

討16 鋼の脱酸調整による介在物組成変化と工具摩耗

新日鐵 室蘭製鐵所 田阪 興 ○赤沢正久 黒岩和也
 本 社 片山 昌

I 緒 言

鋼材の非金属介在物の性状が被削性に大きな影響をおよぼすことは、硫黄快削鋼については古くから知られていたが、比較的最近になつて、普通鋼についても、酸化物系介在物が工具摩耗に対して著しい影響をおよぼすことが明らかになつた。^{1)~6)} 脱酸によつて酸化物の性状を調整し、被削性を向上させる方法が確立されているが、^{7),8)} この種の鋼は、いわゆる快削性元素を添加した従来の快削鋼に見られるような機械的性質の劣化がないこと、また付着物による被削性改善という新しい快削機構が、各種の鋼に適用可能と考えられるため、介在物と被削性の関連があらためて注目されている。

ここでは、このような新しいタイプの快削鋼である脱酸調整快削鋼と通常鋼を比較して、介在物組成と工具摩耗の関係を調査した実験結果を述べる。

II 供試鋼と試験方法

供試鋼は機械構造用炭素鋼S45C相当鋼であり、LD転炉溶製材を主として用いた。なお鉛快削鋼は電気炉製の市販材である。表1に供試鋼の化学組成上の特徴を示す。なおC, Si, Mn, Pは、いずれの供試鋼もS45CのJIS規格範囲内にあり、Sは被削性におよぼす影響を調べるため、約0.010~0.050%で変化させた。

表1 供試鋼の化学組成と脱酸剤

鋼種	脱酸剤	Pb	Sol. Al	Ca	O
脱酸調整快削鋼	CaSi	—	<0.010	0.002~0.010	0.005~0.012
	FeSi	—	<0.010	<0.001	0.005~0.012
通常鋼	FeSi + Al	—	0.015~0.035	<0.001	<0.005
	CaSi + Al	—	0.015~0.035	0.002~0.010	<0.005
鉛快削鋼	FeSi + Al	0.17	0.025	<0.001	0.003

旋削試験は無段変速機を内蔵した高速旋盤でおこなつた。工具は超硬合金工具P20, セラミック工具および高速鋼工具SKH4Aであり、いずれも同一ロットで製作したものを使用した。送り×切込みは0.25×2.0mmである。

穴あけ試験は、3HPの試験用ボール盤で、材質SKH9, 直径10mmφのドリルを使用しておこなつた。送りは、0.33mm/rev, 穴深さは30mmである。なお寿命試験では、ドリルの完全損傷を寿命基準とした。

III 旋削特性

図1にCaSi, FeSi, CaSi+AlおよびFeSi+Al脱酸鋼を超硬合金工具P20で旋削した場合の工具寿命曲線を示す。CaSi, FeSi脱酸鋼は30~200m/minでは通常鋼に比較し、工具寿命が著しく優れている。図2は従来の代表的な快削鋼である鉛快削鋼とCaSi脱酸鋼を、寿命基準KT=50μmで比較したものである。図のように、工具寿命はCaSi脱酸鋼の方が鉛快削鋼よりはるかに優れている。しかし、切屑形態は鉛快削鋼の方が良好であつた。

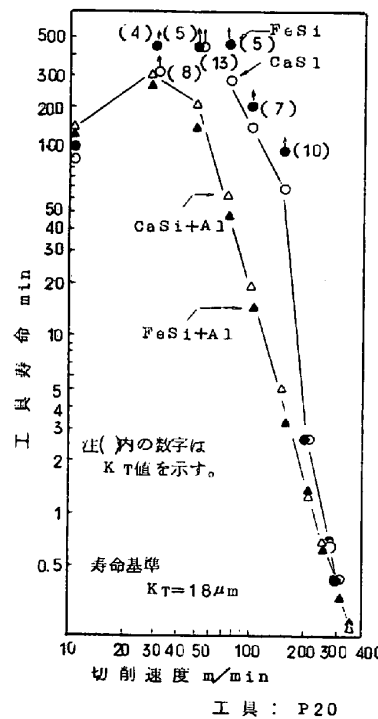


図1 工具寿命曲線 (1)

