現するためには工程の省略又は短縮が重要である。例えば、冷間、温間、熱間の各鍛造方法を単独又は組み合わせ活用することにより、極力無切削化をはかっていくこと、できるだけ最終形状に近いものを鍛造成形すること、いくつかの部品を一体鍛造化すること、等により全体としての工程短縮がはかられつつある。

鍛造工法面では、熱間鍛造の温（冷）間鍛造化による、効率化・高精度化、熱間鍛造と冷間鍛造の組み合わせによる高精度化などがある。また、熱間鍛造と材料を組み合わせた非調質化、冷間鍛造と材料を組み合わせた冷間鍛造加工

第1表 需要家ニーズの背景と鋼材技術の対応

Table 1 The background of customer's needs and the correspondence of steel technology

| 需要家ニーズの背景 | | | 鋼材による対応 |
|---|---------|---|--|
| 課題 | 対応策 | 内 容 | |
| 1. 円高環境下での国際競争力の維持（生産システムのグローバル化） | ・コストダウン | ・熱処理簡略化 焼入れ焼戻し省略、焼きならし省略 焼きなまし省略、鍛造焼入れ、高周波化、高温浸炭、迅速浸炭 | ・二三次加工性の向上 〔冷鍛性、切削性、軟窒化性、浸炭性、極細伸線加工性〕 |
| 2. 省資源・省エネルギー（資源、エネルギーの節減及び使用効率の向上対策） | ・生産効率化 | ・機械加工簡略化 ピーリング省略、精密鍛造、切削加工無人化、切削加工省略、低熱処理歪み | ・製品の性能向上 （焼入性狭幅管理、高纯净化、強靱化など） |
| 3. 排ガス規制（浄化装置装着による重量増加への対策） | ・燃費向上 | ・鍛造工法合理化 閉塞鍛造、切断端面精度向上、冷温鍛化、組合せ鍛造、加工硬化活用 | ・耐粗粒化鋼 |
| 4. 騒音低減（自動車各部分の騒音減少対策） | ・軽量化 | ・部分の信頼性・耐久性・性能の向上 エンジン、歯車、足廻り | ・V A 鋼 （工程省略、又は簡略化、生産効率化） |
| 5. 柔軟生産システム（FMS）の構築（多品種小ロットにも対応可能な生産システム） | ・高性能化 | ・走行抵抗減少 スチールラジアルタイヤ使用 | ・高品質管理鋼 （表面疵、脱炭、偏析、介在物） |
| 6. 消費者ニーズ（高性能化、多様化への対応策） | ・高精度化 | ・高強度・長寿命化 | ・精密圧延材 （寸法形状の向上、真直度、端面形状含む） |
| | | | ・機能鋼材 （耐食性、電磁特性、非磁性） |

硬化を活用した非調質化など、挙げることができる。

熱間鍛造用素材の連続加熱方式として、高周波加熱が採用され、加熱時のスケールロスが減少すると共に、従来は許容されていない深さの、表面疵の管理が求められる。チッププレス化を目指して、閉塞鍛造が施工される部品が増えており、切断単重精度を上げる必要がある。そのため、拘束切断の実施が一般化しつつあり、素材の真直度、端面形状についてより厳しい管理が、求められている。機械加工の無人化も、今後の生産効率化の1つの方向であり、特に切削加工時の切り粉の破碎性が、重要視されている。

FMS化にとって、工程省略は単にコストダウンとなるだけでなく、工程短縮により生産に柔軟性がもたらされるメリットも大きいと思われる。

車の高性能化には、部品の高強度化・長寿命化が必要であり、使用される鋼材についても一層の機能向上が求められることになろう。

3. 当社棒鋼・線材の新製品・新技術

上述の需要家ニーズを踏まえて開発を進めてきた新製品とユーザーメリットの内容をとりまとめて第2表に示す。

開発鋼を適用のねらいから、(1)省資源・省エネルギー、(2)生産効率化、(3)高機能化、(4)二・三次加工プロセス支援の4種に区分した。

3-1 省資源・省エネルギー鋼⁶⁾

熱処理工程を簡略化できる開発鋼としては、焼入れ・焼戻しを省略できる熱間又は冷間鍛造用非調質鋼、制御圧延+制御冷却より、圧延まであとの熱処理工程を省略できる、直接切削用非調質鋼、焼ならし、焼なましの省略ができる、直接焼ならし鋼(DN鋼)、あるいは直接焼なまし鋼、冷間鍛造時の焼なまし工程を省略できる高加工度の冷間鍛造が可能な耐歪み時効 Al キルド鋼、等がある。

非調質高強度鋼は、鋼中に微量のVを含有し、その析出硬化作用により焼入焼戻し処理なしで、焼入焼戻し処理材と同等の機械的性質を得ようとする鋼材である。その用途から、熱間鍛造用と直接切削用の2種に区分される。熱間鍛造用非調質鋼は、熱間鍛造後空冷又は衝風冷却することにより、その後の焼入焼戻しを省略して、所定の機械的性質を得ることができる。直接切削用非調質鋼は圧延・冷却条件のコントロールにより、圧延まで焼入焼戻し材と同等の機械的性質を付与した棒鋼である。鍛造用又は、直接切削用いずれも強度と靱性のバランスをとるために、所要強度に応じてV添加の他にMn、Cr量が調整される。また、用途に応じて、硫黄、鉛、カルシウム等の快削元素を単独又は複合添加し、被削性改善を図った鋼種が使用されている。

現在最も多く用いられている非調質鋼の金属組織はフェライト+パーライト組織である。そのために、衝撃値や耐久比(疲労強度/引張り強さ)は必ずしも焼入焼戻し材ほど高くない。したがって高靱性を要求される用途には材料成分、鍛造条件、等を含めて組織を微細化し、弱い組織であるフェライト部分を強化するための工夫がなされている。

非調質ボルト用鋼は自動車用ボルトのうち、現在中炭素鋼を焼鈍後冷間鍛造し焼入焼戻しされている、7T、8.8Tクラスのボルトを対象に、冷間鍛造前焼鈍及び焼入焼戻し処理の省略を目的として、開発された冷鍛ボルト用鋼である。圧延及び冷却のコントロールにより、適度な強度を付与した後、伸線加工によりボルトとして必要な所定の強度に調整される。現工程に比して工程省略のメリットが大きく、今後の適用拡大が期待される。冷間鍛造部品用非調質鋼は機械的性質、特に、延靱性を高めた非調質鋼である。

加工工程を簡略化できる開発鋼としては、冷間鍛造用快削鋼、精密圧延材等がある。冷間鍛造用快削鋼は冷間加工性を阻害するS量を抑えて、微細に分散したPb粒により切削性の改善を図った鋼種である。

精密圧延棒鋼は、当社棒鋼工場圧延ライン最終パスに設置された3方ロールによるSFM(スパーフィニッシングミル)を用いて、特別管理をすることにより製造する。高寸法精度(18.0~70.0mm±0.1mm)で真円度の良好な棒鋼を安定して製造することができる。用途としては現状引抜き加工されている用途の引抜き代替として、又はピーリング+研磨仕上げ加工されている用途の、ピーリング省略がある。精密圧延棒鋼は単に寸法精度のみでなく、表面疵、脱炭レベルについても用途に見合った適正レベル内にある必要があり、これらの点についても対応が可能である。精密圧延材は熱間仕上げのため寸法精度、表面疵、脱炭などは冷間仕上げ品に比べて劣るが、熱間の閉塞鍛造での能率の向上、ピーリング省略、伸線工程省略、などにより、加工費、歩留まり向上、などが期待できる。

合金元素低減は微量ボロン添加により、顕著に具体化できる。肌焼きボロン鋼はボロンの歯元への焼入れ性向上効果と浸炭部での靱性向上効果を期待した鋼種である。SCM420代替としてボロン鋼系のスミアロイEM420を開発し、既に十年以上にわたりトラックのミッションギア用に使用されている。冷間鍛造ボルト用ボロン鋼はボロン添加により焼入れ性を向上させた鋼であり、他の高価な焼入れ性向上元素(例えばMo)を代替できる。また、ボロンの添加は鋼の変形抵抗にほとんど影響を与えないため、低炭素化と組み合わせることで、焼入れ性を確保しつつ、冷間鍛造前の焼鈍を省略することができる。省Mo強靱ボロン鋼はMn、Crとボロンの組み合わせにより、Moなしで必要な焼入れ性を実現し、足廻り部品として使用されている。

