

高マンガン鋼に対する処理砥石の性能に 関する研究

田戸 保*・瀬戸雅文*・佐久間敬三**

Characteristics of Coated Grinding Wheels on High Manganese Steel

Tamotsu TADO, Masafumi SETO
and Keizo SAKUMA

Abstract

The grindability of High manganese steel, e.g. grinding wear, grinding ratio, grinding force, machined surface quality and grinding temperature are studied by the plunge grinding method with the coated grinding wheel.

It was found that the deformation of machined surface become smaller in the treated grinding wheel than in the normal grinding wheel. Especially, the effect of copper plated wheel was obtained at the rage of the high grinding speed, as compared to that with normal grinding. Also, the high value of the grinding ratio was given by the coated grinding wheel at the high grinding speed.

1. 緒言

高マンガン鋼は、すぐれた耐摩耗性、高じん性などのすぐれた機械的性質を有するため、土木機械や圧延機械などに広く利用されている。また非磁性材であることから近年は、核融合炉やリニヤモーターカなどの強い磁場を利用する構造物に適用され構造用非磁性鋼として注目されている。しかし、一方では高加工硬化性、低熱伝導率などの特性を有するがゆえに、被削性、加工精度の面において悪影響を与えることから難削材の1つとなっている。

著者ら^{1,2)}は、以前に金属めっきを行った処理砥石を用いて、被削材への熱的な影響を減少させ、加工表面温度、

加工変質層、研削抵抗などの測定から金属めっき処理の効果を見い出している。そこで本研究では熱的影響の受け易い材料である高マンガン鋼の研削加工を行い、研削量、砥石損耗量、研削抵抗、加工精度、研削温度などについて調べ、処理砥石の性能の検討を行った。

2. 実験方法、実験装置および使用機械

2.1 使用機械、研削砥石および研削条件

実験に使用した研削盤、研削砥石および研削条件については表1に、被削材の化学成分および硬さは表2に示す。とくに本実験では、熱的效果を調べる意味から研削砥石に銅めっき処理を行ったものを使用した。研削方式はプランジ研削(Up-cut方式)で、砥石周速度はめっきの処理効果を見るために広範囲(1000~2000m/min)に変化させた。

*宇部工業高等専門学校機械工学科

**福岡工業大学

2.2 温度および抵抗の測定方法

研削温度の測定方法としては、種々の方法が考案されているが、一般的な方法として、J. Peklenik³⁾や津和ら⁴⁾による熱電対方式がある。被削材に異種金属細線を挿入し、研削時に強制的に押し付けて接点を構成させ、その時に発生する熱起電力を測定する方法を本実験においても採用した。図1に研削温度の測定方法の概略を示す。研削抵抗の測定は前報⁵⁾に示した八角リング型動力計を使用した行った。なお、動力計の静剛性は $50\text{N}/\mu\text{m}$ で、固有振動数は垂直方向約 1.5kHz 、水平方向約 1.5kHz で、相互干渉は約3%の小さいものであった。

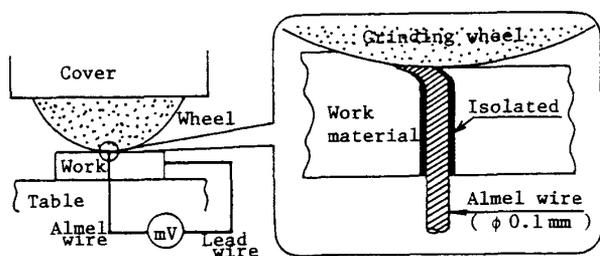


図1 研削温度の測定方法

Table 1. Testing condition

Surface grinder	Okamoto, Model PSG 2A	
Work material	Austenite manganese steel (0.25C-30Mn)	
Grinding wheel	WA100J7V (normal) WA100J7V (copper plated)	
Grinding condition	Grinding method	Plunge grinding (Up-cut)
	Grinding speed	1000, 1200, 1500, 2000 (m/min)
	Depth of cut	$10\mu\text{m}$
	Feed rate	23m/min
	Grinding fluid	Dry
Dressing condition	Dressing speed	3000rpm (0.2mm/rev)
	Depth of cut	$100\mu\text{m}$
	Dresser	Single grain (1.0ct)

