省モリブデン構造用鋼

上原紀興¹⁾ 礪川憲二²⁾ 田中良治²⁾

1. 開発の背景

自動車をはじめとする各種の機械部品に使用される機械構造用鋼は、その長い歴史の中で次第に低合金鋼へと変遷をとげてきた⁽¹⁾。かつて Ni-Cr-Mo 鋼の代替鋼として開発された Cr-Mo 鋼が、今や構造用合金鋼の主流となっているのはその好例である。このような低合金鋼化を可能にした背景には、製鋼・圧延・精整・検査などの特殊鋼製造技術の進歩⁽²⁾と部品設計・熱処理技術などの部品製造技術の進歩があったことはいまでもない。

そしてさらに Cr-Mo 鋼の Mo を省略することの可能性を求めて、当社では基礎研究を続けてきた。1979 年に至り、おりからの省資源・省エネルギーの気運が高まる中であって、製鋼用 Mo 原料の価格が急騰し、省 Mo 鋼の開発が緊急かつ重要な課題としてクローズ・アップされた。省 Mo 構造用鋼はこのような技術的・社会的背景のもとに開発されたものである。

2. 省 Mo 強靱鋼の開発

強靱鋼は 0.3~0.5% 程度の C を含有し、主として焼入れ焼もどしを行なって強さと靱性を調節して使用される鋼である。その用途は自動車の場合にはエンジン部品(クランクシャフトなど)や足まわり部品(ナックルなど)などであり、極めて信頼性が重要視される。

(1) 開発の方針

強靱鋼における Mo の役割りは、焼入性の調節・焼もどし脆性の防止・焼もどし軟化抵抗とに要約することができる。当社の省 Mo 強靱鋼はこのうち最も重要である焼入性に注目し、Cr-Mo 鋼と同等の焼入性を確保するように B・Mn・Cr 量を調節する方針で合金設計を行なったものである。

(2) 開発の経過

(i) ボロン鋼の製造技術の開発

従来から B は微量の添加で著しく焼入性を向上させる元素として知られているが、機械構造用鋼にはこれまで

ほとんど使用されていなかった。この理由はこれまでのボロン鋼の焼入性のばらつきが他の合金鋼のそれに比べてやや大きかったためである。そこで次のような技術項目について検討を行ない、焼入性のばらつきの小さいボロン鋼を製造する技術を確立した。

(a) 適正なボロン量(酸可溶性 B 量、以下 sol.B と記す)の検討。

(b) sol.B 量を精密にコントロールするための真空脱ガス処理条件の検討。

(c) 電算機による電気炉内および取鍋内の溶鋼の焼入性予測と調節技術の確立。

(d) (c) 項を可能にするための sol.B 量の迅速分析法(発光分光分析の Pulse Distribution Analysis 法)の確立。

これらはそれぞれ豊富な内容を含んでいるが、その中で焼入性と sol.B との関係を図 1 に示す。これまで焼入性に効果的な B の形態は sol.B であることは判明し

図 1 ボロンの焼入性倍率に及ぼす酸可溶性 B 量の影響。

* 大同特殊鋼株式会社中央研究所

1) 第 3 研究室室長 2) 第 3 研究室研究員

New Steels Saving Molybdenum for the Machine Structural Uses; N.Uehara, K.Isokawa, Y.Tanaka (Daido Steel Co. Ltd.)

1981 年 1 月 30 日受理

ていたが、焼入性と sol.B 量との関係を明らかにした例は少ない。本研究開発の基幹となるデータである。

(ii) 被削性を考慮した合金設計

従来の機械構造用鋼にも AISI 15 B 41 などのようなボロン鋼がある。これらは合金鋼に匹敵する焼入性を有するが、被削性が劣るために広く使用されるには至らなかった。著者らはこれらのボロン鋼の被削性が劣る原因は Mn 量が高いためと考えると、被削性と Mn 量との関係を調べ図 2 を得た。この結果から被削性を確保するために Mn 量を 1.2% 以下とすることにした。

図 2 0.4C-Mn-Cr-B 鋼の被削性に及ぼす Mn 量の影響。

(3) 種類と特徴

上記の経過をたどって開発された当社の省 Mo 強靱鋼の一例を表 1 に示す。これらは Mn 量を 1.0 および 1.2% とし、それぞれ Cr 量で焼入性を調節している。これらの特徴を要約すると下記の通りである。

表 1 省 Mo 強靱鋼の種類。

種類	鋼 種 名	化学成分 (wt%)						理想臨界直径 (mm)
		C	Si	Mn	Cr	Mo	B	
省 Mo 強靱鋼	DMSB 440	0.40	0.25	1.0	0.7	—	0.0020	120
	DMSB 140	0.40	0.25	1.2	0.3	—	0.0020	95
	DMSB 435	0.35	0.25	1.0	0.7	—	0.0020	105
	DMSB 135	0.35	0.25	1.2	0.3	—	0.0020	80
従来のボロン鋼	AISI 15B41	0.40	0.25	1.5	—	—	0.0020	75
Cr-Mo 鋼	SCM 440	0.40	0.25	0.75	1.00	0.25	—	120
	SCM 435	0.35	0.25	0.75	1.00	0.25	—	105