高強度高靱性ボロン鋼(HITS鋼)は、ボロンの活用により、コストダウンと同時に高機能化を図った事例である。

技術解説

使用環境の厳しい建機用部品として、特に強靱性、耐割損性及び高周波焼入れ性の要求される用途で、Ni-Cr-Mo鋼よりも低廉で高機能を有する鋼材として開発されたものである。

3-2 生産効率化

機械構造用快削鋼の使用は機械加工費の低減のみならず、

切り屑破碎性が良好であることから、加工の自動化・無人化が進められる中で使用量が増えつつある。当社では、硫黄、鉛、カルシウムの各快削鋼及びこれらの快削元素を組み合わせた複合快削鋼の製造が可能である。自動車用には快削元素の含有量を抑え、延靱性の低下をミニマイズし、最近では足廻りの重要保安部品にも使用されている。

硫黄快削鋼は高速度工具鋼による切削寿命改善に有効で

第2表 住友の棒鋼・線材新製品の適用のねらいと部品例

Table 2 Aim of application for automotive part examples in Sumitomo's new bars and wire rods

| | | 名 称 | 適用のねらい | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 適用部品例 | | | | |
|-----------------|------------------|---------------------------|----------------|------|-------|-------|-----|-------|-----|--------|----------|------|------|-------|------------|------|---------|---------|----------|--------|-------|---------|-------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | 1. 工程省略又は簡略化 | | | | | | | | 2. 生産効率化 | | | | 3. 製品の高機能化 | | | | | | | | | | | | |
| | | | ①焼入れ | ②焼戻し | ③焼ならし | ④焼なまし | ⑤浸炭 | ⑥冷間引抜 | ⑦切削 | ⑧ピーリング | ①精密鍛造 | ②冷鍛性 | ③切削性 | ④材質転換 | ⑤焼入性 | ⑥定低歪 | ⑦コストダウン | ①高強度高靱性 | ②低O高纯净度鋼 | ③高疲労強度 | ④耐摩耗性 | ⑤耐遅れ破壊性 | | ⑥耐へたり性 | ⑦耐折損 | ⑧用途別高品質化 | |
| 1 省エネルギー・省資源 | 1) 熱処理 簡略化 | 1. 非調質鋼 (引抜き及び切削用) | ◎ | ◎ | | | | | | | | | | | | ○ | ◎ | | | | | | | | | シャフト | |
| | | 2. 非調質鋼 (熱間鍛造用, 高靱性型) | ◎ | ◎ | | | | | | | | | | | | | ○ | ◎ | | | | | | | | スピンドル, ナックル, アーム | |
| | | 3. 非調質鋼 (熱間鍛造用, 高耐久比型) | ◎ | ◎ | | | | | | | | | | | | | ○ | ◎ | | | | | | | | コンロッド | |
| | | 4. 非調質鋼線材 (冷鍛ボルト用) | ◎ | ◎ | | ○ | | ○ | | | | | | | | | ○ | ◎ | | | | | | | | ボルト | |
| | | 5. 非調質鋼線材 (冷鍛部品用) | ◎ | ◎ | | ○ | | ○ | | | | | | | | | ○ | ◎ | | | | | | | | ボール タイロッド | |
| | | 6. 直接焼ならし鋼 | | | ◎ | | | | | | | | | | | | | ◎ | | | | | | | | リアアクスル シャフト | |
| | | 7. 直接焼なまし鋼 | | | | ◎ | | ○ | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | |
| | | 8. 耐歪時効A1キルド鋼 | | | | ◎ | | | | | ◎ | | | | | | | ◎ | | | | | | | | スピーカー ／ヨーク | |
| | 2) 加工 簡略化 | 9. 冷鍛用快削鋼 | | | | | | | | | ◎ | ◎ | | | | ○ | | | | | | | | | | 冷鍛用 | |
| | | 10. 精密圧延材 | | | | | | ○ | ◎ | ◎ | ○ | | | | | | ◎ | | | | | | | | | コロ, ピン | |
| | | 3) 合金元素 低減 | 11. 肌焼ボロン鋼 | | | | | | | | | | | | | ○ | ○ | | | | | | | | | ギア | |
| | | | 12. ボルト用ボロン鋼 | | | | ◎ | | ○ | | | ○ | | | | | | ◎ | | | | | | | | | ボルト |
| | | | 13. 省Mo強靱ボロン鋼 | | | | | | | | | | | | ○ | | | ◎ | ○ | | | | | | | | ナックル |
| | | | 14. 高強度高靱性ボロン鋼 | | | | | | | | | | | ○ | | | | ◎ | ◎ | | ○ | ◎ | | | | | リンク |
| 2 生産効率化 | 1) 切削加工 | 15. 被削性改善鋼 (三元快削鋼) | | | | | | | | | ◎ | | | | ○ | | | | | | | | | | クランク | | |
| | | 2) 表面硬化 | 16. 耐粗粒化鋼 | | | | | | | | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | | ○ | ○ | | | | | | ギア, 冷鍛部品 | |
| | | | 17. 中炭素迅速浸炭鋼 | | | | ◎ | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | ギア | |
| | 18. 冷鍛高周波焼入用鋼 | | | ○ | | | | | | | ◎ | ◎ | | ○ | ○ | | ◎ | | ○ | ○ | | | | | | CVJ アウターレース | |
| | 3) 歪み低減 | 19. 軟窒化用鋼 | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | ◎ | ○ | | | ○ | | | | | | インターナルギア, ステーションナリギア | |
| | | 20. 焼入性狭幅管理鋼 | | | | | | | | | | | | | | ◎ | ○ | | ○ | | | | | | | ギア | |

◎：効果大、○：効果あり

ある。超硬工具による高速切削には Ca 快削鋼が効果を発揮する。三元快削鋼 (S-Ca-Pb) は、特に高速域での切削性に威力を発揮するが、低速域での切り屑処理性にも優れている。

浸炭処理時のオーステナイト結晶粒粗大化は大きな課題である。特に最近では冷間鍛造技術の進歩とコストダウンの要請から、冷間鍛造後浸炭処理される部品が増えてきてい

る。冷間鍛造品の浸炭処理では、浸炭時のオーステナイト結晶粒の粗大化を抑制することが必要である。結晶粒粗大化抑制のための基本的な考え方は、確立しているが、プロセス感受性が高く、部品ごとにプロセスを特定しつつ評価を重ねて判断する必要がある。

歯車を浸炭又は調質するときには生ずる焼入れ歪みは、歯車運転時、片当たりの原因となるだけでなく、振動・騒音

| | | 名 称 | 適用のねらい | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 適用部品例 | | | |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|--------------|------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|----------|------|------|-------|------|------|------------|----------|----------|--------|-------|---------|-------|--------|------|------------------------|
| | | | 1. 工程省略又は簡略化 | | | | | | | | 2. 生産効率化 | | | | | | 3. 製品の高機能化 | | | | | | | | | |
| | | | ①焼入れ | ②焼戻し | ③焼ならし | ④焼なまし | ⑤浸炭 | ⑥冷間引抜 | ⑦切削 | ⑧ピリング | ①精密鍛造 | ②冷鍛性 | ③切削性 | ④材質転換 | ⑤焼入性 | ⑥定低歪 | ⑦コストダウン | ①高強度高靱性鋼 | ②低O・高純度鋼 | ③高疲労強度 | ④耐摩耗性 | ⑤耐遅れ破壊性 | | ⑥耐へたり性 | ⑦耐折損 | ⑧用途別高品質化 |
| 3 | 1) 高強度化 | 21. 高強度歯車用鋼 | | | | | | | | | ○ | ○ | | | ○ | | | ○ | ○ | ◎ | | | | | | ギア |
| | | 22. 高耐久ばね用鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | ○ | ◎ | | ○ | ◎ | | | ばね |
| | | 23. 高耐久 バルブスプリング用鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | | | | | バルブ用ばね |
| | | 24. 耐遅れ破壊性鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | ○ | | ◎ | | | | ボルト |
| | 2) 長寿命化 | 25. 高耐久軸受用鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | ◎ | ◎ | | | | | | 軸受 ウォーター ポンプシャフト |
| | | 3) その他 | 26. 耐折損耐摩耗鋼 | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | ◎ | | | ◎ | |
| | 27. 高深度硬化摩耗鋼 | | | | | | | | | | | | ○ | ○ | | | | | | | ◎ | | | | | ブッシュ |
| | 28. 非磁性鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | (非磁性) |
| 4 二・三次加工プロセス支援 | 1) 素材品質 | 29. 高品質管理鋼 | | | | | | | | | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ | ○ | | | | | ◎ | 冷鍛部品, ばね 精密鍛造部品 |
| | | 30. 中間加工線 | | | | ○ | | ○ | | | ○ | ○ | | | | | ○ | | | | | | | | ◎ | 高加工度冷鍛部品 |
| | 2) 潤滑性能向上 | 31. Ca-Zn処理剤 | | | | | | | | | | ◎ | | | | | | | | | | | | | | 高加工度冷鍛部品 |
| | | 32. 浸焼防止潤滑処理剤 (S-Sループ) | | | | | | | | | | | ◎ | | | | | | | | | ◎ | | | | 高強度ボルト |
| | 3) 高精度化 連続化 効率化 | 33. インラインボンデ設備 | | | | | | | | | ○ | ◎ | | | | | ◎ | | | | | | | | | 冷鍛部品 |
| | | 34. コイルフィーダ設備 | | | | | | | | | | | | | | | ◎ | | | | | | | | | ホットホーマー 鍛造部品 |