Table 2. Chemical composition and Work hardness

	Chemical composition (%)					Hardness Hv (kg/mm^2)
	C	Si	Mn	P	S	
Manganese steel	0.24	0.49	29.6	0.009	0.005	165

3. 実験結果および考察

3.1 研削抵抗

研削抵抗は研削現象を取り扱う上での重要な状態量の1つであり、現象把握に非常に有効である。図2(a, b)は被削材を高マンガン鋼として、未処理砥石(一般の研削砥石)での各砥石周速度における研削回数と研削抵抗(接線方向, 法線方向)との関係を示したものである。図2(a)に示す接線抵抗の変化は、砥石周速度 $1200\sim 2000\text{m}/\text{min}$ において、研削回数の増加に伴って抵抗値も増大しているが、砥石周速度 $2000\text{m}/\text{min}$ はその増加割合が他の周速度に比較して非常に小さく、抵抗値も約 $1/2$ と低い値となっている。砥石周速度 $1200\text{m}/\text{min}$ と

$1500\text{m}/\text{min}$ は、ほぼ同程度の抵抗値であり、同じ増加傾向を示している。しかし、砥石周速度 $1000\text{m}/\text{min}$ では他の場合と全く異った抵抗変化を研削回数の増加に対して示している。すなわち、研削回数が20回までは抵抗値は増加し、それを過ぎると急激な抵抗値の減少を起し、その後は低値の状態に微増を示している。このように特徴ある変化は図2(b)に示す法線抵抗においても同様であった。この砥石周速度の違いによる抵抗値の変化は砥石損耗量、すなわち砥粒の摩耗形態の違いによるものと考えられる。

砥石周速度 $1000\text{m}/\text{min}$ では、研削回数が20回程度までは微小破砕をともなった摩滅摩耗であるが、その後40回までは砥粒の脱落を含んだ大きな破砕的摩耗を起すこと

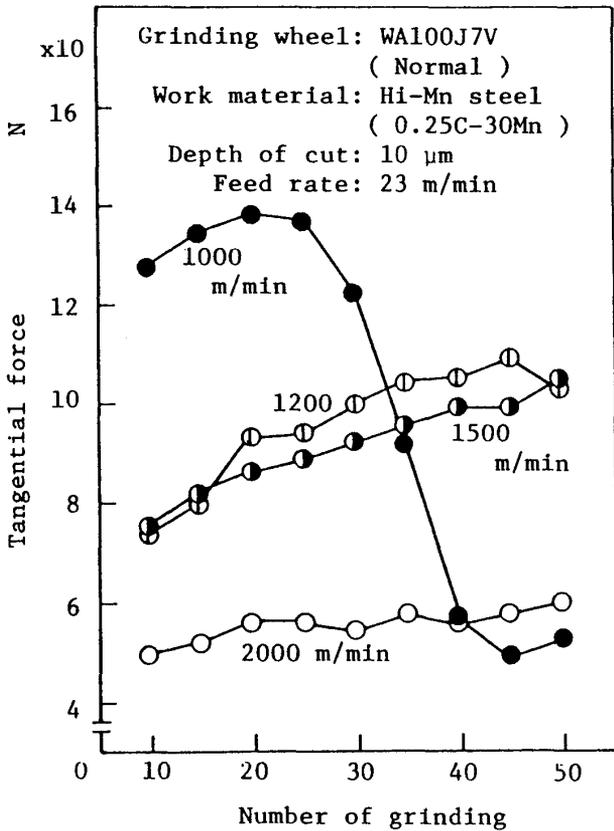


図 2 (a) 研削回数と接線抵抗との関係 (未処理砥石の場合)

