普通鑄鉄切削に現われる超硬合金工具の損傷*

長 富 修 吉** 大草喜太雄**

On the Failure of Cemented Carbide Tool appearing when Plain Cast Iron is cut

Shūkichi NAGATOMI and Kitao ŌKUSA

We observed the tool failure of three different kinds of cemented carbide tool in cutting plain cast iron. Weld was created at low speed on any tool, and some different types of tool failure were found at higher speed, that is, the tool with fine WC showed a rectangular type flank wear with deep crater and the coarse showed a triangular type with shallow crater. It being difficult to get the preferable rectangular type by cutting such brittle cast iron, it is desirable that abnormal chipping does not appear. In this respect, the grade with both fine and coarse grains was preferable to the others.

Among the other factors affecting the failure, it was found that too small feed and relief angle accelerated the flank wear.

1. 緒 言

この報告は軟質鑄鉄の代表として普通鑄鉄をとりあげ、これを G₁, G₂, 米国K社品の3種の鑄鉄切削用超硬合金材種を用いて工具材質、削り速度、送り、切込、逃げ角などの損傷に及ぼす影響を調べたものである。

2. 被削材の特性

実験に用いた普通鑄鉄の形状は直径200mm、長さ1000mmの円筒で、その化学成分、機械的性質はTable 1に示したようなものである。この被削材はPhoto. 1の顕微鏡組織に見るようにパーライト組織も少々あるが、可成りの量のフェライトと片状黒鉛より成り立っているため、これらの軟質な組成要素を含みパーライト鑄鉄やミーハナイト鑄鉄よりも硬さ、抗張力が低く、その上この図に見るようにピンホール状の小孔が存在している。これらの理由のために、その切り屑は抗張力の高い前述の高級鑄鉄よりもいちじるしく細かいのである。Photo. 2にその比較例を示した。

Table 1.

Composition (%)					Mechanical properties	
C	Si	Mn	P	S	Brinell hardness	Tensile strength (kg/mm ²)
3.18	1.58	0.50	0.09	0.10	150	12

* 原稿受付 昭和31年6月15日

** タンガロイ工業株式会社

×100

Photo. 1.

3. 実験条件

Table 2のような3種の工具材質を用い、Table 3の実験種類を行った。

4. 鑄鉄切削に現われる基本的な損傷の種類

この報告で損傷種類を表わすために特別な用語を用いるが、その詳細は文献に譲り、ここでは本報告に関係あるものについて簡単に実例をあげて説明する。

超硬工具の損傷原因には超硬合金材質や接着物が小片となつて欠ける、すなわち、チャッピング現象を起こし、これが工具と切り屑、被削材の間に挟まつて高圧

Chips of plain cast iron.

Chips of meehanite cast iron.

Photo. 2.

Table 2.

Table 3.

Kinds of cemented carbide used	Difference of WC grain size	RA Hardness	Transverse rupture strength (kg/mm ²)	Main cutting application
G 1	Fine	91.8	129	For finishing of cast iron
G 2	Coarse	90.2	160	For roughing of cast iron
C1 or C2 due to the designation of U.S.A. manufactured by K company	Fine and coarse grains are distributed by half.	90.6	—	For general purpose of cast iron, specially for roughing.

No.	Kinds of experiment	Cemented carbides used	Cutting conditions**	Tool shape by DIN*** 768. Lapped by 320 # Diamond wheel
1	Tool failure and the kinds of cemented carbide	G 1 G 2 C 2	V=113, 191, 322 d=0.5 f=0.1, 0.2	5°-85°-0°-45°- 90°-0°-0 mm
2*	Tool failure and feed	G 2	V=152 d=0.5 f=0.05, 0.1, 0.2	"
3	Tool failure and depth of cut	G 1	V=243 d=0.15, 0.2, 0.4 0.5, 0.75, 1	"
4	Tool failure and relief angle	G 1	V=277 d=1 f=0.05	Same the above except relief and wedge Angle.