◎：効果大，○：効果あり

のもとになる。これを避けるためには、焼入れを必要としない表面硬化法が望ましい。そのような硬化法の1つとして、軟窒化処理がある。従来の規格鋼に軟窒化処理して用いる例は多々あるが、硬化層深さが浅く、歯車用として用いるには不十分なものである。現行鋼に比べて硬化層深さを深くし、硬化層の硬さ、深部硬さを考慮し、歯車用としてより汎用性を持つように、成分調整されたのが、軟窒化用鋼である。

肌焼合金鋼の歯車用については、浸炭焼入れ時の歪み低減又は一定化が重要であり、溶製ロット間及びロット内のばらつきの少ない均質な鋼材が求められている。溶製ロット内のばらつき減少にはCC材の適用とVAD装置による成分微調整を組み合わせた焼入性狭幅管理鋼が適しており、歪みの一定化に効力を発揮できる。

なお、浸炭処理用途で熱処理歪みが問題となる場合に、表面硬さ、転動疲労特性が適用可能なレベルであれば、軟窒化処理用鋼を適用することも考えられる。

3-3 高性能化^{7)~10)}

自動車部品の軽量化、高性能化、のニーズに対応して、高強度化・長寿命化を目指して高強度歯車用鋼、高耐久ばね用鋼、耐遅れ破壊性鋼、高耐久軸受け鋼の開発を進めている。

高強度歯車用鋼としては、浸炭異常層を軽微化して歯元疲労強度の向上をはかった浸炭異常層軽減鋼はショットピーニングによるさらなる強化を目的とする用途にも適用できる。

耐遅れ破壊鋼は引張り強さ150 kg/mm²までの高強度で耐遅れ破壊性の優れた高力ボルト用材料として開発された。粒界偏析軽減、細粒化、高温焼戻しを狙いとした成分調整(P, S低減, 高Mo, Nb添加)及び製鋼、圧延での特別管理により、高強度、高靱性、かつ耐遅れ破壊特性の優れた材料を実現した。

3-4 2・3次加工プロセス支援技術^{11),12)}

棒鋼・線材製品は圧延のままの素材がそのまま製品化されることはまれであり、通常は二・三次加工工程を経て最終製品になる。鍛造工程もこの加工工程の一つであり、圧延素材が短く切断され、その一つ一つが重要な構造部材として使用されることが多い。したがって、部品一つ一つの完全さが非常に重視され、圧延素材としては全数全長にわたって、品質保証が求められることになる。このような背景で、棒鋼・線材製品の品質については圧延工程のみならず、製鋼、分塊工程にまでさかのぼって、従来から、全数、全長保証への努力を続けている。

ことに、昨今、鍛造によるニアネット成形化、複雑形状品の成形、高加工度化、の進展に伴い、素材に対してより厳しい品質仕様が要求されつつある。これらを総称して高

品質管理材と第1表では表現した。

単に、素材のみにとどまらず、二・三次加工プロセスの合理化・効率化を支援する技術開発にも注力し、冷間鍛造時の潤滑性能向上の観点からCa-Zn処理技術の確立、燐を含まない潤滑剤(商品名:S-Sループ)の開発、二・三次加工ラインの効率化・連続化に寄与する潤滑処理をインライン化したインラインボンデ設備、などを実用化した。ホットホーマー用コイルフィーダ設備は、従来素材として丸棒が使用されているラインに、バーインコイルを使用することで、歩留まりの向上と生産率の向上をねらった装置であり、既に実用され好評を博している。本コイルフィーダはバックラッシュを極限まで小さくし、鍛造機本体と完全な電氣的同調方式とした結果、鍛造品の重量ばらつきは従来の1/3程度となっている。

4. 評価試験設備の充実

重要保安部品として用いられることの多い条鋼製品では、試験片又は部品による評価試験は欠かすことができない。評価試験設備の充実には一貫して力を入れているところである。

当社では、共通評価試験設備としてSIMS(二次イオン質量分析計)、A-TEM(分析電子顕微鏡)、EB(電子ビームシステム)、サーメックマスタ(熱間変形抵抗、延性測定)、動的破壊試験機、等各種の先端的な分析・評価試験機を備えている。

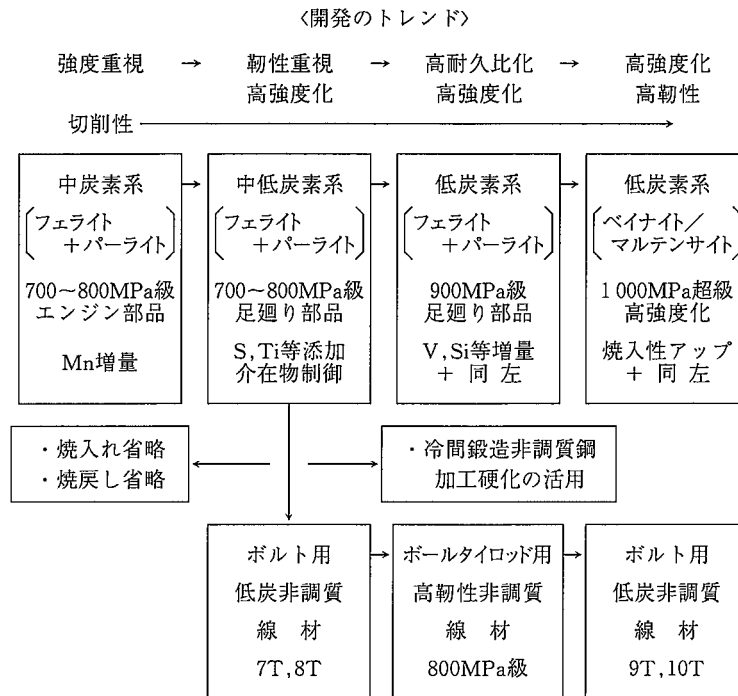
また、条鋼製品関連では、X線回折装置、X線応力測定装置、高温転動疲労試験機、ローラーピッチング試験機、動力循環式歯車試験機、落錘型衝撃疲労試験機、加工フォーマスタ(熱間加工再現装置)、昇温式水素分析装置(四重極質量分析器)などを備えている。特に、動力循環式歯車運転試験機では試験歯車は所定の大きさの範囲内であれば、任意の実体歯車にて強度評価可能であり、当社独自の方式の試験機である。また、落錘型衝撃疲労試験機は差動ユニットなど実体歯車セットの繰り返し衝撃強度評価試験、足廻り部品などの衝撃強度評価試験などに使用することができる。また、鍛造加工を支援する設備として、鍛造シュミレータの設置を計画中である。

5. 新製品開発の動向

5-1 非調質鋼^{13)~17)}

熱間鍛造用非調質鋼は焼入焼戻し省略を目的として開発された鋼材である。焼入れにより部品に生ずる歪みを抑制できたり、工程省略による在庫圧縮、横持ち作業の軽減、納期短縮など派生的なメリットも大きい。

第1図に示すように、当初開発実用化された中炭素鋼にVを添加した鋼材は非調質鋼の基本となるものであり、主



第1図 焼入れ焼戻し工程省略用非調質鋼開発の流れ

Fig.1 The flowchart of developing micro-alloyed steel for non-heat treatment use

として自動車のクランク、コンロッドなど靱性の要求の少ない、エンジン部品に使用された。

更に、足廻り部品への適用拡大をはかるに当たって高靱性化のニーズが高まり、微細な炭化物、窒化物、硫化物、酸化物などを活用して、組織の微細化を図った高靱性非調質鋼が開発された。

