サーメット工具の熱的摩耗と切削性能*

鳴 瀧 則 彦** 山 根 八 洲 男***

Thermal Wear and Cutting Performance of
Cermets Tools

Norihiko NARUTAKI and Yasuo YAMANE

To ascertain the thermal wear of cermet tools, diffusion tests were conducted between the tools and plain carbon steel S15C. Machining tests were also conducted to find the relation between cutting temperature and tool wear. The results obtained were as follows: (1) According to the diffusion test, Fe and Ni diffused each other at the temperature from 1000 to 1200°C. However, at the elevated temperature of 1300°C, a thick reaction layer which contains Fe, Ni, Mo, W or Ti was generated

near the tool surface. And a large amount of carbon diffused from the tool to the steel. (2) Mo and W in nitride type cermet tools were easily diffused to the steel compared with carbide type cermet tools. Generally, Mo and W diffused more easily than Ti. (3) According to the cutting test, thermal wear of cermet tool was remarkable above around 900°C for flank wear, and around 1100 to 1200°C for crater wear. (4) The tool whose elements diffused easily in diffusion test tend to generate a severe crater wear.

Key words: cermet tool, carbide type cermet, nitride type cermet, cutting performance, cutting temperature, thermal wear, diffusion test.

1. 緒 言

サーメット工具は従来、超硬工具に比べ熱的、化学的に安定であると言われてきた。これはサーメット工具の主成分である TiC が超硬工具の主成分である WC に比べ Fe に対する溶解度が低い¹⁾ためと考えられる。しかし一方ではサーメット工具はじん性や耐塑性変形性に問題があり、工具としての使用範囲は限定されていた。近年、この点を改善する目的で WC や TaC などの異種炭化物、あるいは TiN や TaN などの窒化物の添加が相当量行われるようになったが²⁾、今後、ますますこの傾向は進むものと思われる。したがってこれらの添加物がサーメット工具の性能にどの程度の影響を及ぼすかを調べることは、今後のサーメット工具の方向を考えるうえで重要なことと思われる。

本研究ではこれらの添加物を含む種々のサーメット工具の熱的摩耗について調べるため、市販の工具を用いて普通炭素鋼 S15C との間で拡散実験を行い、各元素の拡散を調べた。また切削実験を行い拡散実験との比較を試みた。

2. 拡 散 実 験

2.1 実験方法

* 原稿受付 昭和 54 年 6 月 18 日、昭和 54 年度精機学会春季大会学術講演会（昭和 54 年 3 月 28 日）にて発表。

** 正 会 員 広島大学工学部（広島市千田町 3-8-2）

*** 学生会員 広島大学大学院

本実験では、現在市販されているサーメット工具の内、炭化物系工具（頭文字 CT）5 種と窒化物系工具（頭文字 NT）5 種の計 10 種を用いた。工具の選択に際しては各メーカーより炭化物系、窒化物系をそれぞれ各 1 種ずつ選び、工具材種が偏ることのないよう留意した。表 1 に使用した工具の EPMA 定量分析による成分（未補正值）を示す。なお窒素については他元素の影響を受け、EPMA による分析は不能であったが、メーカー発表によれば NT 1, 2, 3 は TiN 含有、NT 4, 5 は TaN 含有となっている。

実験は以下の二つについて行った。

- (1) サーメット工具と鋼との反応に及ぼす温度の影響
- (2) 各工具間の反応の比較

- (1) については、炭化物系、窒化物系各 1 種ずつ（CT

表 1 EPMA によるサーメット工具の
化学成分（未補正值）

工具	化 学 成 分 (%)							
	Ti	Ta	W	Mo	Ni	Co	C	計
CT 1	44	7	3	11	16	—	8	89
CT 2	54	—	3	7	19	—	8	91
CT 3	44	10	2	7	8	4	7	82
CT 4	57	1	1	10	12	—	9	90
CT 5	49	4	3	9	11	—	9	85
NT 1	38	7	12	8	16	—	8	89
NT 2	40	8	14	4	6	6	6	84
NT 3	36	—	18	12	8	4	7	85
NT 4	36	10	14	9	5	9	7	90
NT 5	44	4	2	14	20	—	7	90