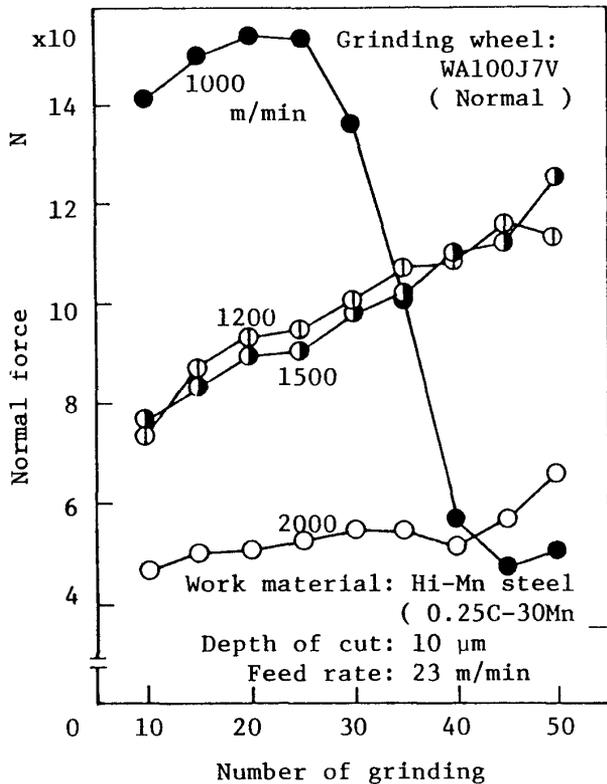


図 2 (b) 研削回数と法線抵抗との関係 (未処理砥石の場合)

から大きな抵抗値の減少が生じたものとする。砥石周速度1200, 1400m/minでは、1000m/minの初期研削時にみられた微小破砕が連続的に生じるため、抵抗値は研削回数の増加に伴って増大するものと考えられるが、砥石周速度2000m/minでの抵抗値の増大割合は微小なものである。これは砥粒の摩耗が摩滅によるものが主として作用することにあると考える。このように研削経過に伴っての抵抗値の変化は砥石周速度の違いによって増減現象を生じる。

砥石周速度1000m/minから1200m/minへと、わずかな速度増加で研削抵抗の変動が大きく異っていることは、高マンガン鋼に対しての研削速度、研削砥石による影響が考えられ、加工条件の選択には十分な注意が必要であることがわかる。また、図4に示す砥石損耗量、研削量の変化にも見られるように砥石周速度1000m/minでの砥石損耗量は、他の砥石周速度の場合に比較して、非常に大きな値となっており、約6倍の損耗量である。このように大きな損耗は前報⁵⁾に報告した砥粒の破砕現象に近いものであると考えられる。

図3 (a, b) は、銅めっき処理砥石 (以下銅めっき砥石) を用いて図2と同じように各砥石周速度で研削回数の増加に対しての研削抵抗 (接線, 法線) の変化を示したものである。本実験において、砥石周速度1000m/minでは砥石のかじり付きが大きいため研削困難となり中止した。銅めっき砥石での研削抵抗の変化は未処理砥石の場合に比較して接線, 法線方向とも全体的に抵抗値は大きくなっており、とくに研削回数25回前後までの抵抗値の増加割合が大きく値を示している。

接線抵抗は砥石周速度1200, 1500m/minでの研削初期値は未処理砥石に比較して、低い値を示している。研削回数当りの抵抗値は未処理の場合の約2倍で、研削回数が約25回まで上昇し、以後は1200m/minで低下、1500m/minでは微増の変化となっている。2000m/minでは10回程度の初期において大きく抵抗値は増大し、以後は未処理砥石の場合と同じように微小増大を生じる。法線抵抗においては接線抵抗と同じように1200, 1500m/minとも研削回数25~30回まで急上昇し、1200m/minでは16Nで一定となり、1500m/minではさらに増加傾向を示している。2000m/minは初期から一定の割合で抵抗値は増加を示している。

3.2 砥石損耗量, 研削量, 研削比

図4は各砥石周速度に対する砥石損耗量と研削量の変

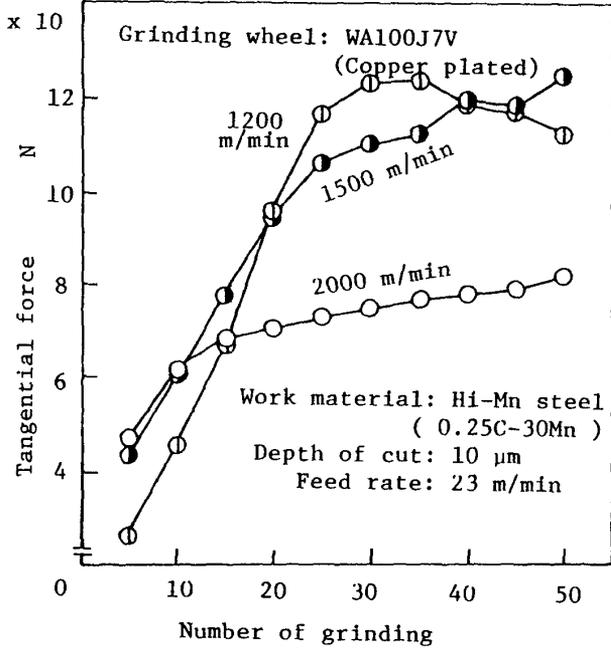


図3(a) 研削回数と接線抵抗との関係 (銅めっき処理砥石の場合)

