

高マンガン鋼の切削における工具摩耗特性について

森重 修一*・瀬戸 雅文*・田戸 保**

On Tool Wear Characteristics in Cutting High Manganese Steels

Shuichi MORISHIGE, Masafumi SETO and Tamotsu TADO

Abstract

Presently, high manganese steel have been used widely in the industries as a structural non magnetic material, replacing conventional stainless steel.

Its use will increase more and more in the future. But, high manganese steels having the properties of high work hardening and low thermal conductivity, etc., are deemed to be a difficult material for machining. Accordingly, much additional research in this area is needed.

In this report, in the conventional turning of high manganese steel (0.4C-18Mn-4Cr), carbon steel (S45C) and chromium-molybdenum steel (SCM440) as a comparative material, the properties of tool wear were investigated from the point of views of, the wear growth state of wear and wear ratio. Further, carrying out an orthogonal cutting test the relationships between cutting resistance and tool wear were investigated.

1. まえがき

現在、非磁性構造部材料として従来のステンレス鋼に代わって高マンガン鋼が各方面に利用されるようになってきており、今後益々その用途の拡大が予想される。

しかし、高マンガン鋼は加工硬化性が大きいことから切削加工の困難な材料とされている。このような難削材料の加工に関する研究は数多く実施され工具摩耗に関するデータも数多く発表されている¹⁾²⁾。これらは工具材料の改善を目的にしたものが多く、工具摩耗挙動に関する研究は少ないようである。

ここでは、被削材料として高マンガン(0.4C-18Mn-4Cr)鋼を、また比較材として、機械構造用炭素鋼S45C、クロムモリブデン鋼SCM440を用い、長手方向に対する旋削を行い、摩耗形態、摩耗の進行状態および摩耗率な

どの観点から工具摩耗特性について検討を行った。また、二次元切削試験をあわせて行い切削抵抗および切りくず生成機構と工具摩耗との関係について検討した。

2. 実験装置および実験方法

旋削試験は大隈鉄工所製LS高速実用旋盤を使用した。また、試験に用いた各被削材に対する試験用工具の材種および切れ刃形状を表1に示す。被削材は、炭素鋼(S45C)、クロムモリブデン鋼(SCM440)、および2種類の高マンガン鋼を用いた。表2にこれらの被削材の化学成分を示す。切削条件は全ての被削材に対して切込み1.0mm、送り0.1mm/revを一定とし、切削速度を変化させ、全て乾式切削で行った。各切削速度に対する試験順序は、被削材の直径の影響が少なくなるように注意した。

工具摩耗は、工具各部の横逃げ面、横逃げ面境界、ノーズ部、前逃げ面、および前逃げ面境界の摩耗帯幅を一定の切削距離の間、数回切削を中断し、オリンパス製ST

*宇部工業高等専門学校 機械工学科

**宇部工業高等専門学校 制御情報工学科

M形工具顕微鏡を使用して測定した。

また、すくい面のクレータ摩耗の測定には表面あらざ測定機2B（東京精密製）を用い切れ刃の形状を測定した。さらに、工具顕微鏡写真撮影装置（オリンパス製）で工具の摩耗形態を観察した。

つぎに、二次元切削試験は旋削試験で使用した旋盤と同機種種の旋盤を使用した。試験に用いた工具と試験条件を表3に示す。切削抵抗は、工具動力計TD型（共和電業製）および多ペンレコーダー（理科電機工業製）を用いて測定を行った。

なお、切削はすべて乾式で行った。

表1 摩耗試験用工具

被削材	切れ刃形状	工具材種
S45C	0, 0, 11, 11, 15, 15, 0.8	TX20-P2
SCM440	-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8	TX20-P2
HiMn-A	0, 0, 11, 11, 15, 15, 0.8	UX30-P3
HiMn-B	-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8	TU10-M1

3. 実験結果および考察

3.1 工具摩耗形態およびすくい面摩耗痕の変化

図1は被削材S45Cを切削速度150m/min, 切削時間40min, 以下200m/min 30min, 280m/min 11minで切削したときの工具摩耗形態とすくい面摩耗痕の変化を示す。同図左に示す写真より切削速度が高くなると工具各部の摩耗幅が増すことが分かる。また、すくい面摩耗痕の低部には低切削速度域ではみられない表面剝離のような現象が見られる。つぎに、同図右に示すすくい面の摩耗痕断面形状によると切削速度が高くなるにつれてクレータ深さは増加傾向にあり、工具切れ刃先端の肉厚は切削速度が高くなるほど痩せて薄くなりクレータの幅は拡張した広い形状になることが分かる。

次に、被削材の高マンガン鋼Aを切削速度30m/min 133min, 50m/min 80min, 100m/min 40min, 150m/min 27minで切削距離を一定にして切削したときの工具摩耗形態とすくい面摩耗痕の変化を図2に示す。切削速度30m/min~100m/minの低速域においてすくい面に切りくずとの擦過による摩耗痕が残るがクレータ摩耗

