

討25 高マンガン非磁性鋼の被削性改善

大同特殊鋼物中央研究所 加藤哲男 阿部山尚三
藤倉正国 ○木村篤良

1. 緒言

高マンガン非磁性鋼は本来、耐摩性が優れているため古くからクロッシングレール、クラッシュヤ歯板などの鑄鋼品に使用されてきた。しかし、その被削性は機械構造用鋼に比べ、(1)変形抵抗が大きい。(2)延性が大きい。(3)加工硬化能が大きい。(4)熱伝導率が小さい。等の理由により極めて劣る。近年、高マンガン非磁性鋼は安定なオーステナイト組織を得やすく、非磁性であることから特に大型プロジェクトとして研究開発中の磁気浮上リアモータカーの軌道用材料、核融合炉周辺構造材料等として採用されており、今後さらに広範囲な適用が進むに伴い、被削性の改善なかでも工具寿命の延長、切くず破砕性の向上は大きな課題となると考えられる。ここでは高マンガン非磁性鋼の被削性を改善するためにCa、Al、Sを追加し、各種切削試験を行い、工具寿命、切くず破砕性におよぼすこれらの添加元素の影響を系統的に調べ、さらに切削条件についても若干の検討を加えた。

2. 高マンガン非磁性鋼の被削性改善に対する基本的な考え方

高マンガン鋼の被削性のうち、工具寿命および切くず破砕性を改善するための基本的な考え方を図1に示す。

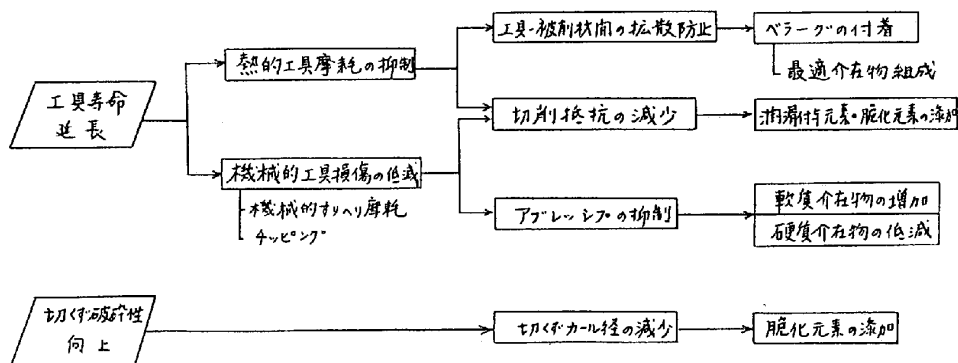


図1. 高マンガン非磁性鋼の被削性改善に対する基本的な考え方

2.1 工具寿命の延長

工具寿命は一般に熱的摩耗と機械的工具損傷によって定まる。高マンガン鋼の切削においては切削温度が極めて高い。このことは高マンガン鋼の切削において熱的摩耗が著しく促進されることを示唆している。これを抑制手段として切削条件の緩和、切削抵抗の減少による切削温度の低下および工具-被削材間の相互拡散の防止があげられる。ただし、切削条件の緩和は切削能率の低下を意味するのでここではとりあげない。切削抵抗の低下にはS、Pb等の切削せん断面ひずみを低減させる元素の添加、熱拡散防止には切削工具表面にベラーグを付着させる脱酸生成物を鋼中に介在させるCa脱酸処理があげられる。工具寿命に有効なベラーグ付着に関しては脱酸生成物の組成と切削温度との間に密接な関係が存在する⁽²⁾。そこで、高マンガン鋼に対し最適な介在物組成を求める必要がある。

いっぽう、機械的な工具損傷には一般にすりへり摩耗とチップングがあげられる。高マンガン鋼の実加工では圧倒的にチップングが多い⁽³⁾。このチップングの抑制には切削抵抗の低下、硬質介在物の低減もしくは軟質介在物の増加が考えられる。なお、硬質介在物の減少はアブレーションの低減すなわち機械的すりへり摩耗の抑制にも有効である。