組織細粒化の方法としては、(1)熱間鍛造の加熱温度での鋼材のオーステナイト結晶粒を細かくする、(2)オーステナイト組織からフェライト+パーライト組織への変態時にフェライト変態の核として粒内フェライトの析出量を増加させることが考えられる。(1)の方法としては、窒化物例えばTi(CN)、酸化物例えば介在物の形態制御し微細分散させる、などが行われている。第2図は0.35C-0.30Si-1.6Mn非調質鋼において、0.007%の微量Tiがオーステナイト結晶粒を微細化することを示している。また、第3図にMnSによる細粒化のメカニズムを、写真1にミクロ組織を示す。第4図に低炭素非調質鋼LMIC80S1におけるMnSのフェライト細粒化による低温靱性向上効果を示す。非調質鋼へのS添加は切削性の向上効果と併せて、有用な元素であるが、機械的性質の異方性を助長する面がある。

フェライト・パーライト組織では強度的に900MPaを超えることが難しいため、更なる高強度化と高靱性化のニーズを満たすために、1000MPa級の非調質鋼にはベイナイト組織のものが開発されている。低炭素ベイナイト系非調質鋼の衝撃特性を第5図に示す。

疲労強度は硬さと共に上昇するが、硬さを高めることは、

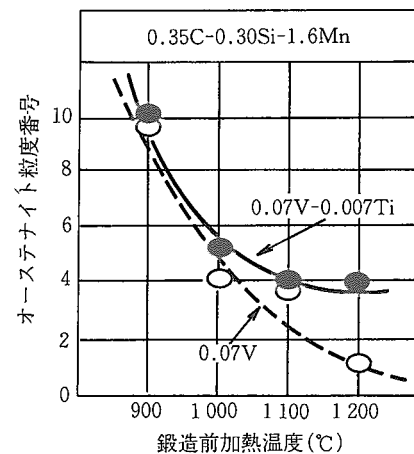
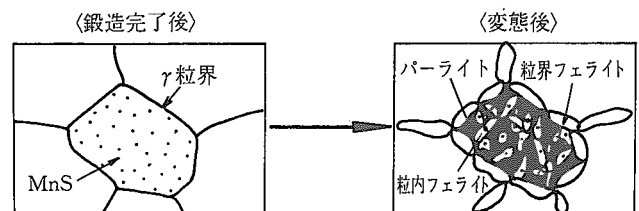
第2図 微量Ti添加によるオーステナイト粒の微細化²⁾

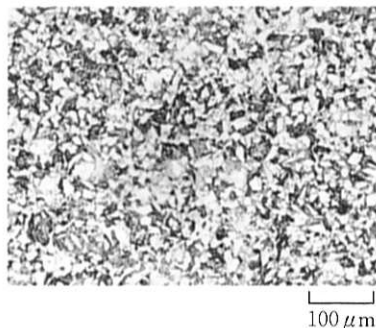
Fig.2 The effect of Ti addition on austenite grain size



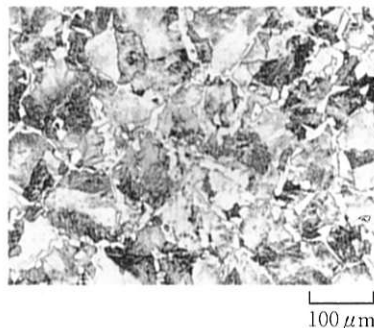
第3図 MnSによる細粒化メカニズム

Fig.3 Illustration of MnS refining the grain size

技術解説



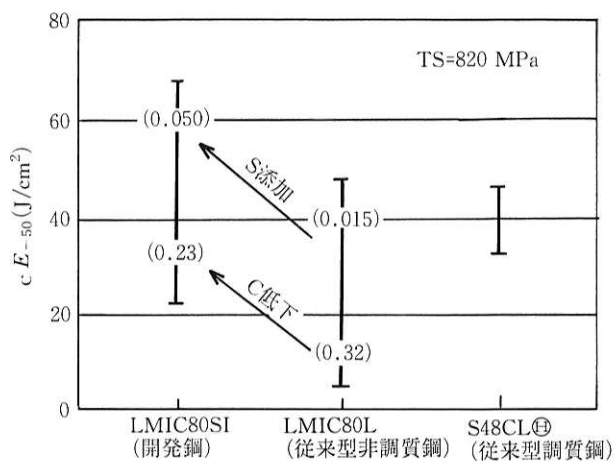
LMIC80S1 (S添加)



S45CV (従来型非調質鋼)

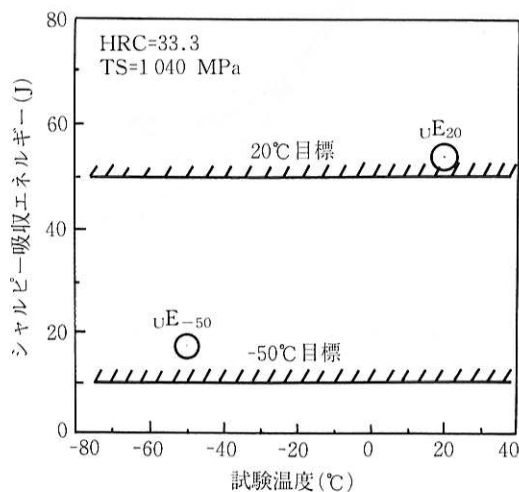
写真1 LMIC80S1およびS45CV非調質鋼のミクロ組織

Photo 1 Microstructure of micro-alloyed steels, LMIC80S1 and S45CV



第4図 LMIC80S1の低温靱性

Fig.4 Low temperature toughness of LMIC80S1

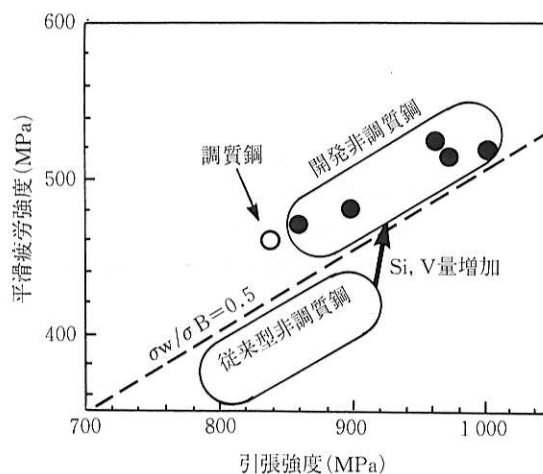


第5図 低炭素系ベイナイト非調質鋼の衝撃特性

Fig.5 The impact value of low-carbon bainite type micro-alloyed steel

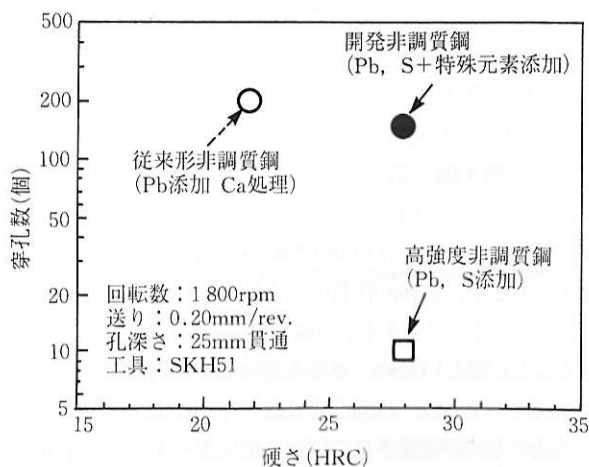
後工程で切削性低下の問題があるため、好ましくない。硬さを上げずに、部品としての高疲労強度化を実現するために、高耐久比型の非調質鋼が求められている。第6図に示したのはSiとVを高くし、C量を下げてフェライト分率を増加させ、弱い組織であるフェライト部分を硬くし、耐久比(疲労限/引張り強さ)を向上させている事例であ

る。疲労強度と耐久比の図から、知られるように、従来型非調質鋼の耐久比、0.40~0.45に比較して、開発鋼は高い耐久比を示し、調質鋼とはほぼ同等の耐久比を示している。また、第7図に示すように被削性を、更に向上させた非調質鋼も開発されている。



第6図 高耐久比型非調質鋼の疲労強度

Fig.6 The fatigue strength of high fatigue limit ratio type micro alloyed steel



第7図 高切削特性型非調質鋼のドリル穿孔性

Fig.7 Life of drilling tool of high machinability type micro-alloyed steel

非調質鋼線材は成分、制御圧延及び伸線強化により所定の硬さの素材にしたうえで冷間成形後、部品、例えばボルト、として必要な強度を満足することができる線材である。所定の硬さと靱性を得るために、鋼材は低炭素—Mn鋼をベースにNb、V、Bなどの微量元素が添加されている。圧延では組織を微細にしてコイルの長手方向に均質な素材を得るために制御圧延されている。また後工程の伸線加工による硬さ上昇はボルト成形（ヘッディング加工）時の変形抵抗にほとんど影響を与えないことが知られており、加工時の変形抵抗の増加をミニマイズして素材の硬さを上げることができる有効な方法である。現象的にはパウシンガー効果として理解されている。

