

高マンガン鋼の切削における工具摩耗特性について (工具材料の違いの影響)

森重修一*・瀬戸雅文*・田戸 保**

On Tool Wear Characteristics in Cutting of High Manganese Steel (Effect of Difference in Tool Materials)

Shuichi MORISHIGE, Masafumi SETO, Tamotsu TADO

Abstract

In this report, the results when high manganese steel (0.5C-17Mn-4Cr) was turned conventionally with cemented carbide tools (P20, P30, K10), cermet tools and coated tools were compared with those of carbon steel (S45C), and for the purpose of grasping the characteristics of tool wear based on the change in the state of wear, the state of advance of wear and the rate of wear of respective tools, the experimental study was carried out.

1. まえがき

従来の非磁性材料ステンレス鋼に代わって高マンガン非磁性鋼が開発されており、耐摩耗性の良さから種々の構造部材料として利用されてきている。反面この鋼は、加工硬化が著しく、また熱伝導率が低いために被削性が良くない。このため、高マンガン系非磁性鋼の被削性について検討がおこなわれている。^{1),2)}しかし、なおこの材料の被削性には多くの問題がある。そこで、本研究では工具材料の異なる工具を用いて高マンガン鋼の長手方向に対する旋削を行い、これらの工具の摩耗形態、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した。

2. 実験方法

被削材は、高マンガン(0.5C-17Mn-4Cr)鋼を、また比較材として、機械構造用炭素鋼 S45C を使用した。表 1 にこれらの被削材の化学成分および物理的性質を示す。切削条件はいずれの被削材に対しても切込み1.0mm、送り0.1mm/rev を一定とし、切削速度を変化させ、すべ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。工具材料は三種類の超硬工具と主成分を TiC-TiN-TaC-WC 系としたサーメット工具およびコーティング膜の主構成を TiC 系+Al (ON)_xとした Al₂O₃系コーテッド工具を使用した。刃先形状は(0, 0, 11, 11, 15, 15, 0.8)である。これらの工具材料の機械的および物理的性質³⁾を表 2 に示す。

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ごとにそのつど切削を中断し、オリンパス製 STM 形工具顕微鏡を用いて測定した。

*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

また、すくい面のクレータ摩耗の測定には表面粗さ形状測定機サーフコム470A（東京精密製）を用いて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。

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は被削材のS45Cを切削速度280m/minで超硬工具K10の場合切削時間1.5min、以下P20 11min、サーメット工具38min、コーテッド工具36minそれぞれ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。同図写真より工具各部の摩耗形状が異なることが分かる。K10およびP20の逃げ面摩耗幅は帯状をしており、サーメット工具およびコーテッド工具は摩耗は少ないがわずかな欠けが見られる。また、K10、P20のすくい面摩耗痕の後端部形状は曲線、サーメット工具は不規則な凹凸のある直線、また、コーテッド工具は切りくずとの擦過による不規則な形状をしている。つぎに、同図右に示すすくい面摩耗痕の断面形状は、K10、P20、サーメット工具では工具先端部に肉薄の切れ刃を残し、後方にクレータ幅の拡張した形状をしていることが分かる。また、コーテッ

ド工具のすくい面は極めて小さな凹凸で、切れ刃側に傾斜した摩耗をしていることが分かった。これらの工具摩耗形態およびすくい面摩耗痕の変化は他の切削速度においてもほぼ同様な傾向を示す。

つぎに、被削材の高マンガン鋼を切削速度100m/min（コーテッド工具のみ150m/min）で切削したときの各工具材料の工具摩耗形態およびすくい面の摩耗痕の変化を図2に示す。切削時間はサーメット工具2 min, K10 9.5 min, P30 40min, コーテッド工具26minの場合でK10の横逃げ面は前述のS45Cの場合と同じく帯状の摩耗をしていることがわかる。サーメット工具はS45Cを切削した時と同じように主切れ刃に溶着物が見られる。P30およびコーテッド工具の前および横逃げ面の摩耗は少なく切れ刃が僅かに丸み形状をしていることがわかる。すくい面摩耗痕の後端部の形状は、サーメット工具、K10、P30のいずれの工具も切れ刃に平行な直線部分と比較的曲率部の大きいクレータ幅の狭い形状をしていることが分かる。サーメット工具、K10のすくい面摩耗痕の工具先端部は、被削材S45Cの場合と異なり切れ刃が欠損しており、摩耗痕の低部が尖った形状をしていることが分かる。P30のクレータ摩耗はこの切削速度では見られない。コーテッド工具の摩耗形態およびすくい面の摩耗変化は被削材S45Cとほ

表1 供試材料の化学成分

Wt%

被削材	C	Si	Mn	P	S	Cr	熱伝導率 (cal/s.cm.k)
S45C	0.42	0.210	0.71	0.003	0.005	—	(0.10)
HiMn	0.540	0.390	16.82	0.034	0.011	3.910	(0.05)

