

討24 浸炭肌焼鋼の靱性に及ぼすPの影響

大同特殊鋼(株) 中央研究所 ○並木邦夫 飯久保知人 斉藤誠

1. 緒言

自動車の軽量化、高出力化の動きにともない、これに用いられる浸炭部品にも高強度化・高靱性化が強く望まれるようになった。また近年の精錬技術の進歩により機械構造用鋼においても不純物元素を低減した清浄鋼が生産されるようになり、鋼の強靱化のための有力な手段として活用されつつある⁽¹⁾。従来より高強度鋼の靱性については高温および低温焼もどし脆性を中心として不純物元素の粒界偏析が詳細に調べられてきた。これに対し浸炭鋼における不純物元素の挙動は十分に調べられていないのが現状である。そこで代表的な浸炭肌焼鋼SCM420とSCr420を取りあげ、浸炭材におけるPの粒界偏析とシャルピー衝撃特性に及ぼす影響について検討した。さらにMoの影響についても言及し、浸炭歯車実体の衝撃特性を調べた結果を紹介する。

2. SCM420, SCr420 浸炭材におけるPの粒界偏析とシャルピー衝撃特性

2.1 実験方法

供試材の化学成分をTable.1に示す。A~D鋼はSCM420でありP量を0.001~0.034%の4水準に変化させた。E鋼は0.034%のPを含有するSCr420である。いずれも真空誘導溶解後50kg鋼塊とし、熱間鍛造にて15mm厚×80mm幅の素材を得た。

鍛造方向に直角方向よりシャルピー衝撃試験片を採取し、Fig.1の条件で浸炭焼入・焼もどしを行った。カーボンポテンシャルは0.9%である。シャルピー試験片の切欠形状は、10mmR、2mm深さとし、荒加工、浸炭処理後、切欠面を除く3面を各2mm研磨で除去し切欠面のみ浸炭層が残存するようにした。種々の温度で試験を行うとともに走査型電子顕微鏡で破面観察を行った。

さらに旧オーステナイト粒界への不純物元素の偏析状況を観察するため、Physical Electronics Industry社製のオージェ電子分光分析装置を用い、分析を行った。シャルピー衝撃試験片と同様Fig.1の条件で浸炭焼入・焼もどし後、 10^{-10} Torrの真空中で破壊、破断面の分析を行った。

2.2 結果および検討

シャルピー衝撃試験片の硬さ分布を測定したところA~E鋼はほぼ同等の値を示し、表面近傍硬さ、中心部の硬さはそれぞれHV 700~750, 350~400, 有効硬化層深さは0.75~0.9mmであった。

Fig.2にシャルピー衝撃値と試験温度の関係を示す。A~C鋼、すなわちP量が0.001~0.011%ではほとんど差が認められずD鋼(0.034%P)はわずかに遷移温度が高いことがわかった。上下シェルフエネルギーの1/2を示す温度を遷移温度とすると0.001~0.011%P鋼では約25℃、0.034%P鋼では

Table1 Chemical composition (wt.%)

Steel		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SCM420	A	0.20	0.26	0.73	0.001	0.002	1.00	0.20
	B	0.20	0.26	0.74	0.004	0.002	1.01	0.20
	C	0.20	0.27	0.74	0.011	0.002	1.00	0.20
	D	0.19	0.27	0.74	0.034	0.002	1.00	0.20
SCr420	E	0.19	0.27	0.80	0.034	0.002	1.01	<0.01