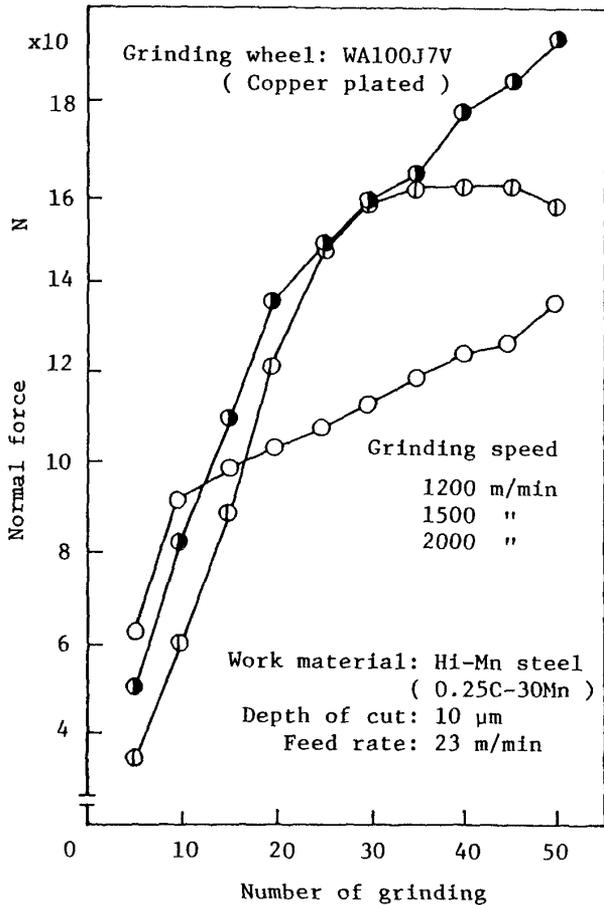


図3(b) 研削回数と法線抵抗との関係 (銅めっき処理砥石の場合)