※ HiMn 鋳鋼品

表2 摩耗試験用工具の機械的・物理的性質

工具材料		硬さ (HRA)	抗折力 (kg f/mm ²)	圧縮強さ (kg f/mm ²)	弾性係数 (kg f/mm ²)	熱伝導率 (cal/s.cm.k)	比重
超硬工具	TX20-P20	91.5	200	480	54000	0.08	11.9
	UX30-P30	91.0	230	500	56000	0.10	12.6
	TH10-K10	92.0	240	620	62000	0.19	14.7
サーメット工具	N308(TiC, TiN, TaC, WC系)	92.0	170	—	—	(0.07)	—
コーテッド工具	T802(Al ₂ O ₃ 系)	92.0	170	—	—	(0.05)	—

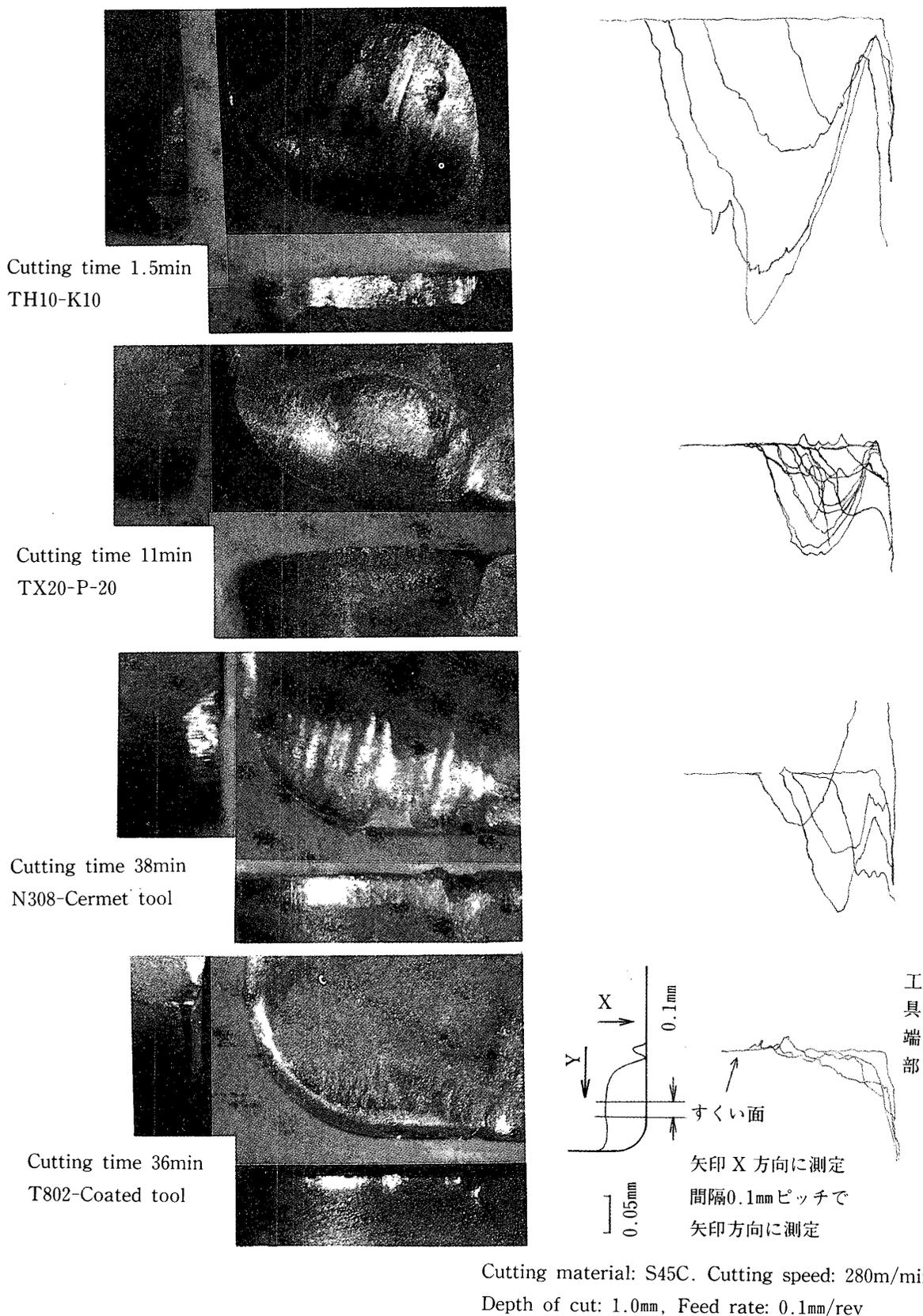
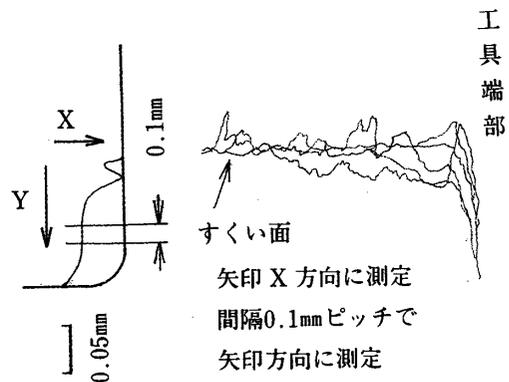
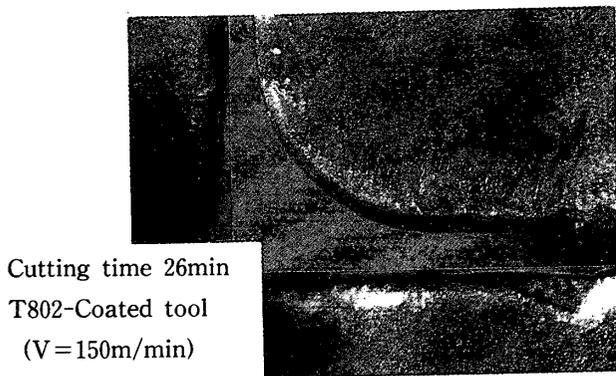
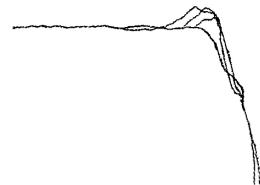
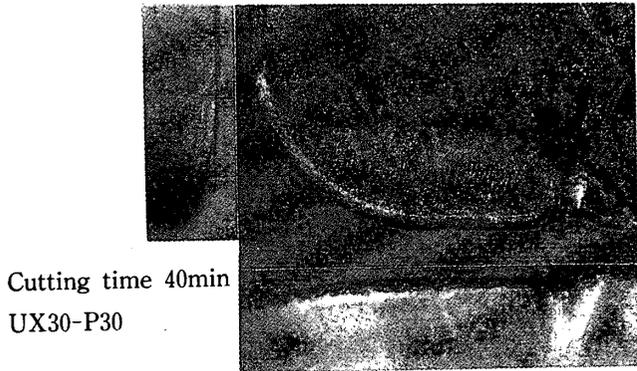
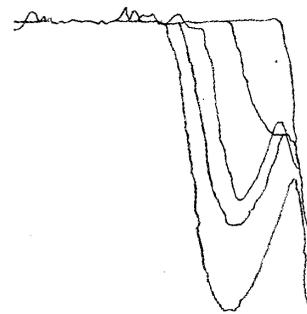
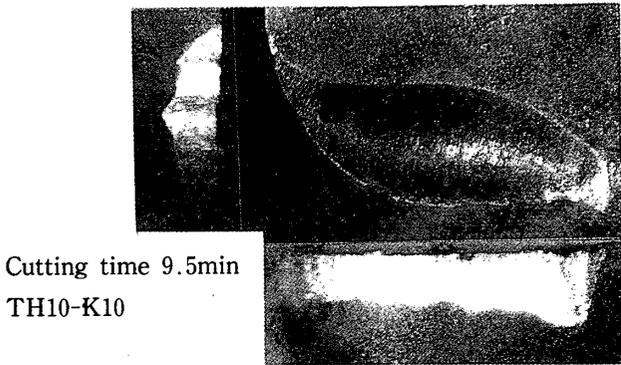
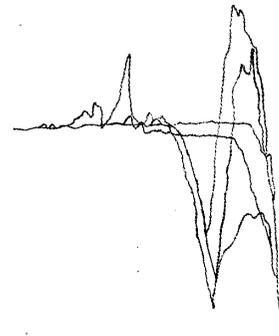
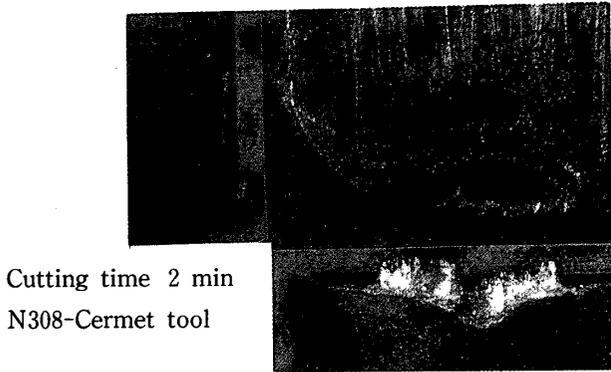


