

# 快削鋼の仕上げ面形成に関する研究

大石 健司\*・山本 祐\*\*

## Study on Surface Formation of Free Cutting Steel

Kenji Oishi \*, Yu Yamamoto \*\*

### Abstract

Lead free cutting steel has been widely used because it has good machinability under various cutting conditions. However, the use of lead free-cutting steel decreases because lead has been bad for the environment. Therefore lead-free free-cutting steel has been developed. In addition, the dull edge tools take the place of the sharp edge tools. In this paper, the influence of cutting edge roundness and tool material are examined for luster on surface of free-cutting steel. As the result, it has been clarified that the surface of lead-free free-cutting steel is less than that of S45C-steel, and that the dull edge tool makes the surface lustrous.

**Key words:** free cutting steel, gloss, surface roughness, dull edge, sharp edge

### 1. 緒 言

切削加工による生産現場では、自動化・無人化によるコスト削減が重要である。その実現のためには、切りくずの処理性がよいこと、工具の寿命が長いこと、切削抵抗が小さいことが不可欠となっている。切りくずの処理性は製品の歩留まりや品質に大きく関与する。工具寿命が長いと、工具の交換回数が減り、生産性が向上する。切削抵抗が小さいと、製品の精度が上がる。

快削鋼<sup>1)</sup>とは、この特性を付加するために、鋼に快削添加物を加えて被削性を向上させたものである。硫黄快削鋼、鉛快削鋼、カルシウム快削鋼などがある。特に、自動車部品やOA機器などに鉛快削鋼が従来からよく使われていた。しかし、鉛は環境に悪くEU(RoHS指令)、日本(J-MOSS)など世界各国で使用が制限されている。そのため、非鉛快削鋼の開発が進められているが、仕上げ面粗さに関して十分な品質が得られていないようである。また、仕上げ面の光沢に対しても要求が難しくなっている。

一方、切削工具も変遷している。従来の工具は超硬合金や高速度鋼などを研削仕上げした刃先が鋭いものが使われていた。しかし、旋削用工具では最近では、焼結したままの超硬合金にさらにコーティングをした、刃先の丸いコーテッド工具が大多数を占めるに至っている。

そこで本研究では快削鋼の旋削仕上げ面の光沢に

関して、工具の切刃丸みと材質の影響について検討した。

### 2. 実 験

#### 2. 1 実験方法

NC旋盤で丸棒の乾式長手切削を行い、仕上げ面の粗さと表面の観察、および光沢度の測定を行った。光沢度は市販の光沢計を使用して測定角度 $20^\circ$ で測定した。仕上げ面の粗さは、最大高さ $Rz$ を求めた。

切削条件は切削速度 $V=50\sim 200\text{m/min}$ 、送り $f=0.2\text{mm/rev}$ 、切込み $d=0.1\text{mm}$ 、コーナ半径 $r=0.8\text{mm}$ 、切刃丸み $0, 20, 40, 60\mu\text{m}$ として、それぞれ組み合わせて実験を行った。

#### 2. 2 被削材

被削材は、鉛快削鋼2種類(フルPb鋼, Pb+S+Ca)、非鉛快削鋼(0.05%S鋼)、および比較材として機械構

表1 被削材の快削成分

鋼 種	化学成分(wt%)		
	S	Pb	Ca
鉛快削鋼(フルPb鋼)	0.009	0.17	<.0002
鉛快削鋼(Pb+S+Ca)	0.044	0.17	0.0016
非鉛快削鋼(S)	0.046	<.005	<.0002
S45C(ベース)	0.008	<.005	<.0002

\*電子機械工学科

平成22年8月31日受理

\*\*専攻科生産システム工学専攻(現: ㈱みやび堂)

造用炭素鋼 S45C, 共に大同特殊鋼(株)製を使用した。快削成分のみを表1に示す。

### 2.3 工具

- ・ホルダー：PSBNR33K12
- ・刃部形状：-6,-6,6,6,15,15,0.8
- ・チップ：超硬合金 (P20, K10), コーテッド工具 (TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (Ti,Al)N系), サーメット
- ・チップ形状：SNMG120408, SNGA120408

### 2.4 実験装置

- ・NC旋盤：滝沢鉄工所(株)TSL-360CNC
- ・粗さ計：(株)ミットヨ サーフテスト 306
- ・光沢計：HORIBA グロステッカ IG-331

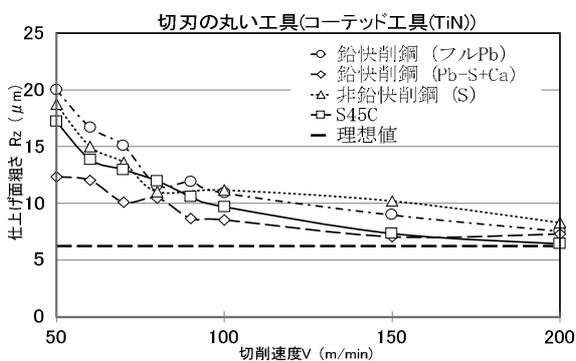
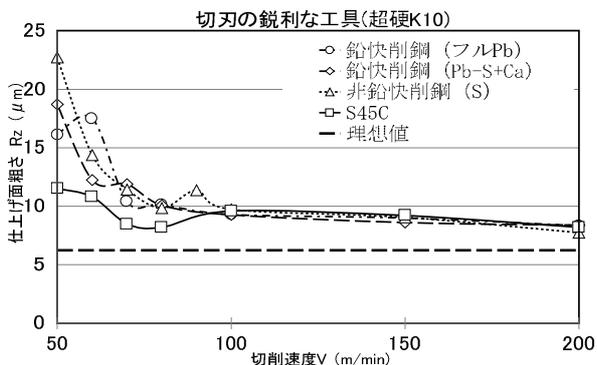


