

# 研削加工におけるステンレス鋼の表面性状について (第1報)

— 平面研削における一般砥石と CBN ホイールとの比較 —

田中 秀穂・是枝 賢一・劉 英\*

(受理 昭和63年5月31日)

## Surface Quality in the Grinding of Stainless Steels (1st Report)

— Comparison with 19A, GC and CBN Abrasive Wheel in Surface Grinding —

Hideho TANAKA, Ken'ichi KOREEDA and Liu Ying.

Microcracks different type of usual grinding crack are generated in grinding of stainless steel according to the types of the material.

As they generate at depth of about 2-20  $\mu\text{m}$  from ground surface nearly parallel to the surface, and are very microscopic, they cannot be found possibly by naked eye. Therefore, it is apprehended that they lead to grave defect for actual products.

In this paper, to examine the effects in surface grinding on the ground surface quality, especially on the generating mechanism of the microcracks, 3 types of abrasive wheel were employed. The effects of 2 types of general abrasive wheels-19A and GC abrasive wheels-and CBN wheel that has attracted lately special interests as a beneficial wheel from a standpoint of ground surface quality on that quality were examined.

Following results were obtained.

- 1) Constraint conditions of stresses by grinding force were infirm, because of the readiness of temperature rise and elastic deformation due to small size of works. Therefore, "microcracks" were not observed in all grinding conditions employed.
- 2) Grinding surface temperature by CBN abrasive wheel is far lower than general abrasive (19A, GC) wheel.
- 3) Therefore, actual depth of cut is greater than theoretical one whereas do not occur like that in CBN abrasive wheel.

### 1. はじめに

筆者らのうち一人は、一般砥石 (40SH, 19A 砥石) によるステンレス鋼の円筒重研削において、ステンレス鋼の材種によって、研削面直下に従来の研削ワレとは異質の微小き裂が発生することを知った。

これは、表面性状を重視するステンレス鋼においては、耐食性、耐疲労性、および耐摩耗性などの点で、製品の実用価値を低下させる重大な欠陥となることを指摘した<sup>1)</sup>。

この微小き裂は、研削面の或る深さ (2~20  $\mu\text{m}$ ) の所に研削面にほぼ平行に入り、しかも、非常に小さいので肉眼では到底発見できない。

また、このき裂は、オーステナイト系の SUS304 には発生せず、マルテンサイト系の SUS403, SUS440C

---

\* 中華人民共和国  
安徽省機械科学研究所

Table 1 Test condition (Surface grinding)

Grinding machine	Surface grinder PSG-3A-D (OKAMOTO) 0.75KW	
Grinding wheel	A) 19A46KV75R B) 19A60KV75R C) 19A180KV75R D) GC180KV81R E) CBC170N75BW4	
	200×38×19	
	200×38×10 <sup>u</sup> × 3×20 <sup>r</sup>	
Work material	1) SUS403 Hv=440~490 370℃ air cooling after 1000℃ oil quenched 2) SUS440C Hv=650~680 150℃ air cooling after 1050℃ oil quenched height width length 15 × 4.5 × 40	
Grinding condition	Table speed fm/min	5
	Depth of cut Δμm	10, 20, 30, 40, 50, 100.
	Wheel speed Vm/min	2320
	Up cut, one pass	
Coolant	Emulsion 5%, 4l/min	

など、焼戻しによる炭化物の発生する材種に限られる。このことから、研削時の機械的応力により析出炭化物が応力集中源となり、き裂の発生を容易ならしめたと考えられ、熱応力に起因する従来の研削ワレとは異質のものであると考えるに至った<sup>1)</sup>。

そこで本報では、このき裂の発生機構を検討する目的で、種々の解析が便利である平面研削によって、上記の目的を達成させようと試みたものである。

すなわち、従来の一般砥石に比べてダイヤモンドにつぐ硬度を有し、卓越した熱伝導の良さから、仕上げ面性状に良好な影響をもたらす砥石として近年注目を浴びている CBN ホイールと、これと比較のために従来の一般砥石として 19A, G C 砥石を用いて、それぞれの砥石が研削加工層に与える影響を調べた。

