

## 7.2 粗粒WC及び高Co条件下での超硬合金の疲労特性

増田 峰知

### 1 緒 言

近年、WC-Co系超硬合金は、高硬度、高強度の優れた特性により、スローアウェイチップ等の切削工具をはじめ耐摩耗、耐衝撃工具などの幅広い分野に多く使われている。今後もその優れた機械的性質から利用分野は広がると考えられ、設計上必要な疲労データやその特性の把握が求められている。超硬合金の疲労特性に関しては原らを始め数例の報告<sup>1)~5)</sup>はあるが、いずれもWC粒径が2~3  $\mu\text{m}$ 以下の微粒の場合であり、粒径5~10  $\mu\text{m}$ 程度の粗粒WCを用いた材料は、疲労伝播が遅くなることが予想されるにも関わらず、その疲労特性は未知である。またCo量の変化に対応した疲労特性もほとんど知られておらず、Co量15~25%程度の高Co合金では、含有量が高くなるにつれ硬度が低下することは既知であるが、その機械的性質は高靱性の特性<sup>6)</sup>を示すことから、疲労特性が改善されることが期待される。

本報では、国立鈴鹿工業高等専門学校、マコトロイ工業株式会社と共同で、WC粒径、Co含有量を調整した試料を用いて、回転曲げ疲労試験によりそれぞれの条件においてSN線図（疲れ曲線）を求めた。さらに、一部試料については引張圧縮一軸疲労試験との比較を行うとともに、得られたSN線図より疲労特性について検討した。特にWC粒度とCo含有量の違いによる疲労特性の差異を考察した。

### 2 試料及び実験方法

供試材はCo含有量、WC粒径の条件(粗粒：5~10  $\mu\text{m}$ 、微粒：2~5  $\mu\text{m}$ )を変えて5種類作成し、硬さ(ロックウェルAスケール)、抗折力とともに表1に示す。試料の表面粗さは、2.1~4.7  $\mu\text{m R}_{\text{ms}}$ 程度であった。各水準の試験本数については、一般に14本の試料によりSN線図を作成するように推奨<sup>7)</sup>されているが、試料作製の困難さや本研究で

はSN線図の傾斜部を重視することにより各水準の試料数は10本ずつとした。また、実験の結果、明らかに異常値と思われるデータは棄却した。

表1 試料の特性

試料番号	1	2	3	4	5
WC粒径 ( $\mu\text{m}$ )	5~10	5~10	5~10	5~10	5~10
Co含有量 (wt%)	15.5	20.5	22.5	25.0	15.5
ロックウェル硬度(HRA)	85.4	83.8	83.4	80.6	87.7
抗折力 (MPa)	2590	2500	2880	2330	3383
比 重	14.04	13.62	13.42	13.19	14.02

SN線図は、小野式回転曲げ疲労試験機により作成した。試料の形状を図1に示す。試験条件は3400rpmとし、疲労限は試料が脆性材料であることを考慮し、繰り返し負荷回数を $10^8$ 回とした。

引張圧縮一軸疲労試験は、電気油圧型疲労試験

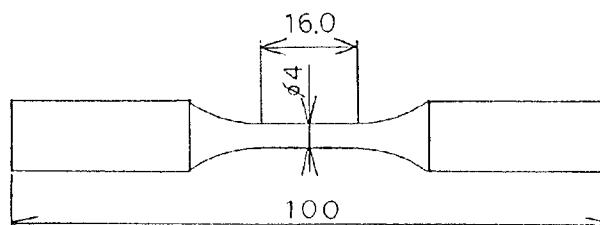


図1 試験片形状

機を用い、粗粒WC、Co量22.5%の試料について行った。試験条件は、完全片振り(応力比 $R=0$ )で行い、繰り返し速度30Hz、試験波形は正弦波とし、疲労限は繰り返し負荷回数を $10^7$ 回と設定した。

