

冷間鍛造用黒鉛鋼の材質特性

Properties of Graphitic Steel for Cold Forging

小此木 真^{*(1)} 橋村 雅之^{*(2)} 蟹澤 秀雄^{*(3)} 片山 昌^{*(4)}
 Makoto OKONOGI Masayuki HASHIMURA Hideo KANISAWA Sakae KATAYAMA

抄 録

鍛造や切削などの加工をした後に強度部品に供される機械構造用鋼は、炭素量を多くするほど高強度化する反面、加工性が劣るので強度と加工性の両立がこれまで常に課題になってきた。鋼中炭素を変形が容易な黒鉛として保持し、マトリックスを純鉄に近いフェライトとしたので、高炭素にもかかわらず軟質で優れた加工性を有する黒鉛鋼を開発した。加工後の熱処理で黒鉛を分解し炭素をマトリックス中に固溶させることで高強度化できるため、強度と加工性の両立が可能となる。特に黒鉛を微細分散させた鋼は高周波焼入れ性が良好である。

Abstract

Steel for machine structural use that are used for strengthened parts after forging and machining processes is higher in strength as carbon amounts increase, while on the other hand, its cold workability and machining are inferior, so there has always been a problem for strengthening and processing properties to co-exist. Because we maintained the carbon in steel as graphite that easily deforms and made matrix as a ferrite that is close to pure iron, we developed graphitic steel that is soft and has superior processing properties despite having high carbon amounts. Also, because high strength is accomplished by decomposing graphite and dissolving carbon into the matrix using heat treatment after processing, it is possible for both strength and processing properties to co-exist. Particularly, steel in which graphite has been minutely dispersed has good induction hardening characteristics.

1. 緒 言

機械構造用鋼は、冷間鍛造や引き抜きあるいは切削等で所定の形状に加工した後、焼入れ処理で強度を付与して最終製品とする場合が多い。そのため材質特性は、最終製品での部品強度が確保されることと、加工工程での成形性が要求される。

一般に炭素含有量が多いと炭素はセメントタイトの形態で含有される。セメントタイトは加工性が劣るため、低炭素鋼の成形後に浸炭焼入れで強度を付与する、あるいは中炭素鋼のセメントタイトを球状化焼鈍して軟質化し、加工後に熱処理で強度を付与している。しかし、浸炭焼入れでは熱処理時間が長いこと、炭素含有量がおおよそ0.45wt%以上の鋼は球状化焼鈍では軟質化が不十分で金型寿命が低下するなどの問題がある。これらの課題に対応するために、変形が容易な黒鉛の形態で炭素を析出させ、高炭素鋼でも低炭素鋼並の軟質化を達成しつつ、加工後の焼入れ処理で黒鉛を再溶解しマトリックス中に固溶させ添加炭素量に応じた強度を付与できる黒鉛鋼を開発した。

2. 黒鉛鋼の特徴

黒鉛鋼は、フェライト地に黒鉛が析出した組織を有する。Fe-C系

の状態図ではFe-黒鉛系が安定状態であるが、黒鉛化には黒鉛の析出する空間を確保しなくてはならない。そのためFeの拡散が必要となり、通常の亜共析鋼ではFe-黒鉛系は形成されにくい。黒鉛の析出を促進するには、熱平衡論的にセメントタイトを安定化する合金元素Cr, Mnを低減させ、不安定化するSi, Ni等を増加させる成分¹⁾が用いられている。あるいは前組織のセメントタイトを微細化して分解を促進する²⁾等の手段がとられている。

黒鉛化した材料は加工性に優れるため、冷間鍛造や切削などの加工コストを大幅に低減することが可能である。黒鉛鋼について想定される使用法を図1に示す。強度を必要としない部品は加工のまま、強度部品については熱処理で強度を付与し、最終製品とする。

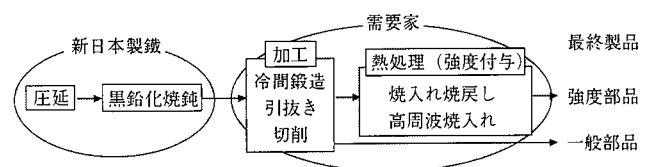


図1 想定される使用法

*⁽¹⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 研究員
 千葉県富津市新富20-1 ☎293-8511 ☎(0143)47-2301
 *⁽²⁾ 室蘭技術研究部 主任研究員

*⁽³⁾ 室蘭技術研究部 主任研究員 工博
 *⁽⁴⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主幹研究員 工博(現 片山技術事務所)