## 2. 実験条件

表 1 に実験条件を示す。砥石 A), B), C), D) については各実験前ごとに、切込み 5 μm で 2 回砥石面を単石ダイヤモンドドレッサーでドレッシングし、砥石 E) については、ダイヤモンド電着ブロックで、ツールイング後、ホワイトストーンにて適当な砥粒突出し量（一般には砥粒径の 20~30% が適当といわれている<sup>2)</sup>）約 25 μm にドレッシングした。

なお、研削抵抗は接線方向 (Ft)、法線方向 (Fn) を研削動力計 (AST-ZGS-1) にて動ひずみ計を経て測定した。

加工変質層の観察は、検鏡面を HCl, 10cc, HNO<sub>3</sub> 10cc, ピクリン酸 1 g, エチルアルコール 90cc の溶液で化学腐食後、SEM によった。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 加工変質層の硬度変化

図 1 から図 3 は、各砥石による研削面に垂直な断面における硬度 (マイクロビッカース硬度) 変化を調べたものである。ここで、被削材素地の硬度を H, 加工変質層の硬度を H' として硬度比 H'/H で、研削面から深さ方向の硬度変化を示した。

図 1 の A), B), C) は 19A 砥石の粒度別の場合で、いずれも再焼入れ、再焼戻しを受けており、特に粒度の細かい C) の場合研削面近傍で焼戻しによる硬度低下が顕著であり、研削面の温度も高かったことが推察される。また、粒度が細くなるにつれ、加工変質層深さも深くなっている。

同図 D) は G C 砥石による場合である。当初 19A 砥粒より強度的に脆い G C 砥粒の方が鋭利な切れ味を示して熱的影響は少ないのではないかと予想していたが、

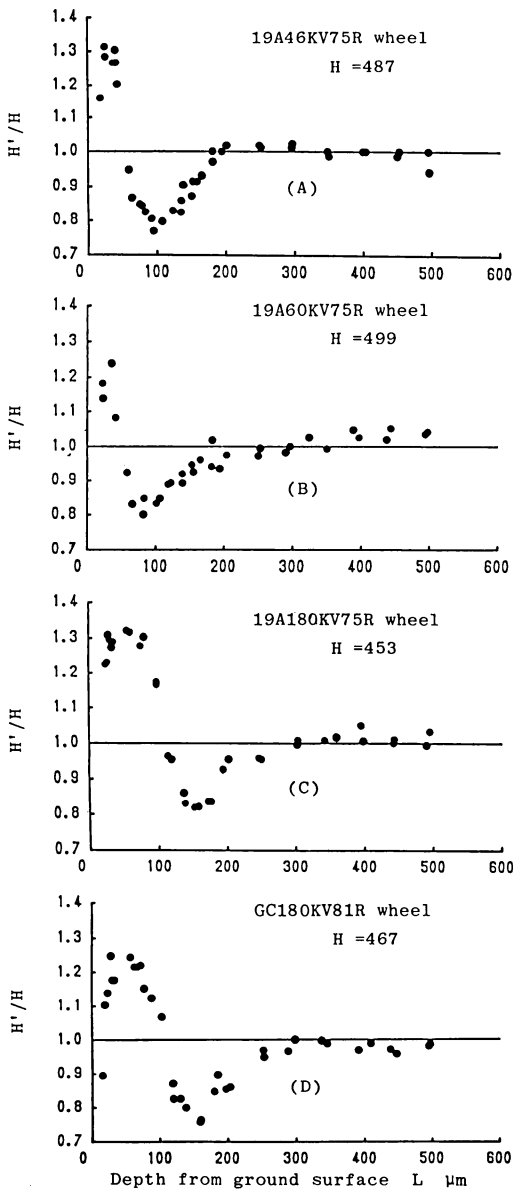


Fig. 1 Variation in hardness of work material (SUS 403,  $\Delta = 30 \mu\text{m}$ )

同図C)の同じ粒度の19A砥石の場合と比べて両砥石の間に明確な差異は認められず、むしろG C砥石の方が熱的影響は大きいようである。

図2は、CBNホイールによる場合である。図1の一般砥石の場合に比べ明らかに被削材に与える熱的影響は小さい。一般砥石の場合、 $20 \mu\text{m}$ の切込みで、すでに研削面に焼けを生じ、せいぜい $30 \mu\text{m}$ の切込みが

