

琉球大学学術リポジトリ

13Crステンレス鋼，共析鋼およびアルミ青銅溶射皮膜の被削性

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2007-08-16 キーワード (Ja): キーワード (En): Overlay coating, 13 Cr stainless steel, Eutectoid steel, Aluminum bronze, Machinability, Carbide tool, Cutting force, Surface roughness 作成者: 糸村, 昌祐, 押川, 渡, 山口, 順也, 植野, 軍二, 福島, 敏郎, Itomura, Shosuke, Oshikawa, Wataru, Yamaguchi, Jun-ya, Ueno, Gun-ji, Fukushima, Toshiro メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/1390

13Crステンレス鋼, 共析鋼およびアルミ青銅溶射皮膜の被削性

糸村昌祐* 押川 渡* 山口順也**
植野軍二*** 福島敏郎***

Machinability of Sprayed Coatings of 13 Cr Stainless Steel,
Eutectoid Steel and Aluminum Bronze

Shosuke ITOMURA* Wataru OSHIKAWA* Jun-ya YAMAGUCHI**
Gun-ji UENO*** and Toshiro FUKUSHIMA***

Abstract

Machinability of overlay coatings which are cut with engine lathe is investigated. Five kinds of thermal spray materials are used; 13% chromium stainless steels made in U. S. A and in Japan, eutectoid steel made in U. S. A. and aluminum bronzes made in U. S. A. and in Japan. The materials made in U. S. A. are thermal sprayed with wire flame spraying equipment and those made in Japan sprayed with arc spraying one on the 29mm in diameter mild steel bar for about 2.5mm in thickness.

The cutting conditions are as follows: WC type carbide cutting tool, negative back rake angle, 10, 25 and 40m/min for cutting speed, 0.1 mm/rev for feed, 0.1, 0.25 and 0.5mm for depth of cut.

Results obtained are as follows;

- 1) The radial cutting forces are greater than the tangential forces because of the negative back rake angle.
- 2) Flame splayed coatings of the 13 Cr stainless steel made in U. S. A. had poor machinability region when the cutting speed was faster than 25m/min and the depth of cut was thicker than 0.25mm, however arc sprayed coatings of similar material made in Japan could be cut without any problem inspite of being harder than the ones made in U. S. A..
- 3) Flame sprayed eutectoid steel coatings could be cut in the almost cutting conditions though they had the similar hardness value as that of the flame sprayed 13 Cr stainless steel made in U. S. A..
- 4) Sprayed aluminum bronze coatings showed good machinability in the all cutting conditions.
- 5) Because of the layered structure containing pores, the surface roughness of the sprayed coatings after cutting is greater than that of the theoretical value of cutting surface, especially in the cases of 13 Cr stainless steel and eutectoid steel.

Key words: Overlay coating, 13 Cr stainless steel, Eutectoid steel, Aluminum bronze, Machinability, Carbide tool, Cutting force, Surface roughness.

受付: 1994年11月10日, 本研究は日本溶射協会平成6年度秋季全国講演大会(1994-10)において発表済

* 機械システム工学科 Dep. of Mechanical Systems Engineering

** エネルギー機械工学科学生 Student, Dep. of Energy and Mech. Eng.

*** カンメタエンジニアリング Kanmeta Engineering Co.,Ltd.

1. 緒言

溶射技術の応用の一つである肉盛溶射は、機械部品への適用が主で、寸法精度に対する要求から必然的に機械切削、研削または両者の併用で仕上げ加工が行われる。溶射皮膜の後加工としての切削・研削条件は、幾つかの文献に記載されている^{1)~3)}が、詳細については記述されていない部分もある。溶射皮膜の切削抵抗を主分力、背分力、送り分力の3分力で検討した報告は、近年開発されたCBN(立方晶窒化ほう素)系工具によるNi-Cr系自溶合金溶射皮膜の切削に関する報告⁴⁾以外見当たらない。現状は各企業現場においてそれぞれ独自に切削条件を設定して対処しているものと思われる。

本報告は、溶射皮膜の仕上げ加工に関する研究の第1報として、5種類の溶射皮膜すなわち13%Crステンレス鋼(米国製および日本製)、0.8%C共析鋼(米国製)およびアルミ青銅(米国製および日本製)に対して、WC系超硬工具:P20を用いて旋盤による切削を行ったときの切削条件と切削抵抗および切削面状態について検討したものである。

