

# 技術論文

## 粉体プラズマ肉盛法によるサーメット被覆層のトライボ特性

Tribological Characteristics of Cermet Coatings by Plasma Transferred Arc Powder Welding



溶接溶射技術開発室

加藤 治

Osamu Kato

溶接溶射技術開発室

宮崎 裕之

Hiroyuki Miyazaki

溶接溶射技術開発室長

吉村 武憲

Takenori Yoshimura

### 要 旨

皮膜剥離の恐れのない表面改質技術として有力視されるPTA肉盛法によるサーメット被覆層の熱間摩耗とところがり疲れ特性を調べた。その結果、熱間耐摩耗性はハイス系材質よりも格段に優れていること、また肌荒れに関連するところがり疲れに対しては炭化物のサイズを微細化することにより特性向上の可能性があることがわかった。今後さらに周辺技術が進展すれば、圧延ロールなどへの適用が充分可能である。

### Synopsis :

The hot wear and rolling contact fatigue characteristics of the cermet coatings by plasma transferred arc powder welding which is regarded as promising as the surface reforming technology, by which the separation of coating films is not feared, were examined. As the result, it was found that the hot wear resistance was markedly superior to that of high speed steel materials, and as for the rolling contact fatigue related to surface roughening, there is the possibility of improving the characteristics by making the grain size of carbides fine. Hereafter, if the peripheral technologies progress further, it can be sufficiently applied to the rolls for rolling and others.

### 1 緒 言

材料選定の自由度が高く、かつ、実用化がよく進んでいる表面改質技術に溶接肉盛と溶射がある。この溶接肉盛法の一つである粉体プラズマ（以下、PTA: Plasma Transferred Arc Powder Welding）肉盛法<sup>1)~3)</sup>は溶射法と比較するとTable 1のような特徴を有する。

このように、PTA法は溶射法に比べて母材からの剥離の恐れがないという大きな利点を持つために近年注目を浴びている。しかし、他の溶接肉盛法に比べると母材の溶け込み量が少なく、溶接速度は遅い。

PTA法の適用対象は広範囲に亘るが、ここでは熱間圧延ロールへの適用を考え、そのトライボ特性を初めて調査した。

圧延ロールに必要なトライボ特性は耐摩耗性、耐肌荒れ性であるが、さらに材質が円周方向、軸方向、さらに深さ

Table 1 Comparison between PTA and thermal spraying method

	PTA	Thermal spray
Thickness of coating	Several~10mm	Several 10~ Several 100 $\mu$ m
Raw material	Powder/metal, cermet	Powder/metal, cermet, ceramics, wire
Soundness and strength of coating	No porosity and no microcrack. Unhomogeneity between beads of weld. No peeling off	Some porosity and microcrack. Having of risk of peeling off

方向で均一でなければならない。PTA法はこの点の課題も残されているが、その解決には周辺技術、すなわち、粉

末の供給量コントロール技術、固体と液体の均一混合、アーキの安定化、および後処理などの進展に期待するほかない。

本報では、PTA 肉盛法で作成した3種類のサーメット材料を同じく2種類のハイス系材料と比較して、高温摩耗実験、および耐肌荒れ性評価のためのころがり疲れ実験を行なった結果について報告する。

## 2 実験方法

### 2.1 供試材

供試材は Table 2 に示す5種類である。いずれも PTA 法により、S35C/75mmφ、およびSS400/25mmφの丸鋼を母材として、その表層に2ないし3層盛をして素材を作成した。なお、Cr炭化物とNb炭化物はPTA法では通常用いられており、物性値は Table 3<sup>2)</sup> のようである。

Table 2 Used materials

Notation	Composition	Vickers hardness	Remarks
X3	Low C high speed steel	850~900	
H1	High C high speed steel	1000~1100	
CCR	50% Cr carbides with Co base alloy	500~600	Mixed powder
60NC	60% Nb carbides with Co base alloy	650~750	Mixed powder
80NC	80% Nb carbides with Co base alloy	700~800	Agglomerated powder

Table 3 Properties of carbides

Properties	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	NbC
Molecular weight	180.1	104.9
Bonded carbon (%)	13.34	11.46
Crystal	Orthorhombic	NaCl
	a : 2.82	
	b : 5.53	4.46
	c : 11.47	
Lattice constant (Å)		
Melting point (°C)	1890	3800
Density (g/cm <sup>3</sup> )	6.7	7.86
Hardness (Hv)	1300	2400