表2 供試材料の化学成分

被削材	Wt%							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al
S45C	0.42	0.210	0.71	0.003	0.005	-	-	-
SCM440	0.37	0.31	0.72	0.011	0.006	1.15	0.19	-
HiMn-A	0.540	0.390	16.82	0.034	0.011	3.910	-	-
HiMn-B	0.424	0.18	17.86	0.022	0.01	4.22	-	0.017

※ HiMn-Aのみ鋳鋼品

表3 二次元切削用工具と試験条件

被削材	工具材種	すくい角	逃げ角	切削幅	切込み
S45C	TX20-P20	0°	10°	1.40mm	0.1mm
SCM440	TX20-P20	0°	5°	1.40mm	0.1mm
HiMn-A	UX30-P30	0°	10°	1.36mm	0.1mm
HiMn-B	TU10-M10	0°	5°	1.40mm	0.1mm

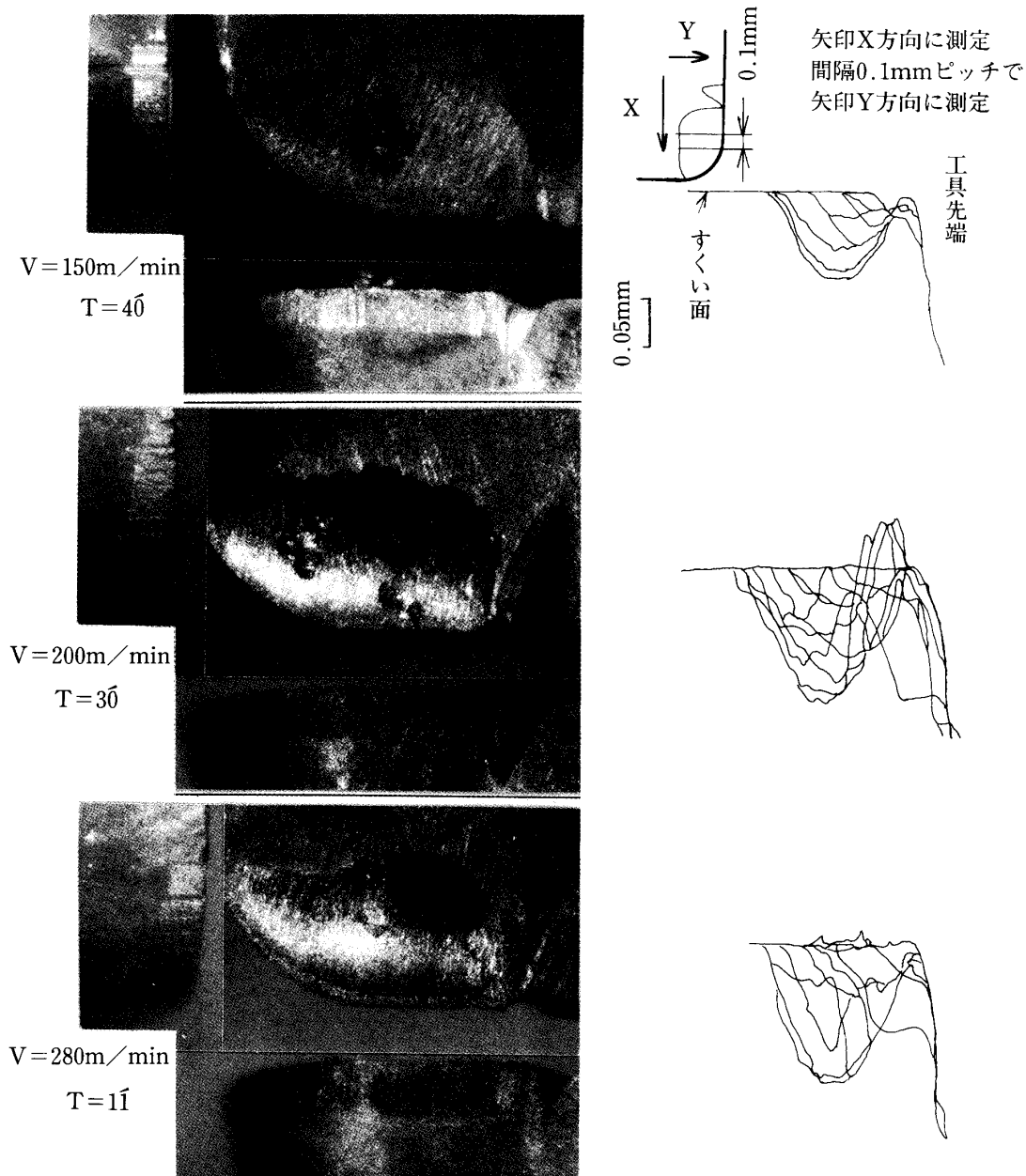


図1 工具摩耗形態およびすくい面摩耗痕の変化
 被削材：S45C，工具材種：TX20-P20
 切込み：1.0mm，送り：0.10mm/rev

は少ない。切削速度100m / min では工具切れ刃先端部の損耗が少なく、むしろ工具先端部が僅か盛り上がった形状になっている。しかし、切削速度が150m / min になると横逃げ面、前逃げ面それぞれに摩耗幅の増加がみられる。一方、すくい面は被削材S45Cの摩耗痕断面形状に比べて工具切れ刃先端部が損耗し丸みを帯びた形状になり、工具先端切れ刃近くにクレータ摩耗痕を生じる。さらに、切削速度が高くなるにつれて益々この傾向は増す。