伸線強化した線材によるボルト成形は比較的低強度の6 Tクラスのボルトでは以前から行われており、高強度化、コストダウンのニーズに対応して、より高強度のもの（7.8～8.8級用、あるいは、より加工し易く靱性の高い冷鍛性向上型（第8図）、が開発されている。冷鍛性向上型は、磷酸亜鉛被膜が微細に形成されるように成分面で配慮されている。

| 鋼 種 | 延 性 | | | 靱 性 | | |
|-----------------|---------|----|----|----------|-----|-----|
| | R.A (%) | | | uE20 (J) | | |
| | 40 | 50 | 60 | 50 | 100 | 150 |
| SUC80D (非調質) | | | | | | |
| S45C (調 質) | | | | | | |

第8図 冷間鍛造用非調質鋼 SUC80D の延・靱性
Fig.8 Ductility and toughness of type SUC80D micro alloyed steel for cold heading quality

非調質線材を活用したボルトの成形は、強度水準と頭部形状によっては工具寿命の問題から量産化には制約がある。スタッドボルトでは両端の転造ねじ切りが主たる加工であり、硬さの上昇はさほど問題にならない。しかし、非調質線材の7.8～8.8級ボルト用への適用は、六角頭及び六角頭のフランジ付きボルトでは、比較的頭部加工度の小さいボルトに適用されているのが実態である。なお、六角穴付き又は十字穴付きボルトなどへの適用が今後期待される。適用拡大或いは実用化に当たっての障壁は、高強度化に伴う素材硬さの上昇であり、より高強度のボルトへの適用拡大には、潤滑、工具、加工方法含めた総合的な検討が必要である。

5-2 冷間鍛造用鋼^{18)～34)}

鋼材が熱間鍛造工程を経由して製品化される場合、熱間

鍛造性よりも最終製品機能を充足することに力点を置いた材質検討が行われることが多い。一方、冷間鍛造工程を経由して製品化される場合では、より最終製品形状に近い寸法精度の成形加工が可能な反面、材料の変形抵抗は上昇し、変形能は低下する。したがって、冷間鍛造工程を経由する鋼材は、最終製品の機能のみならず、変形抵抗、変形能に対する配慮が強く求められる。冷間鍛造時の変形荷重低減策の一つとして、あるいは、熱間鍛造の寸法精度向上策として、最近では熱(温)間鍛造と冷間鍛造を組み合わせることで、最終的に必要な寸法精度を得る“組合せ鍛造”も実用化されている。鍛造品は自動車のエンジン、足廻りなど、強度を必要とする構造部品や建産機の構造部品、作業機械部品などに使用されている。自動車部品の場合、鍛造品は重要保安部品に適用されているものが多く、安定した強度と靱性が必要とされる。また締結に使用されているボルト類は、ほとんどが冷間鍛造で成形されている。冷間鍛造ではより一層の高精度化、より複雑な形状品の冷間鍛造化が指向される結果、より厳しい冷間鍛造が可能な鋼材が求められている。冷間鍛造では、前処理の伸線焼きなましにコストと時間を要することに注目して、プロセスの簡略化を目指した、工程省略が指向されている。冷間、熱間を問わず、鍛造では型や工具の寿命向上が、生産性を上げるうえでの重要な技術課題となっている。

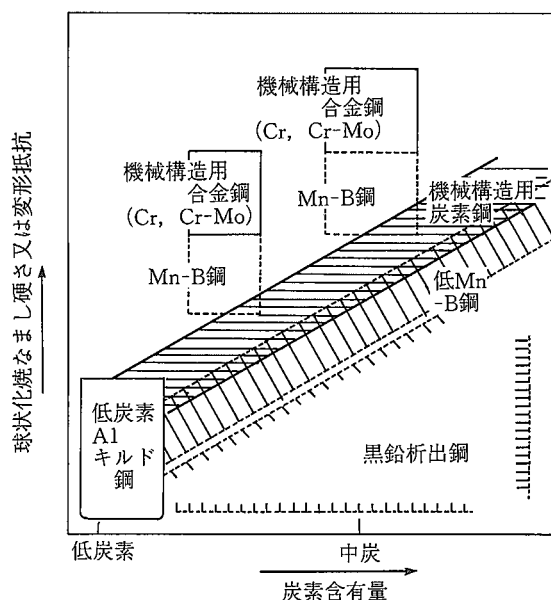
冷間鍛造では、加工可能な加工度、加工形状、製品の大きさに制約が生じる。これらの制約を少しでも緩和すべく材質、圧延条件を調整したうえで、最終製品特性を満足し得るような材料設計がなされている。例えば圧延材において、化学成分として変形抵抗、変形能、に大きな影響を与えるのはC量である。次いで、Si、Mn、Cr、Moなどである。一般的に合金元素の添加は素材の硬さを上げ、伸びを低下させるので、変形抵抗が上昇し、変形能が低下する。

鍛造技術上の課題としては、歩留まり向上、生産能率向上、高精度化、コストダウン、の4つを挙げることができる。歩留まりを向上し、生産能率を高めることはすべての工業生産プロセスのベースであり、鍛造設備の高速化、自動化、予成形の導入などが行われている。鍛造工程の場合、鍛造した部品の完成度を高めるために、高精度化が非常に重要である。精度を高める具体的方法として冷間鍛造化をはかったり、熱間鍛造と冷間鍛造を組み合わせたり、密閉鍛造するなりして、仕上がり寸法高精度化への努力がなされている。

コストダウンのためには、工程省略又は工程変更(焼入・焼戻し、焼鈍、熱処理方法など)、材料費低減、快削鋼適用による工具寿命向上などが解決策として検討され、実用化されている。第9図に炭素含有量と焼なまし硬さの関係を鋼種間で比較しつつ模式的に示した。

低炭素域のアルミキルド鋼の開発動向については次の通りである。冷鍛性に優れた低炭ALキルド鋼開発のキーポ

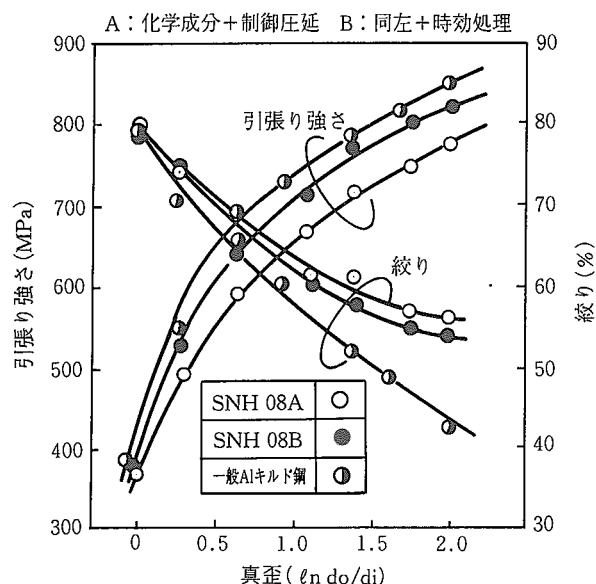
技術解説



第9図 炭素含有量と焼なまし硬さの関係（鋼種間の比較 模式図）
Fig.9 Relationship between carbon content and hardness after normalizing (Illustrative comparison among steel grades)

イントは“低コストでいかにして自由なC量，N量を最小限に抑え込むか”にかかっている。鋼中の自由なC，Nが冷間鍛造時の温度上昇により加工硬化を促進するからである。この，C，Nを固定する方法として，Nと結びつきやすいAl，Ti等の添加が有効である。Cについてはフェライト中のCの固溶量を下げるには，炭化物を形成するCrの添加が有効である。また，圧延条件を工夫したり，時効処理によってC，Nを固定することも考えられる。焼鈍省略可能な低炭Alキルド鋼の開発事例が報告されている。例えば(1)フェライト中に固溶する微量のCを著しく減少させ歪み時効を抑制できる元素としてCrに注目した。Nについては過剰にAlを添加することで固溶Nをミニマイズし，0.78%のCr添加により，フェライト中固溶Cの大幅低下を狙った鋼種，(2)SWRCH8AのSi，Mnを低めにし，Alを高めにした鋼材について制御圧延を実施することで，歪み時効性がある程度抑制される。この鋼は耐時効性は若干劣るものの，球状化焼鈍しされた低炭AlキルドSWRCH8Aと同程度の硬さを得ている。(3)鋼中のN量に