図1 CT1-S15Cの加熱温度を変えた場合の境界部の顕微鏡写真

1, NT 1) と S15C を温度 1000, 1100, 1200, 1300°C で反応させた。また (2) については、加熱温度を 1200°C の一定とし、各工具と S15C を反応させた。なおこれらの温度は工具-被削材間熱電対法により求めた切削温度をもとに決定した。温度以外の条件はすべて同一とし、黒鉛製のピストン-シリンダ容器中で工具と S15C の接合面に 62 kg/cm² の圧力を加え、所定の温度に加熱した後、30 min 保持した。試料は反応後接合面に垂直に切断、マイクロポリシャにより研磨した後、EPMA により元素の拡散状態を調べた。

2.2 実験結果

1) サーメット工具と鋼との反応に及ぼす温度の影響

図1にCT1-S15Cの加熱温度1000, 1200, 1300°Cにおける境界部の顕微鏡写真を示す。同写真によれば、1000°Cで3~4 μm, 1200°Cで17~18 μmの反応層が境界面に生じていることがわかる。また、1200°Cにおいては工具表面の炭化物が一部反応層内に流出している様子がうかがわれる。一方、加熱温度が1300°Cとなると、境界面付近で反応層中に多量の炭化物粒子が見られ、工具表面と反応層の区別が困難となっている。なお、NT1の境界部もCT1の場合とほぼ同様であった。

図2にCT1-S15Cの1200°CにおけるEPMAによるTi, Ta, W, Mo, NiとFeの分析結果を示す。同図には顕微鏡写真より求めた反応層との位置関係も示した。図より明かなように反応層はNi, Feが主成分で、ほかに

図2 CT1-S15Cの1200°Cの反応における各元素の拡散

図3 CT1, NT1-S15Cの1200および1300°Cの反応におけるCの拡散

上記の各元素が存在していることがわかる。また、Tiと他の元素については反応層内での濃度状態が異なっている。すなわち、濃度曲線の境界部における裾に注目すれば、Ta, W, Moについては一部ピークが見られるもののなだらかな曲線となって減少しており、各元素がわずか

ではあるが溶け込んだ状態となっていることを示している。一方Tiについては裾の部分がピークを持って段階的に減少している。したがってTiは、顕微鏡写真からも考えて、反応層に溶け込んでいるのではなく、炭化物粒子の形で流出していることがうかがわれる。なお、このTiの反応層への流出については後述するように、すべての工具について見られた現象ではなく、ほとんど流出の見られない工具もあった。

Cの拡散については、図3に1200および1300°Cの反応におけるS15C中のパーライトの分布状況を示す。図より明らかなように、CT1およびNT1のいずれについても加熱温度が1300°Cとなると、1200°Cの場合に比べ極端にパーライトが増加している。これは工具中のCの流出の増加を意味しており、1300°Cにおいては工具中の炭化物がFeによりかなりの影響を受けることがわかる。なお、CT1とNT1を比較した場合、CT1の方がNT1に比べCの拡散が多く、特に1300°Cにおいてこの傾向が顕著となっている。

次に、1000および1300°CにおけるTi, W, NiとFeの拡散状態を図4に示す。図より、1000°CにおいてもNiおよびFeの拡散が認められる。一般にサーメット工具はFeに対する溶着性が低いと言われているが、拡散実験では1000°C程度の温度においても溶着が生じる。これは、このようなNi, Feの拡散によるものであろう。一方、加熱温度が1300°Cとなると反応層の幅は格段に

図4 CT1-S15Cの1000, 1300°Cの反応におけるTi, W, Ni, Feの拡散

図5 サーメット工具の反応層における各元素の量

図6 境界面から0.2 mmまでの範囲におけるS15C中のパーライト面積率

広がっている。

2) 各工具間の反応の比較

図5に1200°Cで反応させた場合の各工具の反応層中の元素組成を示す。まず、Tiは、CT1, 2, 4およびNT1, 4の工具で反応層への流出が認められるが、CT3, 5およびNT2, 3についてはほとんど認められない。Taは含有量のほとんどないCT2, 4, NT3を除いていずれの工具も拡散流出している。Wは炭化物系、窒化物系での含有量の差が拡散量の差となって表れているが、Ti, Taの拡散していない工具についてもWは拡散している。Moは工具含有量に関係なく、炭化物系に比べ窒化物系は流出量が約2倍以上と多くなっている。Niは工具中の含有量の差を考慮に入れても、工具間での拡散量の差が著しい。なお、Niの流出しやすい工具はTiも流出しやすい傾向にあることがわかる。