2. 実験方法

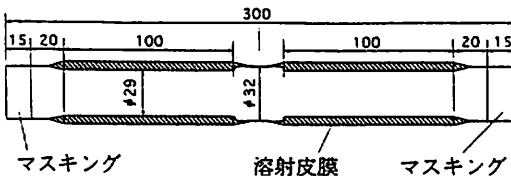


図1 肉盛溶射した切削試験片の形状

2-1 供試材

表1に実験に用いた5種類の溶射材料の化学組成、および携帯用ショア硬さ計を用い、予備切削面を10か所測定した硬さの平均値を示す。図1に示すように、直径32mmの軟鋼丸棒の舟底形アンダーカット面(直径29mm)に、米国製溶射材料はメテコ社製溶線式フレーム溶射装置(12E型ガン)、日本製溶射材料はメテコ社製アーク溶射装置(4RG型ガン)を用いて、いずれも溶射距離150mmで溶射した。溶射条件を表2に示す。図2に米国製溶射材料3種類を用いた溶射直後の外観を示す。溶射膜厚は約2.5mmで、0.5mm程度予備切削して直径を34mmにそろえ、供試材とした。

2-2 使用工具

使用工具として三菱マテリアル(株)製ブレーカ付きスローアウェイ型チップWC系超硬工具P20(TNMG160408:形状:正三角形,逃げ角0°,寸法精度:M級,全周ブレーカ,切刃長:16mm,厚さ:4.76mm,ノーズ半径:0.8mm)を用い、図3に示す形状のホルダを使用した。ホルダを水平に置き、工具先端の高さを被加工物の回転中心と一致させた。

超硬工具は硬い反面もろいため、衝撃荷重に対する抵抗が小さい。

表2 溶射条件

フレーム溶線式	溶射距離(mm)	酸素圧力(kPa)	CaH ₂ 圧力(kPa)	空気圧力(kPa)
12E型ガン	150	213.6	124.5	413.7
アーク溶線式	溶射距離(mm)	電圧(V)	電流(A)	空気圧力(kPa)
4RG型ガン	150	32	160	413.7

表1 被削材(溶射材料)の化学組成(mass%)と硬さ

溶射材料	製	Cr	Ni	C	Mn	Si	P	S	Fe	Al	Cu	硬さ(HS)
13 Cr 鋼 (No.2)	米	13	0.5	0.35	0.35	0.50	0.02	0.02	Bal.	-	-	58.0
	日	13.1	0.19	0.38	0.53	0.31	-	0.01	Bal.	-	-	68.5
0.8 C 鋼 (S 80)	米	-	-	0.80	0.70	-	0.04	0.04	Bal.	-	-	58.6
Al 青銅 (AA)	米	-	-	-	-	-	-	-	1	9	90	41.8
	日	-	0.5	-	0.5	-	-	-	2	7	Bal.	25.3

注1 米:米国製,日:日本製の略

注2 米国製はフレーム溶射,日本製はアーク溶射を行った

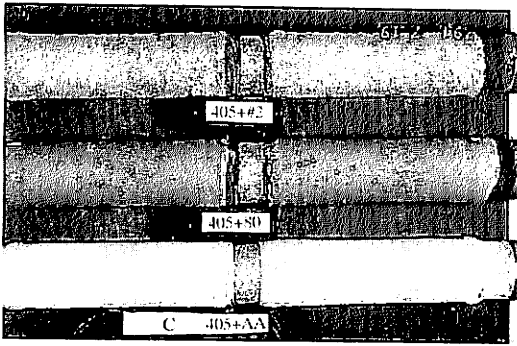


図2 肉盛溶射直後の外観 (フレーム溶射)

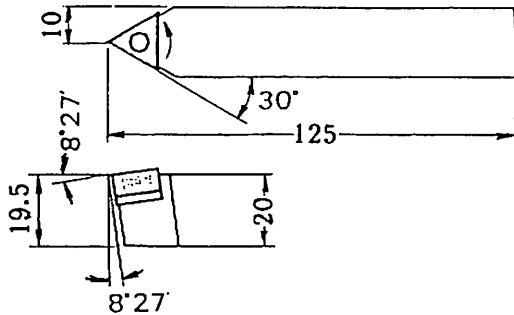


図3 バイトホルダに超硬工具を取り付けた状態



R : 先端半径 : 0.07 mm

W : ランド幅 : 0.25 mm

図4 使用した超硬工具の刃先断面

したがって硬い材料の切削や断続切削では、 $0\sim 10^\circ$ の負のすくい角とするのが一般的である⁹⁾。本実験で用いた工具も図3に示すように、すくい角は $-8^\circ 27'$ と負になっている。また、前逃げ角 $8^\circ 27'$ 、横切れ刃角 30° 、前切れ刃角 60° となる。アルミ青銅は他の鉄系材料に比べ軟らかいが、比較のためすべて同種の超硬工具で切削した。