(写真省略)

つぎに、被削材高マンガン鋼A，およびS45Cに用いた試験後の工具のクレータ摩耗痕の最大深さを測定して切削速度との関係を示したのが図3である。高マンガン鋼Aは低速域10～50m / min ではクレータ摩耗は少ないが、切削速度150m / min 以上においてクレータ深さの増加が著しく、被削材S45Cのクレータ深さに比べて大きいことが分かる。このように工具すくい面に発生する摩

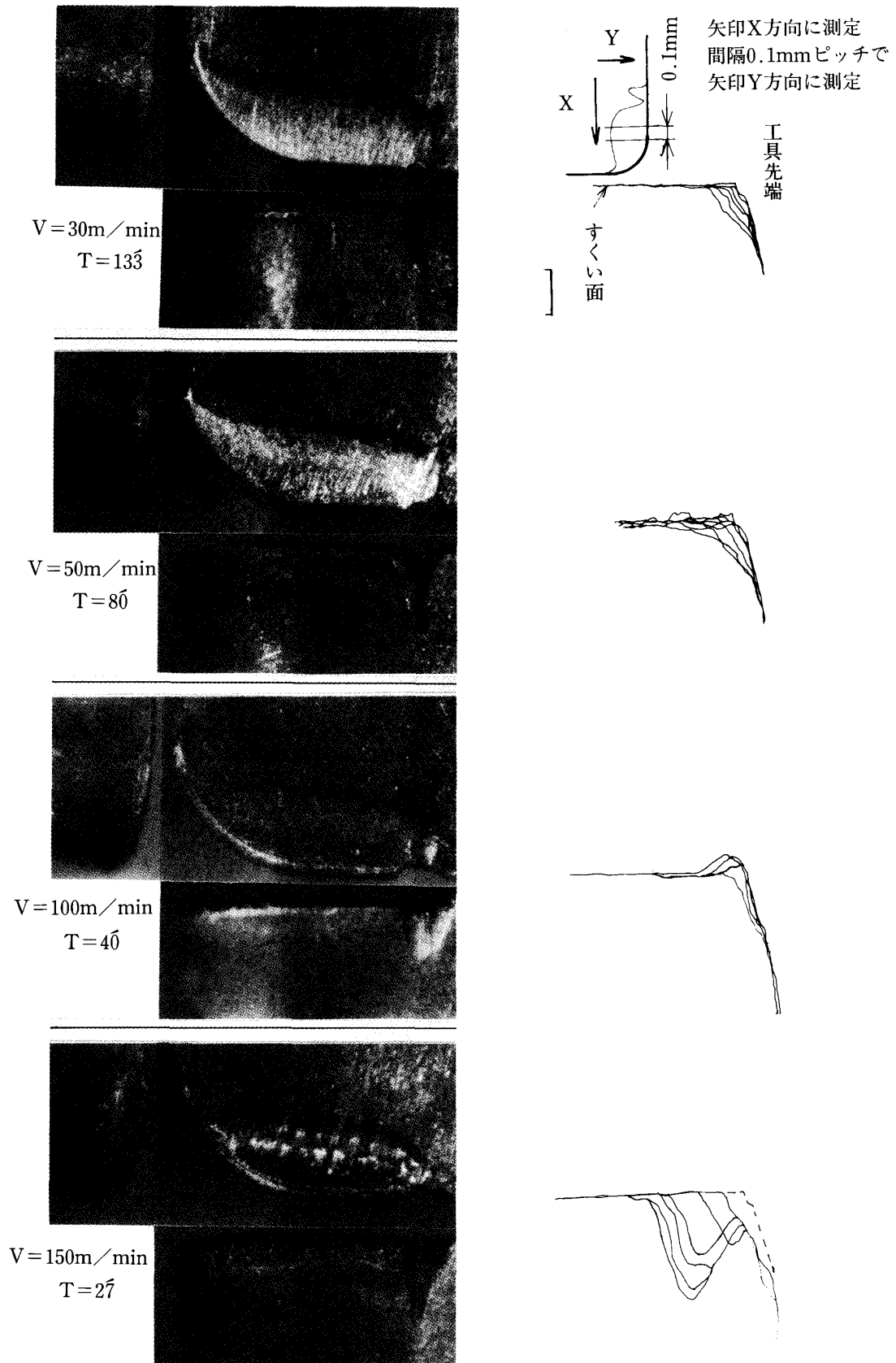


図2 工具摩耗形態およびすくい面摩耗痕の変化
 被削材：HiMn-A，工具材種：UX30-P30
 切込み：1.0mm，送り：0.10mm/rev

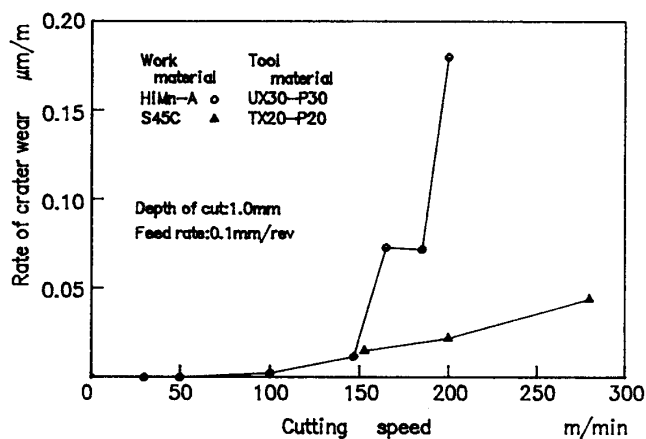
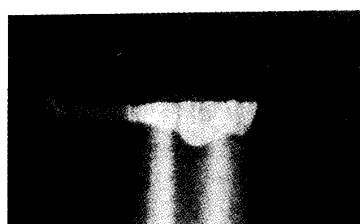
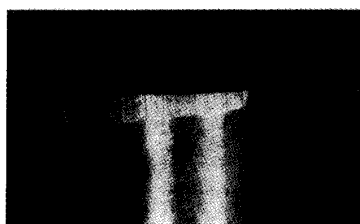


図3 切削速度とすくい面クレータ摩耗の関係



(10) (a)



(150) (b)

図4 工具摩耗形態

被削材：HiMn-B，工具材種：TU10-M10

切込み：1.0mm，送り：0.10mm/rev

※ ()内数字は切削速度 m/min