次に、図6に1200°Cで反応させたときの境界面から0.2 mmまでの範囲におけるS15C中のパーライト面積

表2 実験条件

被削材	S 45 C
切削速度	50~500 m/min
切込み	1.0 mm
送り	0.21 mm/rev
工具形状	-5, -6, 5, 6, 15, 15, 0.8 mm

表3 被削材化学成分および硬度

被削材	化 学 成 分 (%)						硬度 H _B
	C	Si	Mn	P	S	Cr	
S 45 C	0.46	0.26	0.75	0.02	0.02	0.12	167

率を示す。同図によればCT1, 2, 5およびNT4はCの拡散量が多く、CT3, 4は少ないことがわかる。

以上の結果を各工具について見ると、それぞれの元素ごとに拡散流出量が異なるため単純に比較は出来ないが、CT1およびNT1, 4は比較的各元素が拡散しやすい工具であるといえる。また窒化物系工具は炭化物系工具に比べW, Moの拡散量がかかなり多いことがわかる。

3. 切削実験と拡散実験との比較

3.1 切削実験方法

高速域におけるサーメット工具の切削性能を調べるため、乾式外丸削りによる工具寿命試験を行った。条件を表2に、被削材の化学成分およびブリネル硬度を表3に示す。実験に使用した工具はSNP 432型スローアウェイ工具で、取付形状は(-5, -6, 5, 6, 15, 15, 0.8 mm)とした。サーメット工具は表1に示す10種を使用し、比較として超硬P10種およびセラミック(白)を使用した。また、工具-被削材間熱電対法により切削温度を測定した。なお起電力の校正は1300°Cまで行い、それ以上の温度については外挿により求めた。

3.2 切削実験結果

図7に、実験に使用した全工具の切削速度150 m/min以上におけるV-T線図を示す。同線図は寿命基準をV_B=0.3 mmとし、各点を忠実に結んだ折れ線とした。図より、炭化物系工具では各工具間で寿命の差が大きいことがわかる。また、約300 m/min付近においてV-T線図の折れ曲がり方が認められることが特徴である。一方、窒化物系工具の場合は各工具ともV-T線図はほとんど直線となり、しかも工具間での寿命の差はあまり見られない。また炭化物系と窒化物系を比較した場合、150 m/minと500 m/minではほぼ同程度の寿命であるのに対し、300 m/min付近では炭化物系の方が寿命が長くなっている。

図7 実験に使用した工具のV-T線図

表4に切削速度に対するクレータ摩耗の進行速度を示す。炭化物系、窒化物系のいずれも300 m/min以上の切削速度においてクレータ摩耗が発生しているが、両系での摩耗速度の差は特に認められない。

次に図8に各工具の切削温度を示す。図において、炭化物系では切削速度210 m/min以下で工具間にあまり差が見られないのに対し、300 m/min以上ではその差が大きくなっている。一方、窒化物系では100 m/min以下ではほぼ同一温度を示すのに対し、210 m/minでは工具間の差がはっきりと現れ、以後500 m/minまでほぼ同一の傾向で温度が上昇している。なお、工具間の差が大きいためもあるが、特に窒化物系の方が炭化物系に比べ温度が低いという傾向は認められない。

次に横逃げ面摩耗およびクレータ摩耗と切削温度との関係を図9, 10に示す。図9は単位切削距離当たりの横逃げ面摩耗幅と切削温度の逆数との関係を示しているが、同図より明らかなように、単位切削距離当たりの摩耗は、温度に無関係な領域と、温度の増加とともに摩耗の増加する領域に分かれる。後者の領域が、凝着、拡散あるいは刃先の軟化など、いわゆる切削熱が

表4 各工具の切削速度に対するクレータ摩耗進行速度 (単位: $\mu\text{m}/\text{min}$)

工具	切 削 速 度 (m/min)				
	500	400	300	210	150
CT 1	35	11	1.7	—	—
CT 2	20	6.0	1.7	—	—
CT 3	23	4.5	1.1	—	—
CT 4	19	5.8	1.0	—	—
CT 5	20	4.3	1.3	—	—
NT 1	38	11	2.2	—	—
NT 2	18	7.0	2.0	1.3	—
NT 3	33	8.1	0.8	—	—
NT 4	23	5.3	2.1	—	—
NT 5	21	5.9	1.6	—	—
P 10	480	105	20	3.1	1.0
C 1	3.0	2.0	1.1	—	—