図1 切削速度と仕上げ面粗さの関係

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 従来の工具と最近の工具の比較

従来の切れ刃の鋭利な工具として研削仕上げした超硬 K10 と、切刃の丸い工具に焼結したままの超硬に、コーティングしたコーテッド工具(TiN)を使用して、仕上げ面の比較した。図1に切削速度と仕上げ面粗さの関係、図2に仕上げ面の外観写真、図3に仕上げ面の顕微鏡写真、図4に光沢度の測定結果を示す。

まず、2つの工具を比較する。図1に示すようにいずれの工具でも低速では構成刃先により粗さが大きく、光沢がない。切削速度 100m/min 以上の仕上げ面粗さは、切刃の鋭利な工具では被削材による粗さの違いが認められない。一方、切刃が丸い工具では、

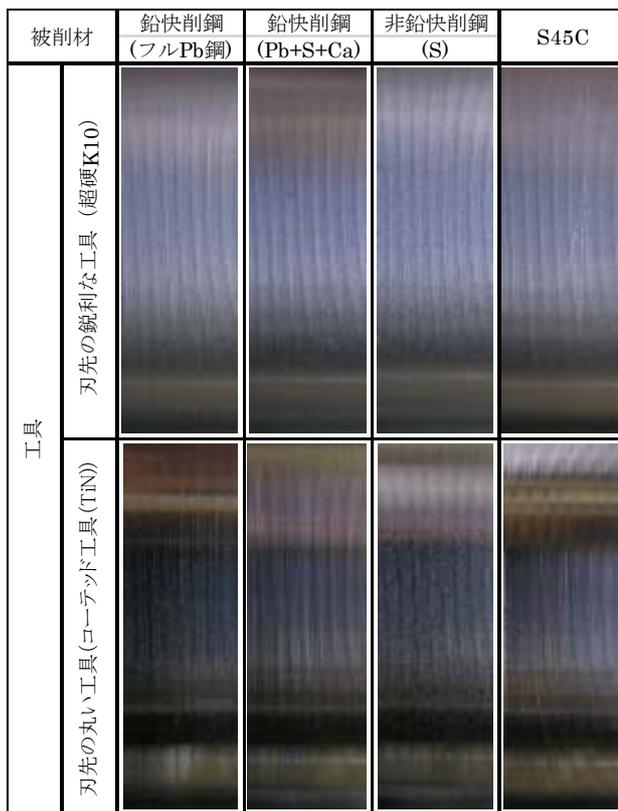


図2 仕上げ面の表面写真 (V=200m/min)

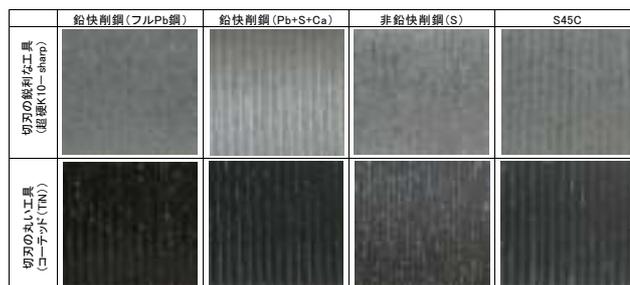


図3 仕上げ面の顕微鏡写真 (V=200m/min)

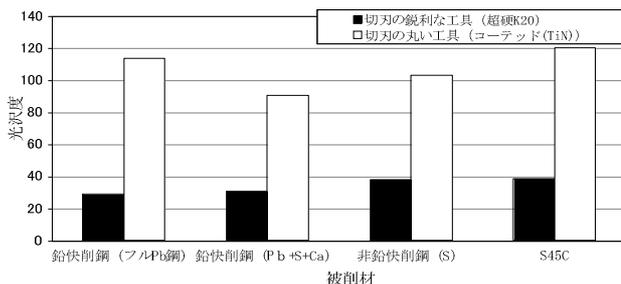


図4 被削材, 工具と光沢度の関係 (V=200m/min)

被削材種による粗さに多少の違いがあるものの、両工具ではほぼ同様の粗さを示している。ところが、加工面の外観では図3に示すように、いずれの被削材でもコーテッド工具の方が超硬 K10 より光沢のある面であり、送りマークも明確であることがわかる。さらに、図4の光沢度の測定結果から、コーテッド工具の方が明らかに光沢度の大きい面となっていることがわかる。

