

ダイヤモンド工具による切削* 光沢と凝着試験について

大 草 喜太雄**・山 本 英 司**

Study of Machining with Diamond Tool
On the Relation between Luster and Adhesion Test

Kitao ŌKUSA, Eiji YAMAMOTO

Abstract

This study has been undertaken in order to examine the relation between the luster of finished surface and the adhesion property of materials cut usually called as affinity. High speed steel tool and carbide tool are used for the comparison of performance. Brass, Al alloy, pure iron and pure titanium are used as materials cut. Adhesion tests in the vacuum furnace are carried out for each combination of the above tools and materials cut and their results are compared with the luster and roughness of the finished surface.

The results obtained are as follows.

- (1) The luster of finished surface has a close relation to the roughness of finished surface.
- (2) The effect of diamond tool for the luster of finished surface is due to the less roughness of finished surface and affinity for materials cut.
- (3) Diamond tool shows an excellent luster in the finishing of brass and Al alloy in the correspondence with the less affinity for them. But, it shows a poor luster in the finishing of pure titanium and pure iron which have better affinity.

1. 緒 言

ダイヤモンド工具は古くから非鉄金属や樹脂製部品などで、その長い寿命と同時に、よい仕上面あらさと光沢を必要とする時に使用されている。本研究ではこのような被削材として黄銅とアルミニウム合金をとりあげた。

ダイヤモンド工具によりよい仕上面が得られるのは、もともと工具研磨により鋭い切刃が得られることと、被削材に対する親和性が悪いすなわち凝着しにくいことが考えられる。さらに長時間にわたる良い仕上面を得るためには工具摩耗の少ないことも必要であるが、ここでは主に切削初期の仕上面を対象とする。

上記被削材中黄銅は凝着しにくい、アルミニウム合金は凝着し易い材料である。本研究ではさらに凝着

し易い材料として純鉄、純チタンを加え、凝着のモデル試験を行い、その結果と切削による仕上面特に光沢との関係を検討する。なお比較用工具には高速度鋼工具と超硬工具を用いる。

2. 実験装置および実験方法

2.1 切削条件、被削材と工具

切削実験には昌運工作所製の HB-500 型旋盤を用い、切削速度 15~600m/min、切込み 0.3mm、送り 0.075mm/rev の切削条件で外丸削りを行なった。切削時間は工具摩耗の無視できるような短時間（約 30sec）である。

実験に使用した工具と被削材を Table 1 に示す。このうち 4-6 黄銅とアルミニウム合金 (Al-Mg 合金と略称す) はダイヤモンド工具 (記号 Dia., D 工

* 昭和46年11月6日 昭和46年度精機学会秋季大会にて講演

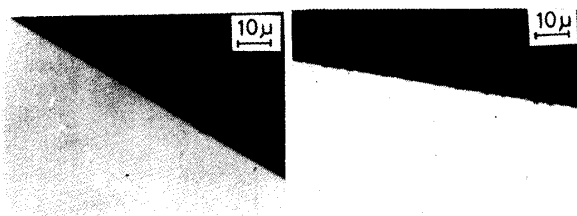
** 生産機械工学科

Table 1 Used tool and work material

Tool	Hardness	Remark	Work material	Hardness	Remark
Dia.	H _N 7000	The cutting edge was finished with diamond lapping.	Brass	H _v 88	Chemical composition, Cu 59.3, Zn 39.8, Fe 0.09, Pb 0.4, %
M.A.	H _v 1900	A tip was made from micro grain of a few kind of carbides. Shape cutting edge can be easily ground by a diamond wheel.	Al-Mg alloy	H _v 70	Chemical composition, Al 93.5, Mg 5.1, Mn 0.65, Zn 0.08, %
			Pure titanium	H _v 101	Chemical composition, C 0.013, Al 0.021, Mn 0.11, Si 0.08, Cu 0.07, Fe 99.6, %
SKH4	H _v 870	Conventional high speed steel. SKH4 Chemical composition, C 0.78, Cr 4.2, Mo 0.7, W 19.0, V 1.65, Co 10.2, %	Pure iron	H _v 146	Chemical composition, Ti 99.7, Fe 0.07, O 0.08, %