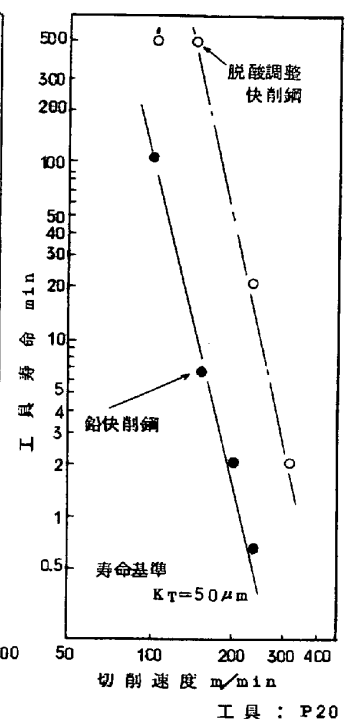


図2 工具寿命曲線 (2)

図3はクレーター摩耗深さKTと酸化物系介在物に占めるAl₂O₃の割合との関係を示したものである。切削速

度 100~200 $\frac{m}{min}$ の場合には Al_2O_3 が多くなるにしたがつて K_r 値は急激に大きくなる。この Al_2O_3 の影響は切削速度が高くなると小さくなり、350 $\frac{m}{min}$ ではほとんど認められない。

脱酸調整快削鋼を切削した場合の超硬工具の摩耗はAlの他にOとSにも大きく影響される。Sは若干の添加で高速切削時の付着物生成傾向を強め、工具摩耗の進行を抑制する。しかし最近の西独における研究では、S含有量は付着物生成の上限速度に影響しないとしている。⁹⁾ Oは0.010%以下の場合、O量が高くなると共に被削性は向上するが、0.010%以上の場合にはほとんど影響しないといわれている⁷⁾。図4にはP20による切削抵抗の切削速度変化を示す。CaSi脱酸鋼の切削抵抗は主分力と送り分力共に通常鋼より低い。

なお脱酸調整快削鋼は上述した超硬合金工具のみならず、サーメットやセラミック工具で切削する場合も付着物が生成し、工具寿命が長くなるが、高速度鋼工具で旋削する場合は図5に示したように、通常鋼と同等である。また鉛快削鋼の工具寿命も通常鋼とほとんどかわらないが、これは中炭素鋼にPbを添加しても寿命はあまりかわらないといわれている¹⁰⁾ 従来の報告と一致する。

IV 穴あけ加工に

およぼすSの影響

図6にCaSi脱酸鋼およびFeSi+Al脱酸鋼のドリル寿命曲線を示す。S含有量が低い場合、CaSi脱酸鋼(試料D)とFeSi+Al脱酸鋼(試料A)のドリル寿命は同等であり、ドリル寿命は脱酸法に関係ないが、S含有量が高い場合は、CaSi脱酸鋼の方が優れている(試料C、F)。すなわちドリル寿命はS含有量が高くなると共に大幅に向上するが、その効果はCaSi脱酸鋼の方がFeSi+Al脱酸鋼より

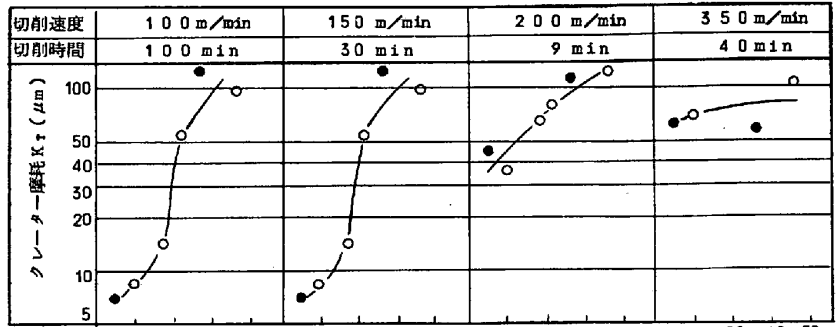
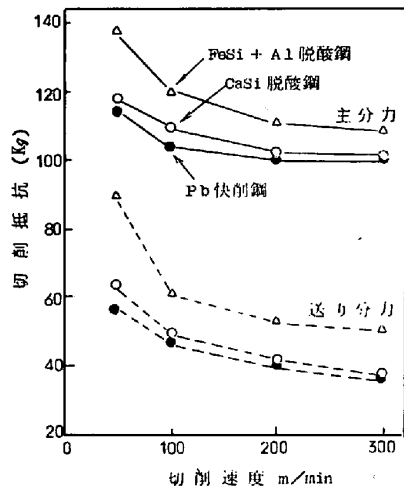