耗は、切りくずが激しく擦過するために生ずる現象で、工具一切りくず間の接触界面温度は1000℃以上にもなることが確かめられている。³⁾すなわち工具すくい面には圧力、熱の影響などが複雑に作用しているものと考えられる。

つぎに、被削材高マンガン鋼Bの工具摩耗形態の一例を図4に示す。低速域(10m/min)(a)においてノーズ部に他の逃げ面摩耗幅とくらべて最も大きい摩耗を生じている。前逃げ面もこれよりやや小さく摩耗している

()内数字は切削速度m/min

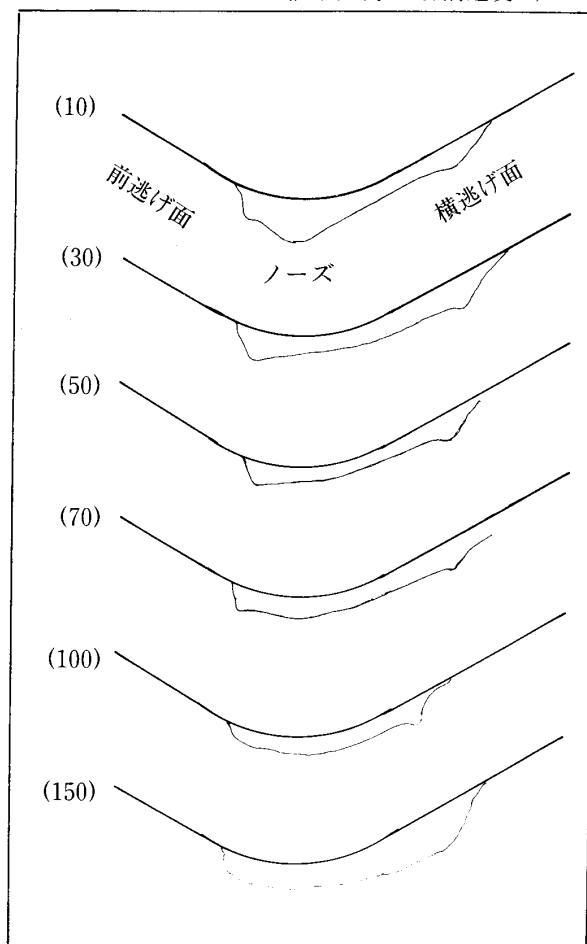


図5 工具摩耗形態

被削材：HiMn-B，工具材種：TU10-M10

切込み：1.0mm，送り：0.10mm/rev

が、前逃げ面境界摩耗は見当たらない。横逃げ面摩耗幅は、ほぼ一定で横逃げ面境界との区別がつかない。切削速度が高くなるにつれてノーズ部の摩耗幅と前逃げ面摩耗幅との差が少なくなり、高速域(150m/min)(b)ではほとんど同じ摩耗幅となる。横逃げ面摩耗幅は、工具先端切れ刃に沿って同じ幅ではなく先端からはなれたカ所の摩耗が大きくなっていることがこの写真からも伺える。なお、前逃げ面および横逃げ面の溝状の境界摩耗は小さい。これらの高マンガン鋼Bを切削したときの各切削速度におけるノーズ部の摩耗変化の様子を図5に示す。