図1 工具摩耗形態およびすくい面摩耗痕の変化



Cutting material: HiMn. Cutting speed: 100m/min
Depth of cut: 1.0mm, Feed rate: 0.1mm/rev

図2 工具摩耗形態およびすくい面摩耗痕の変化

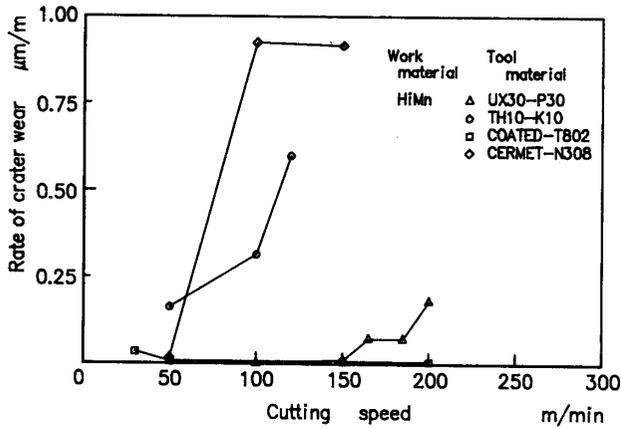


図3 切削速度とすくい面クレータ摩耗の関係

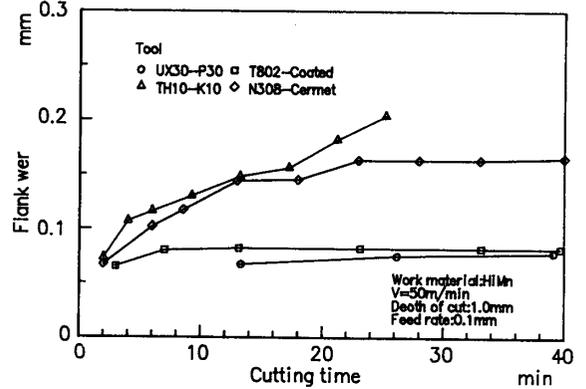


図5 横逃げ面摩耗進行曲線

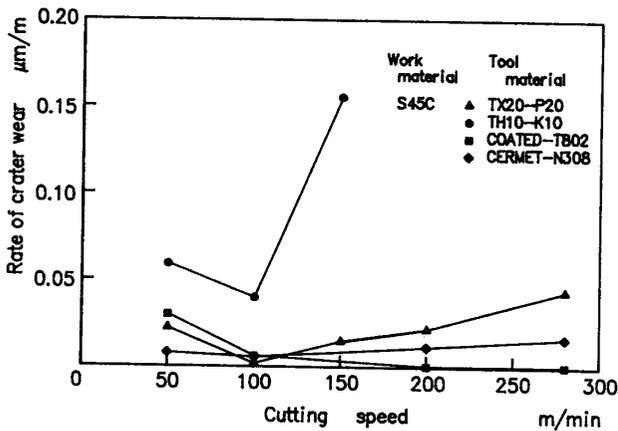


図4 切削速度とすくい面クレータ摩耗の関係

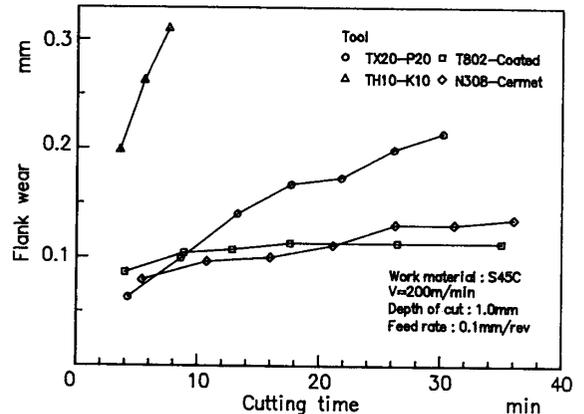


図6 横逃げ面摩耗進行曲線

は同様な傾向を示す。その他の切削速度においても各工具材料の摩耗形態およびすくい面の摩耗変化は同様な傾向を示すことが分かった。(図省略)

つぎに、被削材高マンガン鋼を各工具材料で切削試験を行い、クレータ摩耗痕の最大深さを測定して切削速度とクレータ摩耗の関係を調べた結果を図3に示す。サーメット工具は切削速度50m/minではクレータ摩耗が小さく100m/min~150m/minでは大きく摩耗し飽和をしている。超硬工具K10は切削速度50~120m/minでは漸次増加傾向にある。すくい面に作用する複雑な要因がこの二つの工具材料の熱的摩耗を促進させているものと考えられる。超硬工具P30は低切削速度域でもクレータ摩耗が見られるが切削速度150m/minまで少なくその後高切削速度域に

かけて増加傾向を示す。コーテッド工具は低切削速度域から高切削速度域まで極めて摩耗変化が少ない。

図4にS45C鋼の場合を示す。超硬工具P20、K10は切削速度100m/minで減少傾向を示し低速域、高速域において増加傾向を示す。コーテッド工具は低切削速度域でクレータ摩耗が僅かにあるが中切削速度域から高切削速度域では極めて少ない。サーメット工具は低、中、高切削速度域でクレータ摩耗は少なく安定を示し、後で述べる工具逃げ面摩耗率の変化とも対応している。サーメット工具は被削材の種類によってクレータ摩耗の変化が異なり、高マンガン鋼では中、高速度域で極めて大きいクレータ摩耗を示すが被削材S45Cでは低、中、高速度域においてクレータ摩耗は少なく安定している。