対して，過剰Alを含有させNの固定化をはかった低炭Alキルド鋼圧延材のフェライト中に固溶しているCに注目した。熱間圧延後，一定温度に加熱保持することにより，フェライト中の過飽和のCをFe₃Cの形であらかじめ析出させることで，固溶Cを減少させ歪み時効を大幅に抑制することを考えた。その結果，歪み時効はほぼ完全に抑制され，加工硬化の少ない鋼材を得ている。結果の一例を第10図に示す。ここでは化学成分+制御圧延タイプのものと，更に時効処理したものを比較して示した。



第10図 加工硬化特性の比較（従来鋼，開発鋼の時効処理有無）
Fig.10 Comparison of work hardening (Conventional steel, developed steel and developed steel with aging)

C，Nによる時効硬化を抑制することにより，高加工度後も必要な延性を維持することができる。その結果，第3表に示すとおり，焼鈍無しの繰返し伸線加工により，リベットの延性を損なうことなく高強度化を実現することができた。本鋼は据え込みにより80%近い高冷間加工がなされるスピーカーヨークなどにも使用されている。

規格鋼である機械構造用炭素鋼，合金鋼に対して，硬さを低下させた鋼種として，ボロン鋼が開発されている。中炭素機械構造用鋼を低Mnボロン鋼に置き換えた場合，硬

第3表 リベット用低炭素Alキルド鋼の開発事例

Table 3 The case of development of low-carbon Al-killed steel for rivet

| 記号*1 | 化学成分 | | 濾過前 ワイヤー TS (MPa) | 加工工程 | | | | | リベットの特性比較 | | 総合*2 評価 |
|------|------|------|----------------------------|------|----|----|----|----|--------------------|----------------|------------|
| | C | Mn | | 伸線 | 焼鈍 | 伸線 | 冷鍛 | 焼鈍 | 引張り せん断 疲労試験 | 斜め 打ち 試験 | |
| A | 0.13 | 0.43 | 382 | — | — | ○ | ○ | ○ | × | ○ | × |
| B | 0.13 | 0.45 | 421 | ○ | ○ | ○ | ○ | — | × | △ | × |
| C | 0.20 | 0.41 | 421 | — | — | ○ | ○ | ○ | × | △ | × |
| D | 0.13 | 0.43 | 510 | — | — | ○ | ○ | — | ○ | × | × |
| E | 0.08 | 0.37 | 549 | ○ | — | ○ | ○ | — | ○ | ○ | ○ |

注) *1: A～Dは比較材，Eは開発鋼 *2: U曲げ，扁平，軸部靱性はA～Eどれも合格

さの低下は10数%程度である。黒鉛を析出させた鋼種をうまく活用することができれば、大幅な硬さ低下を実現することができる。黒鉛を析出させるための熱処理条件、焼入性と両立する化学成分の調整、析出黒鉛の微細分散化など課題が多いが、「冷間鍛造時軟らかく、鍛造後加熱焼入れにより、高強度化が可能である。」と非常に魅力ある材料である。

第11図に冷間鍛造して作られる自動車向けボルト用鋼の開発状況を示す。機械構造用炭素鋼を焼入焼戻して作られる7T~8Tクラスボルトについては、ボロン鋼化による工程省略の検討が行われている。一方、機械構造用合金鋼が使用されている、9T~10Tクラスのボルトについても、材質低廉化と工程省略を狙った検討が行われている。機械構造用合金鋼は実態として、11Tクラスまでと思われるが、更に高強度のボルトのニーズがあり、開発鋼(ADS2)で12Tクラスが実用化されている。更に、13T級(ADS3)を目指した開発が進められている。高強度化にさいしては、遅れ破壊への配慮が重要であり、成分面では、(1)細粒化、(2)高温焼戻し、(3)粒界偏析軽減、に配慮した設計になっている。最近、鋼中水素の状態分析技術が進歩し、開発鋼の耐遅れ破壊性向上効果が実証されつつある。(本件については、機構解明の項の鉄鋼材料の遅れ破壊解説、及び製品紹介の耐遅れ破壊性高強度鋼、の欄参照されたい。)なお、遅れ破壊の危険を軽減するため、ボルトの強度を上げずに、塑性域締め付けを適用する事例もある。

第9図、第11図から知られるように、単に材料費低減の視点のみでなくて、冷間鍛造化が進む中で、変形抵抗を上

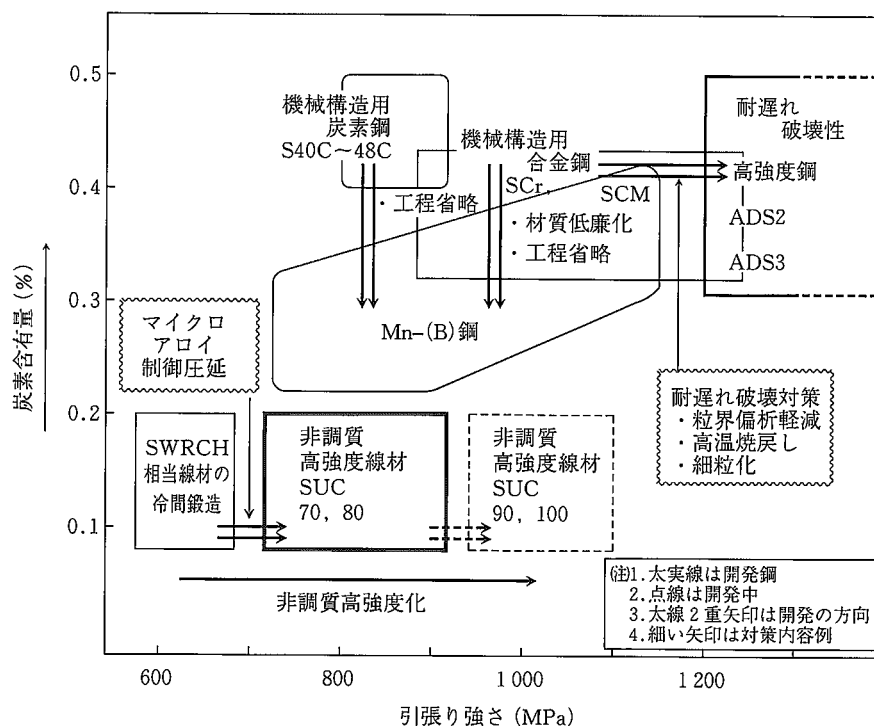
昇せずに、あるいは変形能を阻害せずに、鋼材の焼入れ性を向上することのできるボロン鋼の活用はこれからますます重要性がましてくるのではないかと考える。熱間、温間、冷間のいずれの加工においても、鍛造時の変形抵抗をほとんど上げないボロンは最終製品の機能を満足させながら、精密鍛造を実現するには非常に有効な元素である。参考として、ボロン鋼の特徴をまとめて、第4表に示す。

なお、ボロン鋼には、靱性改善の効果が観察されており、その事例として、(1)浸炭層を含む三点曲げ割れ発生荷重向上効果(第12図)、(2)焼入焼戻し鋼の低温焼戻しにおける破壊靱性改善効果(第13図)、などがある。メカニズムの究明は今後の課題である。

生産性向上のニーズの一つとして、従来切削加工のみで仕上げられていた部品を冷間鍛造と仕上げ切削加工の組み合わせにより効率化を図ろうとする動きがある。即ち冷間鍛造性と切削性の両特性に優れた鋼材が求められるようになってきた。

冷間鍛造性は材料の延性(鋼材の清浄性)が重要であり、切削性向上には快削元素(鋼中で介在物となるS、Pbなど)の添加が有効である。この両者は相反する特性とされているがこの両者を兼ね備えた鋼材が求められている。

開発鋼の考え方としては、(1)冷間鍛造性及び切削性の両方に対して有害な Al_2O_3 (アルミナ系) 介在物の排除、(2)硫化物は被削性を向上させるが、冷間鍛造性を著しく低下させるためにS量を低減する、(3)被削性を向上(特に切り屑処理性)させ冷間鍛造性への影響の比較的小さいPbを微量、微細に均一分散させる、等である。