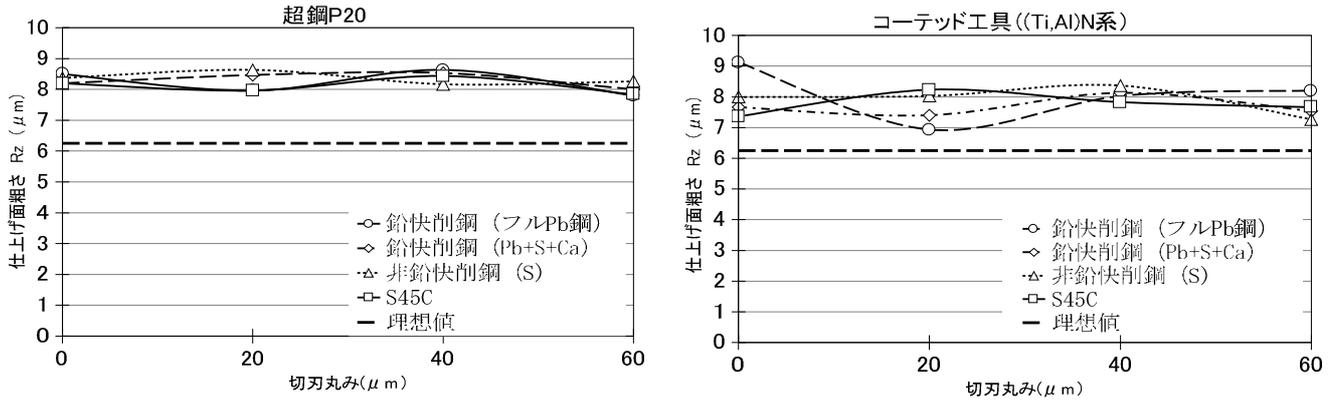


図5 切刃丸みと仕上げ面粗さの関係 (V=200m/min)

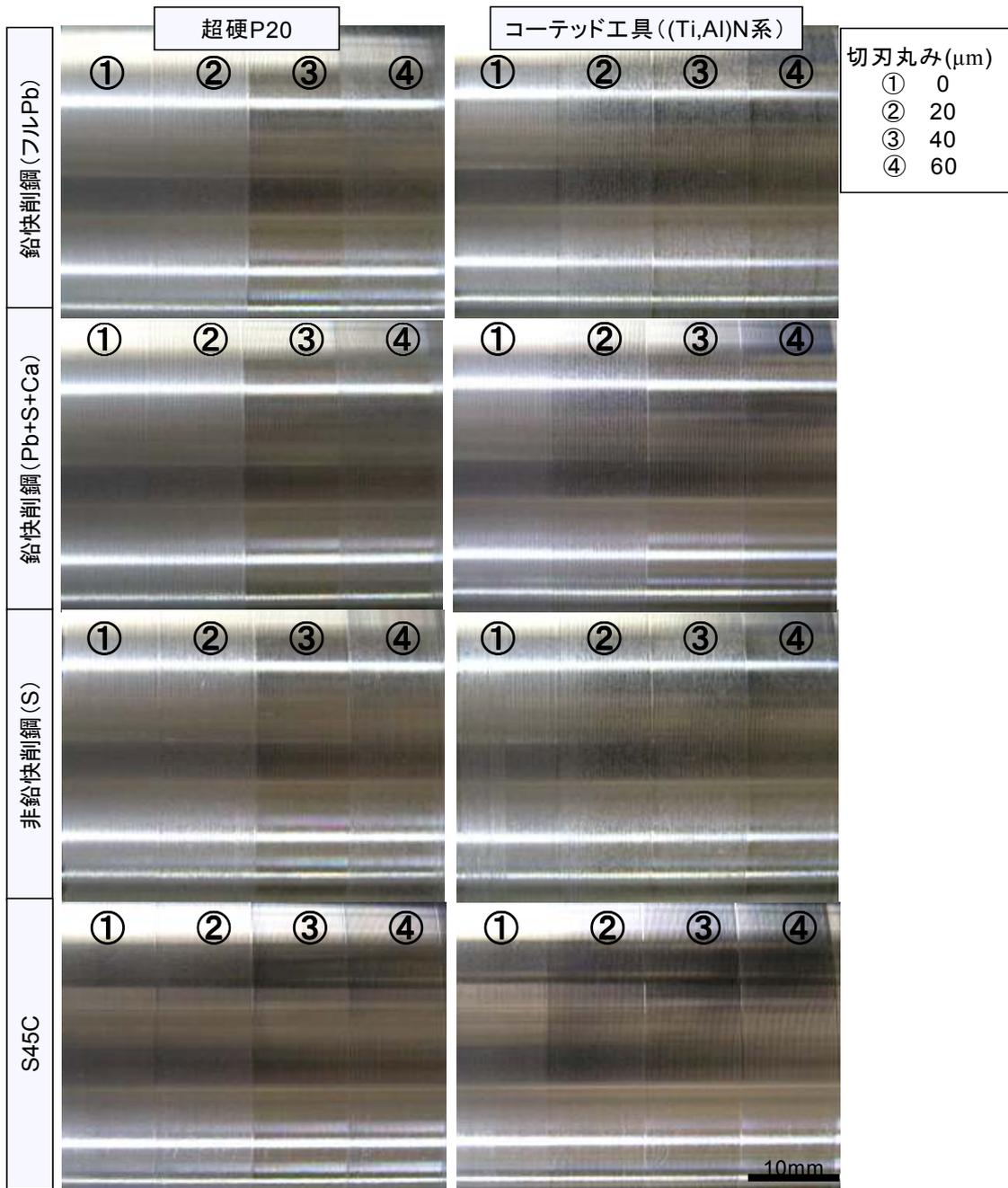


図6 仕上げ面の外観 (V=200m/min)