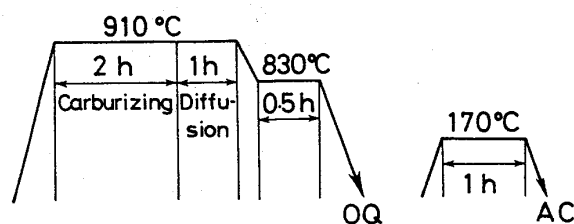


Fig.1 Schematic diagram of heat treatment

約50℃である。またSCr420はSCM420に比べ遷移温度が高く200℃までの試験では、上シェルフエネルギーが得られなかった。

常温衝撃値とP量の関係をFig.3に示す。常温は遷移温度領域に位置するが、P量の影響が認められ、0.010%を越えると衝撃値が急激に低下する事がわかる。

さらに常温での破面形態を走査型電子顕微鏡で観察した

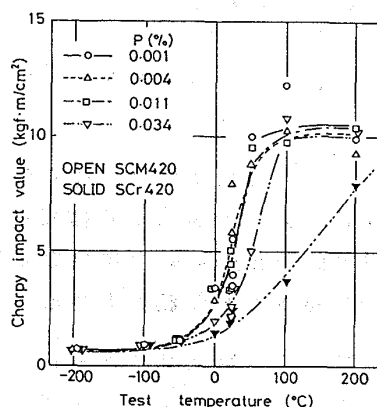


Fig.2 Effect of test temperature on Charpy impact value

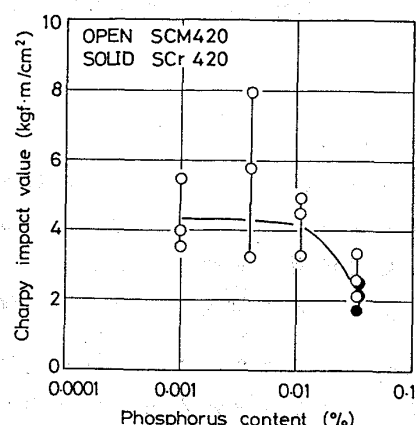


Fig.3 Effect of phosphorus content on Charpy impact value at room temperature

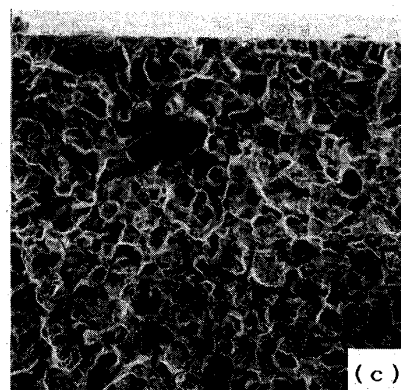
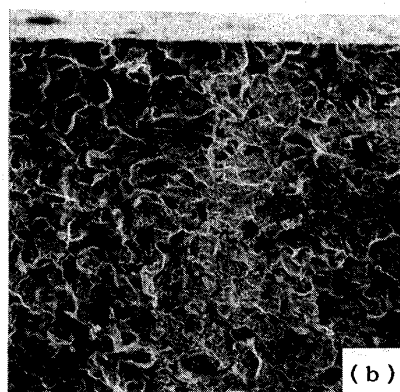
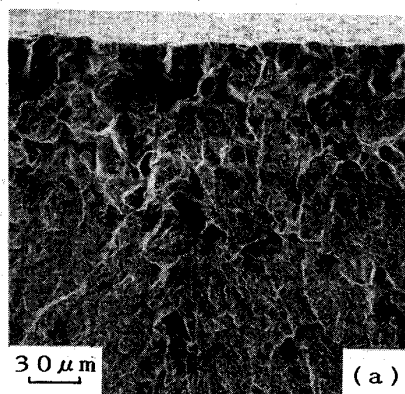


Photo.1 SEM fractographs of Charpy impact fracture surfaces
(a) SCM420(0.001%P) (b) SCM420(0.034%P) (c) SCr420(0.034%P)

結果、浸炭層では粒界破面と擬へき開破面、心部では擬へき開破面と延性破面から成り、特に浸炭層の粒界破面の割合にPおよびMoの影響が認められることが判明した。Photo.1に起点近傍の観察例、Fig.4には起点近傍0.25×0.25mmの領域における粒界破面を測定した結果を示す。SCM420においてP量が0.01%を越えると粒界破面率が増大すること、さらに等しいP量の場合(0.034%)、SCM420に比べSCr420の粒界破面率が大いことがわかる。

以上のように衝撃値および粒界破面率にPおよびMoの影響が認められたため、オージェ分光分析により粒界への偏析状況を調べた。Fig.5に添加P量とピーク高さ比の関係を示す。任意の粒界5点を選びオージェスペクトルを測定後、P(120eV)、Fe(703eV)のピーク高さ比を求めたものである。0.001および0.004%P鋼では、Pの偏析は認められず、0.011,0.034%とP

