621.9.014

低温切削に関する研究 (第1報)*

隈部 淳一郎** 益 子 正 巳***

Study on Cold Machining (Part 1)

by Junichiro KUMABE and Masami MASUKO

In this report, the effects of machining of coated metals on the cutting force and surface roughness etc were investigated. The experiments were performed by the orthogonal and conventional cutting of the mild steel, brass, duralumin cooled by alcohol and liquid nitrogen. (max temperature -60°C)

The results were as follows :

- 1) The cutting force and surface roughness of the mild steel is decreased at about -20°C , but other metals had no changed phenomenon at the room temperature machining.
- 2) At mild steel cutting, the cutting force and surface roughness (about 1μ roughness) at the lower temperature than about -20°C were samed at -20°C .
- 3) It is found that this phenomenon has same tendency to the impact valve at the low temperature of the mild steel.
- 4) This cold machining method was effective machining to the body centred eubic lattice material, but had no advantage to the face centred cubic lattice material.

1. 緒 言

金属材料は温度によっておのおの特有の機械的性質を有している。それらのうち高温で軟化する性質を利用して切削するときわめて経済的な切削ができる。これを高温切削と称し、従来耐熱合金などのように常温では切削加工が困難であった金属の加工を容易ならしめる方法として奨用され、またそれらに関係した研究論文⁽¹⁾もかなり発表されている。

実際の切削機構を観察するに切削理論の解析にみられるような被切削面が直線であるような切削工具が全然振動しない場合はなく、切削工具は多かれ少かれ振動数、振幅こそ不規則ではあるが振動しており、刃先にかかる断続的の衝撃力によって切削が続行されているものと考えられるから、鉄鋼材料などのように体心立方格子材料に対して 0°C 以下の低温に冷却して切削すれば、低温ぜい性効果が現われ切削抵抗が下がり、仕上面あらさが良くなるであろうことに着眼し、ここに低温切削と名付け、 0.2% の炭素鋼と比較のため一般に低温ぜい性が現われまいと言われている⁽²⁾原子配列が面心立方格子の黄銅、ジュラルミンについて実験、検討し、この低温特性がどのように影響するか、また低温切削現象の観察からより現象に近い新しい切削理

論の誘導を期待し、更に歯切り、穴あけなどの各種切削に対する応用研究を行い切削性向上を期さんとするものである。第1報に基礎実験結果をのべる。

2. 実験方法および装置

被切削材を切削中も一様に所定温度に冷却しておくことが最もたいせつであるから被切削材をバイスに食わえたまま冷却して切削する二次元切削を行う。

第1図に示すように石綿で保温された冷却さうのな

第 1 図

* 昭和 30 年 9 月 18 日 札幌臨時大会講演会において講演、
原稿受付 昭和 32 年 7 月 20 日。

、* 正員、東京工業大学 (東京都目黒区大岡山)。

かにバイスを入れ、これを日立精機製フライス盤テーブルの上に固定し、冷却そうのなかにアルコールを入れ、切削部のみを出して充満させ、これに液体窒素を注入して希望の低温度をうる方法を用いた。実験に際しては、被切削材にそう入された銅-コンスタンタン熱電対で測定した温度と、同じく銅-コンスタンタン熱電対で測定される測定される冷却液温度とが同一になるにおよんで切削を開始するようにし、切削力、仕上面あらさによって効果を比較検討した。

切削力の測定は、E.M.S. 切削力試験機を用い軸受センタとバイト切刃とを同一直線上にして切削力によって生ずる軸受センタのまわりの回転力 M_1 cm/kg と、同一切削条件で軸受センタからバイト切刃を l_2 だけ下げて生ずる回転力 M_2 cm/kg から主分力 P_H kg、背分力 P_V kg をおのおの算出することにする。

被切削材は焼なまし後、切削面を平面研削盤で研削し更にサンドペーパーで研削によって生ずる残留ひずみを除去してのち切削面が水平になるようにバイスに取付けてから切削する。

3. 実験結果および考察

第2図に示す顕微鏡組織の体心立方格子の0.2%炭素鋼(650°C, 1h 焼なまし)、面心立方格子の黄銅(Cu 61%, Sn 0.9%, Pb 1.8%, Zn 残部, 330°C 1h 焼なまし)に対して、切削角 $\delta=72^\circ$, 切削幅 a

炭素鋼

黄銅

第2図

第3図

$=2$ mm, 切削厚さ $S_z=0.1$ mm, 切削速度 2.4 m/min の切削条件で主分力を測定してみると第3図の結果が得られる。

冷却温度は $+10^\circ\text{C}$ から -40°C までであるが、炭素鋼に対しては -20°C 付近からあとはだいたい一定する傾向で、 $+10^\circ\text{C}$ で 51 kg であったものが -20°C 付近以下において 38 kg に低下し、それ以来はだいたい一定する傾向を有する。