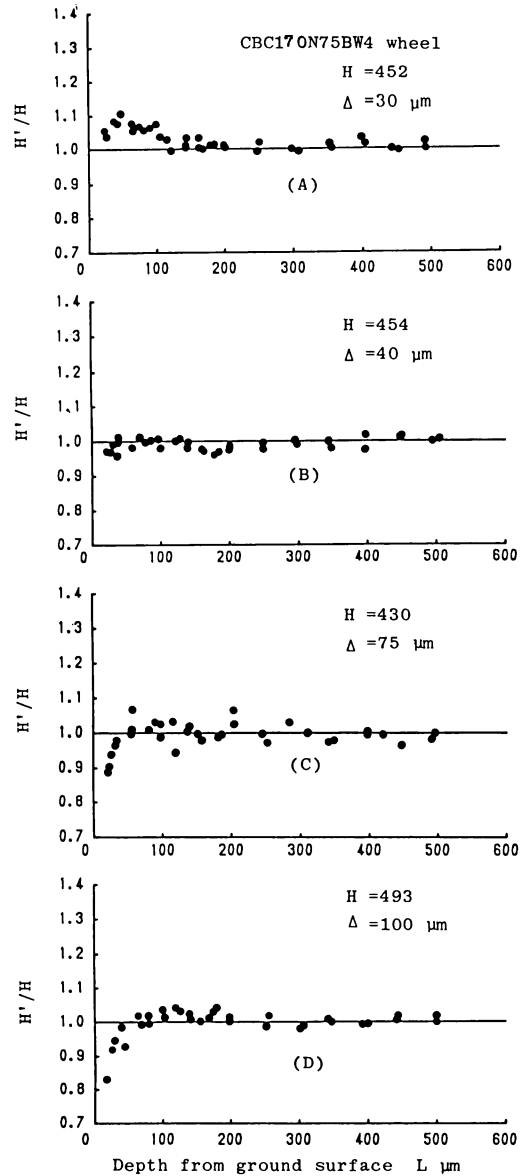


Fig. 2 Variation in hardness of work material (SUS 403)

限度であるのに対し、CBNホイールでは $100 \mu\text{m}$ の切込みが可能である。これはCBN砥粒の熱伝導の良さを顕著に示すもので（一般砥粒アルミナ系で熱伝導率は $0.033 \sim 0.126$ 、炭化けい素系で、 $0.067 \sim 0.167 \text{ kW/mK}$ であるのに対し、CBNは、 $1.3 \text{ kW/mK}$ <sup>3)</sup>と格段に熱伝導率に秀れている。因みにこれは銀の $0.411 \text{ kW/mK}$ に比べても約3倍程である。）被削材に与える熱

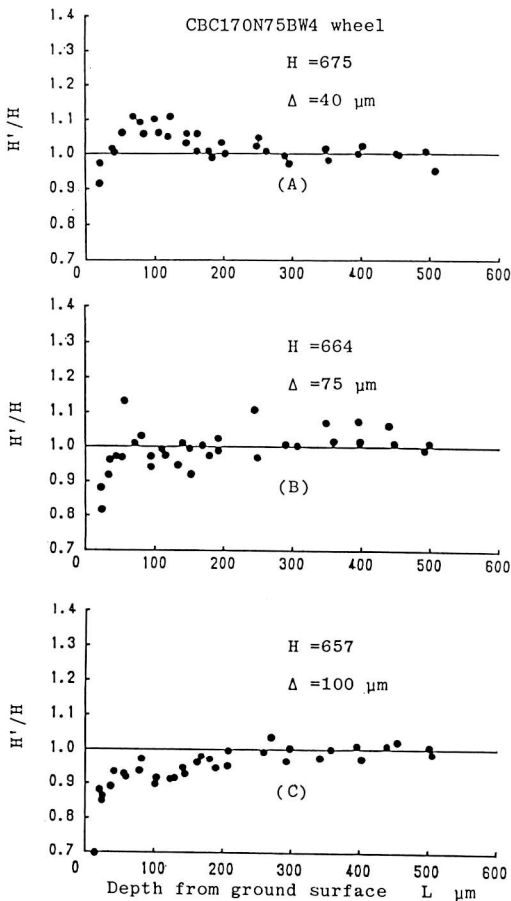


Fig. 3 Variation in hardness of work material (SUS 440C)

