耐欠損性に優れる CVD 被覆超硬合金工具の開発

片山 昌¹⁾ 橋村雅之²⁾ 田中 拓²⁾
久保 祐治³⁾ 今村 博人^{**}

1. 背景

超硬合金に TiC-TiCN-Al₂O₃ などのセラミックスを CVD 被覆すると、耐摩耗性は著しく向上するが抗折力および断続切削時における耐欠損性⁽¹⁾⁽²⁾は逆に低下することはよく知られている。一般に、CVD 被覆することにより超硬合金の抗折力は 1.0 GPa 程度低下する。その原因は、超硬合金とセラミックスの熱膨張係数が相違しているために、CVD 被覆処理(1100°C)後の冷却過程時に被膜に引張残留応力⁽³⁾が発生するためとされている。

耐欠損性を向上させるための対策として、被膜との界面に近い基材の Co 含有量を高くすることにより破壊クラックの伝播を抑制する方法⁽⁴⁾⁽⁵⁾、WC 粒度を大きくする方法⁽⁶⁾、プラズマ CVD⁽⁷⁾を採用する方法等が報告されている。これらの方法により抗折力は 0.40 GPa 程度回復するとされているが、その効果は十分とは言えない。

著者等は、被膜中の引張残留応力を緩和する新しい方法を見出して、この技術を切削工具に応用する開発に成功した。

2. 引張残留応力の緩和方法

被膜に引張応力が残留しているとすれば、被膜は弾性変形しているはずである。図 1 に示すように被膜に幅 Δh の

図 1 被膜内応力解放の概念図。

* 新日本製鉄株式会社

1) 厚板条鋼研究センター主任研究員 2) 厚板条鋼研究センター担当 3) 未来領域研究センター担当

** 日鉄超硬株式会社技術部部長

Development of CVD Coated Carbide Tool with High Chipping Resistance; S. Katayama*, M. Hasimura*, T. Tanaka*, Y. Kubo*, H. Imamura** (*Nippon Steel Corp. **Nippon Hardmetal Co., Ltd.)

1991年1月29日受理

クラックを付与すると弾性歪($\Delta h/h$)が開放されると考えられる。弾性変形域ではフックの法則が適用できるので、引張残留応力の減少量($\Delta\sigma_R$)は次式により与えられる。

$$\Delta\sigma_R = (\Delta h/h) \cdot E \quad (1)$$

Δh : クラック幅 h : クラック間隔

E : 被膜のヤング率

この式から残留応力の減少量はクラックの幅を大きくする、間隔を小さくすると大きくなるのが分かる。

式(1)にクラック幅: $\Delta h = 0.01, 0.02 \mu\text{m}$, およびヤング率: 420 GPa (Al₂O₃), 441 GPa (TiC) を代入して求めた $\Delta\sigma_R$ と $1/h$ との関係を図 2 に示す。幅: $0.01 \sim 0.02 \mu\text{m}$, 間隔: $10 \sim 20 \mu\text{m}$ の微細なクラックを付与することにより、 $0.4 \sim 0.5 \text{ GPa}$ 程度の引張残留応力を開放出来ると予測される。CVD 被膜に残留する引張応力は 0.5 GPa 程度とされているので、その大半は微細クラックにより開放されると考えられる。

このことを検証するために、CVD 法により TiC を 1 層、および TiC-TiCN-Al₂O₃ の 3 層を被覆した超硬合金の被膜に間隔: $18 \sim 400 \mu\text{m}$, 幅: $0.01 \mu\text{m}$ 程度のクラックを付与して、被膜内の残留応力を X 線回折($2\theta\text{-sin}^2\Psi$ 法)により測定した。測定値から算出した残留応力の減少量($\Delta\sigma_R$)を図 2 をプロットした。式(1)によって与えられる直線上に測定値が分散していることから、CVD 被膜の

