短時間浸炭用鋼について

上原 紀興*, 磯川 憲二*, 田中 良治*

New Carburizing Steels Saving Processing Time

Norioki Uehara, Kenji Isokawa and Yoshiharu Tanaka

Synopsis

To save energy for gas carburizing, the processing time should be reduced. So new processes have been explored desperately and high-temperature ones, especially vacuum carburizing, are regarded as most promising. On the other hand few works have been carried out on steels themselves, which are also able to reduce the processing time.

As is commonly known the higher carbon content in the steel results in the deeper penetration of carbon, and yet the higher hardness of the core and the larger distortion of the parts on quenching. And decreasing alloying elements to eliminate the latter reactions will generally shorten the case depth.

Still molybdenum addition in the adequate quantity to medium carbon steels was expected to meet the above requirements. Upon this the influence of Mo content on the carburizing characteristics was investigated thoroughly and new Cr-Mo steels with medium carbon have been developed.

For example, 0.27%C-0.6%Mn-0.6%Cr steel containing 0.15%Mo shows enough case depth in the processing time 20% less than JIS SCr 420 (Cr steel corresponding to SAE 5120). This new steel has equivalent core-hardenability and tensile/fatigue strength to it.

1. 結 言

浸炭焼入れ処理は、機械構造用部品の疲れ強さや耐摩耗性を向上させる表面硬化処理として多くの部品に実施されている。しかし、昨今のきびしいエネルギー情勢のもとで、熱処理の省エネルギーの観点から、この処理時間を短縮することが重要な技術的課題となっている。この課題に対して高温浸炭、特に真空浸炭処理が処理面からのひとつのアプローチとして活発な研究が行われてき

た。しかし浸炭素材の面から浸炭処理時間の短縮を検討した研究は少ない。

鋼の浸炭性に及ぼす鋼組成の影響に関する研究は、体系的にはほとんど行われていないが、数種の JIS 鋼種のガス浸炭性を調査した研究¹⁾の結果から、次のようなことが判明している。

- 1) 素材の炭素量が高いほど、有効浸炭深さ*が大きい。
- 2) Cr のような炭化物形成元素は有効浸炭深さを増加させる作用を有するが、Ni などの非炭化物形成元素が多量に添加されると有効浸炭深さが減少する。

なお、焼入れ後の有効硬化層深さはこの炭素濃

昭和54年12月12日 受付

*大同特殊鋼㈱研究開発本部中央研究所

Table 1. Chemical composition of experimental steels.

(wt%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
B	0.27	0.27	0.61	0.010	0.010	0.10	0.11	0.61	0.01
M1	0.27	0.26	0.62	0.010	0.011	0.10	0.11	0.62	0.10
M2	0.27	0.27	0.61	0.009	0.012	0.09	0.11	0.60	0.20
M3	0.27	0.26	0.61	0.010	0.010	0.10	0.11	0.61	0.30
C9	0.26	0.27	0.59	0.015	0.024	0.10	0.11	0.91	0.01
C12	0.27	0.26	0.60	0.014	0.020	0.11	0.11	1.20	0.01

Table 2. Chemical composition of a rapid carburizing steel and a current steel.

(wt%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
ES1	0.27	0.23	0.59	0.017	0.024	0.13	0.12	0.63	0.15
SCr420	0.20	0.20	0.79	0.015	0.028	0.10	0.05	1.02	0.02

度分布だけではなく、鋼の焼入性にも影響される。一般に素材の焼入性が高いほど、硬化層深さは大きい。あまり焼入性が高いと心部の硬さも高くなり、実用的には焼入れ歪の増加などの問題点が生じるので好ましくない。したがって合金組成を調節して短時間浸炭用鋼を開発するためには、素材の焼入性に関しても充分注意を払う必要がある。

本研究は既存の浸炭用鋼 JIS-SCr420 の浸炭時間を短縮する合金組成を開発するために、上記の考え方に基いて素材の炭素量を高めた鋼組成 0.27%C-0.6%Mn-0.6%Cr を基本組成として、代表的な炭化物形成元素である Cr と Mo 量を適正化する方針で研究を行った。本報告は基本組成の浸炭性に及ぼす Cr および Mo 量の影響を調べ、その結果開発された新しい短時間浸炭用鋼の諸特性について述べる。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材の化学成分を Table 1 に示す。高周波誘

*文献(1)では、0.3%C が得られる深さと定義している。他方 JIS では有効硬化層深さが定義されており、Hv550 が得られる深さと規定されている。

導炉で溶製した 50kg の鋼塊を熱間鍛造によって直径 32mm の丸棒に加工後、925℃で焼ならし処理を施して実験用素材とした。

また、これら少量溶解材の実験結果に基づいて、焼入性が JIS-SCr420 に相当する短時間浸炭用鋼を 2 トン電気炉で溶製し、熱間圧延と焼ならしを行って供試材とした。この鋼（鋼種記号 E S 1）および比較材として用いた SCr420 の化学成分を Table 2 に示す。