影響の小さいことを明白に示している。図から明らかなように切込み $30\mu\text{m}$ でも加工層における硬度変化は応力硬化層であることを示し、以後、切込みの増加につれ徐々に温度の影響が表れてくる。すなわち、切込み $40\mu\text{m}$ で加工表面層に僅かに硬度の低下が見えはじめており、切込みが $75, 100\mu\text{m}$ となるに及んで加工表面の軟化が徐々に進んでくるのがわかる。このことは図3のSUS440Cの場合も同じで、いずれも一般砥石より被削材に与える熱影響の小さいことが明白である。一般に焼入鋼における加工層は、研削力そのものよりもむしろ研削熱による影響の方が大きい<sup>4)</sup>といわれているので、このCBNホイールは焼入鋼の研削には最適であると考えられる。

### 3. 2 加工変質層の顕微鏡組織

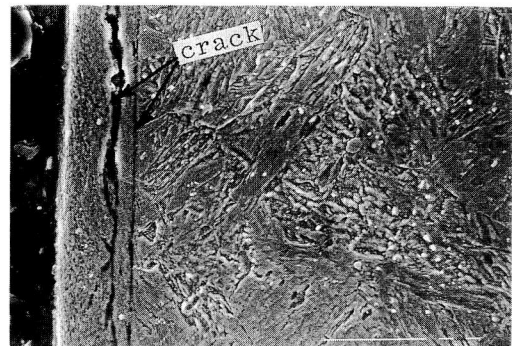
図4にさきに<sup>1)</sup>実験した加工変質層のSEM像の一例を示す。研削面下約 $7\mu\text{m}$ の箇所に微小き裂が見られる。これはオーステナイト系のSUS304には生じないマルテンサイト系SUS403, SUS440Cに生ずる独特のものである。

一般に、金属のころがり、すべり摩擦において摩擦面下のある深さの位置で摩擦表面に沿ったき裂の発生があることがよく知られている<sup>5)</sup>。図4のような研削面下に発生するき裂も、この摩擦時のき裂の発生機構に類似しており、研削中の砥粒による機械的応力(おそらくせん断応力と考えられる)がその原因と考えられる。すなわち、砥粒によって生ずる母材中の局所的な応力分布と応力集中源(析出炭化物)との相互的な作用によるものであろうと考える。オーステナイト単相のSUS304と異なり、SUS403, SUS440Cでは焼戻しに伴って炭化物が析出するので、これが応力集中源となり、き裂の発生が容易になるものと推察している。

本実験はさきに1.で述べたように微小き裂の発生機構を検討するのが目的であった。しかしながら本実験においては、採用した全実験条件に亘ってどの試料にも微小き裂は発生しなかった。

このことは、当初予想したとおり微小き裂の発生原因は熱的応力による一般の研削ワレとはその質を異にする機械的応力(特にせん断応力)によるものであることを裏付けるものと考えられる。