3.2 工具の摩耗進行曲線

S45C，SCM440，高マンガン鋼A，高マンガン鋼B

のそれぞれの被削材の各切削速度における、切削時間と摩耗量の関係を示す。図6はS45Cの横逃げ面摩耗進行曲線の例を示す。摩耗量は、切削時間の増加につれてほぼ直線的に増加の傾向を示している。また切削速度が高くなるほど短時間で摩耗が進行する。切削速度280m/minにおいて摩耗量が增大する。なお、実験では横逃げ面摩耗幅約0.2mmを目標幅に決めて切削速度150m/min, 200m/minにおいては切削距離6kmの間測定を繰り返した。ただし、切削速度280m/minでは切削距離6kmに到達していない。

図7はSCM440の横逃げ面摩耗進行曲線を示す。S45Cの場合と同様な傾向を示すが、切削速度200m/minにおいて切削速度による摩耗量の増加が大きい。図8は高マンガン鋼Aの横逃げ面摩耗進行曲線を示す。高マンガン鋼Aの摩耗量も切削時間に対して直線的に増加するが、切削速度30~100m/min間の摩耗量の増加は少なく緩

やかである。切削速度が150m/min以上では摩耗量の増加が大きい。つぎに、図9は高マンガン鋼Aの横逃げ面境界摩耗進行曲線の例を示す。横逃げ面境界摩耗も切削時間に対して直線的に増加するが、摩耗量に対する速度の影響が低切削速度30m/min付近から現れている。なお、高マンガン鋼Aの実験においては、各切削速度に対して切削距離(4km)を一定にして行った。図10は高マンガン鋼Bの横逃げ面摩耗の進行曲線を示す。他のいずれの被削材よりも大きい摩耗幅を示しており、切削速度50m/min付近から摩耗量の増加が大きい。このように被削材のもつ性質によって逃げ面各部の摩耗量が異なり、また切削速度の影響により摩耗が大きく促進されることが推測できる。