### 3 結果及び考察

#### 3.1 疲労特性

回転曲げ疲労試験による疲労強度と繰り返し負荷回数の関係を図2及び図3に示す。図2はCo量を変化させた場合(WC粒度：5~10  $\mu\text{m}$ )を示し、図3はWC粒度を変化させた場合(Co量：15.5%)を示す。疲労限として設定した繰り返し負荷回数 $10^8$

回では、いずれの試料においても明確な疲労限はみられなかった。

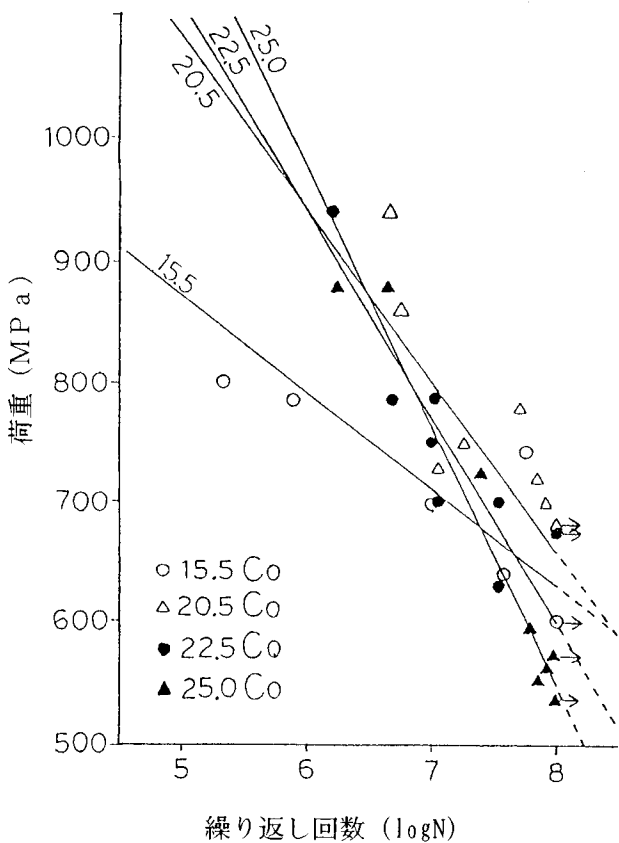


図2 Co量の違いによるSN線図

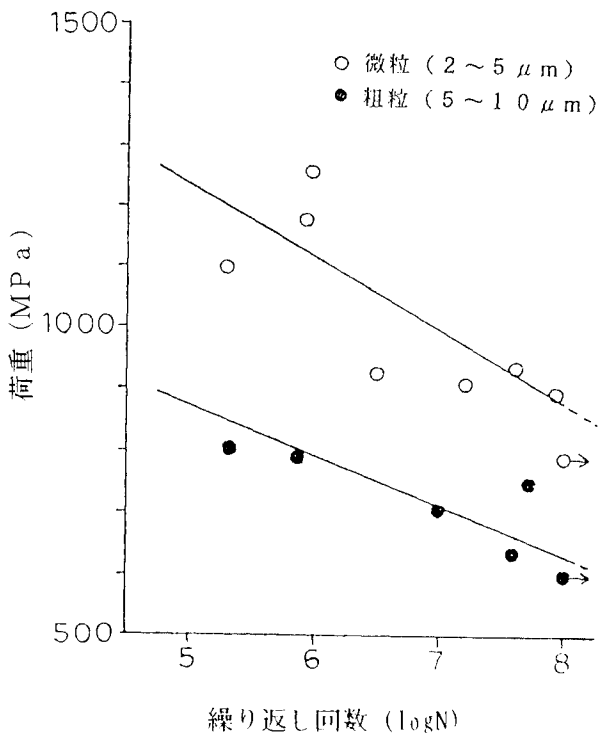


図3 WC粒径の違いによるSN線図

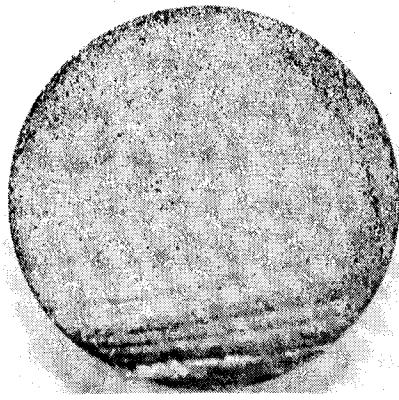
Co量の違いが疲労強度に及ぼす影響については、 $10^8$ 回での疲労強度は、Co量15.5、20.5、22.5、25%で、それぞれ640、660、630、550MPa程度となった。これらは、後述するWC粒度の影響と思われるが、過去に報告されている値より概して低い値であった。一般にCo含有量が高いほど疲労強度が大きい<sup>6)</sup>とされているが、本実験では、その判断は明確にできなかった。また、その疲労特性については、繰り返し負荷回数が少ない間に破壊する場合には、高Co合金の強度が大きい<sup>6)</sup>が、 $10^8$ 回での疲労強度は大差ないか、むしろ逆転していた。疲労特性としては、Co含有量が増えるほどSN線図の傾きが大きくなった。すなわち、高Co合金ほど繰り返し負荷回数が増えるにつれ、疲労強度の低下が大きくなる傾向がある。このことは、疲労破壊が主にCo相で発生し、同相を伝播するという報告<sup>1)</sup>と合致すると言える。