下で移動し工具自体に損傷を惹き起こすものと、切り屑が工具すくい面上を高温、高圧下に移動するため、工具材質と切り屑が分子間凝着を惹き起こすことによつて起こる接着現象の二つがある。この二つの損傷原因によつて種々の損傷を発生するが、これらをいくつかの基本的損傷種類に分類することができる。まず、鋳鉄切削においては Photo. 3 に示した矩形型チップング、Photo. 4 に示した流れ型チップングの二つがあげられる。矩形型チップングというのは、主切削刃全部で工具材質が均一に細かくチップングしたために外観上矩形形状を示すものであり、流れ型チップングというのは欠け落ちる粒は細かいが、ノーズに近いほどチップングの烈しかったもので、外観上平滑な流れ状を示す。並列した図は切刃のところどころに局部的に大きなチップング、すなわち異常チップングがそれぞれ前二者に併発したものである。このほか、切削上重要な働きをなすノーズ部の損傷には Photo. 5, 6 のように円弧状、直線状にチップングするものと二つが分類され、後者はチップングが烈しいときに現われる。また、すくい面には切り屑が接着する場合があるが、その接着の仕方二つあり、その一つは単純に切り屑がすくい面に接着し、他は切刃が小さく斜に欠けて、こ

Note, *: Use each newly ground tool corresponding to each cutting time to obtain the graph V_B -Time for estimating the repeatability of the abnormal chipping which often happens at the beginning of cutting by the sharp cutting edge.

** : V ~Cutting speed in m/min
 d ~Depth of cut in mm
 f ~Feed per revolution in mm

*** : DIN 768, for example, means respectively the following

こに自由な流れを阻止された切屑が加工硬化されて堆積する場合で、後者は必ずしも低い削り速度でばかりでなく高い削り速度でも起こる。以上、主にチップングによるものをあげたが、接着によるもの、狭義に

Type A

Rectangular flank wear land type.

Type B

Rectangular flank wear land type with abnormal chipping.

Type E

Round nose wear type.

Photo. 5.

Type C

Triangular flank wear land type.

Type D

Triangular flank wear land type with abnormal chipping.

Type F

Linear nose wear type.

Photo. 6.

Photo. 3.

Photo. 4.

クレータといわれる典型例を Photo. 7 に示した。これは鑄鉄切削において最も一般的に現われる無堤防クレータ型として分類され、そのくぼみ面は溶融状であつて、高温のため超合金材質の一部が溶けて切り屑に溶着して少量ずつ規則的に持ち去られてできたものである。切刃の部分には Photo. 8 の鋼切削に見られるような両堤防型と異なつて切刃とくぼみの間に壁がなく、くぼみが次第に深さを増すと

刃先が鋭くなり、部分的に異常チップングして、やがて大規模な欠損を示すに至るもので、抗張力の高い鑄鉄を高速、高送りで削つたときに現われるのが普通である。なお、鑄鉄切削において堤防が現われ難いのは鑄鉄の切くす分離が刃先近接部で行われる上に、鋼切

Type G

Crater type without land.

Photo. 7.

Type H

Crater type with each land.

Photo. 8.

削より相対的衝撃力の変化が烈しいために、切刃のチップングが速やかに烈しく起こるからである。

5. 実験結果

(i) 超合金材質と損傷

(a) 削り速度 113 m/min のとき 3 種の工具

Photo. 9.

Photo. 10.

材質とも類似した損傷で、その代表例を Photo. 9 に示した。この図に見るように顕著な接着物の発生を見るが、その高さは不同で不規則である。これは遊離黒鉛を含む切り屑によつて形成される接着物が脆いこと、工具材質との親和性が劣るため接着層が弱いこと、さらに鋳鉄切削では刃先に加わる相対的衝撃が、鋼切削よりも烈しいために接着物の欠け落ちを招きやすいからである。特に、ノーズの逃げ面損傷がいちじるしいのは、ノーズ部がもともと力学的に弱く異常チップングしやすい上に、接着物の欠け落ちによりノーズ部のチップングが促進されるからである。Photo. 10 は比較用に鋼切削における接着物発生例をあげたもので、接着物が切刃部を覆つて長時間刃先を保護したものである。Fig. 1 は各材質の損傷の時間的変化を示すため

Fig. 1.

Fig. 2.