図3 クレーター摩耗におよぼす Al_2O_3 の影響



工具: P20
(0, 6, 6, 6, 8, 0, 0.5)
切削時間: 0 ~ 30 sec

図4 切削抵抗

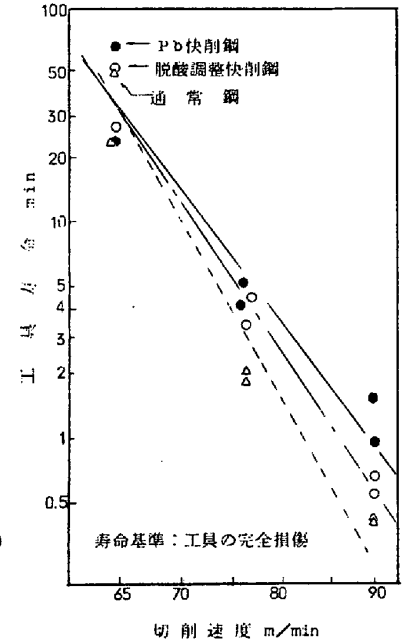
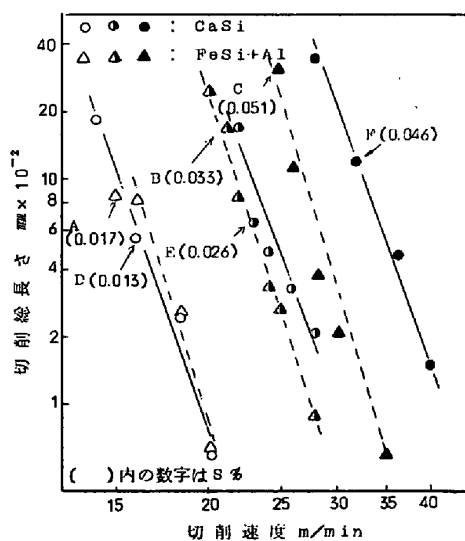


図5 工具寿命曲線(SKH4A)



被削材: 焼入焼もどし
送り: 0.35 mm/rev

図6 ドリル寿命曲線

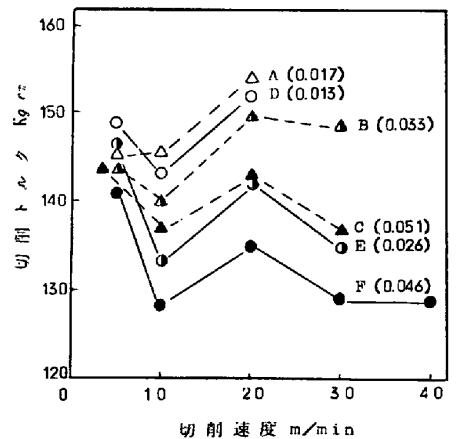


図7 切削抵抗(ドリル)

大きい。一般に、硫化物は長さ/幅の大きいほどすなわち楕円形状に近いほど被削性を向上させるといわれているが、Sによるドリル寿命の向上が、脱酸調整快削鋼で著しいのは、後述するように、その硫化物が通常鋼に比較し大きく、楕円形状に近いためであると考えられる。

図7には切削トルクの変化を示しているが、抵抗も寿命と同様の傾向を有している。

V 工具付着物

すでに数多くの研究結果が報告されているように、脱酸調整快削鋼の被削性が優れているのは、工具刃先に生成する付着物が工具を保護するためである。^{1)~9) 11)} 図8はこの付着物の外観および断面形状を示している。この付着物は、顕微鏡観察およびEPMA分析で確認したところ、酸化物相とFeおよびMnSの三相から通常成立つていくことがわかった。また酸化物系付着物は、CaSi脱酸鋼の場合、主としてCa, Si, Alの酸

化物であり、他に若干のMnO, FeOを含有している。FeSi脱酸鋼の場合は、MnOとSiO₂およびAl₂O₃が主でCaOは比較的少ない。図9はCaSi脱酸鋼数ヒートの酸化物系付着物の組成範囲をCaO-Al₂O₃-SiO₂の三元状態図中に示したものである。付着物はCaO, Al₂O₃, 2SiO₂のAnorthiteある