Dia., Diamond tool, M. A., Sintered carbide tool

具と略称す)による切削が実用されているもので、それらの主な成分である Cu, Zn, Al, Mg などは D 工具の成分である炭素と化合しにくい元素である。純チタンは TiC などとなって、炭素と化合し易い。純鉄は非常に凝着し易く、高速度鋼工具(記号 SKH4)や超硬工具(記号 M.A.)で切削すると、全体に厚くかつ数倍も厚さの異なるスティックスリップ状^{1),2)}の切りくずができるものである。また鉄は Fe₃C となり炭素と化合し易い元素である。



Dia. M.A.
Fig. 1 Appearance of cutting edge after grinding (×100)

高速度鋼工具と超硬工具は #700 のダイヤモンド砥石で仕上げ研削をし、すくい面や逃げ面のあらかさを 0.2μ 以下にした。しかし顕微鏡で見ると、1μ ないしそれ以下の刃こぼれが見られ、Fig. 1 のように D 工具よりやや劣る状態である。工具刃先の形状は JIS 0°, 0°, 6°, 6°, 45°, 45°, 0.3R であるが、D 工具のノーズ部は五角形で近似させた 0.3R である。したがって D 工具では取付け角が仕上げあらかさに影響するので、予備実験であらかじめあらかさの小さい角度を選び、その角度で以後の実験を行なった。またその時

の切刃形状を工具顕微鏡で測り、その都度理論あらかさ R₀ を算出した。

2.2 仕上面の検査

仕上面あらかさの測定にはサーフコム 2B 型を用い、主に測定したあらかさと理論あらかさ R₀ との差について検討する。本研究では最大仕上面あらかさ R_{max} より Fig. 2 のように切刃先端のほぼ揃った 5 回の平均あらかさ R' を引いたものを工具と被削材の相対変位よりおこるあらかさ、ここでは切削系の振動によるあらかさ R_A とする。R' より R₀ を引いたものをその他の項目、つまり構成刃や切りくずの形態などの影響とする。切りくずの形態変化によるあらかさの変化は、使用した被削材が軟質のうえに仕上げ切削のため、実験ではほとんど連続した流れ形の切りくずが発生したので、その影響を無視した。

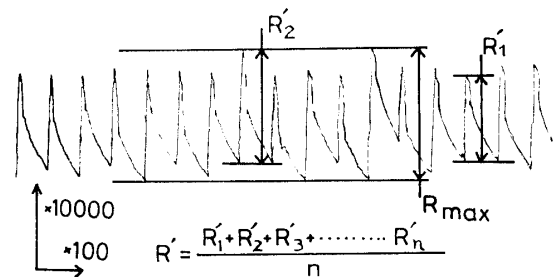


Fig. 2 Profile curve of finished surface
Tool Dia., Work material Al-Mg alloy,
Cutting speed 500 m/min, Depth of cut
0.3mm, Feed 0.075 mm/rev

仕上面の光沢の表示にはそこからの反射光の強さを用い、その測定には工具顕微鏡(×100)、カメラ、露

出計（オリンパス，E.M.M. タイプIV）を組合わせた装置を考案した。なお仕上面からの反射光の強さの測定にさいしては、あらかじめ暗い時を0，鏡の反射で露出計が100 μ A なるように光源を調節した。

2・3 凝着試験

凝着試験はよく仕上げた工具材を加圧力20kg/mm²で接触させ、自作の真空炉にて各温度で1時間保持しておこなった。その時の真空度は4.6 $\times 10^{-5}$ Torrである。