に、Fig. 2 下に記入した逃げ面の摩耗帯平均幅 V_B とノーズ部の摩耗幅 V_B' を用いて表わしたもので、さらに、そのとき観察された損傷種類をも Photo. 3 より Photo. 8 までにあげた基本的損傷種類を基にして記入した。Fig. 1 によれば G_1 は脆いためにノーズの損傷量が多く、K 社品は比較的平滑な損傷の時間的変化を示している。

(b) 削り速度 191 m/min のとき 各材質の比較を Photo. 11 に示した。この条件では各材質の特異性を明瞭には識別できないが、接着物の発生はほとんどなくなっている。一方、摩耗帯の発生がいちじるしい。これは削り速度の増大によつて刃先温度が上昇し切刃のチップングが促進されるほか、逃げ面が削つた後の被切削材と接触して摩耗帯の増加が促進されるからである。同図によれば、 G_1 では接着物が比較的多く切刃が小さく欠けやすいことを示すほか、摩耗帯がノーズに近い部分とそうでない部分との二つに分かれ、この材質が特にノーズ部で異常チップングしやすいことを示す。 G_2 と K 社品はいずれも単純に流れた摩耗帯を示すが、K 社品の方が接着物少なく流れ方が滑らかである。摩耗帯の形は先に示した Photo. 3 のような

Photo. 11.

Photo. 12.

Fig. 3.

Feed : $f=0.05$ mm/rev $f=0.1$ mm/rev $f=0.2$ mm/rev

Photo. 13.

矩形型であることが、被削材の寸法精度、工具の再研摩上有利であるが、この被削材料のように短い切屑が排出される場合には、刃先温度や切削圧が特に不均一でノーズほど高いために、このように流れた形を示すものと推定される。

(c) 削り速度 322m/min のとき 各材質の損傷比較を Photo. 12 に示した。この削り速度はこの実験に用いたような軟質鋳鉄に対しても可成り高いため切削熱多く、高温下における各材質の損傷上の特異性を知ることができる。同図によれば G_1 の摩耗帯はほぼ矩形型であるが、切刃の異常チッピングによる条溝が見られ、また、くぼみも深い。 G_2 ではくぼみは少ないが摩耗帯はいちじるしく流れている上に多数の条溝を伴い、接着物も認められる。 K

Fig. 4.

Fig. 5.

特に注目すべきは接着物や異常チップングの少ないことで、 G_1 と G_2 で摩耗帯の形が異なっているのは、その成分や用途が異なる、すなわち、超合金の材種が異なっているためであるが、いずれの場合においても異常チップングの併発は好ましくないのである。

Fig. 3は上述の両削り速度の場合の V_B , V_B' の時間的変化を示したもので、削り速度191 m/minではK社品が、322 m/minでは G_1 がよいが、前述のように損傷の種類をも考慮すればK社品がこの切削においては最も好ましいものといえる。

(ii) 送りと損傷

同一切削時間での各送りによる損傷の比較をPhoto. 13に示した。この場合、 G_2 を用いたので、いずれも流れ型の摩耗帯を示すが、送り0.05 mm/revのものはきわめて摩耗が多い。この理由は送りが余り細かいと刃先の微細な衝撃が増加すること、切り屑が薄いために切削熱の外部への搬出が少ないため、特に摩耗帯部の温度が高くなり、

社品のくぼみや摩耗帯の形は G_1 , G_2 の間であるが、条溝少なく平滑である。このようなくぼみの深さや摩耗帯の形の相違は、工具材質の粒子の大小やその分布状況が影響しているものと見られ、 G_1 のような粒子の細かい材質は耐くぼみ摩耗性、すなわち、狭義の耐クレタリング性に劣るが、摩耗帯は矩形型となる傾向があり、 G_2 のように粒の粗い材質は耐クレタ性にすぐれているが、流れた摩耗帯となる。K社品はその粒の分布状況が G_1 と G_2 の中間に近いために、その摩耗帯の流れ方が両者の中間であつたもので、くぼみについても同様のことがいえる。ここでK社品につい

切刃のチップングが増加するためと推定される。また、送り0.1 mm/revと0.2 mm/revとを比較すると、後者の方が大きな衝撃力を与えるため切刃が小さく斜欠けして、ここに大きな接着物が出来やすいことがわかる。Fig. 4はこのときの損傷の時間的変化を示したもので、特に送り0.05 mm/revの線図が不規則であることは、ノーズ損傷が直線型であることとあいまって、ノーズの急速なチップングや異常チップングを起こしたことを表わしている。

(iii) 切込と損傷

Fig. 5に実験結果を示した。この実験では G_1 を用

Fig. 6.