図4に工具刃先断面を(株)東京精密製の輪郭形状測定器(コンタレコード40形)で100倍で測定した結果を示す。超硬工具の刃先は、切刃の強度を増すために、各社でそれぞれ工夫されているが、本実験に用いた工具は、半径0.07mmの丸ホーニングと0.25mmのラ

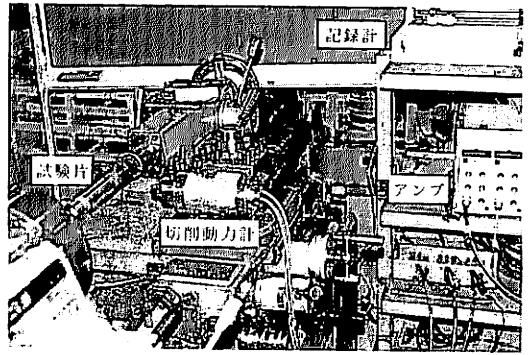


図5 切削実験の状況

表3 切削条件

切削速度 (m/min)	10.1	25.1	40.2
切込み (mm)	0.1	0.25	0.5
送り (mm/rev)	0.1		
切削油 : 硫塩化物系	ユニカット	TG20	

ンド幅を有することが分かる。

図5に実験状況を示す。池貝鉄工製旋盤(ED-18型)を使用し、旋削により3次元切削を行った。通常、旋削においては切削抵抗を3分力に分けて考える。すなわち切削方向の成分である主分力、送り方向の成分である送り分力および切り込み方向の成分である背分力である。切削動力計(佐藤工機:AST式)から直流増幅器を介して3ペンレコーダに記録させて求めたひずみを、予め作成した検定線から得られた式に代入することによって、3分力を求めた。切削動力計からの工具の突き出し長さは、動力計使用書に指定されている30mmとした。切削距離を25m程度とし、各切削試験ごとに新しい切刃を使用して実験を行った。切削条件を表3に示す。

3. 実験結果および考察

3-1 切削抵抗3分力変化の例

図6に切削試験後の外観を示す。溶射材料の違いと切削条件の違いで表面状態が若干異なっているのが分かる。

図7に溶射皮膜の断面の顕微鏡写真とマイクロピッカース硬さ試験機により測定した硬さを示す。溶射皮膜特有の積層構造が明瞭で、硬さにばらつきがあることが分かる。表1から分かるように、13Crステンレス鋼は米国製と日本製で化学組成に大きな違いはない