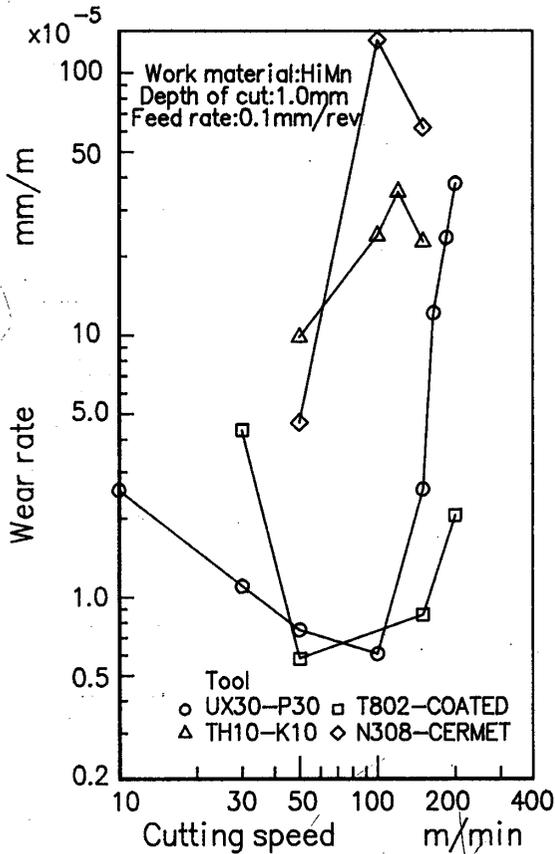


図7 工具横逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係

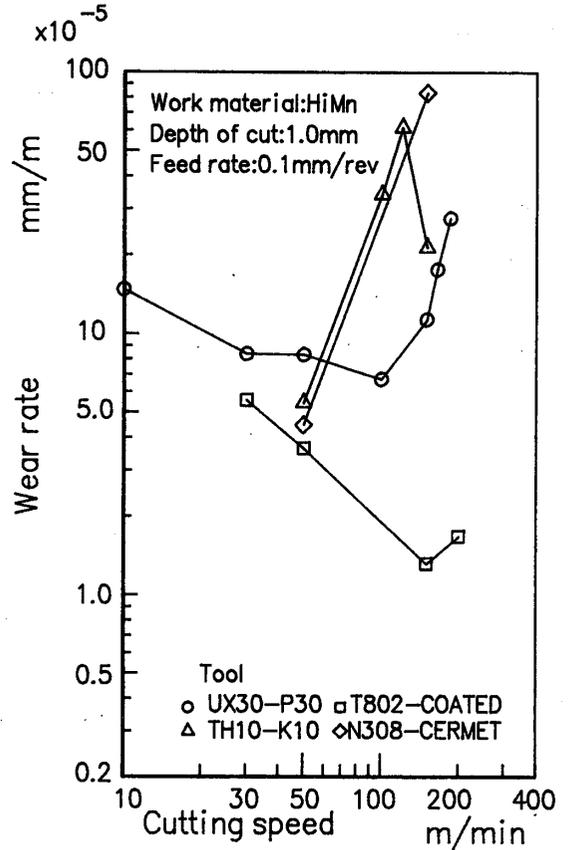


図8 工具横逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係

3.2 工具の摩耗進行曲線

図5は高マンガン鋼の切削時における横逃げ面摩耗におよぼす工具材料の影響を示す。二種類の超硬工具 P30、K10による切削とサーメット工具、コーテッド工具による切削の各々の工具の摩耗進行曲線において低切削速度域でP30は摩耗進行が緩やかで、サーメット工具、K10、コーテッド工具ではいずれも初期摩耗は変わらないがK10は切削時間が長くなるにつれて摩耗は漸次増加傾向にある。サーメット工具、コーテッド工具ともに一定の切削時間の後摩耗の進行が留まる傾向がみられる。コーテッド工具については切削速度30m/minにおいても同様な傾向が見られた。

図6は炭素鋼 S45C を各工具材料で切削した場合の横逃げ面摩耗の工具の摩耗進行曲線を示したもので切削時間 5 min で比較をすると超硬工具 P20、サーメット工具、コーテッド工具の逃げ面摩耗幅は0.1mmに満たないが K10

の初期摩耗は大きく増加し、摩耗の進行も急峻である。例えば、切削時間 4 min で比較すると K10の摩耗幅はコーテッド工具の約2.3倍となっている。サーメット工具、コーテッド工具ともに長時間の切削において摩耗の進行は緩やかで、特にコーテッド工具はこの被削材に対して逃げ面摩耗の進行が最も緩慢である。

3.3 摩耗率

3.3-1 被削材高マンガン鋼の場合

図7は超硬工具 P30、K10、サーメット工具、コーテッド工具で高マンガン鋼を切削したときの工具横逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係を示す。超硬工具 P30は切削速度100m/minまで直線的に摩耗率の減少傾向を示す。屈折点100m/minを過ぎると急激に増加する。一方、コーテッド工具は切削速度30m/minから50m/minで同様な摩耗率の低下があり、屈折点50m/minを過ぎると増加するが超硬工具 P30に比べて高切削速度域において摩耗率の増