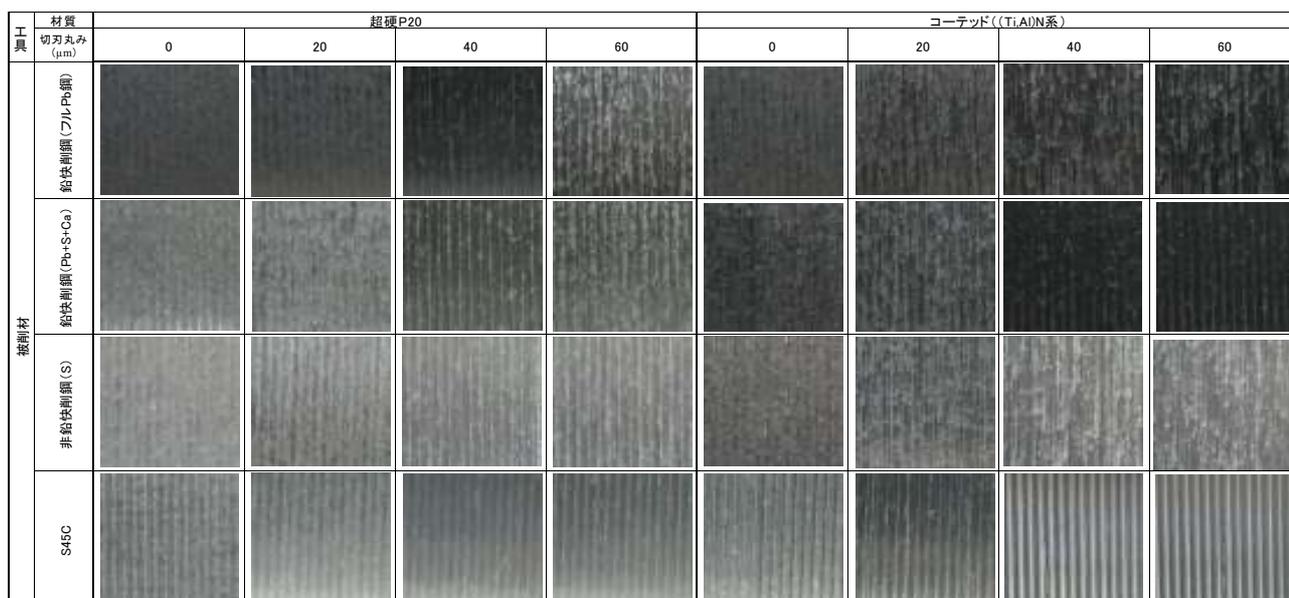


図7 仕上げ面の顕微鏡写真

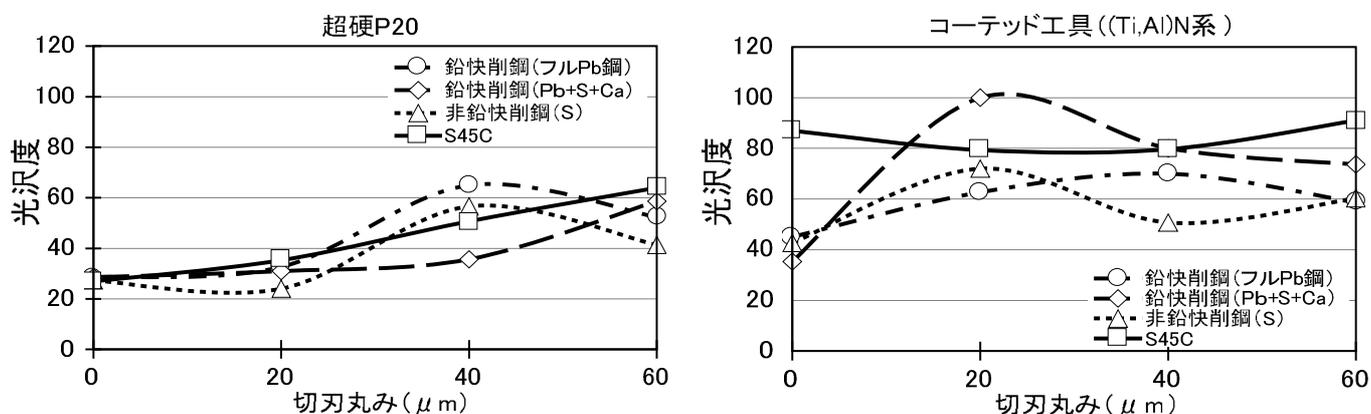


図8 切刃丸みと光沢の関係

次に4種類の被削材を比較する。コーテッド工具では、仕上げ面はS45Cと鉛快削鋼(Pb+S+Ca)が光沢のある面が得られる。一方、鉛快削鋼(フルPb)と非鉛快削鋼(S)は仕上げ面に斑点状に白く曇っている部分がある。さらに、光沢度で比較すると鉛快削鋼(フルPb)が鉛快削鋼(Pb+S+Ca)より大きいことがわかる。また、超硬K10では、仕上げ面の外観と光沢度に被削材質の違いがほとんどなく、いずれも光沢度が低いことがわかる。

これらのことから、刃先の丸い工具は刃先の鋭利なものより光沢のある面が得られることがわかる。これは、切刃が丸いものは、刃先逃げ面の微小なパニング作用で光沢のある面が得られたと考えられる