2.2 切くず破砕性の向上

切くず破砕性を支配する材料要因として被削材の延性があげられる。延性低下の手段としてS、Pb等の切削温度域で脆化をもたらす元素の添加が考えられる。

3. 供試材および試験方法

試験材は電炉溶製した鋼塊を直径60mmの丸棒および辺60mmの角材に鍛造し、熱処理を施した後、黒皮を除去し、前者は旋削試験に、後者は正面フライス試験に供した。表1に各試験に用いた供試材の化学成分、熱処理条件、かたさおよび酸化物系介在物組成を示す。

表1. 供試材の化学成分・熱処理条件・かたさおよび酸化物系介在物組成

鋼種	主要成分 (%)								熱処理条件	かたさ (Hb)	酸化物系介在物組成 (%)		
	C	Mn	S	Ni	Cr	Al	V	Ca			CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
RM711-1	.71	15.88	.008	1.25	.18	.021	-	-	1050°C × 2 ^h WQ	198	-	100	-
"-2	.70	15.75	.015	1.24	.17	.005	-.0025	195		39.8	50.5	9.7	
"-3	.73	15.57	.018	1.24	.16	.007	-.0031	200		22.7	62.1	15.2	
"-4	.70	15.69	.015	1.23	.17	.012	-.0033	195		12.8	80.2	7.0	
"-5	.71	15.54	.014	1.20	.15	.015	-.0027	197		12.8	87.2	-	
"-6	.72	15.85	.017	1.31	.17	.020	-.0035	197		3.7	96.3	-	
"-7	.70	15.73	.015	1.23	.16	<.002	-.0025	198		38.6	20.2	41.2	
"-8	.69	15.77	.014	1.23	.15	.008	-.0022	198		17.9	64.1	18.0	
"-9	.70	15.67	.041	1.26	.13	.023	-	1050°C × 2 ^h WQ	198	/			
"-10	.70	15.85	.055	1.25	.14	.025	-		200				
"-11	.73	15.73	.070	1.22	.15	.027	-		205				
RM711F	.70	15.65	.055	1.23	.15	.010	-.0025	1050°C × 2 ^h WQ	198	18.1	65.6	16.3	
RM720	.72	15.47	.007	1.26	.41	.026	.52	1100°C × 2 ^h WQ	247	-	100	-	
RM720F	.70	15.55	.055	1.30	.42	.011	.50	700°C × 4 ^h AC	250	18.5	64.0	17.5	
RM723	.53	9.05	.010	7.38	8.23	.028	1.54	1150°C × 2 ^h WQ	280	-	100	-	
RM723F	.55	9.42	.053	7.33	8.10	.010	1.50	650°C × 4 ^h AC	283	17.5	65.5	17.0	
RM801	.58	24.82	.011	.04	5.95	.007	-	1050°C × 2 ^h WQ	230	-	100	-	
RM801F	.55	24.78	.056	.04	5.81	.010	-.0020		225	16.8	66.3	16.9	

Ca系酸化物の超硬工具に最適組成を求めるために0.7C-15.5Mn-1.2Ni系(RM711)を基本鋼として用いた。最適介在物融点は高温であることが予想されたためほぼ一定量のCa含有下でAlを変化させた。また、ハイスドリル寿命および旋削における切くず破砕性におよぼすSの影響を調べるためSを0.008%~0.070%の範囲で変化させた。

つぎにRM711系で得られた好適な含Ca介在物組成の効果を確認するために高強度用鋼RM720、RM723ならびに低熱膨張用鋼RM801に一定量のCa、Alを添加し、さらに製造性、機械的性質、溶接性に關して得られた別の実験結果をもとにほぼ一定量(0.055%)のSを添加した。なお、酸化物系介在物の組成はEPMA(日本電子製JXA-50A)によって同定した。

表2に切削条件を示す。RM711系において酸化物系介在物の最適組成を決定するため、超硬工具M20による長手旋削および正面フライス切削を、S効果の確認にはハイスドリル寿命試験ならびに超硬工具旋削による切くず破砕性試験によった。なお、切くず破砕性は切くず長さが50mm以上またはカール数が5巻以上を「連続切くず」、それ未満を「破砕切くず」として破砕切くずが生ずる切削領域(切削速度、送り)の広さで評価した。RM720、RM723およびRM801系についてはM20による長手旋削加工、ドリル穴あけ加工を行った。また、RM711Fを供試材として旋削加工における各種工具材種(超硬3種、コーティング3種)の工具寿命曲線を求め、さらにハイスドリル寿命におよぼす送りの影響を確認した。