摩耗に関与した領域であり、同結果はこの領域がCT 1, NT 1のいずれも逃げ面については約900°C付近から始まっていることを示している。なお、他の工具についてもほぼ同様の結果であった。以上の結果は竹山らが行った超硬工具での逃げ面摩耗に関する実験結果³⁾とはほぼ同様となっている。

クレータ摩耗と切削温度との関係では、図10に見られるように、各工具ともクレータ摩耗速度の対数と切削温度の逆数は良好な直線関係を示している。また、超硬工具とサーメット工具を比較した場合、同図における直線の傾きはほぼ等しいが、絶対値はサーメット工具の方が相当低くなっている。

3.3 切削実験と拡散実験との比較

切削実験によれば、サーメット工具の熱的摩耗は逃げ面で約900°C、すくい面で約1100~1200°C (クレータ

被削材: S45C, 切込み: 1.0 mm, 送り: 0.21 mm/rev

図8 各種サーメット工具の切削速度に対する切削温度

図9 切削温度に対する単位切削距離当たりの横逃げ面摩耗幅

図10 クレータ深と進行速度と切削温度との関係

摩耗が発生する温度)以上の温度で顕著となっている。ただしこれは平均温度であり、それぞれの摩耗部については逃げ面では900°C以下、すくい面では1100~1200°C以上となっているものと思われる。ここで逃げ面については比較的溫度が低いことや、いわゆる機械的摩耗の占める割合も無視出来ないと思われるので問題があるが、クレータ摩耗については温度も高く、拡散実験で見られたような現象が生じている可能性は十分にあると思われる。前記図5,6に示す工具からの反応層への各元素の流出量とクレータ摩耗進行速度の比較では、どの元素の流出が最も摩耗と相関があるかを見つけ出すのは困難である。しかし、全体として各元素の流出量の大きい工

具、例えばCT1やNT1はクレータ摩耗も大きくなっていることがわかる。

なお、超硬、セラミックと比較した場合、表4に示すクレータ摩耗進行速度によれば、セラミック工具は単位切削距離当たりに換算すれば300~500 m/minではほぼ等しくなり、切削熱の影響はごく少ないと思われる。一方、超硬、サーメットについては図9に示したように切削熱が明らかに関与している。クレータ摩耗の発生開始は超硬工具で850~900°C、サーメット工具で1100~1200°Cと、サーメット工具は超硬工具に比べ200~300°C高くなっている。またその進行速度もサーメット工具は超硬工具に比べかなり小さい。サーメット工具と鋼との反応におけるNiの拡散は、超硬工具と鋼との反応におけるCoの拡散⁴⁾とほぼ等しいことから、両者の摩耗速度の相違は主として炭化物の耐摩耗性、耐反応性の差に基づくものと思われる。

4. 結 論

サーメット工具の熱的摩耗を調べるため、市販の工具とS15Cの間で拡散実験を行い、温度および工具材種の変化による工具中の各元素の拡散を調べた。また切削実験を行い、拡散実験との比較を試みた結果、次の結論を得た。

- (1) 拡散実験によれば、加熱温度1000~1200°Cでは工具中のNiとFeの拡散が主体であるが、1300°Cとなると工具側境界面付近にFe, Ni, Mo, W, Tiなどを含んだ幅の広い反応層が現れ、工具からのCの拡散流出も著しくなる。
- (2) 窒化物を含有する工具は、それを含有しない工具に比べMo, Wの拡散が多い。またMo, WはTiに比べ拡散しやすい。
- (3) 切削実験によれば、熱的摩耗は逃げ面で約900°C、すくい面で約1100~1200°C以上の温度において顕著となる。
- (4) 拡散実験において各元素の流出しやすい工具は、すくい面摩耗も大きくなる傾向にある。

参 考 文 献

- 1) R. Edward & T. Raine: Plansee Proc., 1953 Metalwerk Plansee Ges., (1953) 232.
- 2) 田中 博: 最近のセラミック工具とサーメット工具, 機械の研究, **30**, 8 (1978) 931.
- 3) 竹山秀彦, 村田良司: 工具摩耗の温度依存性, 精密機械, **27**, 1 (1961) 33.
- 4) N. Narutaki & Y. Yamane: Wear Mechanism of Carbide Tool Based on the Reaction between Tool and Work Material (Part 1, Reaction Test), Bull. JSPE, **10**, 3, (1976) 95.