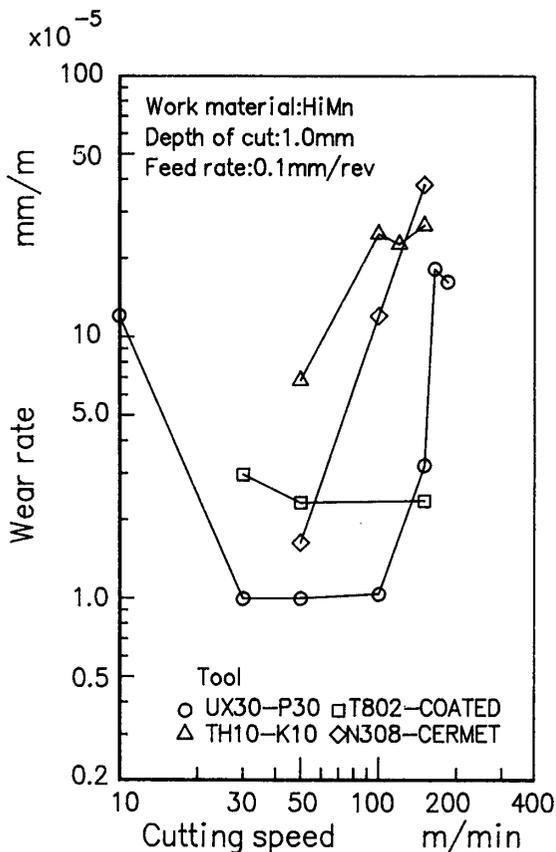


図9 工具前逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係

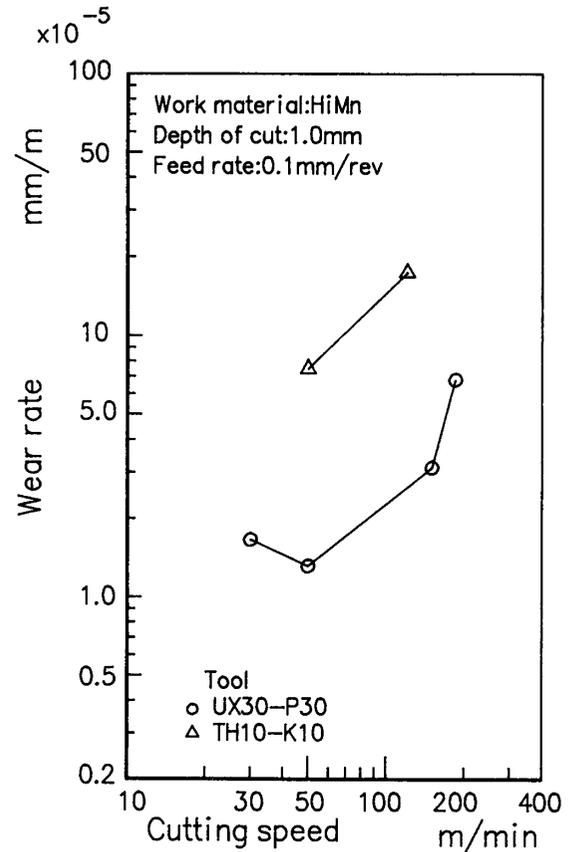


図10 工具前逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係

加が少なく、被削性が優れていることが分かる。超硬工具 K10、サーメット工具は中切削速度域50~100m/minにおいて高い摩耗率を示す。

図8に、同じく各工具材料に対する工具横逃げ面境界摩耗率の変化を示す。超硬工具 P30の横逃げ面境界の摩耗率は、横逃げ面摩耗率に比べて高い摩耗率を示す。切削速度100m/minまで緩やかに減少し、その後上昇傾向を示している。コーテッド工具は切削速度30m/minから150m/minまでやや高い摩耗率を示しているが横逃げ面摩耗率曲線と傾向は同じである。K10は横逃げ面摩耗率曲線と同様な変化を示す。サーメット工具は低切削速度域(50m/min)から中切削速度域(150m/min)での摩耗率の上昇が大きい。このように切削速度が高くなるほど摩耗が大きくなるのは被削材の加工硬化の影響また、高速切削により摩耗が増加するものと考えられる。

図9に同じく各工具材料の工具前逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係を示す。超硬工具 P30は前述の同工具材

料の横逃げ面摩耗率曲線と同じ傾向を示す。低切削速度域(30m/min)から中切削速度域(100m/min)まで摩耗率が一定値を示し、30m/min、100m/minに屈折点がある。コーテッド工具は低切削速度域(30m/min~50m/min)では超硬工具 P30の摩耗率より大きい値を示し、切削速度の増大に対して摩耗率はほぼ一定である。K10およびサーメット工具は前述の工具横逃げ面摩耗および横逃げ面境界摩耗の摩耗率曲線と同様に切削速度50m/minを越えると急激に摩耗率が増大している。また、工具横逃げ面摩耗、横逃げ面境界摩耗および前逃げ面摩耗のいずれの摩耗面においても低切削速度域(50m/min)ではサーメット工具、中切削速度域ではK10の工具の摩耗率が小さい値を示している。

最後に、前逃げ面境界摩耗の摩耗率を図10に示す。超硬工具 P30の摩耗率曲線は横逃げ面境界摩耗率曲線とほぼ同じ傾向を示すが、各切削速度に対する摩耗率は小さい。K10は50m/minから120m/minにかけて摩耗率の増

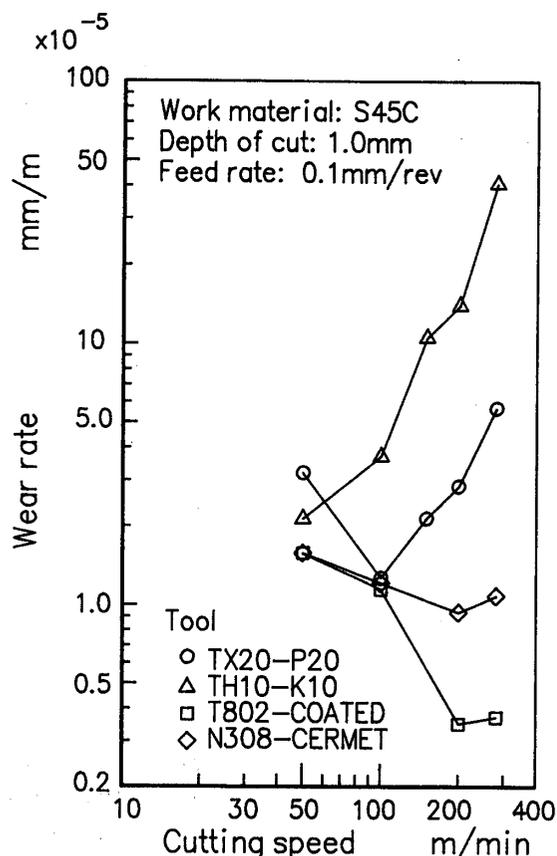


図11 工具横逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係

大がみられるが120m/minでの摩耗率は横逃げ面境界摩耗率と比べると低い値を示す。超硬工具 P30、コーテッド工具は低速切削域で摩耗率の増大がみられ、中切速度域を越えると再び摩耗率は増大する。以上、各工具材料の切削速度150m/minにおける全ての工具摩耗面においてコーテッド工具が最も摩耗率が低く、次にP30、K10、サーメット工具の順である。