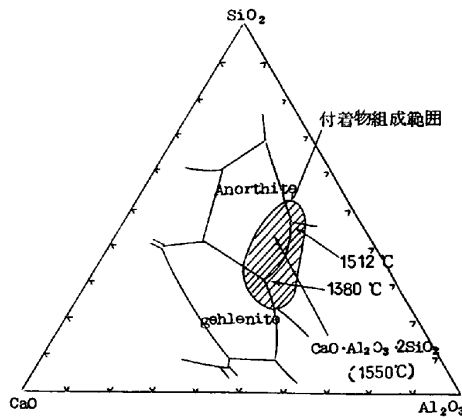


図9 CaSi脱酸鋼の付着物組成

いはGehleniteの組成を有しており、これは後述するシリケート系介在物の組成とほぼ一致している。図10はFeSi脱酸鋼の付着物の組成を、比較的少ないCaOとFeOを除外し、MnO-SiO₂-Al₂O₃の三元状態図中に示したものであり、付着物は2MnO·2SiO₂·5Al₂O₃近傍の組成となつている。このようにCaSi脱酸鋼とFeSi脱酸鋼の付着物組成は異なるが、すでに述べたように、両者の工具摩耗防止効果はほとんどかわらない。

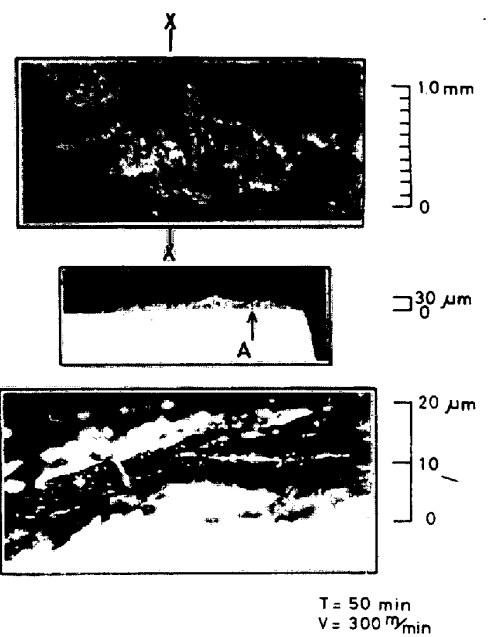


図8 CaSi脱酸鋼の附着物

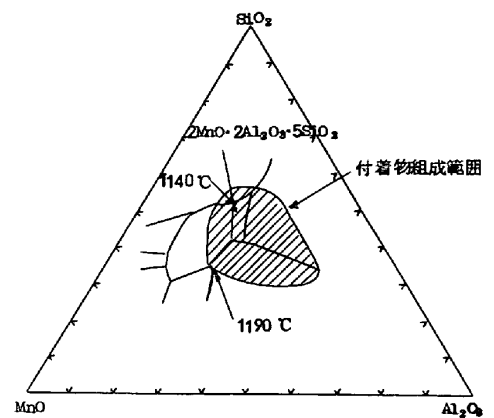


図10 FeSi脱酸鋼の付着物組成

脱酸調整快削鋼の被削性が優れているのは、上述した付着物が工具と切屑または被削材との直接接触をさまたげ、機械的摩耗や奥島らの指摘したように拡散摩耗を減少させるためであろうが、さらに付着物の工具切屑界面における潤滑作用も考えられる。すなわちすくい面摩擦係数を図4に示した切削抵抗値から求めたところ、切削速度100^m/_{min}

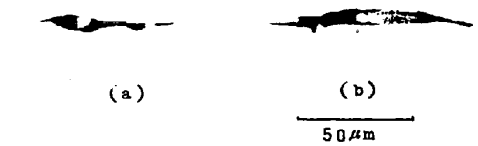


図11 CaSi脱酸鋼中の非金属介在物

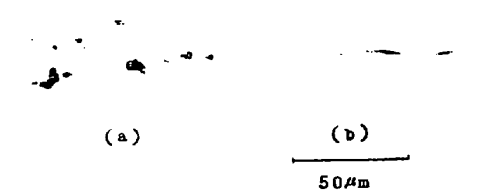


図12 FeSi+Al脱酸鋼中の非金属介在物

で通常鋼は0.65であり、脱酸調整快削鋼と鉛快削鋼は共に0.59であつた。また50^m/_{min}の場合も、通常鋼：0.81、脱酸調整快削鋼：0.68、鉛快削鋼：0.64で、脱酸調整快削鋼は鉛快削鋼より若干大きい、通常鋼よりはかなり小さかつた。

VI 非金属介在物の性状

図11に熱間圧延したCaSi脱酸鋼の代表的な介在物例を示す。酸化物系介在物は、大部分図11(a)のように熱間圧延により伸延したものか、あるいは硫化物と複合したもの(図11(b))であり、他に若干球状のもの(図11