第11図 冷間鍛造ボルト用鋼の開発状況

Fig.11 Circumstances of developing the steel for cold heading bolt use

技術解説

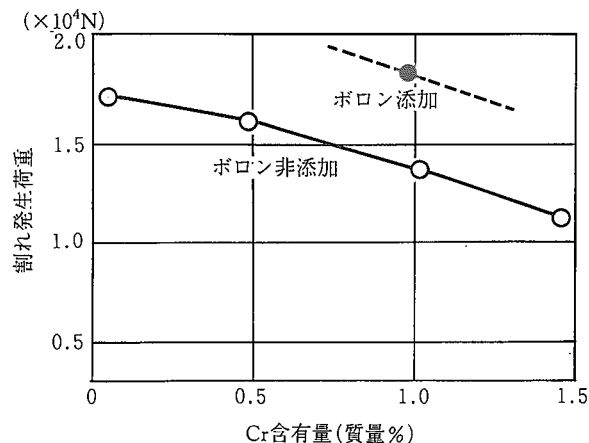
第4表 ボロン鋼の特徴

Table 4 Characteristics of Boron-steel

| 項 目 | | 内 容 |
|-------|---------------------|--|
| 焼入性 | 焼入性向上 | ・肩の張ったジョミニ曲線 |
| | 焼入性の炭素量依存性 | ・低炭素鋼の活用 |
| | 有効ボロン量と焼入性 | ・0.0003%固溶Bあれば焼入性は良好 |
| | 焼入性の安定性 | ・J曲線では現用鋼並み変動 |
| | 熱加工履歴と焼入性 | ・焼入れ時の加熱により回復 |
| | Ti, Al, N, 微量元素等の管理 | ・焼入性, 耐粗粒化 |
| 歪み | 焼入歪み | ・J曲線に特徴的な差あり |
| 焼割れ | 焼き割れ | ・影響ない。要因次の通り ・形状工夫 ・合金元素低減 (特にMn) ・セルフテンパー焼入れ ・ツールマーク・刻印注意 ・加炭, 部分酸化防止 ・表面部の均一冷却 |
| 表面硬化 | 表面硬化特性 | ・浸炭部表面層の焼入性低下 ・高周波焼入性良 ・軟窒化性不変 |
| 加工性 | 変形抵抗 | ・影響ない |
| | 中間焼なまし | ・省略 |
| | 熱間加工性 | ・影響ない |
| | 被削性 | ・影響ない |
| 機械的性質 | 焼戻し温度 | ・焼戻し硬さ, 軟化し易い ・残留応力維持 (低温戻し) |
| | 炭素当量 | ・焼き戻し軟化抵抗弱い ・溶接性影響なし ・硬さ (ベイナイト変態促進) |
| 破壊特性 | 破壊靱性 | ・低温焼戻しが向上に有効 |
| | 遅れ破壊性 | ・影響なし。但し, 焼戻し温度高める成分設計上の配慮要又は清浄鋼化 |

【供試材の化学成分】 (質量%)

| | C | Si | Mn | Cr | B |
|---|------|------|------|------|--------|
| A | 0.22 | 0.10 | 0.80 | 0.01 | — |
| B | 0.22 | 0.10 | 0.82 | 0.49 | — |
| C | 0.21 | 0.10 | 0.83 | 0.99 | — |
| D | 0.23 | 0.10 | 0.85 | 1.50 | — |
| E | 0.21 | 0.09 | 0.80 | 0.98 | 0.0025 |



第12図 三点曲げ試験の割れ発生荷重に及ぼす Cr, Bの影響

Fig.12 The effects of Cr and B on crack occurring load in three points bending test

狙 い: 材質転換による低炭化 (SNCM431→HITS鋼)

特 徴:

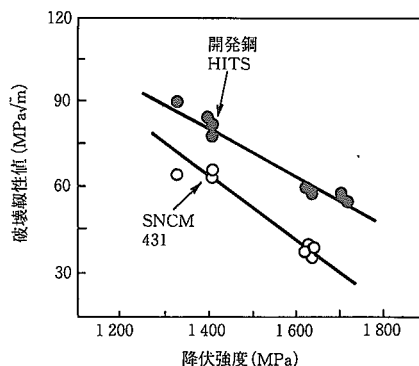
(1) 成分例

(質量%)

| 鋼 種 | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | Nb | B |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| HITS | .41 | .23 | .45 | — | 1.0 | .49 | .03 | 添加 |
| SNCM431 | .30 | .26 | .78 | 1.6 | .75 | .16 | — | — |

(2) 成分設計の考え方

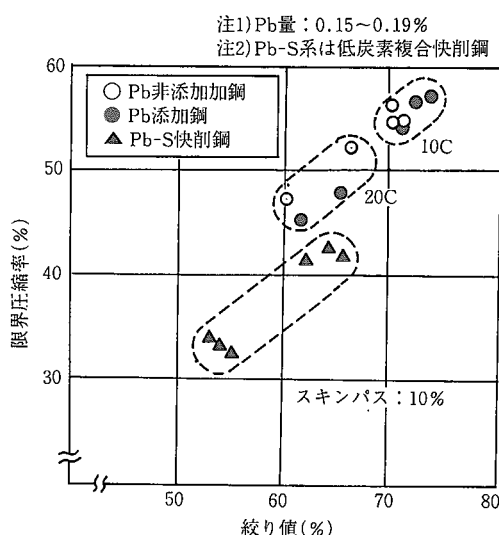
- ・結晶粒界強化……………低P, S, Mn, Mo, B添加
- ・焼戻し軟化抵抗……………Cr, Mo, Ti添加
- ・表面硬さ及び焼入性向上…………C, Cr, Mo, B添加
- ・低炭化……………Niなし



第13図 HITS 鋼の破壊靱性値

Fig.13 Fracture toughness values of HITS steel

第14図に示すように、鉛の冷間鍛造性に対する影響は比較的小さい。鉛を必要最小限の微量添加にとどめ、鋼質を改善することによって、必要な被削性を維持しつつ、冷間鍛造性の向上を図ることができることを示している。最近、切削加工は無人化・自動化が常識となっており、切屑処理性が非常に重視される状況にあるが、この面でも本開発鋼は優れた特性を発揮できる。本鋼は冷間鍛造性と仕上げ切削加工性の両者のニーズに答える形で開発されたものである。一方で精密鍛造化を図り切削加工工程省略を目指しつつも、他方で冷間鍛造化が推進される状況下では、冷間鍛造性と被削性を兼ね備えた鋼種のニーズは増えてくるものと思われる。



第14図 冷間鍛造用快削鋼の絞り値と鍛造性の関係
Fig.14 High machinability steels for cold heading quality

5-3 材料とプロセスを組み合わせた部品高強度化への試み

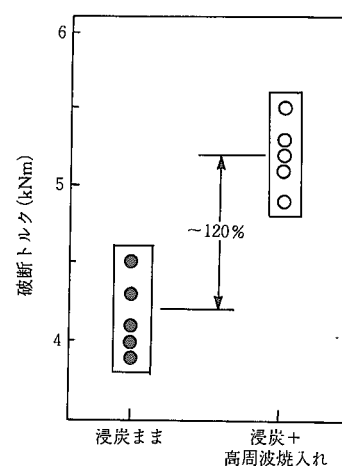
鋼材のもてる力を100%引き出すには、材料とプロセスの組み合わせが重要である。以下に複合熱処理による高強度化の事例、および浸炭鍛造プロセスを活用した高強度化の事例を紹介する。

(a) 複合熱処理による高強度化の事例³⁴⁾

複合熱処理についてはすでに鮎谷の解説がある。複合熱処理を、「部品に必要な特性をうるために従来の単一熱処理工程を組み合わせたもの」と位置づけ、いくつかの事例が紹介されている。最近では、窒化とレーザー、高周波焼入れ、等との組み合わせが報告されている。

浸炭+高周波焼入れ・焼戻しについて、乗用車のデファレンシャルギアの強化技術として検討した事例がある。デファレンシャルギアに要求される重要特性の一つに低サイクルでの歯元衝撃曲げ強度がある。浸炭鋼の歯元曲げ強度の改善には低P、低Mn化とNi、Mo添加等による粒界強化、地鉄強靱化が有効である。一方、浸炭後の高周波焼入

れは浸炭時のオーステナイト粒界が炭化物の再固溶・析出、再結晶により、新しい粒界を形成するため、粒界偏析の少ない微細粒となり、強度の改善が期待される。2mmR半円切り欠きを有する10mm角試験片の浸炭+高周波焼入れ処理では曲げ破断荷重と結晶粒度番号の関係がほぼ直線に近い形で示されている。また、実歯車の曲げ試験結果では、平均破断トルクで～20%の向上が観察されている(第15図)。