2.2 浸炭焼入れ実験

ガス浸炭焼入れ処理は、工業的規模のバッチ型浸炭炉（炉内容積 0.5m³、最大処理量 100kg/ch）を用いて行った。処理条件を Table 3 に示す。浸炭焼入れ後、試験片を 180℃×1 hr の条件で油中で焼もどした。試験片形状を Fig. 1 に示す。

浸炭処理後の試験片の表面近傍の硬さ分布を微小硬度計で測定し、また 650℃×10min の条件で塩浴中で焼なまし後、表層から 0.2mm 間隔に旋盤で分析試料を採取し炭素濃度分布を求めた。

2.3 ジョミニー試験

ジョミニー試験片に加工後、925℃×30min の条件で加熱し、一端焼入れ試験によって素材の焼入性を評価した。

2.4 その他の試験

(1) 心部の機械的性質

Table 3. Conditions for gas carburizing.

Atmosphere	Endo thermic gas (RX) +C ₃ H ₈ gas
Carburizing temperature	900°C
Enriching + diffusion time	(A) 1hr+1hr (B) 2hr+1hr (C) 3hr+1hr
Quenching	850°C × 30min Oil quench

Fig. 1. Size of specimen.

焼ならし材を直径 25mm に旋削後、一次焼入れ 880°C × 30min 油冷、二次焼入れ 830°C × 30min 油冷、焼もどし 180°C × 1 hr 空冷の条件で熱処理を行い、それぞれ JIS 4 号引張試験片、JIS 3 号衝撃試験片および平行部直径 8mm の平滑小野式回転曲げ疲労試験片に加工後、室温で試験を行った。

(2) 浸炭後の機械的性質

各試験片に加工後、Table 3 の(B)の条件で浸炭焼入れを行い、180°C で焼きもどし後、回転曲げ疲労試験および動力循環式歯車試験を行った。なお、試験歯車はモジュール 2 の平歯車である。

3. 実験結果と考察

3.1 浸炭性に及ぼす Cr および Mo の影響

Table 1 に示した化学成分の鋼を Table 3 の(B)の条件で浸炭焼入れした場合の表面近傍の硬さ分布を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。Fig. 2 は Mo 量の影響を示しており、Mo 量の増加と共に硬化層深さが増大し、また心部硬さもやや高くなる。Fig. 3 は Cr 量の影響を示しているが、Mo の場合と同様な傾向を示す。基本鋼ならびに基本組成に対して 0.3%Mo および 1.2%Cr をそれぞれ添加した 2 鋼種について、表面近傍の炭素量分布を測定した結果を Fig. 4 に示す。表面から 0.1mm の距離を除いて、各鋼種で炭素量の分布にほとんど差はない。図中には、Fig. 2 と Fig. 3 とから得られた

Fig. 2. Effect of Mo content on the hardness gradients.

Fig. 3. Effect of Cr content on the hardness gradients.

Fig. 4. Carbon gradients of carburized specimens.

有効硬化層深さ (Hv550 が得られる深さ) も同時に記入した。炭素量分布に大きな差は見られないにもかかわらず、硬化層深さが鋼種により大きく変化する理由は、鋼種の焼入性が異なるためである。

硬化層深さと心部硬さに及ぼす合金元素量の影響が Mo と Cr とでどのように異なるかを比較するために基本鋼に対する各元素の増加量を横軸にとり、両特性値を縦軸として作図したのが Fig. 5 である。心部硬さの増加量は、Mo と Cr とで大きな差は認められないが、有効硬化層深さの増加量は Cr に比べて Mo の方が著しく大きい。このような事実は、心部の焼入性と浸炭層の焼入性に及ぼす合金元素の影響が Mo と Cr とでは異なり、Mo は心部に比べて浸炭層の焼入性を特に向上させる元素であることを示している。

Fig. 6 に炭素量が0.15~0.25%の場合と0.75~1.0%の場合における Mo と Cr の焼入れ倍数に関する従来の実験結果^{2),3)}を整理して示した。Mo が0%の場合に比べて0.3%添加されると、低炭素鋼の理想臨界直径は1.4倍になるのに対して、高炭素鋼では1.9倍となり、浸炭層の焼入性が顕著に向上することがわかる。一方 Cr の場合、Cr 量が0.6%から1.2%に増加すると、低炭素鋼の理想臨界直径は1.6倍になるのに対して、高炭素鋼では1.3倍となり、浸炭層に比べて心部の焼入性がより高くなる。これらの実験結果は、本研究の結果を定性的に裏づけている。

3.2 短時間浸炭用鋼の焼入性と浸炭性

前節で述べた実験結果をもとにして、従来の Cr

Fig. 5. Effect of alloying elements on the case depth and core hardness.