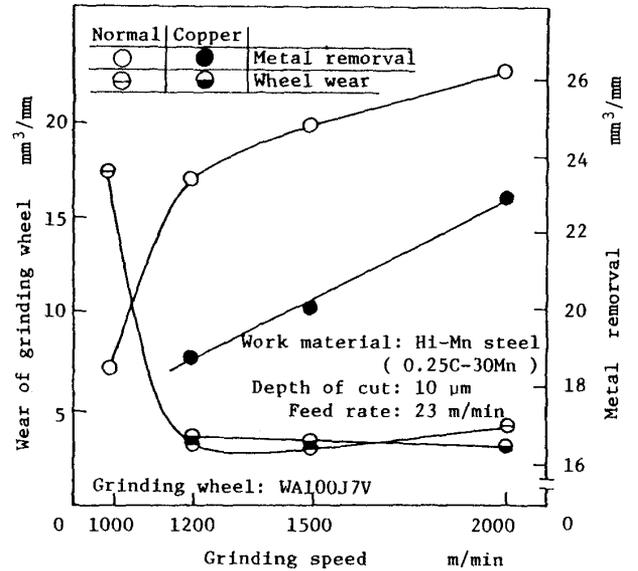


図4 砥石周速度と砥石損耗量, 研削量との関係

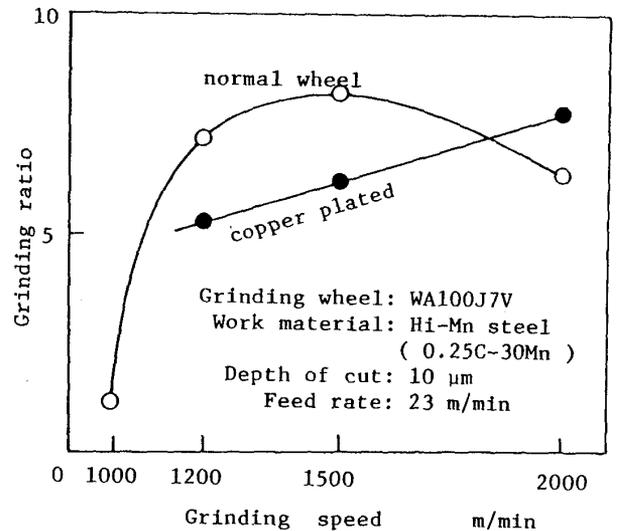


図5 砥石周速度と研削比との関係

化を示したものである。砥石損耗量は砥石周速度1200m/min以上において未処理, 銅めっき砥石とも大きな差異は見られなかった。未処理砥石での砥石周速度1000m/minにおいては非常に大きな砥石損耗量となっている。この1000m/minにおける大きな砥石損耗量は, 他の砥石周速度の場合に比較して約6倍の値となっている。これは前述の研削抵抗の変化に見られた研削回数30回以後の急激な抵抗値の低下, すなわち砥粒の大破碎現象に近い砥粒の脱落によるものと考えられる。また, 銅めっき砥石では1000 m/minにおいて, 研削初期から異常な研削抵抗の変化を生じることから途中で実験を中止している。これらのこ

とから、砥石周速度1000m/minと1200m/minのわずかな速度差において、このように大きな違いが生じることは、単に砥粒の摩耗現象からのみによるものではなく、被削材に対する砥粒の貫入の限界があるものと考えられる。研削加工は砥粒1個1個の切れ刃が被削材に貫入し、切りくずとして除去作用をすることから考えると、このわずかな速度変化においても被削材に対しての砥粒の貫入限界が存在するものと考えられる。高マンガン鋼のみに存在するものかどうかは今後の検討が必要であろう。

研削量は図5より、未処理、銅めっき砥石とも砥石周速度の増大にともなって増加しており、未処理砥石の場合、砥石周速度1000m/minを除いて、ほぼ直線的な増加傾向を示し、1000m/minは非常に低値の除去量である。銅めっき砥石においても直線的な増加を示し、未処理砥石の場合よりも砥石周速度の増大に対して、急な増加割合となっている。また、全体的に未処理砥石の研削量は銅めっき砥石より高い値を示しており、砥石周速度1200, 1500m/minでは比較的大きな差として表れるが、2000m/minの高速ではその差は少なくなっている。図5は未処理および銅めっき砥石での砥石周速度に対する研削比を示したものであるが、未処理砥石が銅めっき砥石より、砥石周速度1200~1800m/minの間では良い結果を示し、2000m/minの高速になると逆に銅めっき砥石が高い値となっている。研削比（研削量/砥石損耗量）から銅めっきの効果は高速域において認められるが、中速域では効果は

見られずむしろ未処理砥石が良い結果を表している。ただ本実験は乾式による研削加工を行っているため熱の除去作用による効果は少ないものと考えられる。

3.3 加工表面の変化

図6は研削直後からの経過時間と加工表面中心部の形状変位との関係を示したものである。研削後の最終時間は加工表面が室温になるまで長時間（約1時間）放置して行った。変位の測定は図中に示すように被削材の長手方向（研削方向）の中央部の位置（50/2mm）で行ったものである。各砥石周速度とも放置時間の経過につれて、加工表面はゆるやかな低下現象を生じており、1分間以内での低下割合は各砥石周速度とも比較的大きくなっている。各砥石周速度での変位は1000m/minが最も低下割合が少なく、2000m/minの場合が最も大きくなっている。研削後3分では砥石周速度1500m/min, 2000m/minとも変位に大きな差はみられないが、室温までの長時間後では約10 μ m程度の差として表れている。これら各砥石周速度に対する室温までの変化を未処理と銅めっき砥石について示したものが図7である。未処理砥石および銅めっき砥石とも砥石周速度の増加に伴って、ほぼ直線的に変位量が増大する。その変位量は通常速度域において銅めっき砥石を使用した方が、未処理砥石の場合より少くなる。とくに高速になるにつれて、その差は大きくなり、砥石周速度2000m/minで約10 μ mの差がみられる。研削後