WC粒度の違いが疲労強度に及ぼす影響は、WC粒径が大きければ、疲労亀裂の伝播が遅れて疲労強度が上がる<sup>3)</sup>ことが予想される。富士原<sup>3)</sup>によると熱間静水圧処理をした場合は、微粒(WC粒径 $1.6 \mu\text{m}$ )合金に比べ粗粒(同 $2.8 \mu\text{m}$ )合金の方が高強度であるという。しかし、本実験では、図3より $10^8$ 回での疲労強度は、WC粒径 $2\sim 5 \mu\text{m}$ 、 $5\sim 10 \mu\text{m}$ で、それぞれ880、640MPa程度となり粒径が小さいほど疲労強度は高くなった。特に繰り返し負荷回数が少ないほどその差は顕著であった。鈴木<sup>6)</sup>によると抗折力はWC粒径 $1 \mu\text{m}$ 程度で最大になるとの報告もあり、回転曲げ試験が4点曲げ試験の繰り返し負荷である点を考えれば、疲労強度も抗折力と同様の傾向があると思われる。

### 3.2 破面特徴

図4に破面写真及びその参考図を示す。写真ではわかりにくいですが起点を中心に放射状に破断跡が拡がっており、抗折試験後の破断面に似ている。

また、最も靱性が高い25%Co試料においても延性疲労破面に見られるストライエーションは観察



起点

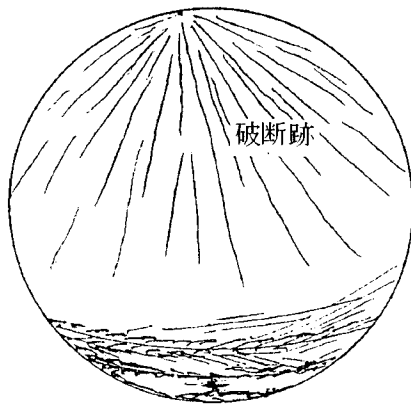


図4 疲労破面

できなかった。これらの観察結果から脆性的な疲労破壊であると判断される。

破壊の起点は、表面近傍（試料表面を含む）のCo相もしくは組織上の欠陥（WC粒の集合体、Coプール、混入異物）に分けられる。図5に表面近傍でCo相が破壊起点となった写真を示す。同図からWC粒子が粗粒であっても、微粒の場合同様マトリックスであるCo相から破断していることが分かった。また、組織欠陥を起点とするものうち、WC