図 2 被膜内残留応力の減少量とクラック幅および間隔との関係。

引張残留応力は微細クラックにより緩和されることが分かる。

3. 開発工具の特性

CVD 被膜に微細クラックを付与した開発工具の特性を以下に示す。

(1) 被膜のクラック寸法

図 3 および図 4 に既存の CVD 被覆超硬工具と開発した CVD 被覆超硬工具の被膜表面から見たクラックを示す。開発工具の被膜クラックの特徴は間隔が $18\ \mu\text{m}$ と著しく小さい点にある。既存工具被膜のクラックは間隔が $400\ \mu\text{m}$ と大きい。いずれの工具の場合もクラック幅は $0.01\sim 0.02\ \mu\text{m}$ 、長さは膜厚と同程度である。

(2) 抗折力

図 5 に JIS, B-4104 法により測定した抗折力を示す。既存の CVD 被覆超硬合金の抗折力は基材のそれと比較してほぼ $1.0\ \text{GPa}$ 低下している。開発した CVD 被覆超硬合金の抗折力は既存の CVD 被覆超硬合金のそれと比較して $0.7\ \text{GPa}$ 大きく、基材の抗折力に近い値まで回復している。

図 3 CVD 被覆表面からみたクラックの光学顕微鏡写真腐食液： HNO_3 (33 vol%), HF (1 vol%), H_2O (66 vol%)。

図 4 CVD 被膜表面クラックの透過電子顕微鏡 (TEM) 写真 (開発工具)。

図 5 TiC-TiCN- Al_2O_3 被覆超硬合金の抗折力。

(3) 断続旋削時の耐欠損性

工具の耐欠損性は断続切削により評価した。被削材の鋼種は機械構造用炭素鋼 (S45C) である。被削材は軸方向と平行に 5 本の溝を等間隔に付した直径 $80\ \text{mm}$ の丸棒である。溝の寸法は、幅： $10\ \text{mm}$ 、深さ： $15\ \text{mm}$ である。工具逃げ面の欠損幅が $300\ \mu\text{m}$ になるまでの工具と被削材の溝との衝突回数をもって耐欠損性を比較評価した。図 6 に示すように開発工具の耐欠損性は既存工具のそれのほぼ 2~2.5 倍になっている。

(4) 連続切削時の耐摩耗性

工具の耐摩耗性は連続的に長手旋削した時のクレター摩耗深さ (KT) とフランク摩耗幅 (VB) により評価した。被削材は焼準した機械構造用炭素鋼 (S45C) である。

図 7 に工具の工具摩耗曲線を示す。開発工具のクレター摩耗深さ (KT) およびフランク摩耗幅 (VB) は既存工具のそれと同等である。微細クラックを付与しても被膜の耐摩耗性は低下していない。

図 6 TiC-TiCN- Al_2O_3 被覆超硬工具の耐欠損性。

図7 TiC-TiCN-Al₂O₃ 被覆超硬工具の摩耗曲線.

4. 実績と将来性

開発工具は鋼、鋳鉄などの断続旋削用工具として販売されている。開発工具の基本技術である CVD 被覆超硬合金の引張残留応力を緩和する技術は、各種の CVD 被覆超硬合金製品の破壊強度を向上させるための技術として広い応用分野が期待される。

5. 特 許

国内：特願平1-227612他 8 件

外国：4 ヶ国

文 献

- (1) K. G. Stjernberg: Metal Science, May (1980), 189.
- (2) 鈴木 寿, 林 宏爾: 粉体および粉末冶金, **28**, No. 7 (1981), 257.
- (3) 山本 勉, 伊藤 亨, 蒲地一嘉: 日本金属学会誌, **50**(1986), 320.
- (4) 林 宏爾, 鈴木 寿, 土井良彦, 粉末および粉末冶金, **32**, No. 7 (1985), 278.
- (5) 浅井 毅, 飛岡正明, 土井良彦, 高橋宣祐: 精密機械, No. 10 (1981), 45.
- (6) 小堀景一, 植木光生, 府川 敦, 鈴木 寿: 粉体および粉末冶金, **36**, No. 2 (1989), 130.
- (7) 土井良彦, 飛岡正明, 土居 陽, 池ヶ谷明彦, 粉体および粉末冶金, **33**, No. 8 (1986), 413.