### 2.2 実験条件

#### 2.2.1 高温摩耗実験

高温摩耗実験は熱延ロールシミュレータとして知られている試験機<sup>4)</sup>を用い、Table 4の条件で行なった。摩耗量はプロフィールから摩耗深さを測定して求めた。

Table 4 Experimental conditions of hot wear test

Material of mated disk	S 45C
Temperature of mated disk (°C)	800
Temperature of test disk (°C)	500
Load (N)	98
Rotation speed (rpm)	700
Slip ratio(%)	22
Number of rotation	10000, 2000

#### 2.2.2 ころがり疲れ実験

ロールの肌荒れは主に、ころがり接触疲労による表層付近の炭化物の破壊に起因すると考えられる<sup>5)</sup>。そこで、ころがり疲れ実験は西原式摩耗試験機を用い、すべり0、相手片の接触巾を3mmとし、ヘルツの最大接触面圧を1770MPaとして、Table 5の条件で行なった。なお、本実験は供試材CCRと80NCのみについて実施した。

Table 5 Experimental conditions of rolling contact fatigue

Material of mated disk	SUJ 2
Contact stress(MPa)	1770
Lubricant	Cooling water
Number of rotation	250 thousands
Test temperature	Room temp

## 3 実験結果および考察

### 3.1 高温摩耗実験

試験後の表面外観を Fig. 1 に、そのプロフィールの測定結果例を Fig. 2 に示す。中央が接触部である。X3、H

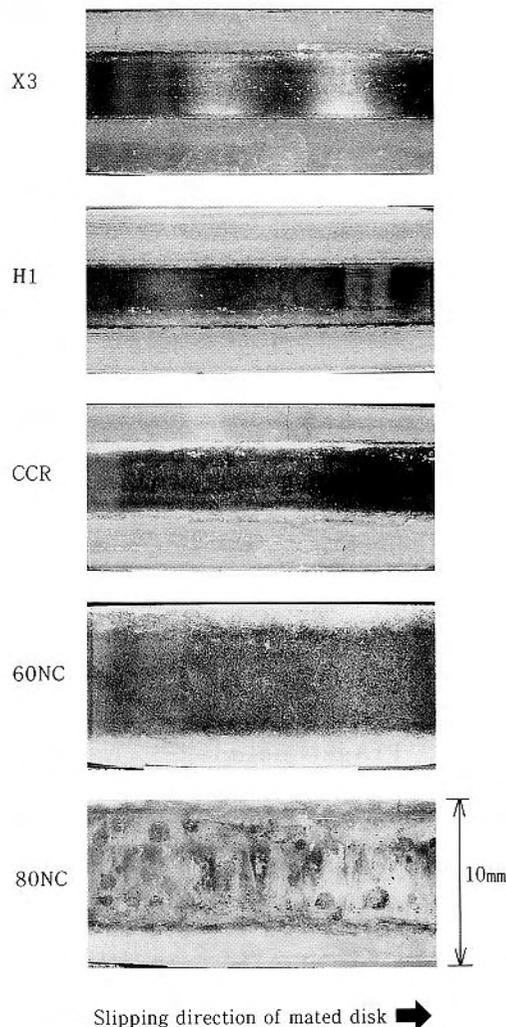


Fig. 1 Appearance of wear test disk (after 20000 rotations)