(a) 焼入性: 表 1 に示すように省 Mo 強靱鋼 (DMSB 440・435) の焼入性は従来の Cr-Mo 鋼 (SCM 440・435) と同じである。また部品によってはこれまでの Cr-Mo 鋼では焼入性がやや過剰であったものもあるので、それらのために焼入性を低めに設定した DMSB 140, 135 も準備した。

(b) 焼もどし脆性: 焼もどし後の冷却速度として、直径 80 mm 空冷相当までは焼もどし脆性は発生しないことを確認した。この程度までのサイズのものが大部分である自動車をはじめとする機械部品としては、焼もどし脆性はほとんど問題がないといって差し支えない。

(c) 焼もどし軟化抵抗: 図 3 に Cr-Mo 鋼と省 Mo 強靱鋼の焼もどし温度と機械的性質との関係を示す。省 Mo 強靱鋼は Cr-Mo 鋼に比べて焼もどし軟化抵抗が小さいので、同じ強度を得るためには後者に比べて焼もどし温度を約 50~100°C 低くする必要がある。

図 3 省 Mo 強靱鋼の機械的性質に及ぼす焼もどし温度の影響。

(d) 機械的性質: 省 Mo 強靱鋼と Cr-Mo 鋼の機械的性質にはほとんど差がない。ただし 130 kgf/mm² 以上の引張強さを必要とするボルトに使用する場合には遅れ破壊の可能性⁽³⁾に注意を要する。

3. 省 Mo 肌焼鋼の開発

肌焼鋼は 0.15~0.25% 程度の C を含有し、主として

浸炭焼入れを行なって使用される鋼である。その用途は自動車の場合には変速機や差動装置に用いられる歯車や軸受などであり、高い信頼性を必要とされる点では前述の強靱鋼と同じである。

(1) 開発の方針

浸炭は高温・長時間の熱処理であるので、オーステナイト結晶粒が粗大化する場合があり、それに対して特別な配慮を必要とする。このため結晶粒粗大化を促進する元素であるBは添加せず、Mn・Cr・Mo量を調節して、Cr-Mo鋼と同等の焼入性を確保する方針で合金設計を行なった。

(2) 開発の経過

(i) 被 削 性

強靱鋼は一般に焼入れ焼もどした状態(ソルバイト組織)で切削加工されるが、肌焼鋼は焼ならしなどを行なったフェライト+パーライト組織の状態での切削加工される。後者においてもMnは被削性を劣化させ、その適正添加量は前者の場合と同様に1.2%以下であることを見出した。

(ii) 浸炭異常層の発生防止

浸炭雰囲気に含まれる微量のCO₂やH₂Oは鋼中Si、Cr、Mnなどを選択酸化し、主として粒界近傍の固溶合金元素量を低下させて焼入性の劣化を招く。その結果焼入後の浸炭層にトルースタイトが生じ、疲労強度が低下する。Moはこの表面異常層の発生を防止する効果があるので、高強度を必要とする浸炭部品用には必要最少限のMoを添加することとして、その適正量を検討した。

(3) 種類と特徴

上記の研究結果に基づいて開発された省Mo肌焼鋼の一例を表2に示す。これらは0.08%のMoを添加した低Mo鋼とMo無添加のMn-Cr鋼であり、それぞれ被削性が劣化しない範囲のMnを含有しCrで焼入性を調節している。これらの鋼種は、図4に示すように従来のCr-Mo鋼と同等の焼入性を示す。また他の諸特性、たとえば機械的性質・浸炭後の疲労強度・被削性・冷間鍛造性なども良好である。この中でDMSC 220・215につ

表2 省Mo肌焼鋼の種類.

種 類	鋼 種 名	化学成分(wt%)				
		C	Si	Mn	Cr	Mo
省 Mo 肌焼鋼	DMSC 420	0.20	0.25	0.9	1.1	0.08
	DMSC 220	0.20	0.25	1.0	1.2	—
	DMSC 415	0.15	0.25	0.9	1.1	0.08
	DMSC 215	0.15	0.25	1.0	1.2	—
Cr-Mo 鋼	SCM 420	0.20	0.25	0.75	1.0	0.25
	SCM 415	0.15	0.25	0.75	1.0	0.25

図4 省Mo肌焼鋼の焼入性(Jominy 試験結果の一例).

いては、質量効果の比較的小さい部品に適用し、表層トルースタイトの発生を避けて使用することが望ましい。

4. 製 造 実 績

省Mo強靱鋼は自動車用足回り部品などの重要保安部品に実用化され、1980年以来約500トンが生産されている。また省Mo肌焼鋼は主に自動車用変速機歯車などに実用化され、1979年以来約42000トンが生産されている。これらはいずれも従来のCr-Mo鋼に比べて劣らない性能を発揮し、着実に実用化の範囲が拡大している。このような情勢から自動車技術会規格(JASO)へ当社の省Mo構造用鋼を規格化することが検討されており、機械構造用鋼の今後の主流鋼種としての地位を固めつつある。

文 献

- (1) 鉄と鋼, 61(1975), 709.
- (2) 電気製鋼, 50(1979), No.1, 第50巻記念特集号.
- (3) 福井彰一: 電気製鋼, 43(1972), 43.