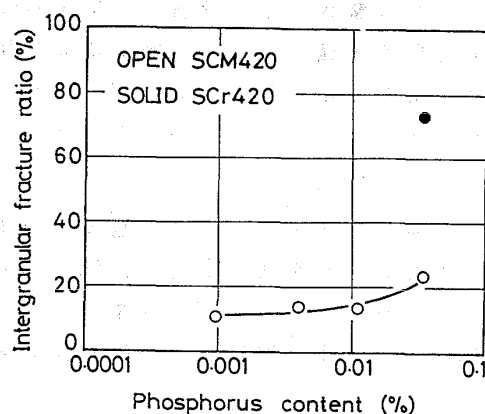


Fig.4 Relation between phosphorus content and intergranular fracture ratio

量が増加するにともない偏析量も増加する。
またSCM420とSCr420の間には差は認められない。すなわちMoはPの粒界偏析を抑制する効果はなく、Pの偏析による粒界脆化を防止し、粒界破壊の割合を減少させることにより靱性の向上に寄与すると考えられる。⁽⁶⁾これは木村らが高純度鉄を用いて求めた結果と良く対応している。

ここで浸炭焼入れのままについても同様に分析を行った結果、焼もどし材と差が認められないことから、偏析は浸炭時すなわちオーステナイト化時に生ずるものと判断される。

300~400℃の焼もどしで認められる焼もどしマルテンサイト脆性の原因としては、あらかじめオーステナイト化時にPが粒界に偏析し粒界強度を下げ、さらに焼もどし時に粒界

析出したセメンタイトが転位の迂りの障害となって粒界破壊を助長すると確認されている。⁽³⁾浸炭焼入・焼もどし材においても上記のようにPの偏析はオーステナイト化中に生ずると考えるのが妥当である。

3. 浸炭歯車の衝撃強さ

Pの低減により粒界偏析が減少すること、さらに等しく偏析が認められる場合でもMoは粒界破面率を減少させ衝撃値を高めることが判明した。そこで低P-Mo富化鋼を溶製、浸炭歯車実体の衝撃試験を行って衝撃強さおよび破面形態を調べた。

3.1 実験方法

供試材の化学成分をTable 2に示す。アーク溶解・取鋼精錬にて溶製後、90mmの丸棒に圧延、焼ならしを施して供試材とした。モジュール2.5、歯数28の平歯車を作製し、

浸炭焼入・焼もどし後衝撃試験を実施した。

歯車試験機の概要をFig. 6に示す。固定および回転歯車を噛み合わせ、固定歯車に連結したインパクトアームを計装化ハンマーで打撃し時間-荷重曲線を求めた。荷重曲線の最大値を読み取り破壊荷重とした。

3.2 結果および検討

試験結果をFig. 7に示す。SCM420に比べ低P-Mo富化鋼(0.006P-0.39Mo)は約2倍の破壊荷重を示している。この破壊荷重は衝撃クラックの発生抵抗すなわち浸炭層表層の衝撃強さを評価していると考えられる。破壊起点近傍の走査型電子顕微鏡写真をPhoto. 2に示す。0.006P-0.39Mo鋼における粒

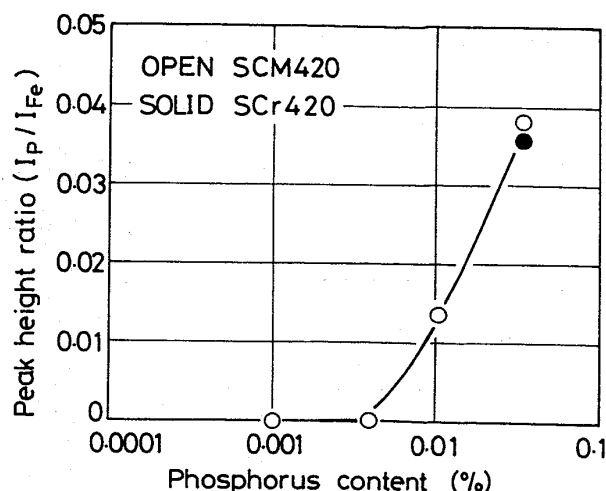


Fig. 5 Relation between phosphorus content and phosphorus to iron peak height ratio

Table 2 Chemical composition (wt.%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Low P-High Mo	0.17	0.07	0.67	0.006	0.012	0.95	0.39
SCM420	0.20	0.26	0.82	0.021	0.017	1.16	0.15