すなわち、本実験で採用した試料は、表1に示すよ

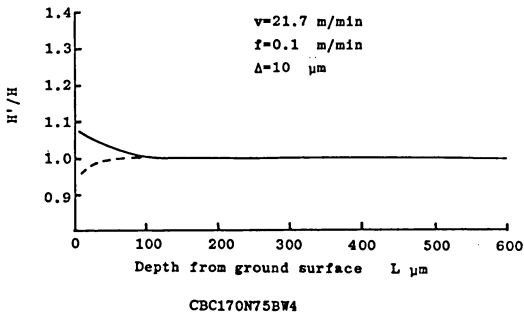


SUS 403

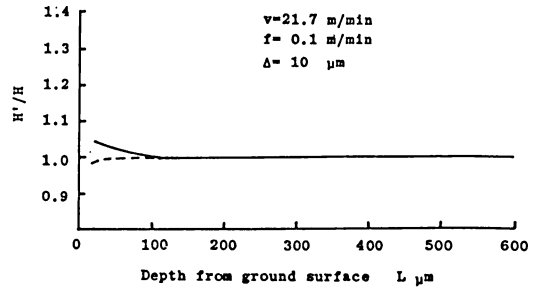
10  $\mu\text{m}$

$v=67.9\text{ m/min}$   $f=0.4\text{ m/min}$   $\Delta=120\mu\text{m}$

Fig. 4 Microstructure of damaged layer ground with 19A abrasive wheel



CBC170N75BW4



CBC170N75BW4

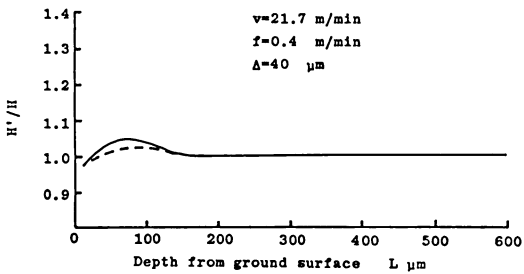


Fig. 5 Variation in hardness of work material (SUS 403)

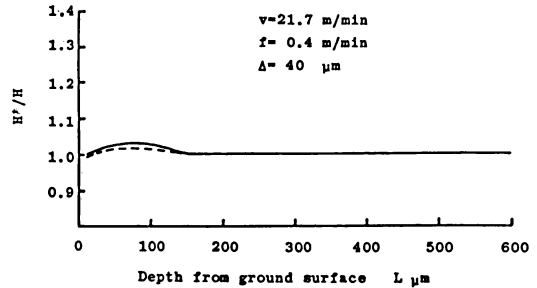
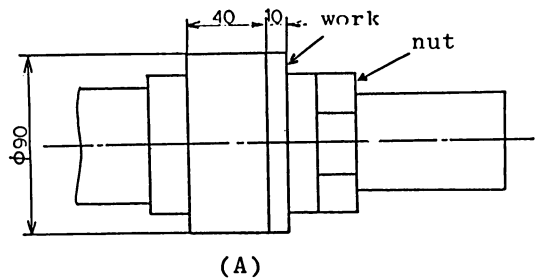


Fig. 6 Variation in hardness of work material (SUS 440C)

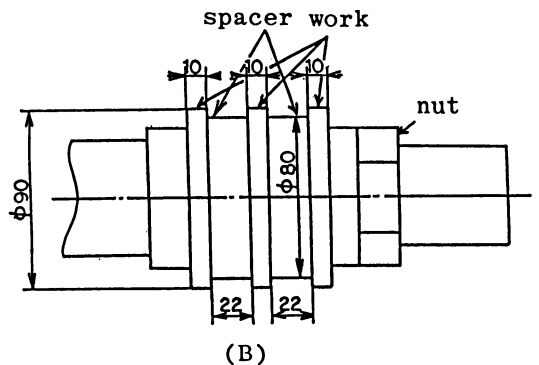
うに寸法的に小さい試料であり、熱容量的にも小さい。そのため、試料の研削面は温度があがり易く変形抵抗も小さい（一般砥石の場合）。一方、試料が小さく、また試料の工具動力計への取り付けもビス2個で締めつけられているので、研削抵抗（特に接線方向）により弾性変形し易いため、応力の拘束状態が弱く研削面での機械的応力（特にせん断応力）が小さくなるためと考えられる。

したがって、従来の研削フレが研削熱によって加工層内で相変態を生じそれと素地組織との体積差による熱応力に起因するものに対しては異質のものであろうと考えられる。

図5、図6は円筒研削時の加工部の硬度変化を示す。図中実線は、図7のA)に示す方法で被削材を固定した場合で、破線は同図B)に示す方法で固定した場合の硬度変化である。A)に比べB)の場合は研削抵抗による試料の弾性変形が容易であると考えられ、したがって応力の拘束状態も弱いものと考えられる。そのため、図5、図6の破線に示すように応力硬化の程度が低くなっている。このことから、被削材の温度上昇、応力拘束状態に与える被削材の寸法効果の影響を知ることができる。