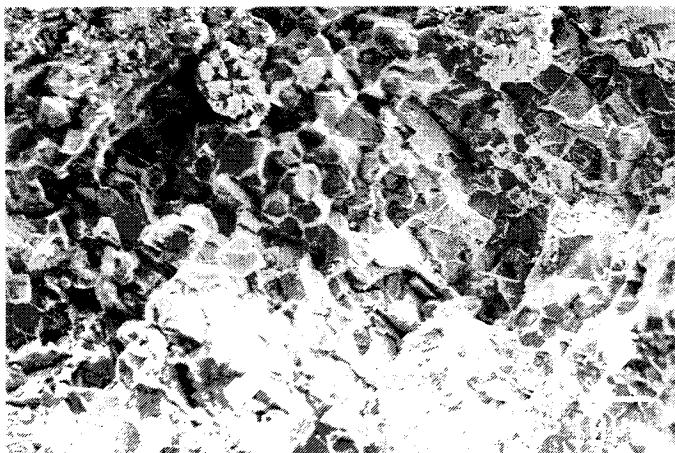


図5 起点のSEM観察

粒の集合体は、不均一組織により部分的にCoが欠けているもの、Coプールは焼結時に液相Coがポアに溜ったものと考えられる。いずれの場合も、焼結よりも粉体攪拌時の不均一性や、成形時の成形不良が原因と思われる。

### 3.3 引張圧縮一軸疲労試験との比較

粗粒WC、Co含有量22.5%の試料について引張圧縮一軸疲労試験結果を図6に示す。

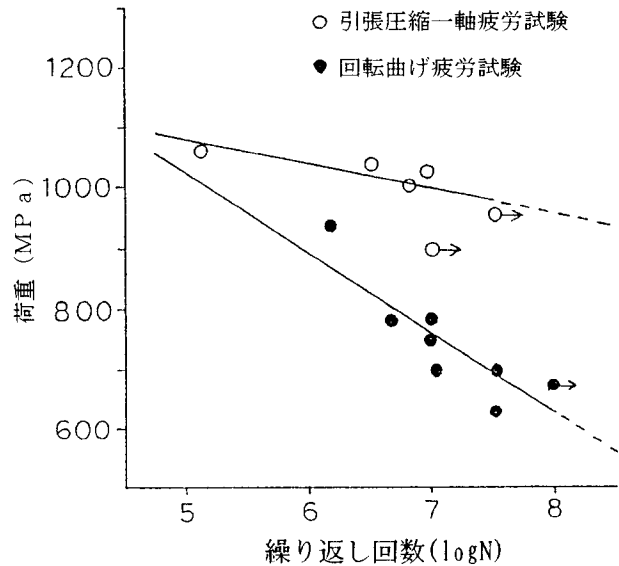


図6 試験方法の違いによるSN線図

$10^7$ 回での疲労強度は約1000MPaとなり、同組成、同繰返し回数の試料の回転曲げ試験による疲労強度は約760MPaで約24%低い値であった。

両試験の最大の違いは、引張圧縮一軸疲労試験では試料内部全面（試料表面を含む）に一律の応力が発生するが、回転曲げ試験では試料表面に最大応力が発生し、中心に向かうほど応力の発生は小さくなることである。この違いが疲労強度に最も影響する因子のひとつとして、表面粗さが考えられる。

これは、試験片内部（試料表面を含む）のいずれかの箇所のCo相から破壊が発生する引張圧縮一軸疲労試験と違い、回転曲げ試験片では表面のミクロな凹凸が、試料表面のCo相に発生する応力に影響するためと考えられる。

今回の実験を行うにあたっての予備実験においても、表面粗さの粗い試片では、かなり低い疲労

強度しか得られないことが、分かっていた。

このことは、表面に応力が発生することが予想される使用状況の場合、その表面粗度の管理が疲労寿命に大きく影響することを示している。WC粒度が粗い場合は、表面粗さに与える影響も大きく、本研究では行えなかったが、ラッピング方法の違いなどの影響を検討する必要がある。