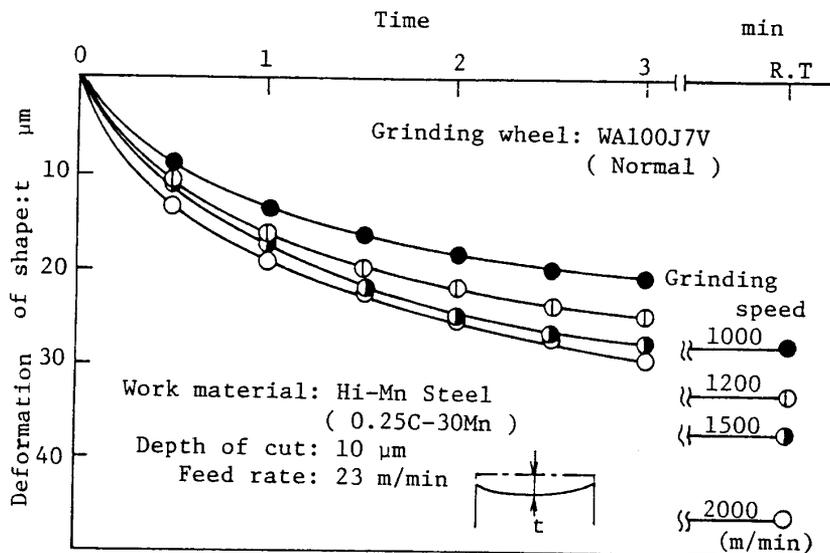


図6 研削加工後の被削材の形状変位
(未処理砥石の場合)

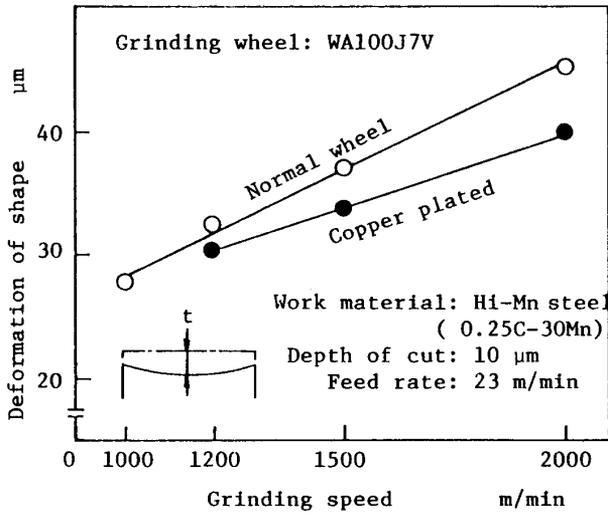


図7 砥石周速度と被削材の形状変位との関係

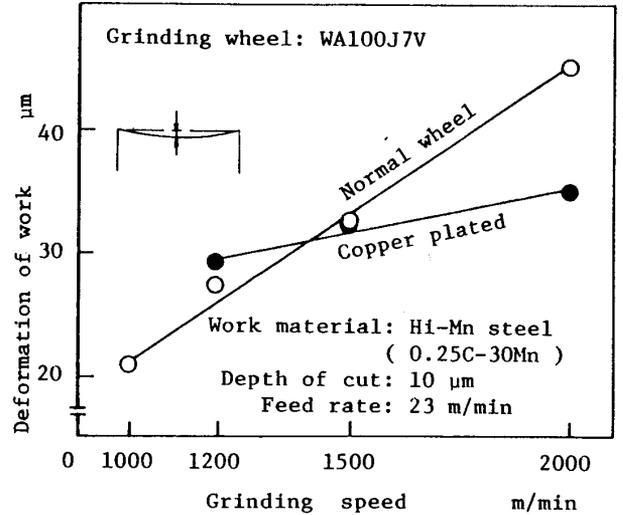
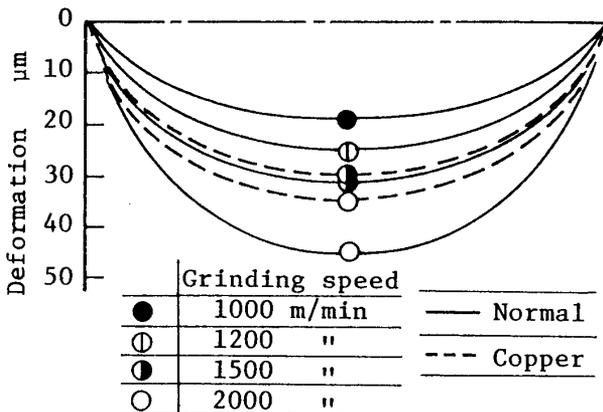
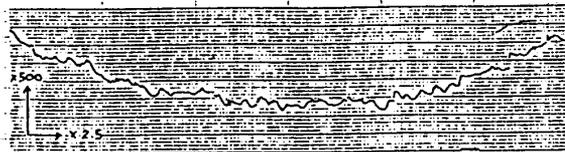