3.3-2 被削材 S45C の場合

図11は炭素鋼 S45C を切削したときの工具横逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係を示す。使用した工具材料は超硬工具 P20を用いた他は前述の高マンガン鋼の切削時と同種類の工具を用いた。超硬工具 P20は切削速度50m/minから100m/minにかけて減少しその後増加している。K10は高切速度域において直線的に増加傾向を示す。サーメット工具、コーテッド工具どちらも高切速度域において減少傾向がみられ、切削速度200m/minから増加傾向にある。高切速度域において低い摩耗率を示す工

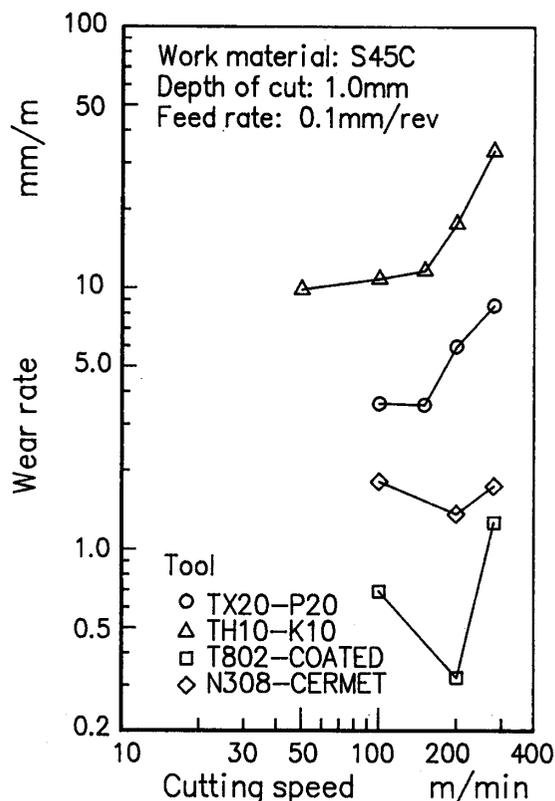


図12 工具横逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係

具材料の順位を見ると最も低い摩耗率を示す工具はコーテッド工具であり、次にサーメット工具、P20、K10の順番である。この順番は工具材料の熱伝導率の値に対応していることがわかる。尚、高切速度域で全ての工具の摩耗率が高マンガン鋼を切削した場合の摩耗率に比べて低い値を示すのは高マンガン鋼の熱伝導率⁹⁾に比べて大きい熱伝導率を持つ被削材 S45C の切りくずへの熱流出が効果的に働き、工具の熱的摩耗を少なくしているものと思われる。また、この速度域において工具すくい面の温度は1000°C近く⁹⁾にもなると言われていることから、低い摩耗率を示す Al₂O₃系コーテッド工具は上記の切りくずへの熱流出効果と併せて Al₂O₃の高温硬度⁹⁾が高いことや、複層被膜の効果等が特に工具逃げ面摩耗部に有効に働いているものとする。