3. 材質特性

3.1 ミクロ組織

各特性評価に用いた供試鋼は、表1に示す成分からなり、実機圧延後、焼鈍炉で黒鉛化処理した。黒鉛粒径は熱処理に大きく依存する。従ってその条件によって黒鉛粒径の作り分けが可能である。黒鉛粒径の異なる黒鉛鋼の例を図2に示す。室蘭製鐵所の棒鋼工場及び線材工場では、圧延ライン後端のオンライン急冷装置(DSQ : Direct Surface Quench, EDC : Easy Drawing Conveyor)を用いた冷却制御により、このように粒径の明らかに異なる細粒と粗粒の黒鉛鋼を作り分けることができる。いずれの場合もマトリックスはフェライトで、いわば純鉄に近い状態になっている。

3.2 黒鉛化のままでの材質特性

0.55wt%Cの黒鉛鋼及びS55C-SAの引張特性を図3に示す。0.55wt%Cの黒鉛鋼はS55Cの球状化焼鈍(SA)材と比較し、引張強度(TS)で約130MPa、降伏強度(YP)で約90MPa軟質化し、S15C並の強度レベルである。このため従来では熱間鍛造あるいは温間鍛造で加工されていたS55C相当鋼でも、冷間鍛造が可能な強度水準にまで軟質化している。図4に金型面圧と型寿命の関係を示す。端面拘束圧縮試験より求めた変形抵抗をもとにFEM解析で金型面圧

表1 供試鋼成分(mass%)

C	Si	Mn	黒鉛粒径
0.55	1.0	0.5	可変

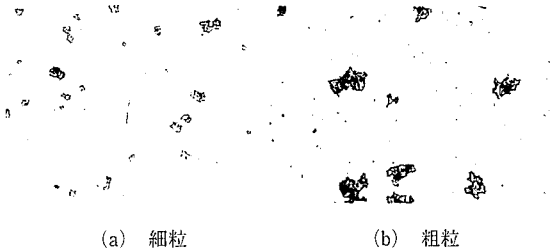


図2 冷却制御により作り分けた黒鉛鋼の例

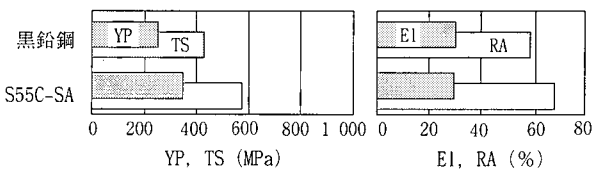


図3 黒鉛化のままでの引張特性

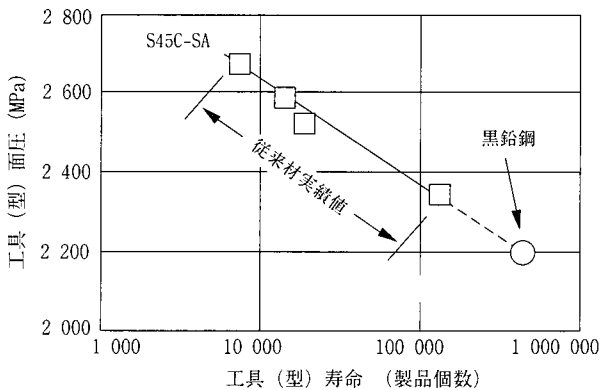


図4 後方押し出し時の工具寿命予測

を算出し、後方押し出しにおける金型寿命を推定した。S45CのSA材と比べて約5倍の金型寿命増加が期待できる。

切削性の指標にドリル寿命を用いた。図5に各種快削鋼の高速度鋼工具でのドリル寿命³⁾を示す。黒鉛鋼のドリル寿命は最も被削性が良いとされていた低炭快削鋼SAE 12L14と比べても優れている。

本開発鋼の黒鉛化のままでの材質特性はフェライトと黒鉛の二相組織を有することで、冷間鍛造及び切削の工具寿命に優れ、加工性は良好である。

3.3 強度付与後の材質特性

黒鉛化処理後に、焼入れ焼戻し(QT)して強度を付与し、その材質特性を調べた。0.55wt%Cの黒鉛鋼及びS55Cの焼入れ焼戻し後の引張特性を図6に示す。黒鉛鋼はQT後の伸び(EI)及び絞り(RA)が低下するものの、引張強度及び降伏強度はS55C-QT材とほぼ同等である。小野式回転曲げ疲労特性を図7に示す。疲労特性はS55C-QTとほぼ同等である。