4. 試験結果と考察

4.1 酸化物系介在物の最適組成

図2に旋削における工具寿命曲線を、図3に正面フ

表2. 切削条件

加工様式	旋削	穴あけ	正面フライス切削	
工具	材種	M20, P10, K10 TiC+Al ₂ O ₃ -K20 TiC-M20 TiC-P20	SKH9	M20
	形状	0.6, 7, 7, 8, 0.05	10°R _{0.4} , α=118°	160°R _{0.9} , R _{0.9} R _{0.5}
送り (mm/rev)	0.15 (0.1~0.3)*	0.03~0.15	0.115 (mm/tooth)	
切削速度 (m/min)	20~100	2.5~5	55	
切込み (mm)	2.0	-	1.5	
穴深さ (mm)	-	15 (max)	-	
切削油	なし	水溶性	なし	
工具寿命判定	VB=0.1mm	切削不能	-	

* 切くず破砕性試験

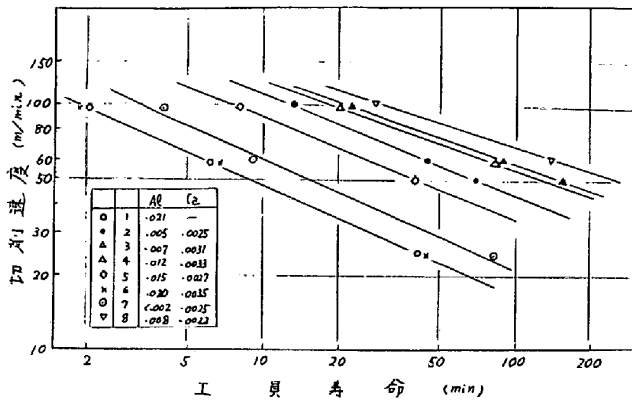


図2. 旋削工具寿命におよぼすAl, Caの影響 (RM711)

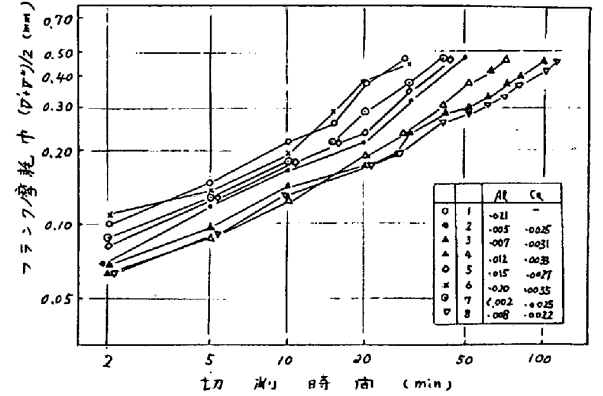


図3. 正面フライス工具磨耗におよぼすAl, Caの影響 (RM711)

ライス切削における工具磨耗曲線を示す。両図から供試材間の工具寿命(工具磨耗)差はがなり大きく、8が最も長寿命であり、以下4, 3, 2, 5, 7, 6の順となっている。6は基本鋼(1)と同等である。これらの結果からCaはほぼ一定量(0.0022~0.0035%)であるため、工具寿命に対する影響は検出できないが、Alについては最適量が存在する。すなわち、0.007~0.012%Alのものが最も長寿命である。図4に酸化物系介在物の組成をもとに元状態⁽⁴⁾から読みとった介在物融点と旋削における工具寿命との関係を示す。図から工具寿命は介在物融点が1700°Cでピークを示す。この温度は機械構造用鋼で得られたもの⁽²⁾よりも約200°C高い。このことは別の研究結果⁽¹⁾⁽⁵⁾をもとに推定した機械構造用鋼と高マンガン鋼の切削温度の差異(約200°C)とよく対応している。なお、基本鋼(1)およびAlの高い6を除いて、工具すくい面および逃げ面にわずかに付着物(ベラージュ)が観察された。この付着物が工具寿命延長に寄与していると判断される。