図9 砥石周速度と加工表面の形状変位との関係



Work material: Hi-Mn steel
 Depth of cut: 10 μm
 Feed rate: 23 m/min
 Grinding wheel: WA100J7V

図8 加工表面の形状変化（長手方向）

における長手方向（研削方向）の加工表面の形状を図8に代表例として示すが、図からも見られるように、なめらかな曲線を描いて中央部が両側よりも低くなっている。このように被削材は研削加工後大きく変形して中凹の形状となることがわかる。これらの変形量をまとめて、各砥石周速度と最大変位量との関係を示したのが図9である。未処理砥石と銅めっき砥石の場合について比較する

と、砥石周速度1500m/min付近を境として、変位の増加状態が異なっている。低速域では未処理砥石と銅めっき砥石において、ほとんど差異はなく、高速域では銅めっき砥石における変位量が少なくなっている。砥石周速度の増加に対しての変位量は両砥石ともほぼ直線的に増大している。

このように被削材の形状変位に対して、特に研削温度が高温になる高速度において、めっき処理による効果が見られる。これは研削時に発生する熱の配分割合が異なるためと考えられ、砥石、工作物、切りくずの主として熱は流れるが、銅めっき処理を行うことにより、砥石側への熱流入が多くなるために工作物側への熱流入は減少するものとする。以前に単粒研削¹⁾やクリープフィード研削²⁾の実験で行った結果とよく一致する。また、発生熱の多い高速において認められることは研削時に発生する研削熱の除去方法として有効であると言える。本実験では単純化して熱的影響を見るために乾式による研削加工を行っているが、研削液を供給することで、よりめっき処理の効果が表れるものと推察する。

3.4 砥石作用面あらかさ

図10は、砥石周速度と砥石作用面あらかさとの関係を示したものであるが、未処理砥石および銅めっき砥石ともほとんど差異はなく、5～8 μm程度の粗さの範囲内にあり、砥石周速度の増加とともに直線的に微減少している。砥石周速度1000m/minでは、40 μm以上の粗さ値を示しており、他の速度域での値の5倍以上の大きな粗さである。この大きな粗さは砥石損耗量、研削抵抗値などから推測

されるように砥粒の大破砕が原因となって、結果として砥石作用面粗さが大きくなるものと考えられる。加工表面粗さにおいても類似の傾向であり、高速になるにともなって微減少を示した。(図略)

3.5 研削温度

図11は研削回数と研削温度との関係を示したものであるが、図中の各研削温度の値は5回の研削回数の平均値を示している。未処理、銅めっき砥石とも各砥石周速度によって変化が生じている。