### 3.2 切刃丸みの影響

3.1の結果より、切刃が鋭利な工具より切刃が丸い工具の方が光沢のある面が得られることがわかった。そこで、切刃丸みを変えたときの仕上げ面の光沢と粗さを調べた。工具は超硬P20とコーテッド工具((Ti,Al)N系)の二種類を用い、切刃丸み

0,20,40,60 $\mu\text{m}$ 、切削速度200m/minとした。図5に切刃丸みと仕上げ面粗さの関係、図6に仕上げ面の外観写真、図7に仕上げ面の顕微鏡写真、図8に光沢度と切刃丸みの関係を示す。

まず、切刃丸みの影響を比較する。図5示すように、超硬P20の仕上げ面粗さは、切削速度が200m/min以上では、どの被削材も切刃丸みによる粗さの違いがほとんどない。また、コーテッド工具も切削速度が200m/minでは仕上げ面粗さに違いがない。しかし、図6に示すように、超硬P20とコーテッド工具のどちらも切刃丸みが大きくなると光沢のある面が得られている。さらに、図8に示すように、切刃丸みが大きい方が光沢度が大きくなる傾向があることがわかる。

次に、工具材質で比較する。図6から、コーテッド工具の方が超硬P20より光沢のある面がえられていることがわかる。しかし、詳細に観察すると図7のようにコーテッド工具では超硬P20に比べて、仕上げ面に斑点状に白く曇っているところがあること