(A)



(B)

Fig. 7 Work holder (in cylindrical grinding)

図8, 図9は, 本実験における加工変質層のSEM像の例である。いずれも微小き裂は発生していない。図8, A), B), C) の19A砥石による場合, A), B) の粒度の粗い場合, 焼戻し層の中に僅かではあるが, 表面に塑性流動層が見られる。粒度の細かいC) の場合, 塑性流動層は見られず, 表面の焼戻し層からかなり高温にあったことが伺い知れる。また同図D) のGC砥石の場合と同じ粒度の19A砥石の場合C), 図1の硬度変化に示す程の明確な差異は認められない。図9は, CBN ホイールによる場合である。図8の場合と比べて, 切込み $30\mu\text{m}$  の場合はもちろん, 切込み $100\mu\text{m}$  の場合も塑性流動が見られず, また焼戻しの程度も小さい。

### 3.3 研削抵抗および砥石切込み

図10は SUS403について実切込みと研削抵抗の関係を示したもので一般砥石19A, GC 砥石に比べ, CBN の研削抵抗ははるかに小さい。切込み増加とともに当然ながら研削抵抗は増加していくが, CBN ホイールの場合約 $50\mu\text{m}$  の切込みまではほぼ直線的に増加するのに対し, GC 砥石の場合, その増加度が小さくなり, むしろ抵抗が増加しない場合もあった。これは砥粒特性によるものであろう。