3. 実験結果

3・1 凝着実験

構成刃先などの凝着物が発生すると仕上面が乱れ、目視でも光沢のない面となるが、これは工具材と被削材の組合せいかんによるところ多く、工具材や被削材の単独な材料の性質によって決るものではないと考える。そこで両者が組合わさった性質の一つとして凝着し易さすなわち凝着性を考えモデル試験を行なった。この時、低温より凝着する場合は両者の凝着性、つまり親和性が良く、高温でも凝着しない場合には凝着性が悪く、切削実験にても前者では凝着物がつき易く、後者ではつきにくい組合わせと考える。

本凝着試験のような静的に接触させたときの金属相互間の凝着性は加熱温度の上昇によって促進されることが知られている³⁾。しかしその結果が切削時の構成刃先の発生し易さと一致するとは考えがたいが、広い温度範囲にわたって、それが附着しない組合せでは、凝着物の足場ができず、構成刃先は生成し難いと言えよう。しかし上記のようにより低温で凝着し始める金属は、より広い切削温度範囲で大小はともかく、なんらかの形の凝着物を発生し易いと考える。このような凝着物の発生にともなって脱落が生じ、仕上面のあらさや光沢が害されよう。

3・1・1 黄銅，Al-Mg 合金について

まず従来からD工具による仕上面の改善が知られている黄銅，Al-Mg合金について調べる。結果はTable 2のように、黄銅ではいずれの工具材も強い凝着をせず、高速度鋼と超硬合金のとき600 $^{\circ}$ Cでわずかに凝着（手を触れると容易に試料がはずれる）した程度である。このことはこの被削材がいずれの工具材とも凝着性の悪いことを意味し、広い切削速度の範囲で構成刃先などの凝着物が発生しにくいことを推定せしめる。

一方、Al-Mg合金の場合には高速度鋼とは400 $^{\circ}$ C、超硬合金とは500 $^{\circ}$ Cで凝着し、ダイヤモンドとはこの

Table 2 Adhesion tests result of each work material

Work material	Tool	Temperature $^{\circ}$ C				
		300	400	500	600	750
Brass	Dia.	×	×	×	×	
	M.A.	×	×	×	△	
	SKH 4	×	×	×	△	
Al-Mg alloy	Dia.	×	×	×	△	
	M.A.	×	△	○	○	
	SKH 4	△	○	○	○	
Pure iron	Dia.	×	×	×	○	○
	M.A.	×	×	△	○	○
	SKH 4	×	△	○	○	○
Pure titanium	Dia.	×	×	○	○	
	M.A.	×	×	△	△	
	SKH 4	×	×	△	○	

× No adhesion
△ Slight adhesion
○ Adhesion

材料の溶融温度附近の600 $^{\circ}$ Cでわずかに凝着するのみである。

以上黄銅とAl-Mg合金に対しては、他の工具材よりダイヤモンドは凝着性が悪く、切削実験にてもよい仕上面が得られよう。

3・1・2 純チタン，純鉄について

次にTiCなどの炭化物を作り易い純チタンと切りくず自体が、直接凝着し易い純鉄について凝着試験を行なった。結果はTable 2に記入のように、純チタンに対しては他の工具材より、ダイヤモンドの方が凝着し易く、Al-Mg合金の場合と異なる。切削に使用したD工具は他の工具に比べ切削刃が鋭いが、構成刃先や凝着物などの発生し易さが、切削刃の鋭さよりむしろ被削材との凝着性に強く依存すると考えると、この合にはD工具の方が凝着物の多いことが考えられる。他方切削刃に強く依存すると、D工具の方が凝着物は少なくなろう。