1、CCR には接触部に酸化膜が生成して、かつ、摩耗深さが大きい、60NC、80NC には酸化膜がなく、摩耗深さが浅い。

プロフィールから最大摩耗深さを、円周方向4ヶ所で読取って平均した結果を Fig. 3 に示す。これらの図から次のことがわかる。

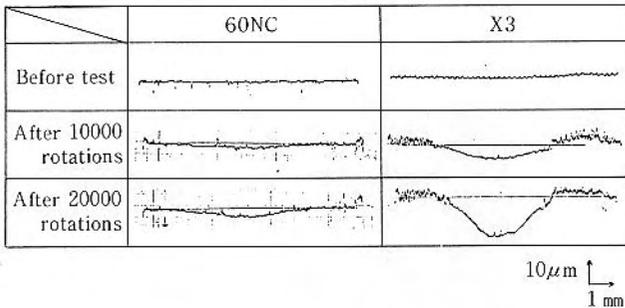


Fig. 2 Example of profile of wear test disk

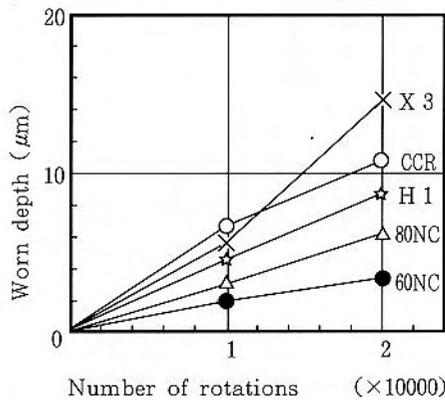


Fig. 3 Result of hot wear test

(1)同種のハイス材でも高C、すなわち、炭化物の量が多いほど摩耗量は少ない。これは、この摩耗機構をアブレーションとすれば<sup>6)</sup>、Fig. 4 からアブレーションの障壁となる炭化物量の違いの影響として理解される。すなわち、摩耗原因となるアブレイブ(砥粒)より硬い炭化物の面積率が高ければ材料はアタックされ難い。

(2)炭化物種類の影響としては、Cr 炭化物を含むものの方が Nb 炭化物を含む材料より摩耗量が多い。これは Cr 炭化物の方がより硬さが低い、あるいは靱性が乏しいためと推測される。

(3)炭化物サイズと量の影響としては、Nb 炭化物の場合のみであるが、量が多く、サイズが数~10μmと細かい方(80NC)が、量が少なく、サイズが数10~100μmと大きいもの(60NC)より耐摩耗性が劣る。この原因は判然としないが、炭化物が(1)で触れたようなアブレイブのアタックに耐えるにはある程度の大きさが必要なのではないかと推察される。

(4)今回の実験で最も摩耗量の少なかったサーメット系材料(60NC)は、高Cハイス系材料(H1)のおよそ2分の1

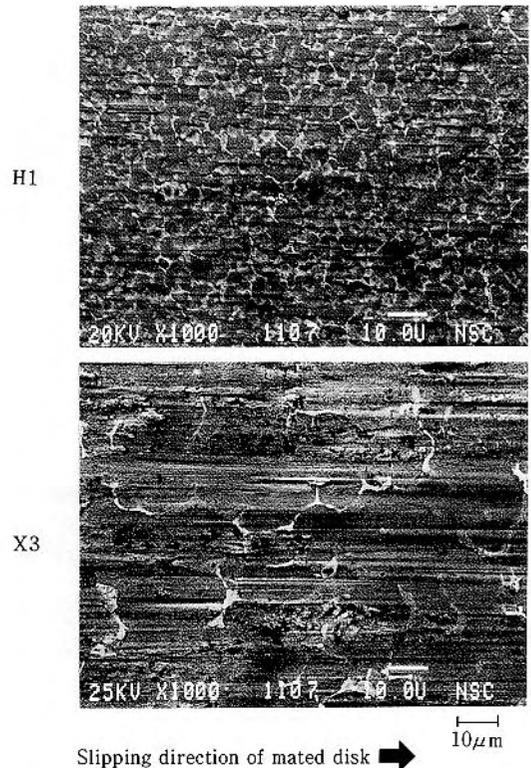


Fig. 4 Secondary electron image of wear test disk(1)

の摩耗量である。ハイス系の材料より耐摩耗性の優れた材料はこのようなサーメット系しかないであろう。

サーメット系材料についても摩耗試験後の表面をSEM観察すると、Fig. 5 のように、いずれもマトリックス部分のみに引っ掻き状の跡がみられ、この場合にも摩耗機構はアブレイブ摩耗であること、炭化物はアブレイブ作用の障壁となっていることがわかる。