図11は, 実切込みと設定切込みの関係を示したものである。

一般砥石の場合, 実切込みが設定切込みより大きいという通常では考えられないことが起こった。これに

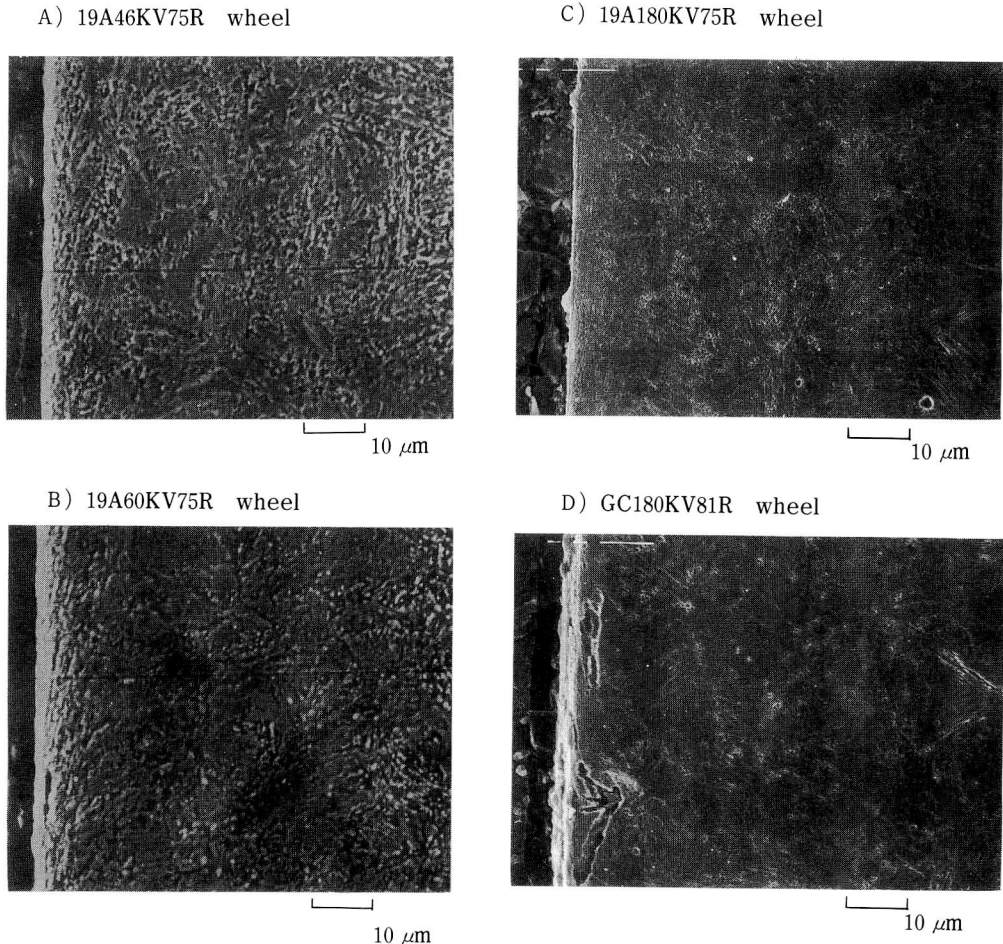


Fig. 8 Microstructure of damaged layer ground with 19A and GC abrasive wheels (SUS 403,  $\Delta=30\mu\text{m}$ )

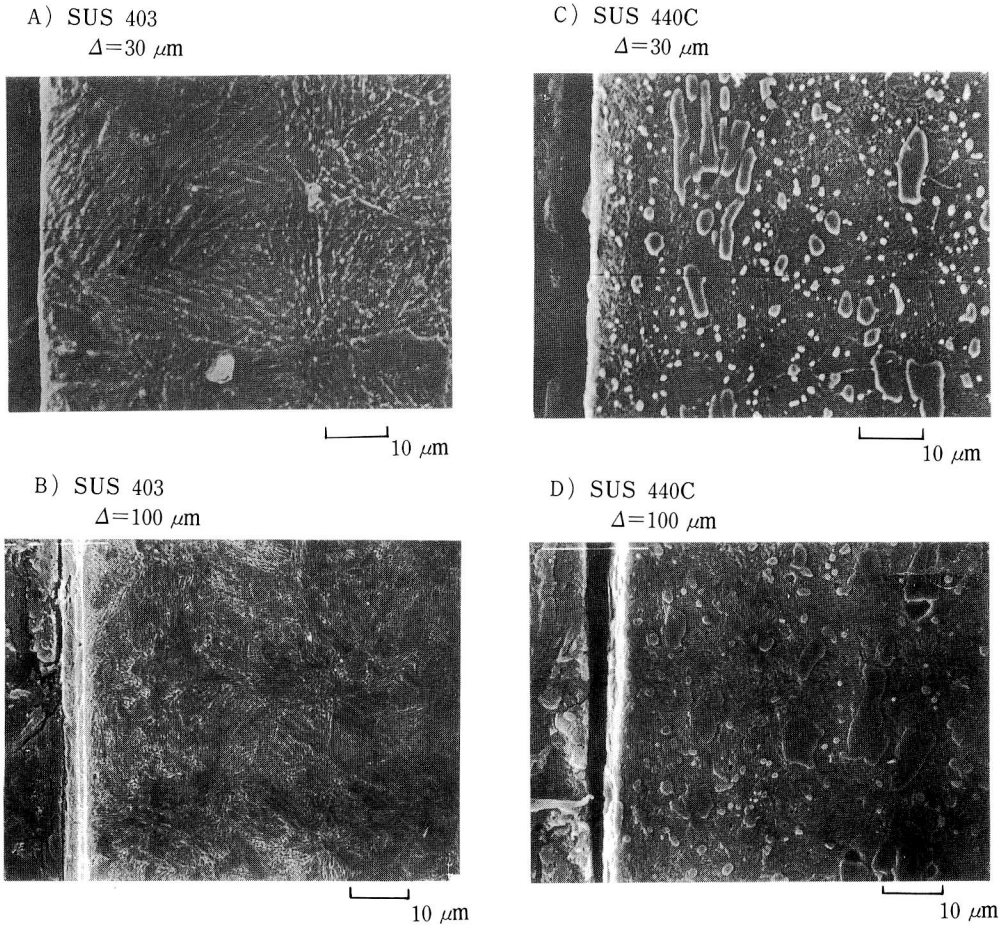


Fig. 9 Microstructure of damaged layer ground with CBN abrasive wheel (CBC170N75BW4 wheel)

対し、CBN ホイールでは、実切込みの方が小さかった。一般砥石の場合、おそらく研削熱による被削材の膨張のためであろうと考えられる。

いずれにしても CBN ホイールによるステンレス鋼の研削では、被削材への熱影響および研削抵抗等、その性能は一般砥石に比べはるかに秀れ、特に、寸法的に小さい被削材の場合、その効果は大きいと考える。