Table 4.

Relief angle α	2°30'	5°	10°	15°	20°
V_B measured at the cutting time of 50"	0.58	0.38	0.19	0.18	0.11
ΔS "	0.025	0.033	0.034	0.048	0.040
Ratio of V_B attained from the above dates	5.27	3.46	1.73	1.64	1
The theoretical ratio of V_B attained from the relation $V_B = \Delta S \cdot \cot \alpha$ when ΔS equals at any relief angle	8.32	4.17	2.06	1.36	1

いたので0.2mm 以下のような少ない切込では早く流れ型となるが、それ以上では矩形型チップングとなつた。また、切込 0.4~1mm の間では摩耗帯幅に大差のないこともわかつた。

(iv) 逃げ角と損傷

Fig. 6 に実験結果を示した。このときには実験(iii)と同様に G_1 を用いたで矩形型の摩耗帯であるが、この図に見るように逃げ角は摩耗帯幅の大小にいちじるしい影響を与えている。このことは Fig. 7 の幾何学的関係よりも予想されるが、Table 4 で検討したように ΔS がもし各逃げ角で同一であるならば、たとえば $\alpha=2^{\circ}30'$ と 20° での V_B の比は 8.32 : 1 になるべきところ、実際には 5.27 : 1 となつている。すなわち、逃げ角が多いほど ΔS が多くなる傾向がある。しかし、逃げ角を適宜大にして摩耗帯幅の増大を防止することは、仕上切削において ΔS が加工品の寸法精度に重大なる影響を与えず、荒削りにおいて切削初期の刃先強度不足のために起こる欠損を発生せぬ限り、実用上の工具寿命に対し効果が多い。

6. 結 論

超硬合金で鋳鉄を切削するとき、削り速度によつて異なる損傷種類が現われる。すなわち、低い削り速度

Fig. 7.

では接着物が発生するが、これはノーズの損傷を異常に大きくする理由の一つとなつている。鋳鉄における接着物は不安定で欠け落ちやすいからである。削り速度が大きくな

ると接着物の発生は少なくなるが、その代り摩耗帯は増加する。摩耗帯の形には矩形型と流れ型があり、WC 粒の細かい材質は前者、粗い材質は後者の形をとりやすい。一方、クレータは粒子の細かい方に起こりやすい。このように摩耗帯の形やクレータの発生傾向は超硬合金の材質によつて異なるが、いずれの場合でも異常チップングの併発は最も好ましくない。実験に用いた普通鋳鉄は硬さや抗張力が低く、しかも小さな孔があるため短い切り屑を排出することから、切削圧や温度はノーズに近いほど高いものと見られ、その上小孔の影響も受けてノーズの相対的衝撃力が高いため、いずれの工具材質もさきにあげたような理想的な矩形型チップングやノーズ円弧型チップングは現われなかつた。しかし一方、Photo. 7 のような烈しい無堤防クレータ型も現われず、したがつて、全く切削不能となるような大規模な欠損も現われなかつた。3 種の材質中では G_1 , G_2 の中間ぐらいの性質の K 社品が異常チップングの少ない点で、まずこの種鋳鉄の切削に適當しているといえる。しかし、その摩耗帯などの数量的優位さはわずかであり、また常に K 社品がよい性能を示すとは、切削において関与する因子の多い点より容易に予想することはできないが、この種の切削による材質試験においては、摩耗量などの定量的比較と同時に損傷種類の定性的観察も重要であることが結論される。

工具材質以外の諸因子の損傷に及ぼす影響については、特に逃げ角は摩耗帯幅に関する限り可成り大きな影響を与えることがわかつた。

注：一

1) 日本機械学会論文集110号, 超硬工具の試験法に関する研究 (損傷の種類について), 奥島, 長富, 大草