図12に、同じく各工具材料に対する工具横逃げ面境界摩耗率の変化を示す。いずれの工具材料も摩耗率変化曲線において摩耗率の急増する屈曲点をもち、高切速度

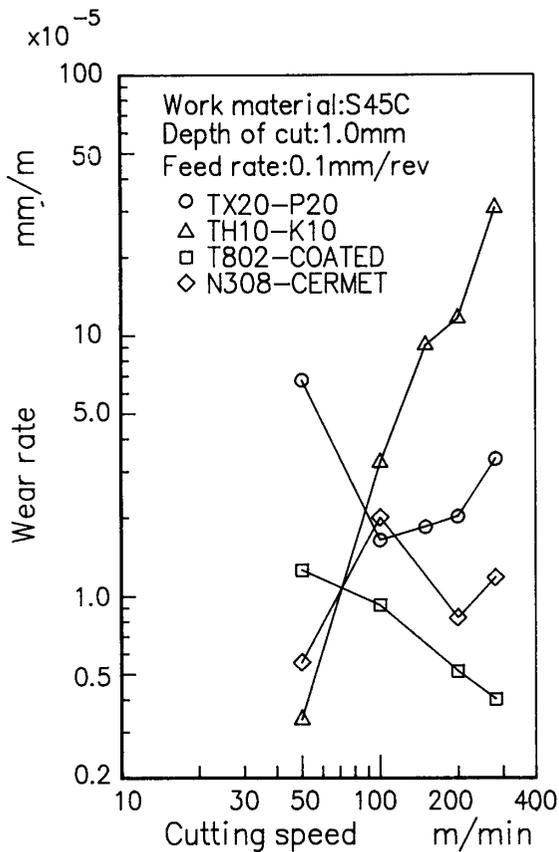


図13 工具前逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係

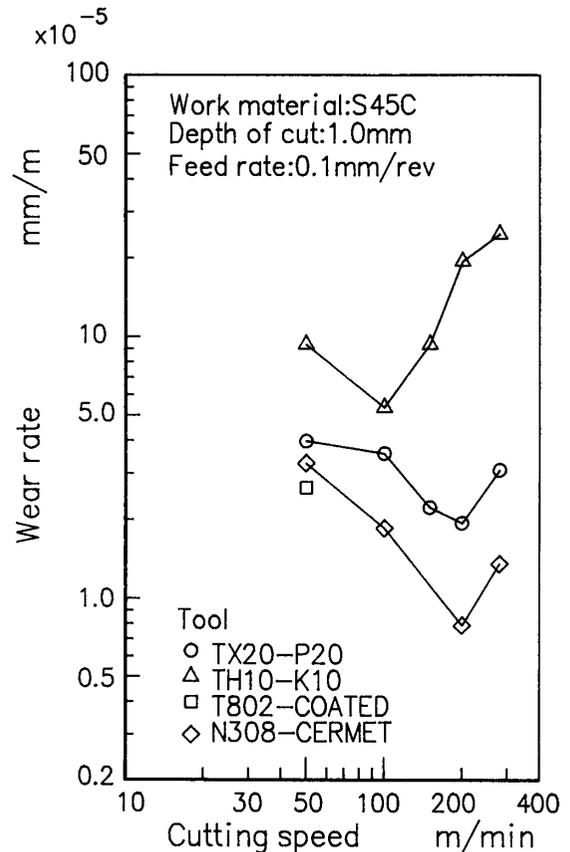


図14 工具前逃げ面境界摩耗の切削速度と摩耗率の関係

域においては上述の工具横逃げ面摩耗率に比べてK10は余り変わらないがP20、サーメット工具、コーテッド工具では高い摩耗率を示す。

図13に同じく各工具材料の工具前逃げ面摩耗の切削速度と摩耗率の関係を示す。超硬工具P20、コーテッド工具は先に示した横逃げ面摩耗率曲線と同じ傾向を示す。K10は低切削速度域50m/minから高切削速度域280m/minまで直線的に増加している。サーメット工具は高切削速度域で摩耗率の上昇がみられる。

最後に、前逃げ面境界摩耗率を図14に示す。超硬工具P20、サーメット工具は低切削速度域から屈折点100m/minまで摩耗率が減少し高切削速度域280m/minで上昇する。K10は低切削速度域から中切削速度域で減少傾向を示し高切削速度域にかけて直線的に増加する。コーテッド工具は中、高切削速度域にかけて前逃げ面境界摩耗は見られない。以上、各工具材料の切削速度288m/minにおける全ての工具摩耗面においてコーテッド工具が最も摩

耗率が低く、次にサーメット工具、P20、K10の順番である。ここで、サーメット工具は被削材高マンガン鋼を切削した場合の摩耗率の値と被削材S45Cの摩耗率の値が大きく異なる。これは工具中の元素と被削材高マンガン鋼に含まれる元素と互いに拡散反応^{7),8),9)}を起こし、摩耗に影響することや、高マンガン鋼のもつ高い靱性が影響するものとする。

今後の課題としては、工具摩耗挙動ならびに被削材の機械的・物理的性質などの影響について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（平成3年3月卒業）阿武良介君ならびに蔵 健次君に深く感謝します。

4. むすび

高マンガン鋼を主な被削材とし、工具材料の異なった工具を用いて長手切削を行って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つぎのとおりである。

- 1) 超硬工具 P30、 Al_2O_3 系コーテッド工具主切れ刃の工具逃げ面摩耗率は切削速度が増加するにつれて減少し、各々の臨界速度 (100m/min および50m/min) を越えると再び増加する。
- 2) 超硬工具 K10、TiC 系サーメット工具の各逃げ面の摩耗率は低～高切削速度域とも P30、 Al_2O_3 系コーテッド工具に比べて高い値を示す。
- 3) 切削速度150m/min における摩耗率は Al_2O_3 系コーテッド工具、P30、K10、TiC 系サーメット工具の順序で高い摩耗率を示す。
- 4) 被削材炭素鋼 S45C の切削速度280m/min において TiC 系サーメット工具の摩耗率は低く、高マンガン鋼を切削した時の摩耗率に比べて大きい違いがある。

5. 文 献

- 1) 鳴瀧則彦：潤滑，25-3，172，(1980)
- 2) 飯島 昇：機械と工具，6，31，(1991)
- 3) タンガロイ切削工具、カタログ，(1990)
- 4) 日本金属学会：金属データブック，丸善株式会社，105
- 5) 岡村健二郎：切削工学，コロナ社，156
- 6) 元島栖二：機械の研究，39-7，40，(1987)
- 7) 岡村健二郎：切削工学，コロナ社，300
- 8) 岡本，土井：精密機械，42-6，557，(1976)
- 9) 白井，水原：潤滑，25-3，138，(1980)

(平成3年9月24日受理)