この傾向に対して黄銅は $+10^\circ\text{C}$ の 20 kg に対して -40°C に冷却してもなんらの変化が認められない。仕上面あらさは第4図のごとくなる。炭素鋼が $+10^\circ\text{C}$

第4図

で 15μ の仕上面あらさが低温にすることによって切削力の減少傾向と同じ傾向を示し約 1μ の誠に良い仕上面となる。黄銅は、黄銅の切削

力の傾向と同様に低温にしても $+10^\circ\text{C}$ の室温切削と何ら変わらず平均 3.5μ の仕上面あらさが求められた。

このように面心立方格子の黄銅については低温に冷却することによっても室温切削と変化なく仕上面あらさ、切削力に何らの変化を示さず低温切削の実施は切削工具の寿命以外に何らの得策とはならず、また、より現象に近い切削理論解析の上にも比較以外に別に役立たない。

一方炭素鋼は、 -20°C を境として上述のごとき珍しい現象を有するようで、更に詳細に検討してみよう。

主分力、背分力と被切削材冷却温度との関係を切削角 $\delta=72^\circ$, 63° の2種類について求めると第5図に示すようになる。切削厚さ $S_z=0.06$ mm(●印), 0.10 mm(▲印), 0.14 mm(●印), 0.20 mm(●印)の主分力、背分力を求めたものであるが、背分力(○印)の減少傾向も主分力の減少傾向と同じ傾向を有していること、および切削厚さ 0.2 mmの比較的切削厚さの厚い切削においても低温切削効果をはっきりと現われてい

第5図 (a)

第5図 (b)

ることがわかる。このように切削厚さをいろいろと変えてもほぼ一様に -20°C 附近から主、背分力とも一定値になる傾向を示すことが確かめられた。

次に仕上面あらさを切削厚さ 0.2 mm , 0.1 mm の場合について例記してみると(第6図), 室温で $\delta=72^{\circ}$ で $S_z=0.2\text{ mm}$ (○印) が 35μ , $S_z=0.1\text{ mm}$ (□印) が 17μ , $\delta=63^{\circ}$ で $S_z=0.2\text{ mm}$ (●印) が 15.5μ , $S_z=0.1\text{ mm}$ (■印) が 10.5μ という悪い仕上面あらさを示すことに対して, 低温切削によって約 1μ というきわめて良い仕上面が得られる。これは切削力が軽減されること以上に実施面から言えば特徴と言えるだろう。

第6図

次にこの傾向と炭素鋼の低温機械的性質とはいかなる関係にあるかを求めてみよう。

まず、被切削材料の切削機構に及ぼす機械的性質としてかたさがうんぬんされているので低温かたさ試験を行う。従来のかたさ試験機を用いたのでは試験中の試験片温度上昇はまぬかれ難いので、E. M. S 切削力試験機を用い切削試験の場合と同じ冷却方法で刃物角 90° のバイトを用い一定の力 $P=33\text{ kg}$ で押込み、ブリネルかたさに準じて $H=P \cos \theta / x \cdot b$ の関係から相当かたさを出した。第7図からわかるようにこの相当かたさ数は低温にすればわずかではあるがcaえて上昇する傾向を示し、切削力、仕上面あらさに見られるような減少する傾向はない。

第7図

次に引張強さであるが低温における引張試験は装置の関係上そう容易には実験できないので文献⁽⁸⁾を検討した結果、かえて引張強さは低温度になればなるほど高くなる傾向を示すことが言われているようで、これまた切削力、仕上面あらさの減少傾向とは関係ないようである。

これに対して、シャルピーの有みぞ低温衝撃値は第8図に示すごとく黄銅材は一般に言われているように低温ぜい性が現われず、炭素鋼は図示のようにだいたい -20°C 附近からぜい性破壊して衝撃値が減少する傾向が見られ、ちょうど切削力、仕上面あらさの傾向と同じ傾向を示している。

上述のように、従来うんぬんされてきたかたさ、引

第8図

張強さというものと、切削の機構とはあまり関係ないようで、有みぞのシャルピー衝撃試験の切欠き効果によって生ずる衝撃的応力集中の影響が衝撃値となって現われる現象が、切削の際の断続的ではあるが、刃先の応力集中によって生ずる刃先附近の変形模様とがよく類似するように思われる⁽⁴⁾。これらの関係は次報にゆづり、ここに面心立方格子材料である黄銅には低温切削の効果がなく、体心立方格子材料である炭素鋼にはきわめて顕著に効果が現われることがほぼ明らかになった。次に更に旋削実験に適用して検討する。

4. 実験方法および装置(旋削)

第9図に実験装置の概略図を示し、実験方法を説明する。二次元切削の場合と同じくアルコールを液体窒素で所定温度に冷却した冷却剤を冷却そうに入れ、コイル状に巻かれた銅パイプ内を冷却そうよりも高い位置に液そうを設置し、重力で通過するメチルアルコールを冷却さ