4.2 S効果の確認

図5にS量とドリル寿命との関係を示す。ドリル寿命はS量の増加に伴いほぼ直線的に延長する。図6は旋削における切くず破砕性におよぼすSの効果を示す。S増量に伴い、切くず破砕領域は大きくなる。切くず破砕性におよぼす送りおよび切削速度の影響はS量が少ない場合、送りの効果が大きい。これに対し、S量が多い場合、切削速度の効果も大きくなる傾向を示している。

4.3 Ca(+Al)およびS複合添加鋼の被削性

4.1および4.2で求めた酸化物系介在物の最適組成およびS量をMn含有率の異なる各種高マンガン非磁性鋼に適用し、これらの工具寿命をそれぞれ基本鋼と比較した。図7に旋削工具寿命を、図8にハイスピードドリル寿命を示す。いずれの加工においても、Ca(+Al)+S複合添加鋼と基本鋼の工具寿命指数(傾き)はほぼ同じである。なお、切くず破砕性についても工具寿命同様、

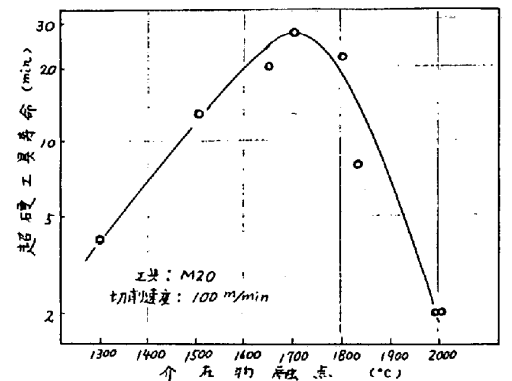


図4. 酸化物系介在物融点と超硬工具寿命の關係(旋削)

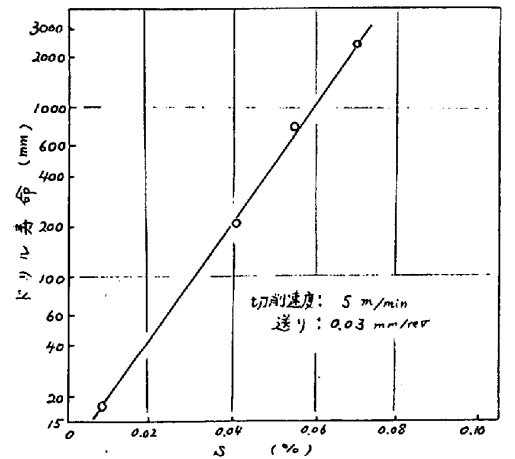


図5. ドリル寿命におよぼすSの効果

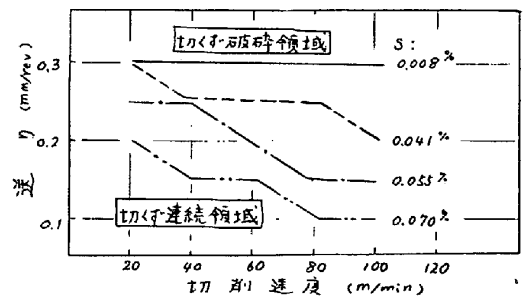


図6. 切くず破砕性におよぼすSの効果

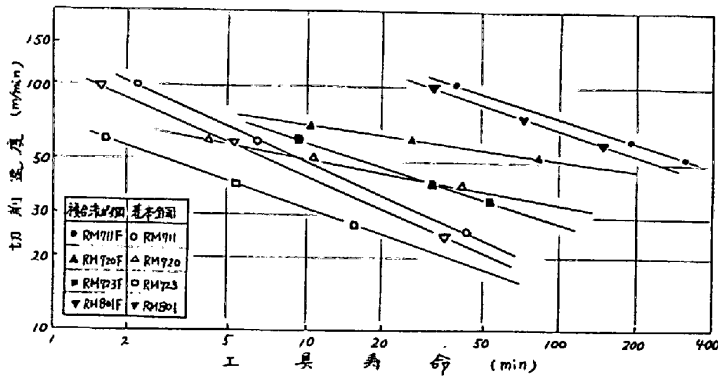


図7. 各種高マンガン非磁性鋼の工具寿命曲線(旋削)