純鉄に対してはいずれの工具材も600 $^{\circ}$ Cでは凝着し、ダイヤモンドのすぐれた耐凝着性はほとんどない。

3・2 黄銅，Al-Mg合金切削における仕上面の光沢

D工具による切削では用途により仕上面の光沢が必要とされる場合がある。各工具による仕上面について前記の方法によって光沢を測定し比較する。

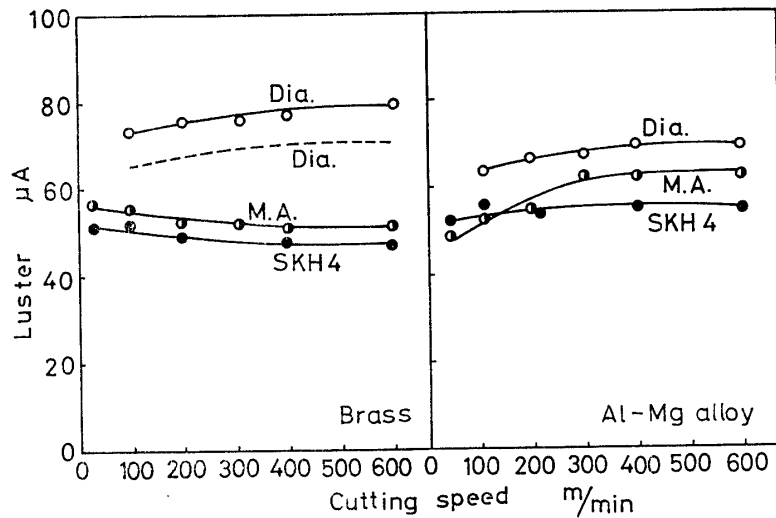


Fig. 3 Relation between cutting speed and luster
Work material Brass and Al-Mg alloy, Depth of cut 0.3 mm, Feed 0.075 mm/rev
..... Luster measured
———— Luster modified by roughness of finished surface

黄銅の場合はFig. 3のように凝着しにくいD工具が全切削速度で光沢にすぐれている。高速度鋼工具と大差ないが、超硬工具がつきにすぐれている。切削速度の影響としては、D工具による高速切削で光沢が増す。高速度鋼工具や超硬工具では高速切削でやや光沢が悪くなるが、いずれも切削速度増大の効果は少ない。

Al-Mg合金の場合もFig. 3より、耐凝着性にすぐれるD工具で最も光沢があり、ついで超硬工具、高速度鋼工具となり、耐凝着性と対応する結果を得た。この場合の切削速度増大の効果は、3種の工具中耐着性が中間である超硬工具で著しく、高速ほど光沢が良い。

一方、耐凝着性にすぐれるD工具では高速切削でやや光沢を増し、耐凝着性に劣る高速度鋼工具では切削速度増大の効果がほとんど認められない。

3・3 黄銅, Al-Mg合金切削における仕上面の性状と光沢について

仕上面からの反射光の強さを測定することにより決める光沢の多少は、仕上面を構成する諸因子の影響を受ける。その主な因子をあげると、一つは仕上面あらかの大小、つづいて仕上面プロファイル曲線の乱れと構成刃先や凝着物の脱落片の附着である。前二者はそれが小さいほど、後者はそれらが少ないほど好ましいであろう。

まず黄銅について検討する。黄銅を3種の工具で削ったときの切削速度300m/min以上の仕上面あ

りと切削速度の関係をFig. 4に示すが、いずれの工具も切削速度の影響は少ない。D工具では他の工具に比べ、ノーズ形状のちがいのため R_0 の小さいこともあるが、 R_{max} , R' ともに小さい。なお切削速度300m/min以下のD工具のすぐれた仕上面あらかは、既に快削黄銅について、詳しく報告⁴⁾されているものと定性的に一致した。

Fig. 4ではD工具本来の R_0 が小さく、従って R_{max} が小さく、そのため光沢の良くなったことも考えられる。そこでD工具の取り付け角のみを変え、種々のあらかの仕上面をえ、そのときの光沢を測定して、両者の関係を求めた。その結果、Fig. 5のように仕上面あらかの小さいときには光沢が良く、その関係はほぼ直線となる。そこで同図を用いて他の工具によるあらかと同値のときのD工具の相当光沢を求めると、Fig. 3記入の修正後の点線となり、やはり他の工具よりD工具の光沢が良い。このことから光沢にはあらか以外の原因も影響していることがわかる。