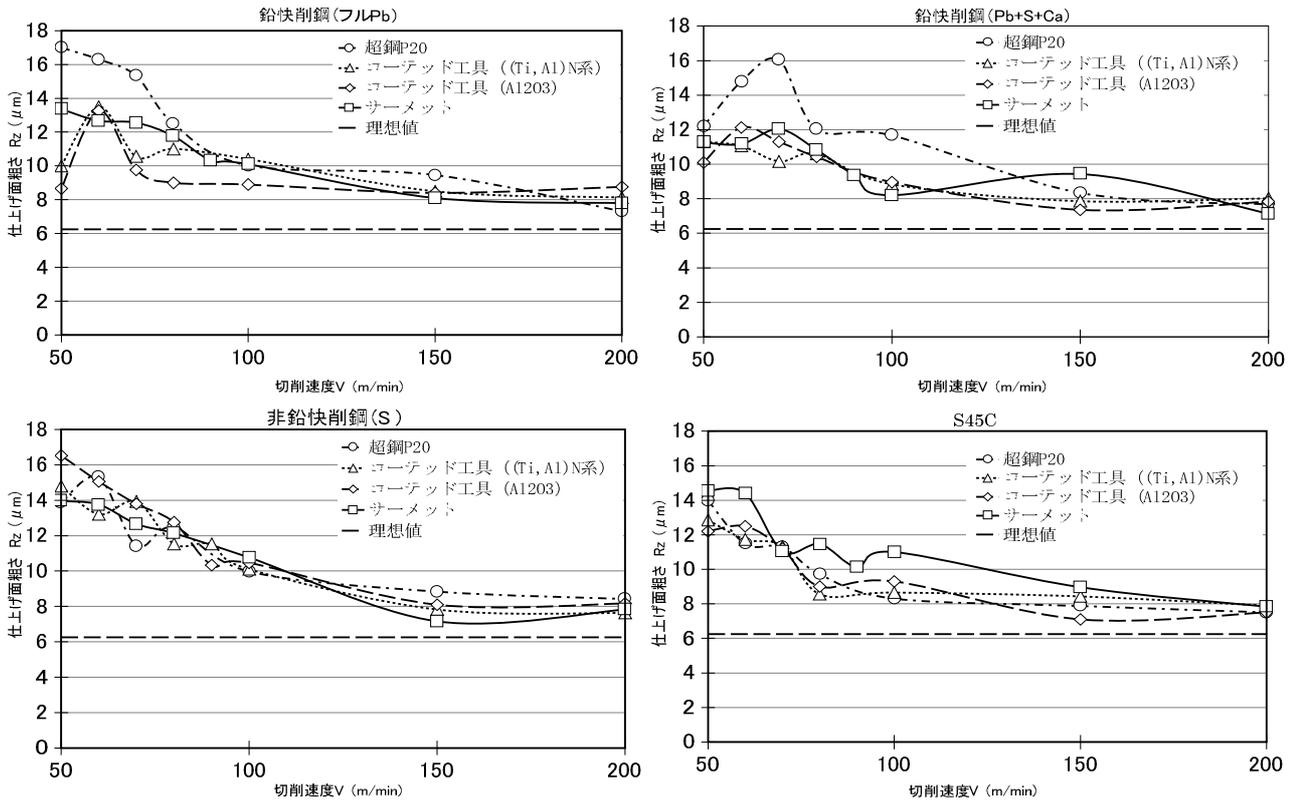


図9 切削速度と仕上げ面粗さの関係

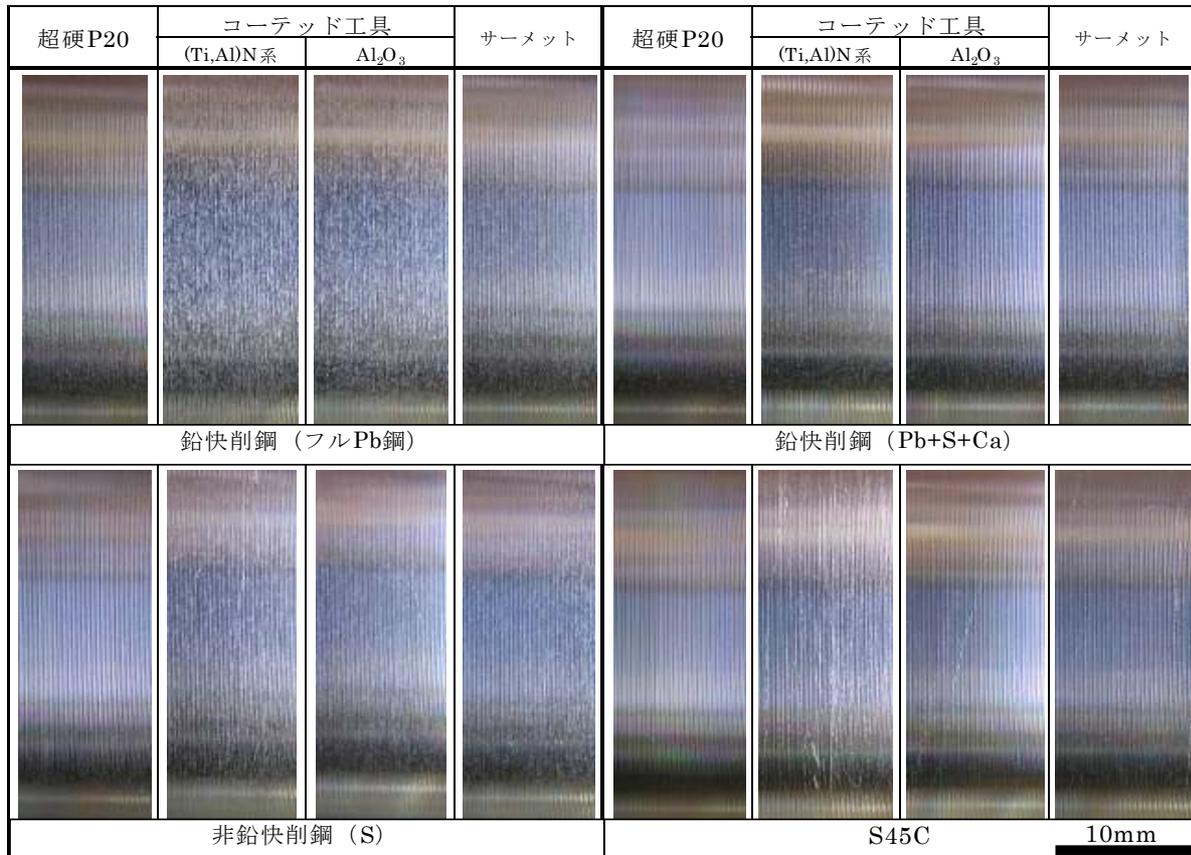


図10 仕上げ面の外観写真 ( $V=200\text{m/min}$ )

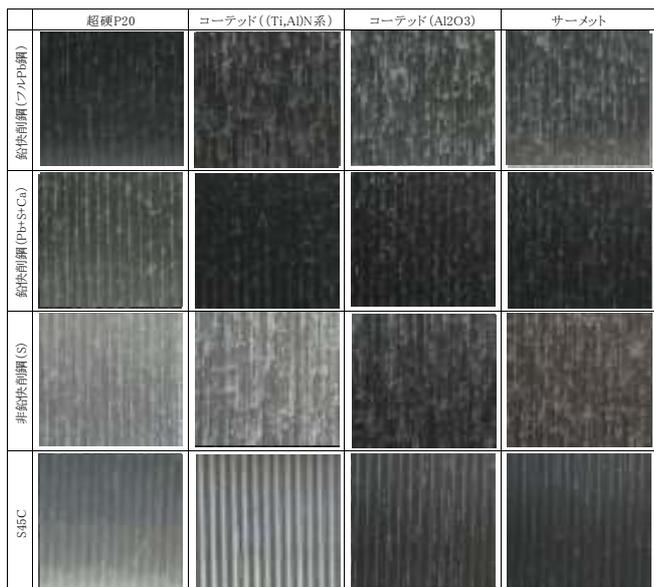


図11 仕上げ面の顕微鏡写真 (V=200m/min)

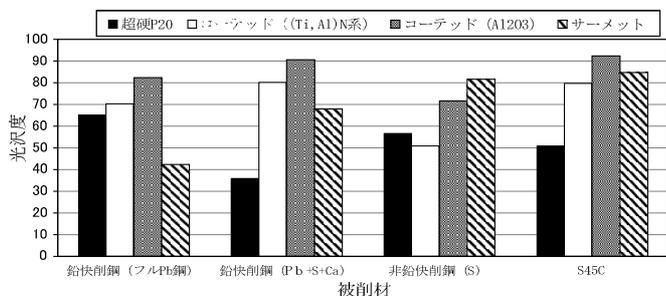


図12 被削材, 工具と光沢度の関係 (V=200m/min)

がわかる。しかしながら図8に示すように、光沢度はコーテッド工具の方が大きい結果となっている。また、超硬 P20 の光沢度は被削材種による差が小さいが、コーテッド工具では被削材種による差が大きいことがわかる。