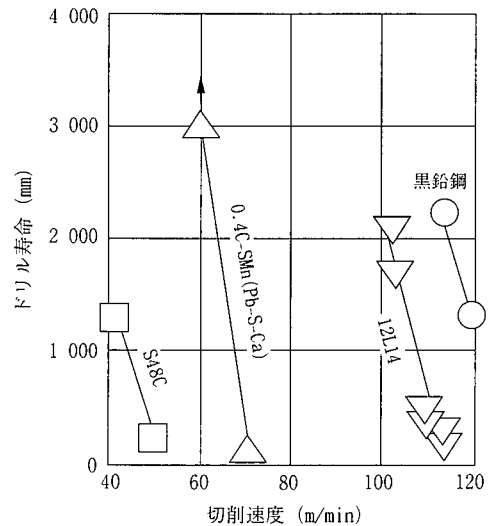


図5 各種快削鋼のドリル寿命

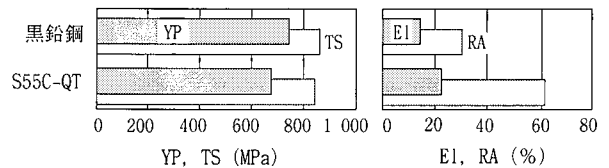


図6 強度付与後の引張特性

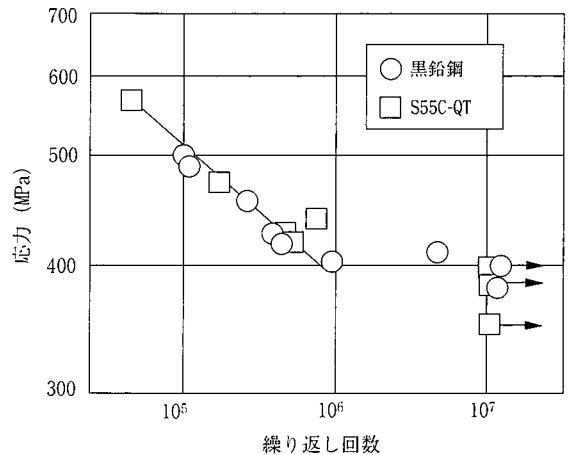


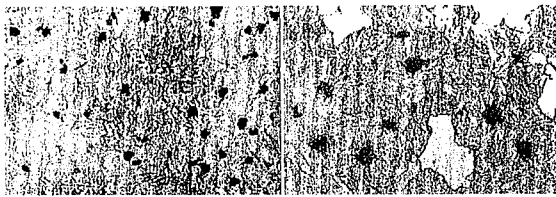
図7 回転曲げ疲労特性

このように強度付与後は同量炭素のQT材とほぼ同水準の材質特性が確保される。

3.4 高周波焼入れ特性

黒鉛の粒子間距離は球状化焼鈍材のセメントタイトの粒子間距離に比べ大きいため、黒鉛粒径が粗大なものは高周波焼入れのようにオーステナイト域での加熱保持時間が数秒と短い場合には炭素が十分に拡散せず、マルテンサイトとフェライトの混在した組織となり、均一硬さが得られない。

加熱保持時間が3秒の場合の高周波焼入れ組織に及ぼす黒鉛粒径の影響を図8に示す。黒鉛粒径が粗粒の場合マルテンサイトとフェライトの混在した組織となっているが、細粒の場合にはほぼ均一に炭素が拡散しマルテンサイトの単相組織となっている。加熱保持時間を変化させたときの硬度分布を図9に示す。粗粒黒鉛では、保持時間が30秒以下ではマルテンサイトとフェライトの混在した組織となるので硬度むらも大きいが、黒鉛粒を細粒にすることで均一な硬度分布を得ることが可能である。



(a) 細粒 (b) 粗粒

図8 高周波焼入れ後のマイクロ組織

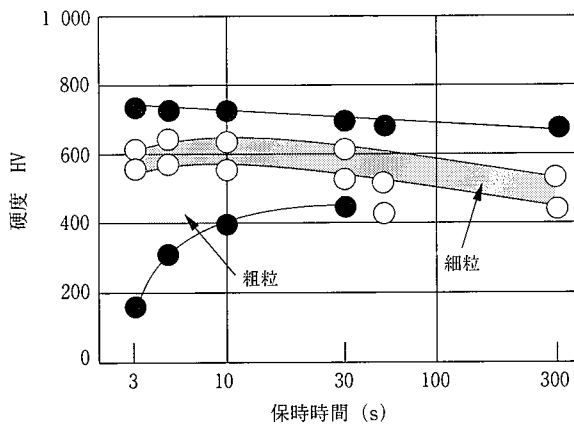


図9 加熱保持時間と硬度分布の関係

4. 結 言

開発した黒鉛鋼は、黒鉛化のままで優れた冷間鍛造性及び切削性を有しつつ、熱処理後には同量炭素の球状化焼鈍材とほぼ同水準に高強度化が可能であり、加工性と高強度化を兼備する。また、黒鉛をオンライン冷却制御により微細分散させた黒鉛鋼は、高周波焼入れでも容易に高強度化できることを確認した。

参照文献

- 1) 川野 豊, 井ノ山直哉, 倉井和彦: 鋳物. 45, 17(1973)
- 2) 末吉秀一, 末永勝郎: 日本金属学会誌. 42, 676(1978)
- 3) Katayama, S., Toda, M.: Journal of Material Processing Technology. 62, 358(1996)