そこでFig. 6の仕上面の顕微鏡写真をみると、D工具以外では明確な構成刃先の脱落片はみられないが、微細な凝着物の脱落片があり、その部分が黒ずんで見える。この脱落片のため、反射光が少なくなったものと考えられる。そのほか仕上面に細いすじがあり、その影響も考えられるが、その部分は浅く、光っているので大きな影響はないと思われる。

Al-Mg合金の場合にも前掲図3のように、やはりD工具で光沢の良い仕上面が得られたが、Fig. 7の切

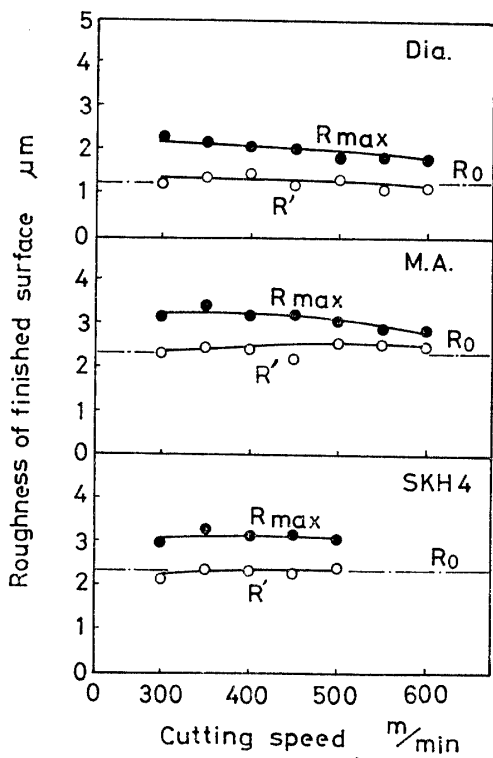


Fig. 4 Roughness of finished surface in brass machining
 Depth of cut 0.3 mm, Feed 0.075 mm/rev

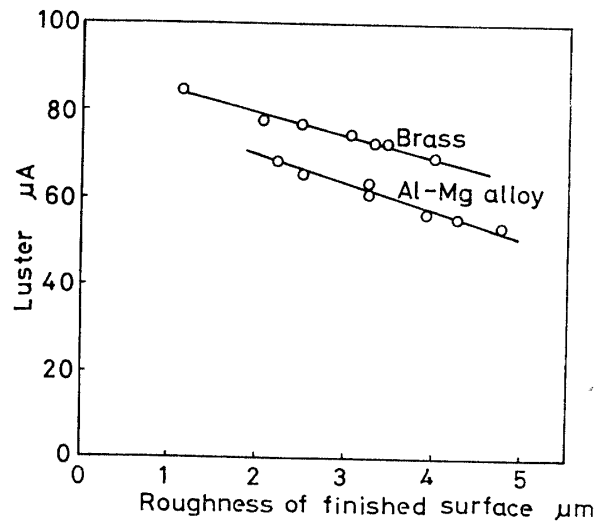


Fig. 5 Relation between roughness of finished surface and luster
 Tool Dia., Cutting speed 200 m/min,
 Depth of cut 0.3 mm, Feed 0.075 mm/rev

Work material	Tool			
	Cutting speed	Dia.	M.A.	SKH4
Brass	100 m/min			
	400 "			
Al-Mg alloy	100 "			
	400 "			

Fig. 6 Microscopic photograph of finished surface (×30)
 Depth of cut 0.3 mm, Feed 0.075 mm/rev