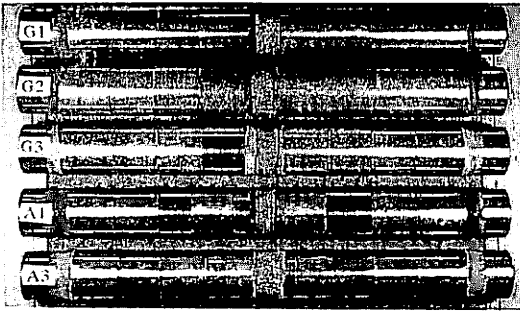


図6 切削試験後の試験片の外観：上から下へ順に No. 2G, S80G, AA-G, No. 2A, AA-A

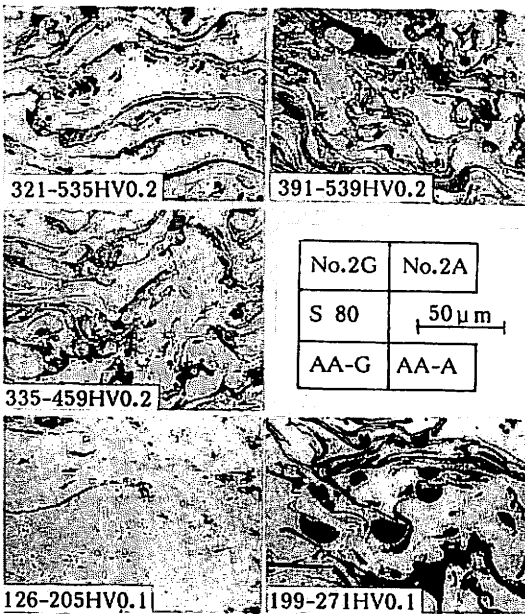


図7 溶射皮膜の断面顕微鏡写真と硬さ

ため、顕微鏡組織はほぼ同様であるが、アルミ青銅は化学組成が若干異なるため、組織が異なり、硬さも異なっている。

各溶射皮膜を切削速度10.1m/min, 切込み0.5mm, 送り0.1mm/revで、約23m切削したときの切削抵抗の3分力の変化を図8に示す。表1に示す記号を用いて13Crステンレス鋼はNo.2, 共析鋼はS80, アルミ青銅はAAと表示し、さらにアーク溶射にA, フレーム溶射にGの記号を当てた。すくい角を正として行う炭素鋼の3次元切削では、主分力が最大となるのが通常⁶⁾である。しかし、本実験ではすくい角が負となっており、本実験で使用した同一旋盤を用い、送りおよびノズル半径が同一で、 -6° の負のすくい角を持つコーティ

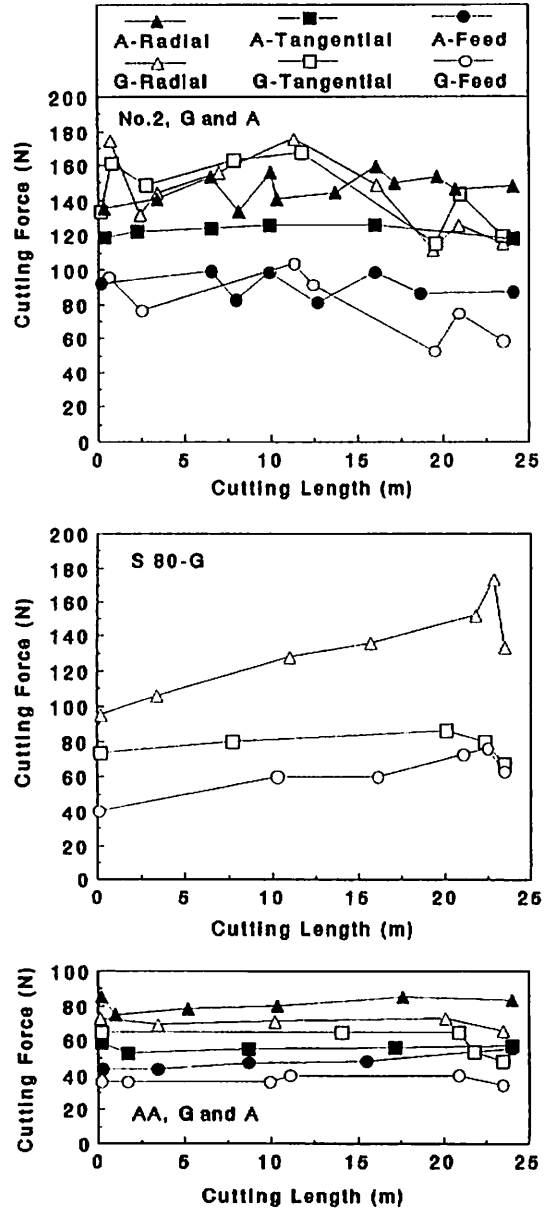


図8 切削中の切削抵抗3分力の変化の例
切削速度：10.1m/min, 切込み：0.5mm,
送り：0.1mm/rev

ングチップを用いてSUS304丸棒を切削した銘蒨らの実験⁷⁾と同様に、いずれの場合も最大切削抵抗は背分力に現れ、送り分力は、3分力の中では最小であった。No.2を切削した場合が、初期から最も高い抵抗を示し、日本製材料をアーク溶射した場合（No.2A）の方が、切削抵抗の変動は少ない。S80切削では切削距離の増

加に伴い、背分力が大きくなり、実験停止直前に最大値となっている。被削材の中で最も軟らかいAAは切削抵抗が小さく、切削中ほとんど変動していない。

3-2 切削条件と試験結果

図9に切削速度と切込みを変化させた全試験の切削状況を示す。切削中に異音(金切り音やびびり音)が生じた場合は、切削状態不良と判断し、その時点で実験を停止し×印とし、異常なく切削できた場合に○印