第15図 実歯車曲げ試験の結果
Fig.15 Bending test results on actual gears

(b) 浸炭鍛造プロセスによる高強度化の事例^{35)~37)}

浸炭鍛造による高疲労強度傘歯車の開発は浸炭、鍛造焼入れ、精密歯形鍛造の3つの技術を組み合わせることで、鍛造時に加工熱処理を行い、より一層の高強度化を狙ったものである。浸炭歯車の硬化プロファイルは歯面で深め、曲げ及び衝撃荷重を受ける歯元すみアール部では浅め、歯先部は硬化層の無いのが強度上理想的とされる。浸炭後歯出し鍛造によって、歯面及び歯元R部はこの理想に近づいたといえる。即ち、歯出し鍛造により、メタルフロが歯元から、歯先の方に流れ、歯元では表面の浸炭層が薄くまたは無くなる方向、歯面から歯先にかけて浸炭層が厚くなる方向に変化する。実測例によると、浸炭時目標浸炭深さ0.6mmに対して歯元アール部～0.2mm、ピッチ円上の歯面で0.4mmである。また、残留応力は最表面部で通常浸炭品の場合+100MPa程度の引張り応力を示し、深さ方向0.2mmの位置で最大の圧縮残留応力-400MPa程度を示すのに対し、浸炭鍛造歯車では最表面に最大圧縮残留応力-600MPa程度が実測されている。これは表面部の浸炭異常層が加工により減少するためとみられる。浸炭鍛造による強化率は通常浸炭対比で199～266%と顕著な強化を示している。この強化のメカニズムは不詳であるが、結晶粒度、メタルフローも含めた加工熱処理的効果と最表面に浸炭処理時に生成する異常層及び浸炭層の厚さが歯元において無くなるまたは極めて薄くなるものが効いているものと推定される(第5表)。

技術解説

第5表 浸炭鍛造材の歯元曲げ疲労強度

Table 5 Bending strength at tooth root of forged gear after carburizing

| 材 質 | (A) 通常浸炭 焼入れ 焼戻し 荷重(TON) | (B) 浸炭後鍛造 焼入れ 焼戻し 荷重(TON) | 強化率(%) (B)/(A) |
|---------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| SCM418H | 0.6 | 1.36 | 226 |
| 0.6Mo鋼 | 1.02 | 2.03 | 199 |
| 0.4Mo鋼 | 0.6 | 1.61 | 266 |

6. まとめ

以上条鋼関係について、ユーザーニーズの変遷と当社の対応状況、及びユーザーニーズに沿って、あるいはユーザーのご指導を得て、開発された新製品・新技術について紹

介した。

安全、排ガス規制、騒音低減、省エネルギーは、車が社会との調和をはかっていくうえで、今後とも継続努力される課題であるとみられる。消費者ニーズの多様化とも重なり、鋼材に対する要求もさらに厳しく、かつ多様化していくものと思われる。

今後とも、需要家ニーズを大切にしつつ、品質への造りこみと新製品の開発に努力してまいりたい。



西田和彦/Kazuhiko Nishida

条鋼事業部 大阪駐在 専門部長

(問合せ先：06(220)5544)

参考文献

- 1) 杉山栄彦：自動車技術 Vol.36 No.4 (1982)
- 2) 団野敦：豊田中央研究所 R&Dレビュー Vol.20 No.1/2 (1986) p.64
- 3) 岩崎功，水谷巖：自動車技術 Vol.41 No.5 (1987) p.593
- 4) 浅野謙一：鍛造技報 第57号 94.4 p.22
- 5) 西田和彦：棒線フォーラム予稿「最近の鍛造技術と鋼材の動向」H8.9.13
- 6) M. Fujita, K. Nisida, M. Sakamoto, F. Nakasato and T. Ohno: 「Boron-Treated High Strength Steel for Machine Structural Use (EM440)」The Sumitomo Search No.28, October 1983
- 7) 水野孝樹，松原敏彦，天野政樹，中田雅之，鈴木雅啓，服部弘基：HONDA R&D Technical Review Vol.5 (1993) p.60
- 8) 三輪能久，柴田伸也，花川勝則，生野祐治，三原孝司，迫誠夫：マツダ技報 No.8 (1990) p.130
- 9) 高山透，日野谷重晴，和泉康治，鎌田芳彦，近藤正顕，森元秀：熱処理技術協会講演大会概要 第39回 平成6年12月 p.19, p.21
- 10) 鎌田芳彦：特殊鋼 第43巻3号(1995年3月) p.43 「高強度歯車用鋼」
- 11) 萩田兵治，中尾信夫：住友金属 Vol.45 (1993) p.90 「冷間鍛造用線材の前処理技術の開発」
- 12) 緒方俊治，横山正章，富工雅人，久野勉，河島義雄：「ホットホーマー用コイルフィード」住友金属誌 Vol.39 No.3 p.77~84
- 13) 須藤忠三，西田和彦：特殊鋼 40巻 12号(1991年12月号) p.36
- 14) 柿崎哲，鎌田芳彦：材料とプロセス Vol.7(1994)No.3 p.774
- 15) 平井学：住友金属工業㈱ 社内資料
- 16) 細野昭彦，藤田敬太郎：いすゞ技報 第90号 p.90
- 17) 村上陽一，白木秀樹，岡田義夫，熊本隆，上野宏：自動車技術会講演会前刷集 912 (1991) Vol.2 p.41
- 18) 坂口 登：棒鋼・線材製品の品質保証技術の進歩 西山記念講座 第157, 158回 (平成7年)
- 19) 石田二郎：「特殊鋼棒鋼・線材精製技術の進歩」電気製鋼 第60巻 第1号 p.66
- 20) 浦波喜幸，鎌田芳彦，外山和男，大川和英，田川富啓：日本金属学会報 第32巻 第4号 p.250
- 21) 塩飽潔，口石茂松，山田凱朗，川崎稔夫：R & D神戸製鋼技報 Vol.35 No.2 p.55
- 22) 塚本孝，萩田兵治：第39回伸線技術分科会 (1995.6.16) 「冷間鍛造用耐歪時効線材の開発」
- 23) Katuyosi Kajiyama, Akira Aida, Michitaka Fujita, Tetsu Ohno and Kenji Aihara: Wire Journal (Nov. 1979) p.66
- 24) 松本斉，中里福和，倉富直行，櫛田隆弘，津村輝隆：CAMP-ISIJ Vol.7 (1994) p.1602
- 25) 星野俊幸，藤田利夫，松崎明博，天野慶一：CAMP-ISIJ Vol.8 (1955) p.634
- 26) 水井直光：「黒鉛化鋼板を用いた自動車部品製造プロセスの簡略化」自動車材料シンポジウム1994.10.10
- 27) 宮長文吾：「ボロン鋼を生かす熱処理」金属 Vol.56 No.1 (1986) p.34~39
- 28) 宮長文吾：工業材料 第36巻 第14号 (1988 10月号) p.60~64
- 29) 大野鉄，須藤忠三，相原賢治，高橋渉，竹内正幸：住友金属 Vol.35 No.4 (1983) p.113
- 30) 中村守文，竹下秀男，小新井治郎，松山博幸，古沢貞良：R & D神戸製鋼技報 Vol.33 No.2 p.93
- 31) 町田功，高木武，梅野好和，吉村泰律，中尾彰一：HONDA R&D Technical Review Vol.5 (1993) p.80
- 32) 村井暢宏，相原賢治，日野谷重晴：「浸炭鋼の強度に及ぼすCr, Bの影響」住友金属 Vol.44 No.3 p.14~22
- 33) 西田和彦：第65回塑性加工学講座「鍛造加工の基礎と応用」予稿「最近の鍛造用鋼の動向」平成8年7月10日
- 34) 村山哲，真柄秀一，小原重男：自動車技術会学術講演会前刷集 (1989-10) p.892
- 35) 織田和幸，無田上章，正木隆，有見幸夫，鎌田芳彦，宇野光男，高山透，村井暢宏：自動車技術会 No.9415 シンポジウム「動力伝達系の最新技術」予稿集 (1994.11.4) p.18
- 36) 伏見慎二，島村三郎：鉄と鋼 第78巻第8号 (1992) p.1383
- 37) 伏見慎二，梅垣俊造，宇野光男，西田和彦，大川内潔，小島貢：CAMP-ISIJ Vol.7 No.6 (1994.10) p.1744
- 38) 西田和彦：RC-132 伝動装置の現在技術の限界とその克服に関する調査研究分科会 (第1回) 特別講演「歯車用特殊鋼の動向」1995年6月9日