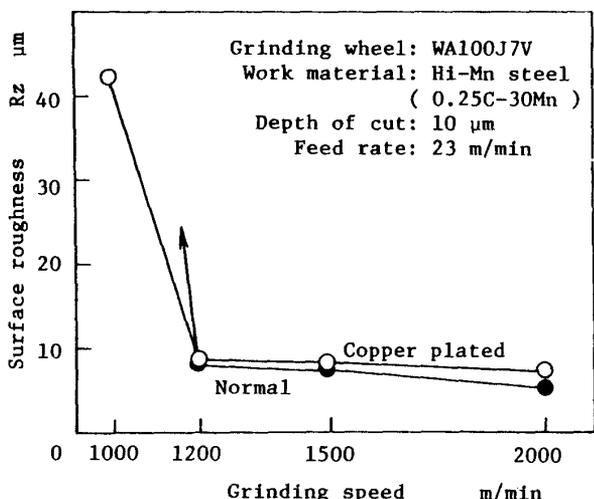


図10 砥石周速度と砥石作用面あらさとの関係

未処理砥石の場合、1000m/minと2000m/minでは研削回数の増加に伴って、研削温度は増大の傾向を示し、15回程度からは急な温度上昇となり、40回では急な減少を起している。また、1200m/minでは、研削回数による影響が少なく、全体的に微減少の傾向を示し、研削温度も500℃前後の値である。銅めっき砥石においては、1000m/minと1200m/minが研削回数の増加に対して、同じような温度変化を示し、1200m/minの砥石周速度が全体に150℃強の高い値となっている。その研削回数に対する温度変化は研削初期において低く、15回前後で高い値を示し、以後は両砥石周速度とも比較的大きな減少となっている。2000m/minでは、研削回数の増加にともなって、わずかな高低の変化はみられるが、全体としては研削温度は増大している。

以上のように研削温度は複雑な変化を示すことがわかる。1回1回の研削状態、研削条件、すなわち砥粒切り刃の作用状態により研削温度は大きく変化することが考えられることから、被削材の変位量、研削抵抗、砥石損耗量などと研削温度との関係については今後の詳細な検討が必要である。図11の研削温度の変化から比較的安定した研削状態は、未処理砥石の1200m/minと銅めっき砥石の2000m/minである。他の場合は研削温度に急激な高低の変化が生じていることから、砥粒の脱落(大破砕を含む)、摩滅などの現象が起っているものと考えられる。銅めっき砥石の1000m/minで40回に見られる300℃程度の研削温度は砥粒の脱落による影響であると考えられる。

4. 結言

高マンガン鋼の研削加工の実験において、銅めっき処理砥石の性能についての主な結果は次のとおりである。

- 1) 銅めっき処理砥石は被削材の加工精度(加工変位)を向上させる効果が認められた。とくに高速域の砥石周速度において有効であった。
- 2) 砥石損耗量については、ほとんど差異は認められず、砥石周速度2000m/minにおいて、研削比で銅めっき処理砥石が大きな値を示し、それ以下の速度域ではめっき処理の効果が認められなかった。
- 3) 研削抵抗(法線、接線)は、各砥石周速度とも銅めっき処理砥石の方が高い抵抗値を示し、研削回数に伴っての増加割合も大であった。

終わりの本研究にあたって、多大の援助をいただいた宇部高専名誉教授 横尾嘉道先生に厚くお礼申し上げます。

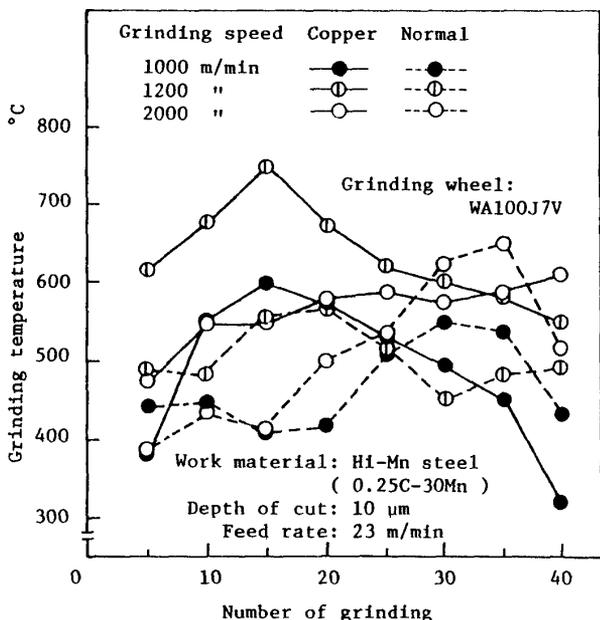


図11 研削回数と研削温度との関係

げます。

参考文献

- 1) 佐久間・田戸：日本機械学会論文集, 47-413(昭56), 67.
- 2) 佐久間・田戸：日本機械学会論文集, 48-431(昭57), 1068.
- 3) Peklenid, J. : Ind. Anz., 1-3 (1958), 10.
- 4) 津和・ほか2名：精密機械, 41-4 (昭50), 358.
- 5) Sakuma, K. Tado, T. : Bulletin of the JSME, 26 -213 (1983), 468.
- 6) Sakuma, K. Tado, T. : Journal of JSLE, No.5 (1984), 17.

(昭和62年9月20日受理)