とした。○印の上下の数値(単位:N)は、各切削試験で得られた切削抵抗曲線から、最大背分力を上段に、最大主分力を下段にそれぞれ記したもので、図8の説明でも述べたように、大部分の実験で背分力が主分力より大きくなっている。軟らかいAAは全実験範囲で切削できるが、硬いNo.2のフレーム溶射(No.2 G)では、切削速度25m/min以上および切込み0.25mm以上の範囲で切削状態が不良である。しかしNo.2より硬いS80の切削不良領域は狭く、またNo.2 Aは切削抵抗が

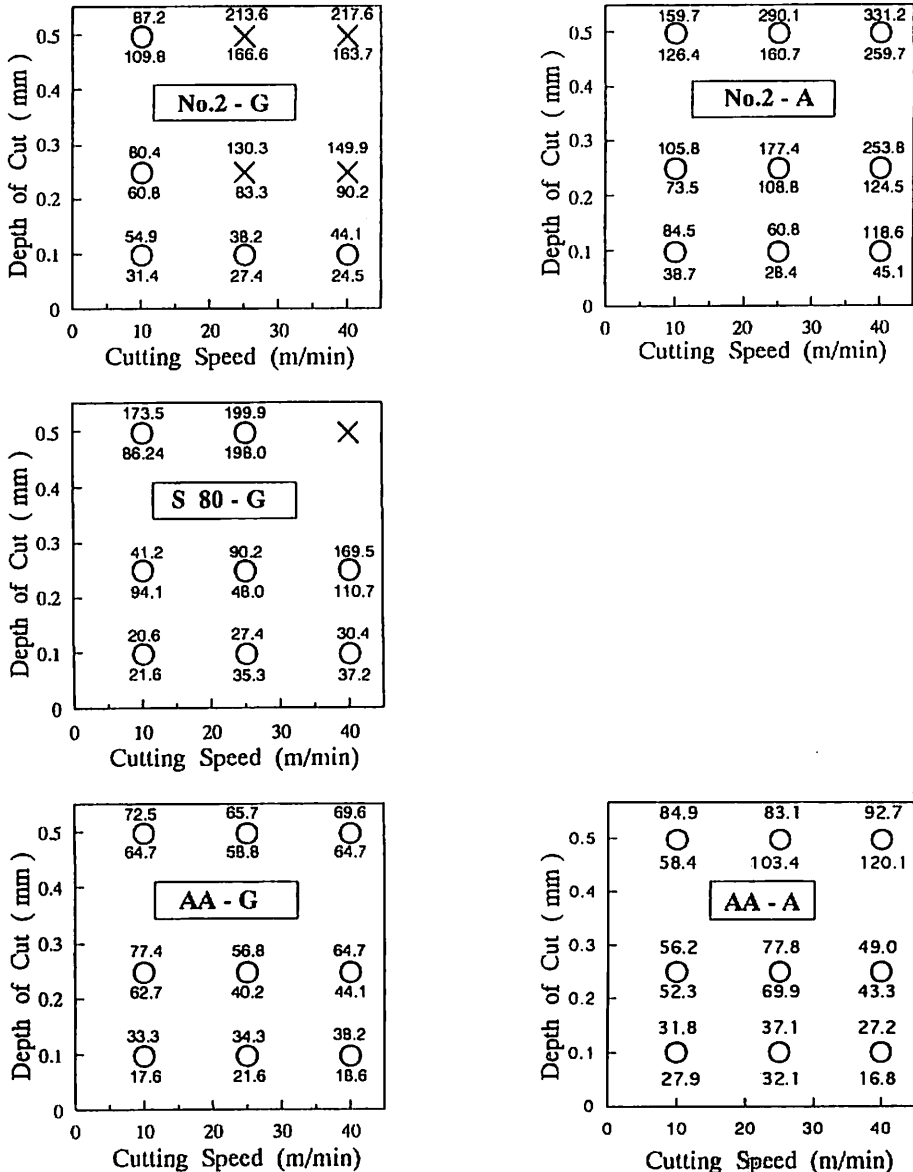


図9 切削条件と切削可能領域 (×印: 切削不良, 上段: 最大背分力, 下段: 最大主分力)

No.2 Gより大きくなっても，全領域で切削が可能であり，単純に硬さだけが切削状態を左右するものではないことを示している。

切削条件と主分力および背分力との関係を図10に示す。切込みの増加は工具刃先の接触面積が増すことになるので，各溶射材料とも切込みの増加に伴って，切削抵抗は増加している。切削速度の増加は，単位時間当たりの被削材除去体積の増加すなわち被削材除去に