これらの結果から、切刃丸みが大きい方が光沢のある面が得られやすいことがわかった。さらに、本実験の範囲では、切刃丸み 60 $\mu\text{m}$  が一番光沢のある面が得られた。これは、刃先が丸いため逃げ面側のバニッシング効果により、光沢のある面が得られた

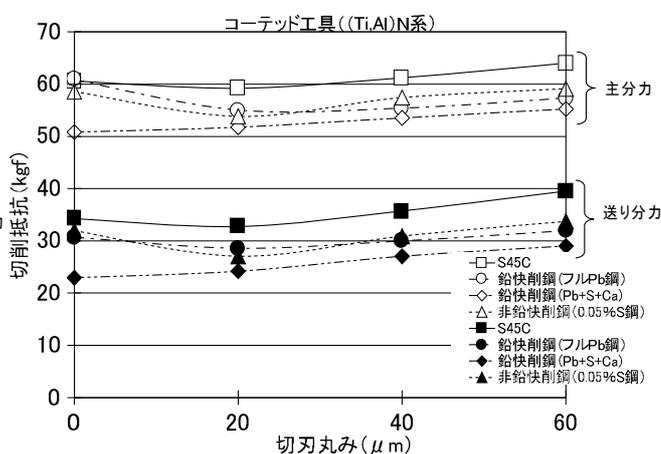
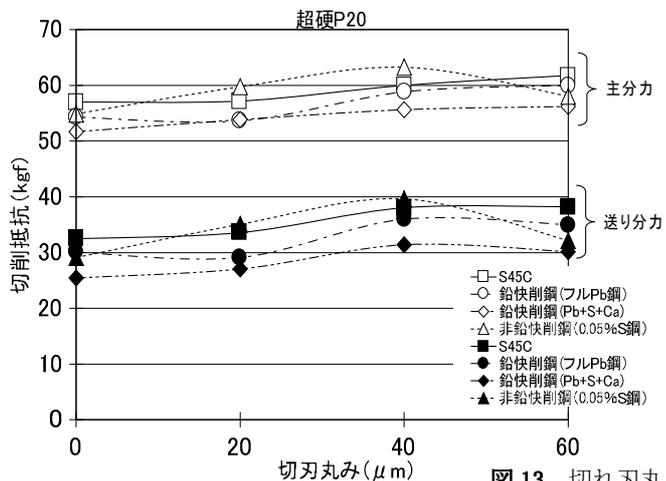


図13 切刃丸みと切削抵抗

と考えられる。また、工具材質ではコーテッド工具が超硬より光沢のある面が得られた。一方、快削鋼では鉛快削鋼(Pb+S+Ca)が一番光沢のある面が得られている。

### 3. 3 工具材質の影響

3.2の結果より、切刃丸みが大きい方が光沢のある面が得られることがわかった。また、二種類の工具の違いによっても仕上げ面の光沢が違うことがわかった。このことから、工具材質の違う工具での仕上げ面粗さと光沢を調べた。切刃丸みを 40 $\mu\text{m}$  の一定として、超硬 P20, コーテッド工具((Ti,Al)N系, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), およびサーメットの4種類を用いた。図9に切削速度と仕上げ面粗さの関係、図10に仕上げ面の外観写真、図11に仕上げ面の顕微鏡写真、図12に被削材、工具と光沢度の関係を示す。

図9に示すように、仕上げ面粗さは切削速度 200m/min 以上では、どの被削材も工具材質による違いがほとんどないことがわかる。しかし、図10に示すように、外観の光沢は工具と被削材により違いがある。鉛快削鋼(Pb+S+Ca)は他の快削鋼より良好な面が得られる。しかし、快削鋼はコーテッド工具のとき超硬 P20 より仕上げ面が白く曇ることがわかる。さらに、光沢度はコーテッド工具(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)で切削したとき、どの被削材も光沢度が大きくなる。また、非鉛快削鋼はサーメットのとき光沢度が大きいことがわかる。

つまり、どの被削材もコーテッド工具(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)が光沢のある面が得られやすいが、快削鋼では白く曇りやすい。コーティング材質による凝着性の低下の効果と考えられる。快削鋼で曇るのは快削添加物の影響と考えられるが、詳細は明らかでない。また、非鉛快削鋼はサーメットのとき光沢のある面が得られることもわかった。

### 4. 光沢と被削性の関係

3章の実験結果から、仕上げ面の外観と光沢度は切刃丸みが大きい方が良好であることがわかった。

またこの時、仕上げ面の粗さにはほとんど影響ないことがわかった。また、工具材質では仕上げ面粗さに違いはなかったが、光沢度はコーテッド工具( $Al_2O_3$ )がどの被削材でも大きいことがわかった。そこで、この光沢度が高い条件では被削性にどう影響するかを検討する。

### 4. 1 切削抵抗

図13に超硬P20, およびコーテッド工具((Ti,Al)N系)で切削した時の、切刃丸みと切削抵抗の関係を示す。切刃丸みが大きくなると切削抵抗も大きくなる。また、被削材と比較すると、どちらの工具材質でも、鉛快削鋼(Pb+S+Ca)が一番小さい、非鉛快削鋼(S)はS45Cとほとんど変わらないことがわかる。