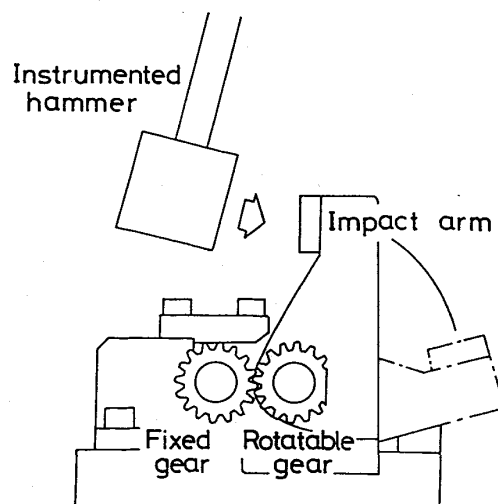


Fig. 6 Gear impact test equipment

界破面率はSCM420に比べ減少しており、Pの低減およびMoの増加による偏析軽減と粒界脆化の抑制が達成されたものと考えられる。

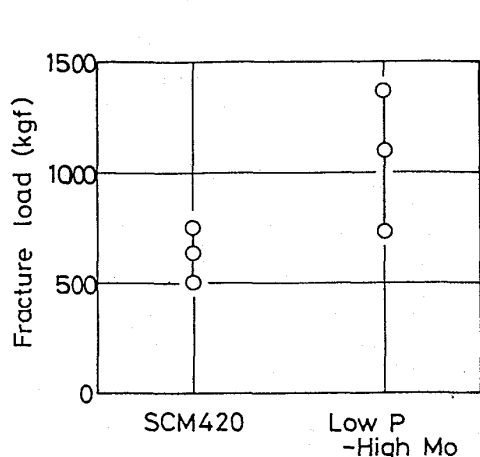


Fig.7 Gear impact fracture load

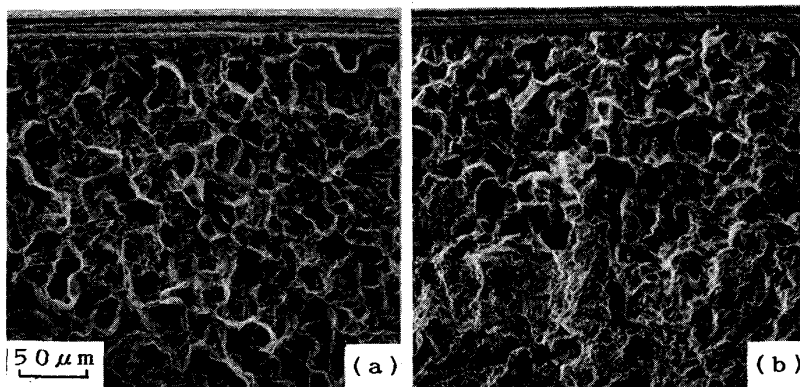


Photo.8 SEM fractographs of gear impact fracture surface : (a) SCM420, (b) Low P-High Mo steel

4. 結言

SCM420及びSCr420浸炭材の靱性と粒界偏析に及ぼすP量の影響を調べ以下の結論を得た。

- (1) SCM420浸炭材のシャルピー衝撃特性はP量が0.011%以下では変化がなく、0.034%では遷移温度が上り、常温衝撃値は低下する。Pを等しく0.034%含む場合、SCr420の衝撃遷移温度は、SCM420に比べて高く、常温衝撃値も低い。
- (2) 浸炭層起点近傍の粒界破面率と衝撃値には相関が認められ、衝撃値の低いものは粒界破面率が高い。
- (3) Pは浸炭時にオーステナイト粒界に偏析し、P量の多いほど偏析量も多い。MoはPの偏析には影響を及ぼさないが、粒界脆化を防止し、粒界破壊を抑制して衝撃特性の向上に寄与する。
- (4) 上記の知見は浸炭歯車実体の衝撃試験によっても確認された。

参考文献

- (1)たとえば「高純度鋼の現状」鉄鋼基礎共同研究会、高純度鋼部会報告、1985(日本鉄鋼協会)
- (2)たとえば「鉄の焼もどし脆性に関する研究」、材料研究委員会、1976(日本鉄鋼協会)
- (3)たとえば C.L.Briant and S.K.Banerji : Metall.Trans.A,10A(1979),1729
- (4) G.Krauss : Metall.Trans.A,9A(1978),1527
- (5)並木、磯川：鉄と鋼，72(1986),2117
- (6) H.Kimura,K.Abiko,S.Suzuki,M.Obata and J.Kumagai : Grain Boundary Structure and Related Phenomena, Proceeding of JIMIS-4(1986)