削速度と仕上面あらかさの関係をみると、構成刃先や凝着物の少ない切削速度 300m/min 以上では 3 工具とも変わらない。しかし切削速度 200m/min 以下では既報の研究結果⁵⁾ のように、凝着し易い高速度鋼工具や超硬工具での R_{max} は凝着物の生成脱落により大きくなっている。

同図のように高速では D 工具と他の工具による R_{max} は変わらないのに、D 工具のとき光沢が良くなるのは、Fig. 6 の顕微鏡写真のように、この場合も高速度鋼工具や超硬工具ではかなりの脱落片があるためである。

光沢におよぼす切削速度の影響は、Fig. 3 のように

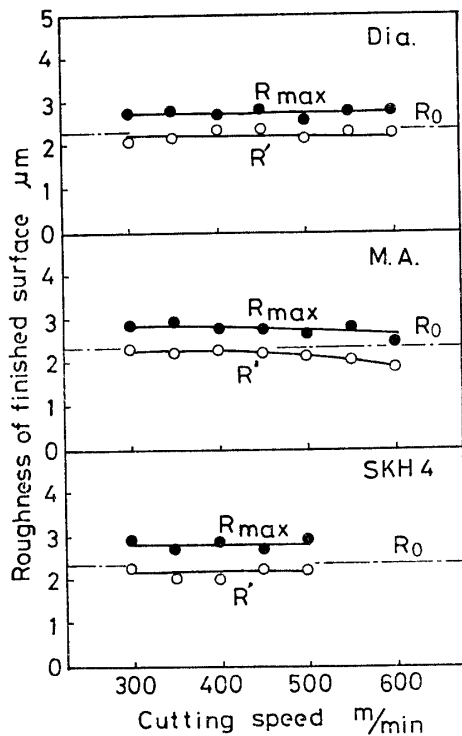


Fig. 7 Roughness of finished surface in Al-Mg alloy machining
Depth of cut 0.3 mm, Feed 0.075 mm/rev

高速ではD工具でやや良く、超硬工具ではかなり良くなる。これはD工具では細かい若干の脱落片が低速で、超硬工具でも低速で多数の脱落片がみられるのに、高速では、それらが減少するためである。この減少の割合は超硬工具で著しい。高速度鋼工具で切削速度の影響がみられないのは、高速では仕上面あらさが良くなっても、なお脱落片があり、仕上面の性状が良くなることによる。

3・4 純鉄、純チタン切削での仕上面の光沢

凝着試験で3種の工具とも凝着性に大差なかった純

鉄とD工具の方が凝着し易かった純チタンの仕上面の光沢を調べる。結果はFig. 8のように、凝着し易いこれらの材料では、黄銅やAl-Mg合金より、全体に光沢が少ない。黄銅やAl-Mg合金での光沢は最低50 μ A程度であったが、純鉄では20~30 μ A、純チタンでは20~40 μ Aである。

純鉄の場合には超硬工具でやや良く、ついで高速度鋼工具となり、D工具の有利さは見られない。

純チタンではD工具でやや良い結果が得られた。これは後掲Fig. 9よりわかるように、D工具では本来R₀が小さいため、黄銅切削の場合と同様にあらさの影響を修正すると、やはり凝着し易いD工具では点線のように光沢が少なく、刃こぼれの少ないことの有利さはない。

次に光沢に対する切削速度の効果をみると、純鉄の超硬工具による切削では200m/minあたりで最良、高速度鋼工具では高速ほど悪く、D工具でも高速ほどやや悪くなっている。一方、純チタンのときは高速度鋼工具では高速ほど悪く、その他の工具では300m/minあたりの切削速度でわずかに良い。