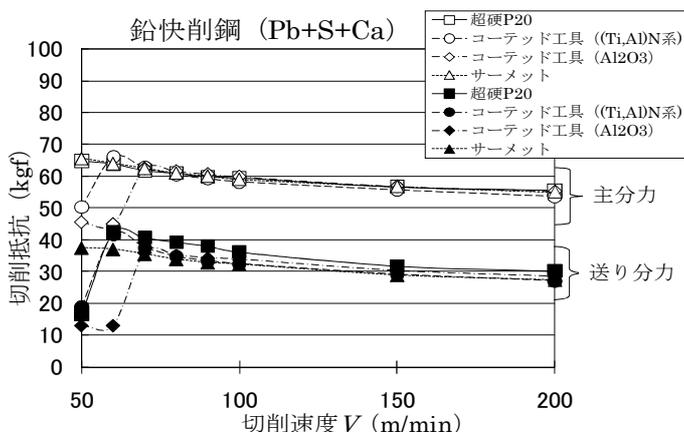


図14は切刃丸み 40 $\mu$ m の同一で、工具材質が異なる場合切削抵抗と切削速度の関係を示す。工具材質が変わっても切削抵抗ほぼ同一であることがわかる。

したがって、光沢を得るために切刃丸みを大きくすると切削抵抗がわずかに大きくなることがわかった。刃先が丸くなると切れ味が悪くなるためである。

### 4. 2 切りくずの観察

図15に切削速度 200m/min で切削したときの切りくず形態を示す。工具は超硬P20, コーテッド工具((Ti,Al)N系,  $Al_2O_3$ ), およびサーメットの4種類である。どの被削材でも切刃丸み, 工具材質が変わっても切りくずの形態に変化はない。

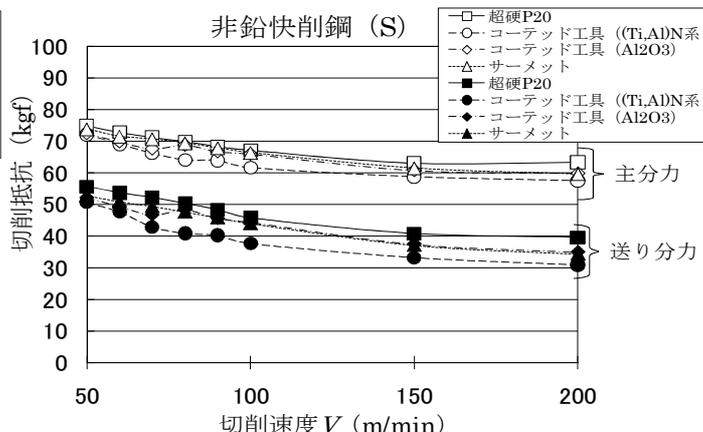


図14 切削速度と切削抵抗の関係 (切刃丸み 40 $\mu$ m)

工具		被削材			
材質	切刃丸み ( $\mu$ m)	鉛快削鋼 (フルPb鋼)	鉛快削鋼 (Pb+S+Ca)	非鉛快削鋼 (S)	S45C
超硬P20	0				
	20				
	40				
	60				
コーテッド工具 (Ti,Al)N系	0				
	20				
	40				
	60				
$Al_2O_3$	40				
サーメット	40				

図15 切りくず形態

本実験の工具の条件範囲では、被削材質により切りくず形態は決まる。被削材別では鉛快削鋼が短く折断した切りくずを生成し、非鉛快削鋼の切りくずはS45Cと同様に長くつながっている。切りくず処理性に対し、鉛の効果が大いことが分かる。

仕上げ面の光沢を得るために切刃丸みと工具材質を変えても、切りくずの形状にほとんど影響がないことがわかった。

## 5. 結 言

- 快削鋼の仕上げ面形成に関して切れ刃丸みと工具材質の影響を調べた結果、以下の結論が得られた。
1. 切刃丸みが大きいと光沢面になりやすい。
  2. 本実験の範囲では切刃丸み 60 $\mu$ m が最も光沢度が大きい。
  3. コーテッド工具( $Al_2O_3$ )の切刃丸み 40 $\mu$ m ほどの被削材も光沢のある面が得られるが、快削鋼はS45Cより白く曇る部分が多い。
  4. 切刃丸みによる仕上げ面粗さ、切りくず形態への影響はなく、切削抵抗がわずかに上昇する。
  5. 鉛快削鋼(Pb+S+Ca)は快削鋼の中では光沢のあ

る面が得られ、切りくず処理性もよく、切削抵抗も小さい。

6. 鉛快削鋼(フル Pb 鋼)は光沢のある面は得にくい。ただし、切りくず処理性はよく、切削抵抗も小さい。
7. 非鉛快削鋼は光沢面は得にくい、さらに、切りくず処理性は悪く、切削抵抗も S45C とほぼ同じである。

### 参考文献

- 1) 中山一雄, 上原邦雄: 新版機械加工, (1997), 朝倉書店
- 2) HORIBA: ハンディ光沢計 グロスチェッカ I シリーズ便利帳
- 3) 津枝正介, 長谷川嘉雄, 中野哲夫: 刃先の微小丸味が切削現象に及ぼす影響(第1報), 日本機械学会論文集(第3部), 26巻, 166号(1960)pp803-808
- 4) 馬越弘典, 山本祐: 2007年度卒業論文“快削鋼の仕上げ面の研究”(2007)
- 5) 天野正章: 切削加工条件が仕上げ面形成に及ぼす影響—切刃の影響—, 日本機械学会中国四国学生会第38回学生員卒業研究発表講演会(2008)