要するエネルギー量の増加を意味し，直接的に切削抵抗に影響するよりは工具刃先および被削材の温度上昇に関係する。すなわち，軟らかいAAの場合には切削抵抗に対して，切削速度の影響は明瞭ではない。No.2 Gも切削速度の影響は，切込み0.25mm以上で若干見られる程度であるが，No.2 AおよびS80の場合は，切込み0.25mm以上で切削速度の影響も顕著に現れている。

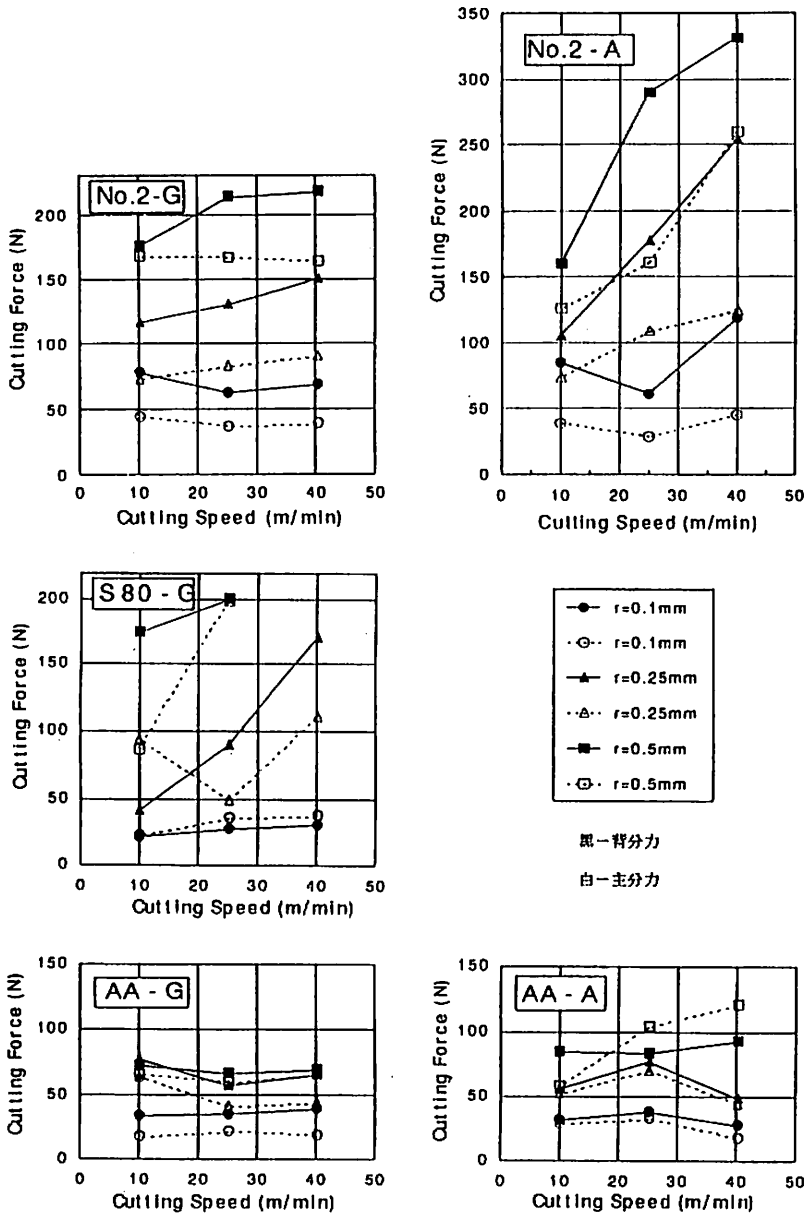


図10 切削条件と最大切削抵抗

3-3 切削切りくず

図11に各切削条件で得られた切りくずを示す。No.2 およびAAの場合には切削速度および切込みの増加に伴い切りくずが若干大きくなってきており、特にAA-Aでは、切込み0.25mm以上、切削速度25.1m/min以上で連続的な、らせん状の切りくずとなっている。S80はいずれの切削条件でも、切りくずの大きさは変わらず細かくなっている。

3-4 切削仕上げ面

No.2 GおよびAA-Aを切削速度25.1m/min, 切込み0.25mm, 送り0.1mm/revで切削した時の、仕上げ

面の状態を50倍で撮影した写真を図12に示す。どちらも切削方向の条痕が明瞭である。No.2 Gの場合、溶射皮膜特有の気孔を有する積層構造を切削したための凹みが多量に存在しているのに対して、AA-Aの場合は比較的滑らかな面であることが分かる。両者の切削面の最大表面粗さ(Ry)と算術平均粗さ(Rz)は、それぞれNo.2 Gで29.5μmと22.3μm, AAで12.0μmと5.6μmであった。