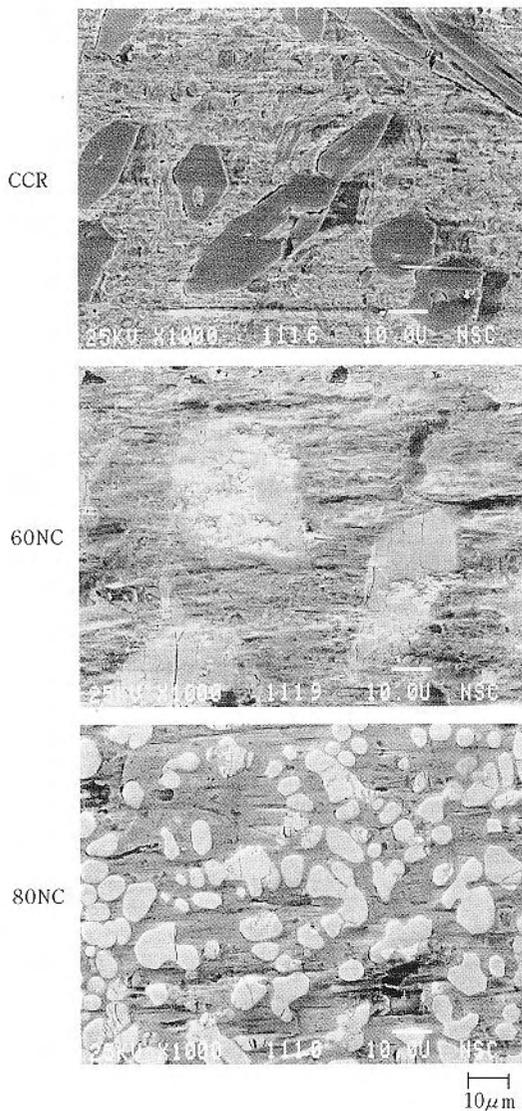
勿論、摩耗機構はこのように単純ではなく、マトリックスの強度靱性、表面酸化膜の性状なども影響しており、機械的摩耗のほかに化学的摩耗も熱間では特に寄与している可能性がある。事実、60NCの別の視野には、Fig. 6 に示すように相手片からの酸化鉄の移着が認められ、これが保護あるいは潤滑作用をしていることを否定できない。

### 3. 2 ころがり疲れ実験

通常ころがり疲れ実験は、表面疲労が生じるまでの寿命で判定するのであるが、その途中段階である回転数25万回で表層付近の炭化物の破壊状況をSEM観察した。その結果はFig. 7のとおりであり、表面直下の炭化物が破壊されているのが明瞭に認められ。その状況はCCRと80NCの材料間で次のような差異がある。

(1)いずれの試験片にも表面と表面から数10μm深さの間にある炭化物に、表面にはほぼ平行なラテラルクラックが観察される。これらは炭化物内部から発生して一部はマトリックス内部にも進展している。

(2)試験片CCRの方が同80NCよりクラックの数、長さともに大きい。これはCCRの炭化物サイズの方が大きいこと、



Slipping direction of mated disk →

Fig. 5 Secondary electron image of wear test disk(2)

およびCr炭化物の特性によるものと考えられる。

(3)クラックの認められる深さは、他の視野の観察結果も含めると、CCRが $60\mu\text{m}$ 以内、80NCが $20\mu\text{m}$ 以内であった。

熱延ロールに見られるクラックの生成原因の大きなものは熱疲労とそれに続くころがり疲労であるが<sup>7)</sup>、その発生源は炭化物であり、これらのクラックがマトリックス内に伝播して連結し、表層の一部が脱落することが肌荒れの原因であることはほぼ確かである。しかしながら、このような材料のマイクロ破壊力学は未確立であり、上記のクラックの深さの違いは現在では説明できない。ちなみに、従来の均一連続弾性体力学に基づいたヘルツ接触における $\tau_{\text{max}}$ の位置は約 $180\mu\text{m}$ であり、本研究で得られたクラック深さの数倍以上である。