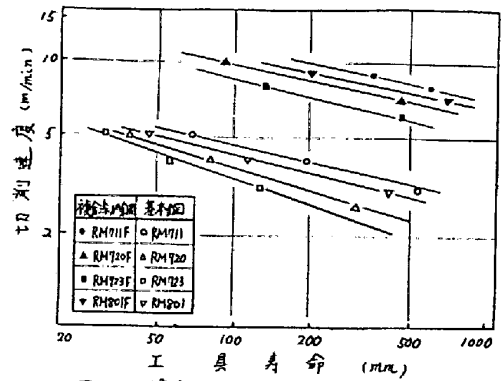


図8. 各種高マンガン非磁性鋼の工具寿命曲線(ドリル)

複合添加の効果が大巾に認められた。

4.4 切削条件の検討

(1) 工具の種類 (方眼鋼)

図9にRM711Fを旋削した場合の各種切削工具の寿命曲線を示す。超硬工具の寿命順位はM20、P10、K10の順となっている。この理由として、M20は耐熱性不足、P10は耐チッピング性不足があげられる。コーティング工具は超硬工具に比べ、全般に長寿命である。特にK種に2重コーティングしたものは最も長寿命であり、ついでM種を母材としたものがよい。P種を母材としたものは短寿命である。この原因として、前記の耐チッピング性不足があげられる。

(2) 送り (ハイスドリル)

図10にRM711Fのハイスドリル寿命と送りの関係を示す。一般には送りの増大は切削速度同様、工具寿命を低下させる。しかし、図において、送り0.065mm/rev以下の領域では逆に送りの減少に伴い寿命は低下している。すなわち、限界送り⁽⁶⁾が存在する。同様の傾向は他の高マンガン非磁性鋼においても確認された。

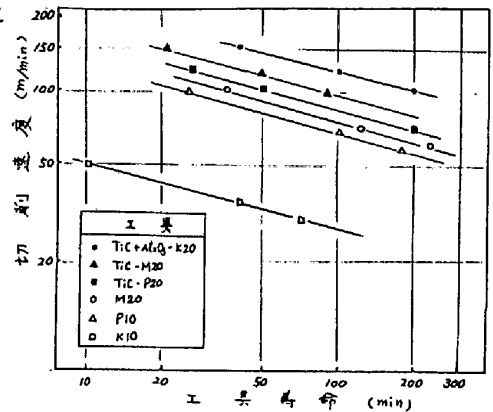


図9. 各種切削工具の寿命曲線 (RM711F)

文献

- (1) 加藤哲男、阿部山尚三、木村篤良; 電気製鋼, Vol.49 (1978) No.3, P.182
- (2) 伊藤哲朗、高橋徹夫、木村篤良、山野清市; 電気製鋼, Vol.44 (1973) No.1, P.36
- (3) 阿部山尚三、木村篤良; 昭和55年精材学会春季大会学術講演会論文集, P.691
- (4) A. Muan, E. E. Osborn; Phase Equilibria Among Oxide in Steel Making, Reading, Massachusetts, (1965), P.95
- (5) 伊藤哲朗; 電気製鋼, Vol.40 (1969) No.2, P.50
- (6) 金井実徳; 機械技術研究所所報, Vol.30 (1976) No.1, P.16

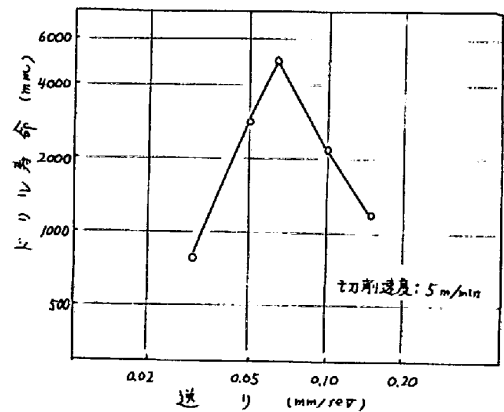


図10. 送りとドリル寿命の関係 (RM711F)