送り f (mm/rev), 工具のノーズ半径 r (mm) として理論仕上げ面粗さ R_{th} (μm) の式

$$R_{th} = 1000 f^2 / 8r \quad (1)$$

に f = 0.1, r = 0.8を代入すると、本実験での理論粗

No.2-G		切削速度 (m/min)		
		10	25	40
切込み (mm)	0.1			
	0.25			
	0.5			

No.2-A		切削速度 (m/min)		
		10	25	40
切込み (mm)	0.1			
	0.25			
	0.5			

S 80-G		切削速度 (m/min)		
		10	25	40
切込み (mm)	0.1			
	0.25			
	0.5			

5 cm

AA-G		切削速度 (m/min)		
		10	25	40
切込み (mm)	0.1			
	0.25			
	0.5			

AA-A		切削速度 (m/min)		
		10	25	40
切込み (mm)	0.1			
	0.25			
	0.5			

図11 切削切りくずの形状

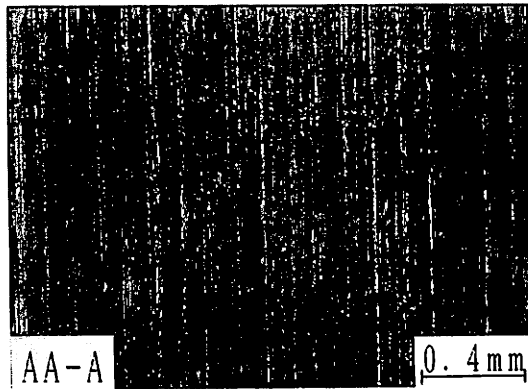
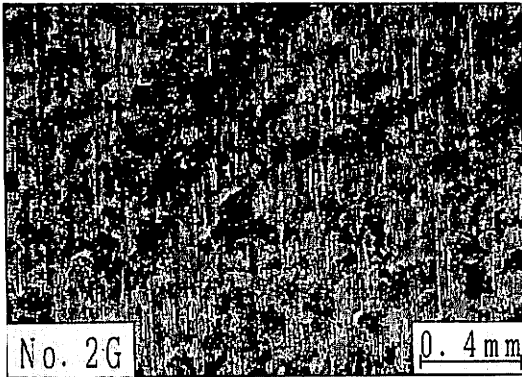


図12 切削面の写真例

さは約 $1.56\mu\text{m}$ となる。先に述べた銘荊らの実験⁷⁾では、良好な切削面の R_y は $5\mu\text{m}$ 程度となっていた。本実験の R_y は、最小のAA-Aで $4\sim 12\mu\text{m}$ ，AA-Gで $15\sim 30\mu\text{m}$ ，No.2およびS80で $20\sim 35\mu\text{m}$ の範囲にあり、理論粗さと実切削面粗さが異なるのは当然とし

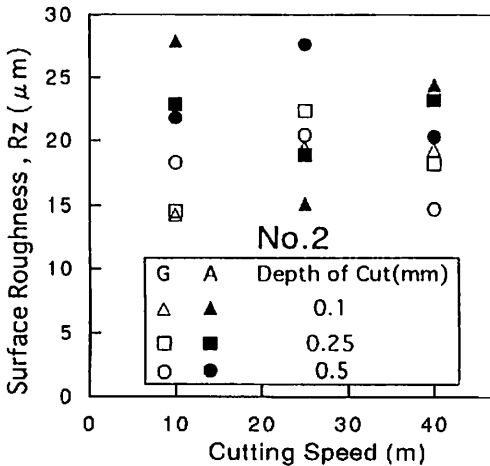


図13 13Crステンレス鋼切削面の算術平均粗さ

ても、溶射皮膜の切削面粗さは、皮膜の積層構造に由来して、理論粗さに比べはるかに大きくなっている。

No.2について算術平均粗さを求めた結果を図13に示す。(1)式から分かるように、理論表面粗さには切削速度も切込み量も関係しない。図13からは溶射方法の違いによる影響もうかがえるが、全体的に積層構造と気孔を有する溶射皮膜を切削したための、ばらつきと見るのが妥当であろう。そこで、各切削速度の3種の切込み面の算術平均粗さをさらに平均して図14に示す。同図からNo.2 AとS80Gの表面粗さが最も粗く、AA-Aが最も細かいことが分かる。