そこで、摩耗に対する切削速度の影響についてさらに詳しく検討するために、摩耗進行曲線をそれぞれ直線近似し、単位切削距離あたりの摩耗幅を求め、これを摩耗

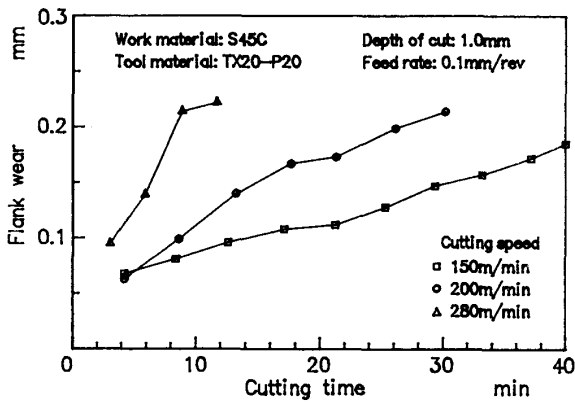


図6 横逃げ面摩耗進行曲線

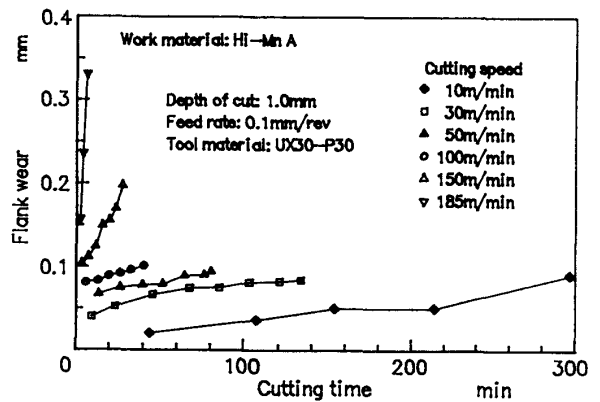


図8 横逃げ面摩耗進行曲線

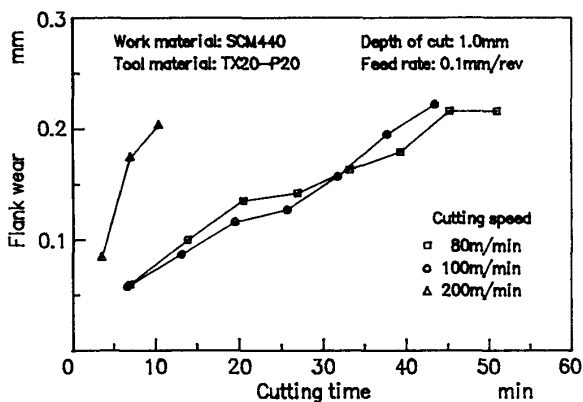


図7 横逃げ面摩耗進行曲線

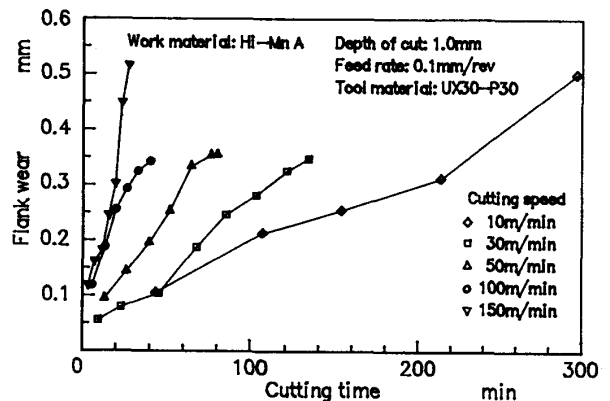


図9 横逃げ面境界摩耗進行曲線

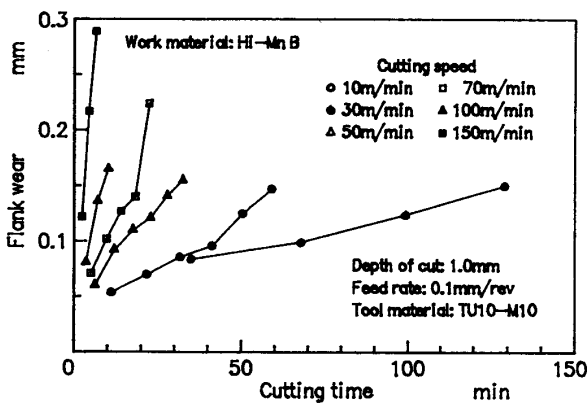


図10 横逃げ面摩耗進行曲線

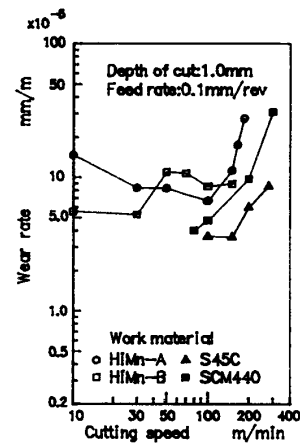


図12 工具横逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係

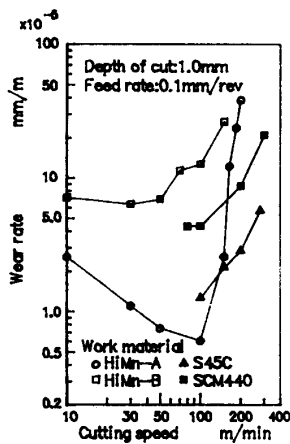


図11 工具横逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係

率⁴⁾で示す。

3. 3 摩耗率

被削材として、高マンガン鋼AおよびB、S45C、SCM440を切削した場合の工具横逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係を図11に示す。高マンガン鋼Aは切削速度10~100m/minでは摩耗率はほぼ直線的に低下の傾向を示し、切削速度100m/min以上において急激に増加する。つぎに、高マンガン鋼Bは高い摩耗率を示し、切削速度50m/minより高くなると摩耗率はさらに増加傾向を示す。以下、SCM440、S45Cも高切削速度域においては直線的に摩耗率の増加傾向を示す。これより、各材料の横逃げ面の摩耗率曲線は、高マンガン鋼B、高マンガン鋼A、SCM440、S45Cの順で高切削速度側へ移行し、摩耗率の低下の傾向を示す。

このような摩耗率曲線の変化傾向は、工具材種との組

合せ、また被削材および工具の物理的、機械的特性など、例えばこれらの熱伝導率、硬さなどが影響していることが考えられる。

図12に、同じく各材料に対する工具横逃げ面境界摩耗率の変化を示す。高マンガン鋼Aの横逃げ面境界の摩耗率は、10~100m/minの切削速度において切削速度が増加するにつれて緩やかな減少傾向にあり、横逃げ面摩耗率のおよそ10倍の高い摩耗率を示す。また、切削速度100m/min以上では、横逃げ面摩耗と同様な上昇傾向を示している。高マンガン鋼Bは切削速度50m/minまでは横逃げ面摩耗率とほぼ同値を示すが、これより高切削速度域では横逃げ面境界の摩耗率の減少傾向がみられる。SCM440は横逃げ面摩耗率とほぼ同値である。S45Cは横逃げ面摩耗率よりやや高い値を示すが傾向は同じである。

図13に同じく各被削材の工具前逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係を示す。高マンガン鋼Bは高マンガン鋼Aに比べて摩耗率は高く、前逃げ面摩耗率曲線は、前述の横逃げ面摩耗率曲線と同様な変化を示す。低速切削域(30m/min)と中速切削域(100m/min)において折れ曲がりが見られる。また同様な変化が、SCM440にも見られ、切削速度100~200m/minに折れ曲がりがある。