(c))が認められた。なおFeSi脱酸鋼でも形状はCaSi脱酸鋼と同様であつた。表1は比較的大きなシリケート系介在物をEPMAにより点分析した結果を示す。分析条件は、加速電圧：20KV、試料電流：0.01 μ A、X線取出角：52.5 $^{\circ}$ 、ビーム径：2 μ mであり、補正はPhilibert法でおこなつた。シリケート系介在物は、CaSi脱酸鋼ではおよそCaO \cdot Al₂O₃ \cdot 2SiO₂のAnorthite組成であり、FeSi脱酸鋼では約2MnO \cdot 2Al₂O₃ \cdot 5SiO₂の組成を有している。これは図9、10で示した付着物組成とほぼ一致している。

したがつて脱酸調整快削鋼では、上述のシリケート系介在物が、切削中に刃先面の高温高压下で塑性変形し、付着物となるものと考えられる。なお通常鋼ではこのようなシリケート系介在物はなく、大部分図12(a)に示したようなAl₂O₃であつた。このAl₂O₃は硬く、融点も高いため、通常鋼では付着物が生成しないのであろう。またCaSi脱酸鋼の結晶性介在物21個について、電子線回折により、その構造を調査したところ、3CaO \cdot Al₂O₃ 9例、3CaO \cdot 2SiO₂ 4例、5CaO \cdot 3Al₂O₃とAl₂O₃ \cdot SiO₂各2例および3CaO \cdot 5Al₂O₃、2CaO \cdot SiO₂(β)、2CaO \cdot SiO₂(γ)、2CaO \cdot Al₂O₃ \cdot SiO₂各1例の介在物が確認された。

硫化物系介在物(図11-a、図12-b)は、表3に示した形状から明らかのように、脱酸調整快削鋼の方が通常鋼より、被削性にとつて好ましいといわれている楕円形状に近い。一般に硫黄快削鋼では、酸素含有量が低くなると共に硫化物が細長くなり、被削性が劣化するといわれているが、このことから表3に示した硫化物形状の相違はS含有量の差によるものであると考えられる。

表2 シリケート系介在物の組成 - EPMA分析 -

脱酸	S含有量(%)	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	CaO	FeO	
CaSi	<0.020	1	26.1	32.0	1.42	19.7	3.1
		2	27.5	32.5	13.9	26.7	12.6
		3	31.0	35.5	3.8	30.1	2.2
	約0.050	4	34.6	40.4	0.3	20.6	2.9
		5	36.8	32.9	0.4	31.5	6.7
		6	36.0	42.8	1.3	20.1	2.6
FeSi	<0.020	7	18.1	23.6	19.7	6.9	4.2
		8	25.3	41.2	18.8	7.8	2.1
		9	22.7	42.8	28.6	2.8	2.8

表3 硫化物系介在物の形状

鋼種	S含有量(%)	硫化物の長さL(μ)	硫化物の幅W(μ)	L/W
脱酸調整快削鋼	0.013	36.8	4.2	8.8
	0.026	53.8	5.7	9.2
	0.046	55.4	6.4	8.4
通常鋼	0.017	32.9	3.1	10.8
	0.033	48.2	4.3	11.6
	0.051	49.2	4.7	10.2

各鋼30個の硫化物を測定した。値は平均値である。

文献

- 1) Schaumann : Maschinenmarkt , 62(1956) 47~48 , p.37
- 2) Opitz and König : Arch. Eisenhüttenw . , 33(1962) 12 , p.831
- 3) Opitz , Gappisch , König , Pape and Wicher : Arch. Eisenhüttenw . , 33(1962) 12 , p.841
- 4) König : Ind.-Anz. , 87(1965)26 , p.463 ; 43 , p.845 ; 51 , p.1033
- 5) 精機学会切削性分科会 : 精密機械 , 34(1968)10 , p.680 ; 35(1969)3 , p.169 ; 4 , p.227
- 6) 鳴滝 , 岩田 , 山本 , 山口 : 鉄と鋼 , 56(1970)3 , p.391
- 7) Wicher and Pape : Stahl u. Eisen , 87(1967)20 , p.1169 ; 21 , p.1262
- 8) 田阪 , 赤沢 , 片山 , 黒岩 : 鉄と鋼 投稿中
- 9) Gemeinschaftsversuche des VDEh : Arch. Eisenhüttenw . , 41(1970)3 , p.267
- 10) Hoff and Becker : Stahl u. Eisen , 84(1964)22 , p.1437
- 11) 奥島 : カルシウム脱酸快削鋼に関するシンポジウム資料 (昭和43年2月16日)
- 12) Paliwoda : ALME Metallurgical Conferences , 26(1965) , p.27
- 13) Yeo : Journal of Metals , 19(1967) 6 , p.29 ; 7 , p.23