また、クラックの位置が炭化物とマトリックスの境界ではなく、ほとんどが炭化物内部でへき開破壊のように生じていることは、境界強度の方が炭化物の強度より大きいこ

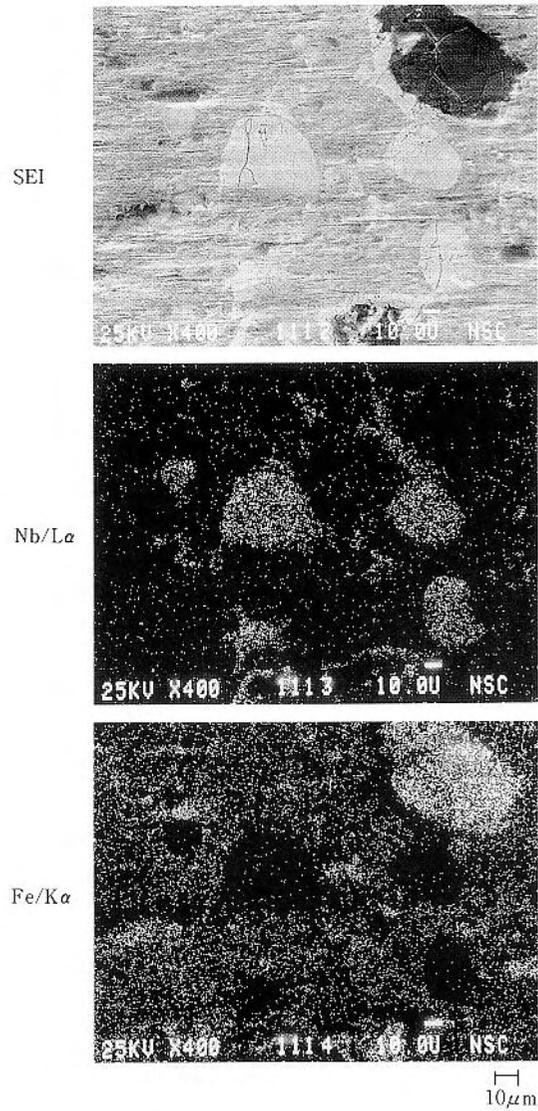


Fig. 6 EDS analysis of wear test disk 60NC

とを意味しており、破壊のクライテリア設定のためには重要な事実と思われる。

#### 4 結言

皮膜剥離の恐れのない表面改質法として有力視されるPTA肉盛法によるサーメット被覆層の熱間摩耗特性を調べたところ、圧延ロール材質として現在使用されているハイス系材質より著しく優れていることがわかった。また、定性的ではあるが、肌荒れに関連すると考えられるころがり疲れに対しても、炭化物の性状、サイズを適性化することにより十分な特性を付与できる可能性が大きい。

これらのことから、PTA肉盛法を圧延ロールなどに適用するために残された課題はその周辺技術である材質の均一化、および成膜能率の向上であろう。しかし、それら技術の進展を待つばかりでなく、本報で述べたような炭化物とマトリックスの最適設計指針を得るための基礎技術の蓄

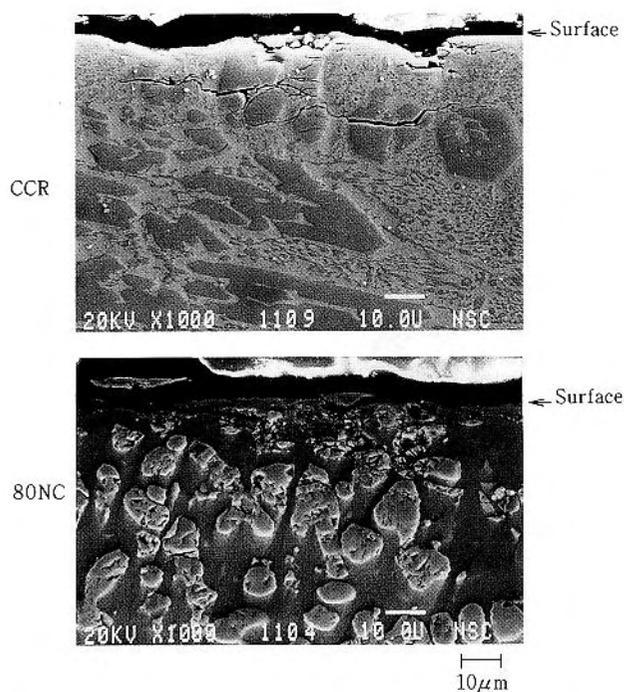


Fig. 7 Cross section of rolling contact fatigue test disk

積が肝要であると考ええる。

### 謝 辞

本実験の実施に当たり、高温摩耗試験機の借用を認め、実験に協力して頂いた新日本製鐵(株) 加工プロセス研究部(現圧延プロセス研究部)に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 加藤哲男, 竹中宥公: 鉄と鋼, 75 (1989), p.42
- 2) 安齋正博, 中川威雄: 鉄と鋼, 76 (1990), p.58
- 3) 富田友樹, 高谷泰之, 原田良夫: 日本金属学会会報, 31 (1992), p.1056
- 4) 中島浩衛, 大貫輝, 蓮香要: 昭和53年塑性加工春期講演論文集 (1978), p.181
- 5) Osamu KATO, Hiroyasu YAMAMOTO, Matuo ATAKA, Koe NAKAJIMA: ISIJ Int.32 (1992), p.1216
- 6) 加藤 治, 山本晋康, 安高松男: CAMP-ISIJ, 4 (1991), p.462
- 7) 加藤 治, 山本晋康, 安高松男: 日本潤滑学会トライボロジー会議予講集 (福岡, 1991-10), p.159