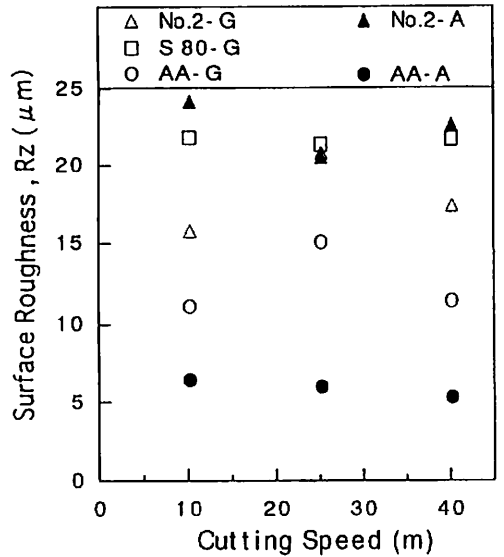


図14 各試験片の算術平均粗さの平均

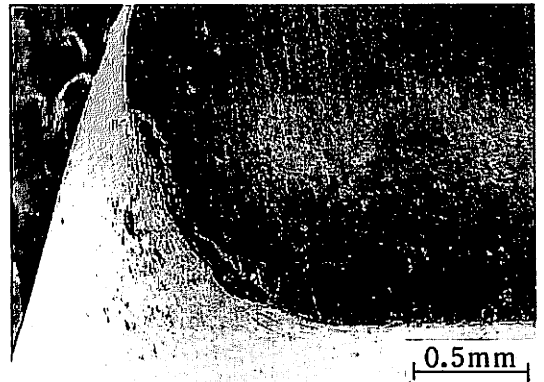


図15 切削試験後の工具刃先のSEM写真例
No.2 G, 切削速度: $10.1\text{mm}/\text{min}$, 切込み: 0.5mm , 送り: $0.1\text{mm}/\text{rev}$, 23m 切削

3-5 切削試験後の工具刃先

図15にNo.2 Gを切削速度10.1m/min, 切込み0.5mmで約23m切削後の刃先の状態を示す。切刃がチップングを起こしているが、この程度では工具寿命判定基準⁹⁾と照合すると、工具寿命にはまだ達していないと判断される。

4. まとめ

肉盛溶射皮膜の仕上げ加工に関する研究の第1報として、軟鋼丸棒にフレーム溶射あるいはアーク溶射した13Crステンレス鋼, 0.8%C共析鋼およびアルミ青銅皮膜をWC系超硬チップP20を用いて切削し、切削抵抗の3分力変化, 切削状況, 切削面の状況について検討した。得られた結果は以下のとおりである。

1) すくい角を負としているため、中実丸棒の難削材を切削する場合と同様に、背分力が主分力より大きくなっている。

2) 米国製13Crステンレス鋼のフレーム溶射皮膜は、切削速度25m/min以上, 切込み0.25mm以上の範囲で、切削状況が不良であった。日本製13Crステンレス鋼のアーク溶射皮膜は上述の皮膜より硬いが、全実験範囲で切削可能であった。

3) 0.8%C共析鋼のフレーム溶射皮膜は、13Crステ

ンレス鋼のフレーム溶射皮膜と同等の硬さであるが、切削不良範囲は狭くなっている。

4) 軟らかいAAの切削は良好である。

5) 仕上げ面粗さは溶射皮膜の気孔を含む積層構造に由来して、丸棒を切削する場合の理論切削面粗さよりはるかに粗い面となっている。

参考文献

- 1) METCO Inc.: FLAME SPRAY HANDBOOK (8th ed.), pp.A-87~A-103 (1969)
- 2) 日本溶射協会: 機械部品(シャフト類)の肉盛作業標準(OCC-3-1975)
- 3) 生田稔郎: 溶射技術読本(溶接技術別冊)第35巻別冊, pp.64-74, (1987-11)
- 4) 日本溶射協会編: 溶射ハンドブック, pp.400-458, (株)新技術開発センター, 1986
- 5) 例えば吉田邦彦: 超硬工具, p62, 日刊工業新聞社, 1967
- 6) 例えば津和秀夫: 機械加工学, p49, 養賢堂, 1973
- 7) 銘苅, 福本, 眞喜志, 平川: 日本機械学会沖縄地方講演会講演論文集, No.948-2, pp.122-125, (1994-7)
- 8) JIS B 0107 バイト用語 番号419