3・5 純鉄、純チタン切削における仕上面の性状と光沢について

純鉄について仕上面あらさをみるとFig. 9のように、R₀に比べR、R_{max}が3倍以上にもなったりして著しく大きい。これはFig. 10の仕上面の顕微鏡写真よりわかるように、構成刃先や凝着物の脱落片により送りマークの山の盛り上りが著しいためである。この盛り上がりは純銅⁹⁾について、指摘されているもので、軟質でねばい材料で共通な現象と思われる。この盛り上がりは純鉄切削の場合D工具ではすべての切削速度で、高速度鋼工具や超硬工具では高速で著しくなる。そのため後者の両工具では高速ほど仕上面あらさが悪くなる。ここでFig. 8とFig. 9を比較すると高速

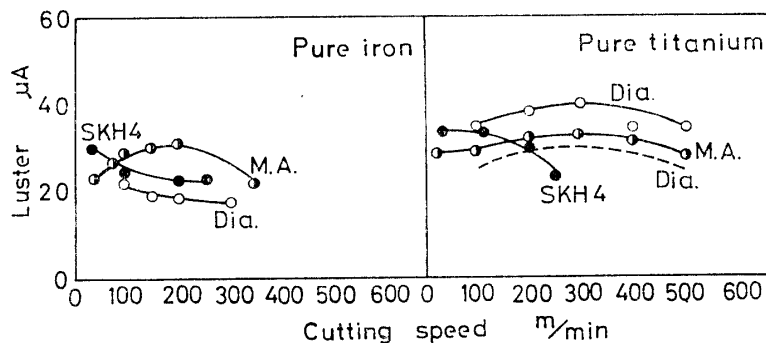


Fig. 8 Relation between cutting speed and luster
Work material Pure iron and pure titanium, Depth of cut 0.3 mm, Feed 0.075 mm/rev

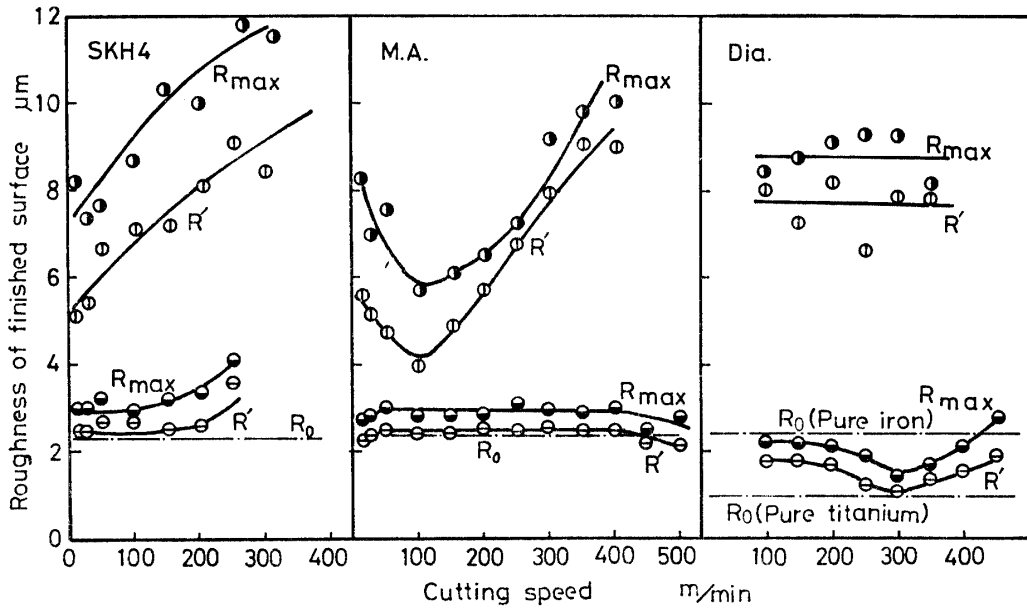


Fig. 9 Relation between cutting speed and finished surface

● ○ Pure iron ● ○ Pure titanium

Work material	Tool			
	Cutting speed	Dia.	M.A.	SKH 4
Pure iron	300 m/min			
Pure titanium	250 m/min			

Fig.10 Microscopic photograph of finished surface (×30)
Depth of cut 0.3 mm, Feed 0.075mm/rev