最後に、前逃げ面境界摩耗の摩耗率を図14に示す。高マンガン鋼Aは切削速度50m/minにおいて折れ曲がりが生じ、先の図12の横逃げ面境界摩耗の摩耗率と比較すると、摩耗率は低いことがわかる。また、全ての被削材において低切削速度域に摩耗率の減少があり、切削速度が高くなると再び増加する傾向がみられる。

このように、逃げ面各部の摩耗における切削速度と摩

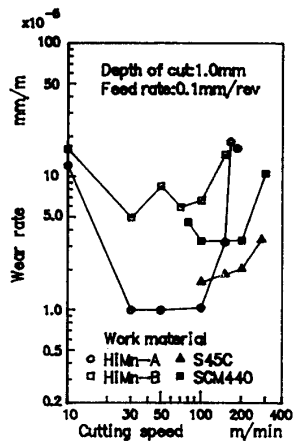


図13 工具前逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係

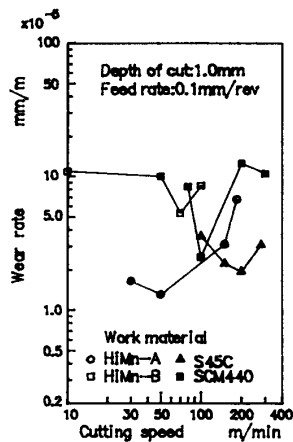


図14 工具前逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係

摩耗率の関係は、速度域を区分すると両対数グラフ上ではほぼ直線的な変化を示す。高切削域において摩耗率の急激な増加がみられるが、高切削速度による工具刃先温度ならびに被削材の局所的な温度が上昇し、熱的な影響を受け摩耗が促進されるためと考える。高マンガン鋼Aの場合切削速度100m/min、高マンガン鋼Bの場合50~70m/minがこの切削条件における臨界（常用）切削速度とみることができる。高マンガン鋼A、Bの各々の摩耗形態の摩耗率曲線において低速域で切削速度が低下するにつれて摩耗率が増加することは特徴的である。このことは、後で述べる二次元切削抵抗の変化に見られるように、低速域では切削抵抗が大きく飽和現象が起きていない。これは工具の刃先を保護作用する構成刃先⁹⁾が生じないため、摩耗率が増加するものと考えられる。

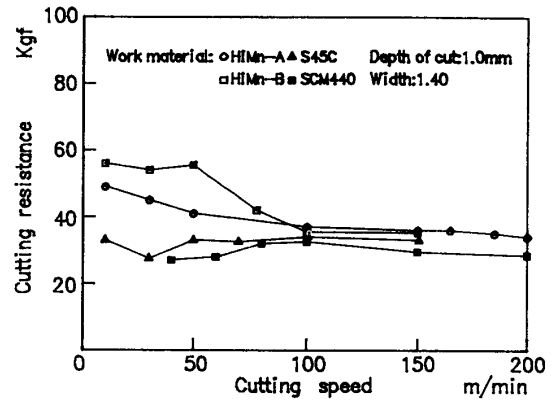


図15 切削速度による主分力の変化

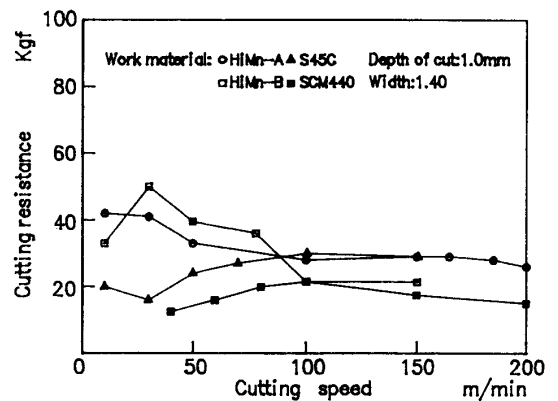


図16 切削速度による背分力の変化

4. 二次元切削試験

高マンガン鋼A、高マンガン鋼B、SCM440、およびS45Cを切削する場合の切削抵抗の主分力を図15、背分力を図16に示す。SCM440、S45C共に主分力、背分力は低速域で増加傾向を示し、切削速度100m/minのあたりで飽和がみられ、これより高速域側ではほぼ一定傾向である。高マンガン鋼Bは10~100m/minの低速域において高マンガン鋼Aよりも高い値を示し、切削速度の増加に伴い減少傾向にある。

主分力と背分力を比較した場合、いずれの材料においても背分力の方が速度の影響が顕著である。このことは、先に示した図11の横逃げ面摩耗率の低速域における高マンガン鋼A、Bの摩耗率の違いに対応している。すなわち、低速域においては切削抵抗の大きい被削材（高マンガン鋼B、圧延材）の方が摩耗率が高いことが分かる。