Fig. 6. Effect of alloying elements on hardenability.

浸炭用鋼 (JIS SCr420) と同等の焼入性を有し、しかも浸炭時間の短縮が可能と考えられる鋼組成として 0.27%C-0.6%Mn-0.6%Cr-0.15%Mo を設定し、その性能を確認した。Table 2 に示した化学成分の鋼のジョミニ試験結果を Fig. 7 に示す。両鋼種はほぼ同等な心部の焼入性を有していることが確認された。

一方、これらの鋼種を Table 3 の(A)~(C)の条件で浸炭焼入れした場合の、有効硬化層深さを Fig. 8 に示す。短時間浸炭用鋼の浸炭性は SCr420 に比べて優れている。一例として有効硬化層深さ 0.6mm を得るために必要な処理時間を Fig. 8 から読みとり、両鋼種間で比較して Table 4 に示す。また、これらの鋼種を Table 3 の(B)の条件で浸炭焼入れした場合の表面近傍の炭素量分布を測定した結果を Fig. 9 に示す。短時間浸炭用鋼の炭素浸透深さは SCr420 に比べて大きく、素材の炭素量が浸炭深さに大きな影響を及ぼすという従来の研究結果^{1),4)}と一致した。

Fig. 7. End-quench hardenability of specimens.

Fig. 8. Effect of enriching time on the case depth of steels investigated.

Table 4. Comparison of carburizing time* of a current steel and a new steel.

Steel	Enriching time	Total processing time
ES 1	1.65hr	3.65hr
SCr420	2.50hr	4.50hr
Reducing ratio	34%	19%

*Effective case depth : 0.6mm

Fig. 9. Carbon gradients of carburized specimens.

3.3 短時間浸炭用鋼の機械的性質

Table 2 に示した化学成分の鋼の焼入焼もどし後の機械試験結果を Table 5 に示す。また焼入焼もどしおよび浸炭焼入焼もどし後の回転曲げ疲労試験結果を Fig. 10 に示す。さらに、浸炭焼入焼もどした歯車の強度試験結果を Fig. 11 に示す。

焼入焼もどし材の機械的性質は両鋼種でほとんど差がない。一方、浸炭焼入焼もどし材の疲労強度は短時間浸炭用鋼の方がやや優れているという結果が得られたが、その原因は同一浸炭条件で

Table 5. Mechanical properties of a current steel and a new steel.

Steel	0.2%proof stress (kgf/mm ²)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Reduction in area (%)	Elongation (%)	Charpy impact value* (kgf·m/cm ²)
ES 1	68	99	21	48	8
SCr420	67	96	24	50	9

* 2mm U-notch, Room temp.

Heat treatment : H₁ 880°C, H₂ 830°C, T 180°C

Fig. 10. S-N curves by rotating-bend-test.

(Quenched and tempered: H₁ 880°C, H₂ 830°C, T 180°C
Carburized: C 900°C × 3hr, Q 850°C, T 180°C)

処理したため、短時間浸炭用鋼の硬化層深さが SCr420 に比べて大きくなったためであろう。

4. 結 言

従来の浸炭用鋼に比べて炭素量を高めた鋼の浸炭性に及ぼす合金元素の影響を少量溶解材を用いて調査し、適正な Mo の添加によって、心部の焼入性を顕著に向上させることなく、浸炭層の焼入性を改善し、大きな硬化層深さを得ることができることを見出した。

この結果に基づいて得た短時間浸炭用鋼は SCr420 に比べて浸炭性が優れており、一例として全処理時間を約20%減少させることができるこ

Fig. 11. S-N curves by gear-fatigue-test.
(Heat treatment: C 900°C × 3hr, Q 850°C, T 180°C
Specimen: Spur gear, module 2)

とを確認した。

また本研究で得られた浸炭時間の短縮に対する考え方によって SCr420 以外の浸炭用鋼、たとえば SCM420, SCM822 に対しても浸炭性のすぐれた短時間浸炭用鋼を開発することができている。

なお、本研究を遂行するに当たり、実験面で精力的に協力された大同特殊鋼株式会社 本間文雄氏、村田勝弘氏に感謝いたします。

(文 献)

- 1) 清永欣吾, 奥野利夫: 日本金属学会誌, 24 (1960), 727
- 2) A. F. deRetana and D. V. Doane: Metal Progress, 100 (1971) Spet., 65
- 3) C. F. Jatczak: Met. Trans., 4 (1973), 2272
- 4) R. Collin, S. Gunnarson and D. Thulin: Härterei-Techn. Mitt., 25 (1970), 17