### 3.4 疲労寿命予測

脆性材料の疲労寿命予測は極めて難しいが、疲労破壊のメカニズムがCo相の疲労と考えられるため、Co量が増えるにつれ靱性が増し、疲労寿命予測が可能になると予想される。

本報では、限られた試料数ではあるが、疲労限に達する前に破断したデータと1次式に回帰したSN線（回数は対数値）との差をばらつきとみなし、その2乗平均とCo量との関係を図7に示す。対象データが1試料当たり5～7点と少なく必ずしも定量的ではないが、Co含有量20%以上ではバラツキが少なくほぼ回帰線に近い値となった。このことは、高Co合金は、予想されたとおり、疲労寿命の予測が付き易く、寿命設定設計が可能になることを示している。

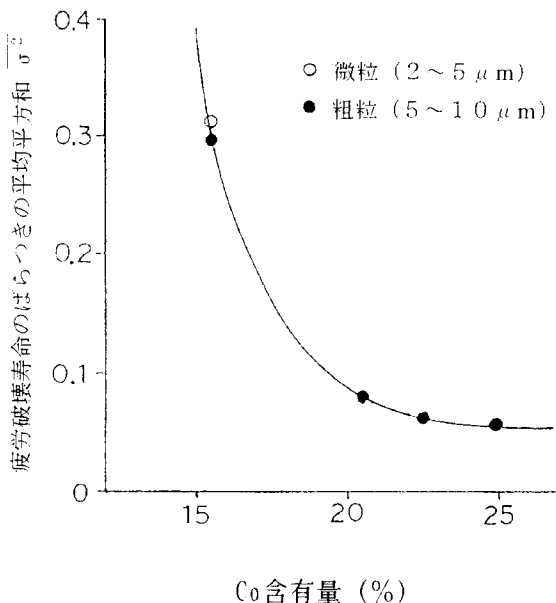


図7 量と疲労破壊寿命のバラツキとの関係

## 4 結 言

合金炭素量との関係などを考慮していない点などの反省点も残るが、本研究を通して以下の知見を得た。

- (1) 未知であった粗粒WC、高Co量の各条件においてSN線図、疲労強度を得た。
- (2) いずれの条件においても、繰り返し負荷回数が $10^8$ 回までには、明確な疲労限は検出できなかった。
- (3) Co量の違いについては、 $10^8$ 回での疲労強度に大きな差はないが、繰り返し負荷回数が少ない間に破壊する場合は、その差が大きく、高Co合金の強度が大きい。
- (4) WC粒度の違いについては、微粒WC材の方がより疲労強度は高い。
- (5) 破壊の起点は、Co相もしくは組織欠陥(WC粒の集合体、Coプール、混入異物)であり、疲労破壊面は脆性的であった。
- (6) 回転曲げ疲労は引張圧縮疲労に比べ、粗粒WC、22.5%Coの条件では疲労強度は約24%低い。この原因のひとつには、表面粗さの影響が考えられる。
- (7) Co量が約20%を超えると、疲労寿命の予測が可能である。

## 5 謝 辞

最後に、本研究を行うにあたり、共同研究者であり試料及びデータを提供していただいた鈴鹿工業高等専門学校教授三浦孝氏、マコトロイ工業株式会社市川輝夫氏に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 三宅、富士原、西垣：日本金属学会誌、32 (1968)、1128
- 2) 原、矢津：住友電気、No.100(1969)、136
- 3) T.J.Davies, S.Barhana：Planseeberichte fur Pulvermetallurgie, 20(1972)、30
- 4) 富士原、植田、正富、鈴木：粉体及び粉末冶金、27(1980)、181
- 5) 大塚、東郷、菅原、北条、植田：材料、36 (1987)、1361
- 6) 鈴木：超硬合金と焼結硬質材料、丸善、1986
- 7) 日本機械学会基準JSME S002-1981「統計的疲れ試験方法」