この両者の違いは、高マンガン鋼Aは鑄鋼で基地組織が高マンガン鋼B（圧延材）の微細組織に比べて粗く、硬さもわずかに低く、また、材質的な脆さなど相互に作用して違いを生じているものと考えられる。また切削速度10~100 m/minでは切削速度が高くなるにつれて低下傾向を示しているが、この速度域においてほとんど構成刃先を生じないためと推察される。一方S CM440およびS 45Cでは切削速度の低下（30~100m/min）にともない抵抗値の減少がみられるが、これは構成刃先の影響により、すくい角が大きくなることに起因するものと考えられる。

図17はせん断角の速度変化を示したもので、被削材S CM440, S 45Cのせん断角の変化は切削抵抗の変化と対応しており、切削速度70~80m/min以後の切削速度においてせん断角の増加により削りやすくなる。一方高マンガン鋼A, B共に不規則な変化が見られるが、傾向的には切削速度の増加に伴ってせん断角はやや増加傾向を示す。切りくず形状は、切削速度50m/min 辺りからこの材料特有の鋸刃状の切りくずが発生し切削がしやすくなる。さらに切削速度が高くなるとせん断角は増大し鋸刃状の薄い切りくずとなる。高速では工具の温度が上昇し刃先がその熱に耐えられなくなり、このため摩耗が増大する。

図18はせん断応力の速度変化を示したもので、高マンガン鋼A, BはS CM440, S 45Cのせん断応力値と比較して全ての切削速度域において高い値を示し、切削速度の影響は小さいことが分かる。

今後の課題としては、工具摩耗挙動ならびに切削温度と被削材の物理的・機械的などの影響および切りくず生成機構などの詳細な検討が必要である。

最後に、実験に協力された本校卒業生、主として（平成2年3月卒業）落合経章君ならびに佐藤昌計君に深く

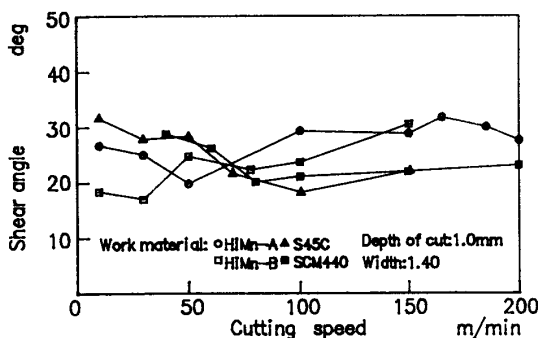


図17 切削速度によるせん断角の変化

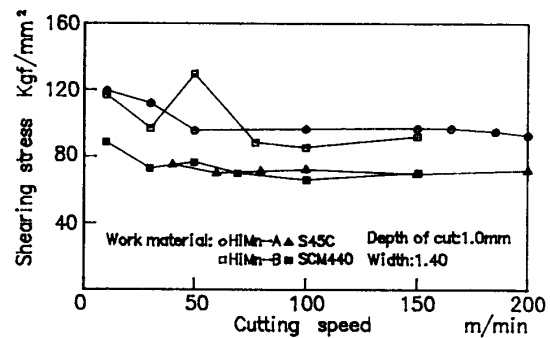


図18 切削速度によるせん断応力の変化

感謝します。

6. むすび

高マンガン鋼を主な被削材とし、長手切削および二次元切削を行い工具摩耗特性について検討を行った。本研究で得られた結果は次のとおりである。

- 1) いずれの被削材においても逃げ面各部の摩耗幅はそれぞれ切削時間的に対してほぼ直線的に増加する。
- 2) いずれの被削材においても切削距離当りで示した逃げ面各部の摩耗率は、ある速度（臨界速度）以上になると急激に増大する。
- 3) 高マンガン鋼の臨界速度は、A（鑄鋼）では約100m/min、B（圧延材）では50~70m/minで、主切れ刃の横逃げ面摩耗率は、切削速度が増加するにつれて減少し、この臨界速度を越えると再び増加する。その速度依存度はB（圧延材）よりA（鑄鋼）の方が大きく、とくに高速域において著しい。
- 4) 臨界速度以上の高速域における、切削速度-摩耗率曲線は、高マンガン鋼B（圧延材）、同A（鑄鋼）、S CM440, S 45Cの順に高速・低摩耗率側すなわち右下方に移行する。
- 5) これらの傾向は、二次元切削の解析結果と一部対応するが、被削材の物理的・機械的特性との関係などについてさらに詳細な検討が必要である。

7. 文 献

- 1) 佐藤 素：機械技術，21-8
- 2) 狩野勝吉：被削性小委員会研究報告，（1986）
- 3) 岡本，土井：精密機械，38-5，443，（1972）

4) 佐久間, 瀬戸, 日本機械学会論文集, 47-414, 211,
(1981)

5) 上原邦雄ほか3名: 精密機械, 88-3, 261 (1972)
(平成2年9月20日受理)