度鋼工具と超硬工具では、仕上面あらさと光沢の関係が対応していることから、この両工具での光沢は、仕上面あらさの影響を強く受けていることがわかる。D工具では切削速度によるあらさの変化が少なく、かつあらさが全般的に大きいことに応じて光沢が少なく、しかも切削速度による変化も少ない。しかし、同一あらさの他工具に比べてなお光沢が少ないのは Fig. 10 の写真のように構成刃先などの脱落片が著しいことが重なったためである。

純チタンの切削では Fig. 9 記入のように、純鉄切削に比べ R' と R₀ の差は少ない。また黄銅、Al-Mg 合金の高速切削時と同様に、R_{max} と R' の差はこの場合も一定であるが、R' と R₀ の差がやや大きく、良い仕上面を得にくい材料である。また Fig. 10 の顕微鏡写真をみると、いずれの工具の場合でも黒ずんだ

脱落片がみられ、凝着しやすい材料である。この脱落片の量は、切刃は鋭いが耐凝着性に劣る D 工具で多く、ついで高速度鋼工具、超硬工具の順で、脱落片の多い程光沢が悪い。また仕上面あらさも D 工具では R_{max} 自体は小さいが、R₀ と R_{max} の差が大きく、好ましい状態ではない。以上のことは切刃の鋭い D 工具でも、被削材が凝着しやすい組合せでは光沢の悪くなる場合のあることを意味し、結局光沢へは工具切刃の鋭さの影響より、工具と被削材の組合せからきまる凝着性の方が、影響が大きいと言えよう。ここで各工具について切削速度とあらさの関係についてみると、あらさの良い切削速度で、光沢も良い。これは Fig. 10 に示すように、いずれの切削速度にても凝着物が仕上面に附着し、それらの影響の度合に大差ないためである。

4. 結 言

D工具にて4種類の軟質被削材を切削したときの仕上面の光沢に対するあらさと凝着試験による凝着性との影響について、比較用工具を用いて調べた結果、下記の結論をえた。

(1) 黄銅や Al-Mg 合金の切削では、D 工具を用いると光沢の良い仕上面が得られる。

(2) この効果はD 工具による仕上面あらさの改善と同時に、構成刃先や凝着物の脱落片の附着が減少するためである。

(3) 切削時における凝着物の生成し易さは、工具材と被削材の凝着し易さに関係あると判断し、凝着試験を行なった結果、高温にても凝着しにくい工具と被削材の組合わせでは、仕上面への脱落片が少なく、光沢の多少と対応した。

(4) ダイヤモンドがすぐれた耐凝着性を示さない純鉄、純チタンではD工具による切削時にも凝着物の脱落片が多い。特に純鉄では送りマークの盛り上がりが著しく、仕上面の光沢に対するD工具使用の効果はない。

(5) D工具による仕上面改善の効果には、切刃の鋭さも考えられるが、本実験の範囲ではむしろ耐凝着性の影響の方が強く現われた。

謝辞、本研究をまとめるにあたり、大阪ダイヤモンド工業株式会社の御協力を得たことを記し、深く謝意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 那須康雄：金属切削における不安定現象（第1報），精密機械，**35**，116—121（1969）
- 2) 大草喜太雄，山本英司，松本勲：切削油剤の効果に関する実験的研究，日本機械学会中国四国支部第7期総会，講演論文集（1969）
- 3) 竹山秀彦，大野幸彦：構成刃先に関する基礎，日本機械学会論文集，**32**，1563—1569（1966）
- 4) 大越諄，佐田登志夫，鴨川昭夫：精密切削仕上面粗さに関する研究，科学研究所報告，**33**，209—227（1957）
- 5) 大越諄，鴨川昭夫：精密切削仕上面の粗さに関する研究（続），科学研究所報告，**34**，319—329（1958）

（昭和49年4月12日受理）