#### 4. おわりに

ステンレス鋼 SUS403, SUS440C を平面研削し、一般砥石 (19A, GC) と CBN ホイールとの研削面の表面性状に与える影響を調べ、つぎのことがわかった。

1. 試料寸法が小さいため、加工層内に微小き裂の

発生はなかった。

2. これは、研削抵抗による応力の拘束状態が弱いためと考えられる。

3. 一般砥石に比べ、CBN ホイールによる研削面温度ははるかに低い。

4. CBN ホイールの研削面への熱影響は試料寸法の小さい場合、特に小さい。

#### あとがき

本実験を行うに当たり、19A, G C 砥石および CBN ホイールの提供を受けた、ノリタケダイヤ (株)、ノリタケカンパニーに対し厚くお礼申し上げます。

また、末吉秀一助教授には種々貴重な助言をいただ

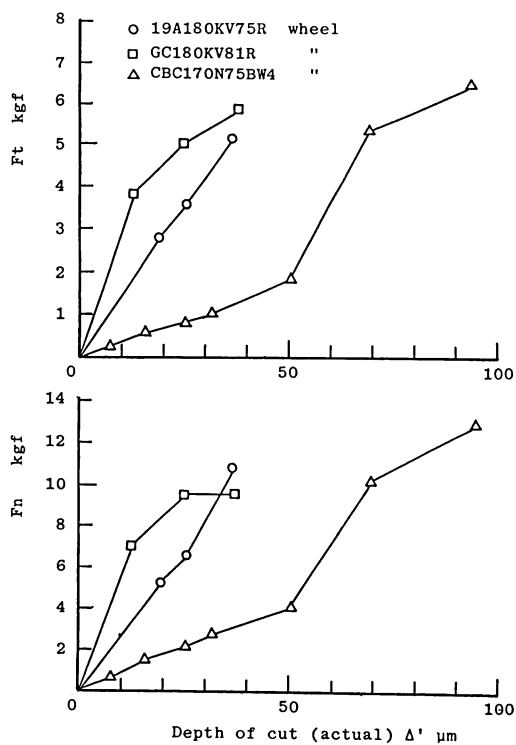


Fig. 10 Relation between grinding force ( $F_t$ ,  $F_n$ ) and depth of cut ( $\Delta'$ )

いた。当時の学生池山卓三、萩隆憲、脇田浩一の諸氏には実験の遂行に協力をいただいた。ここに厚くお礼申し上げます。

## 文 献

1) 田中秀穂, 末吉秀一: 砥粒加工学会誌, 31, 238, (1987), 13.

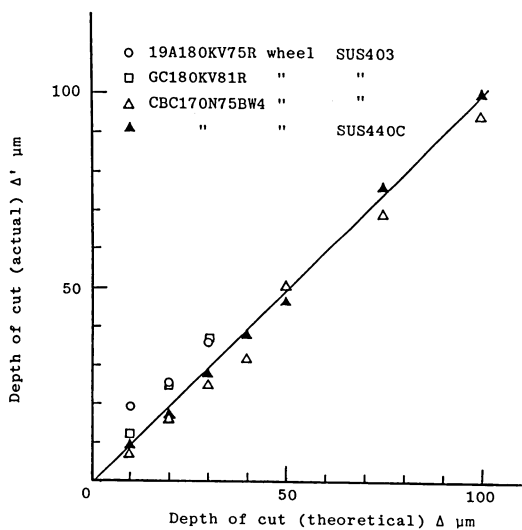


Fig. 11 Relation between  $\Delta$  and  $\Delta'$

- 2) 辻内敏雄: 機械と工具, 1985, 12, 36.
- 3) 横川宗彦, 横川和彦: ポラゾン CBN ホイールの研削性能-4, 機械と工具, 1985, 1.
- 4) 小野浩二: 研削仕上, 槇書店, P125.
- 5) 例えば, 加藤康司: 金属の摩耗機構, 日本金属学会会報, 22, 4 (1983), 302.