第 9 図

せ、これを被切削材に注ぎ被切削材を所定温度に冷却する。冷却そう内温度および銅パイプ先端の出口温度を銅、コンスタンタン熱電対を用いて測定し同一温度になるにおよび被切削材上に注ぎ始め、数分間空運転を続け、途中被切削材とパイプとの間に銅塊をはさんであらかじめ銅塊を冷却して較正した温度から求め被切削材表面温度と冷却剤温度が同一温度になるにおよんで切削を開始する。この銅塊による温度較正は一本パイプ法⁽⁵⁾による切削温度測定法によるもので、図示のごとく被切削材の一方死心側をベークライトで絶縁し、他端はベークライト板で絶縁してチャックし、その端子から棒を出して先端に円板を取付け水銀そう内にて回転せしめ、その水銀そう内からパイプ尾部から出したりリード線をミリボルト計に接続する方法を用いた。また、この方法で切削中の切削温度をも測定

第 10 図

するようにした。第10図に実験装置全景を示す。この切削温度の測定は低温切削機構解析に必要なため行ったもので切削力、仕上面あらさにつけ加えて説明しておく。切削力はE. M. S 切削力試験機を用い、使用バイトはトリディア S-2、刃先半径 1mm 先丸刃バイト (0, 20, 5, 10, 6, 13.5, 23, 22, 1) を使用し、被切削材は二次元切削用材料に面心立方格子であるジュラルミン (Cu 4.0%, Mn 0.6%, Mg 1.5%, Al 残部) を加え、その顕微鏡組織を第11図に示す。

第 11 図

5. 実験結果および考察

以下の図はいずれも切削速度 20 m/mn, 切込み 0.2 mm, 送り 0.083, 0.055, 0.021, 0.014 mm/rev について求めた結果である。

5-1 炭素鋼 (体心立方格子) 第12図(a)に仕上面あらさ、第12図(b)に切削力、第12図(c)に切削温度に対する影響を示す。第12図(a)の仕上面あらさは軸方向に測定した結果で図示せるとくに -20°C 附近から以下はだいたい同じあらさを示す。送りを S 、刃先半径を r とすれば $S^2/8r^2$ で表わされる幾何学的仕上面あらさにほぼ近い値になる。この仕上面あらさは送り S にだいたい比例して良くなっている。

切削力の変化は第12図(b)に示すように、 -20°C で室温の 7°C 場合よりもだいたい 1 kg 減少した値を示し、仕上面あらさの関係と同じくいくら -90°C に冷却しても冷却温度に比例して減少せず、 -20°C の切削力と同じ値の切削力となる。第12図(c)に切削温度を示すが、被切削材温度が低く、送りの小さい方が切削温度は減少しているがいずれも零度以下になっていない。しかるに切削力は -20°C で急激に減少している。これはこの測定法によって得られた温度は、切削の一番最後の段階である切くずとすくい面の摩擦熱による温度上昇を測定しているものと考えられるから、切削の大部分である刃先附近の破壊は冷却された被切削材温度下においてなされているため低温ぜい性の影響が切削力に現われたものと想像される。

(a)

(b)

(c)

第 12 図 軟 鋼

5-2 黄銅(面心立方格子) 仕上面あらさは第 13 図 (a) に示すように送り 0.083 mm/rev の場合を例にとれば室温 7°C の場合のあらさ 2.2μ に対して低温にすることによってもほとんど変わらず一定値を示す結果が得られた。また他の送りの場合も炭素鋼に見られるような関係は見られず、室温切削とだいたい同じ値を示し冷却温度いかにかわらず変化しない。

切削力も第 13 図 (b) からわかるようにかえって -20°C 附近でわずかに増加する傾向すら有し、 -90°C では室温切削のときの切削力とほぼ等しくなるような関係がある。これも仕上面あらさと同じく冷却温度に関係ないといえる。切削温度についてはだいたい切削力と冷却温度との関係と同じ傾向を有し、 -20°C で上昇してまた下がる傾向が測定された。

5-3 ジュラルミン(面心立方格子) 更に同じ切削条件でジュラルミンについて検討を加えてみた。

仕上面あらさを第 14 図 (a) に示す。送り 0.083 mm/rev の場合ではっきりわかるように冷却温度いかに

(a)

(b)

(c)

第 13 図 黄 銅

んにかかわらず黄銅同様ほとんど一定である。他の送りの場合は実験値がばらついて何とも言えないようであるが、被切削材表面をよく観察してみるに部分的に非常に美しい面を呈したり、また構成刃先が付着してむしり形の切くずがでるときのようなきわめて悪い仕上面を呈したりしており、その測定箇所において、異なった測定値が得られたためこのような結果になったもので、特に送りの小さい場合の方がよりその傾向が強い。

切削力の変化は第 14 図 (b) に示すように冷却温度が低くなるに従いかえってわずかではあるがしだいに大きくなっていく傾向である。

切削温度の結果は第 14 図 (c) に示すように 0.083 , 0.055 mm/rev の場合はほとんど冷却温度いかにかわらず一定値を示している。 0.021 , 0.014 mm/rev は少し実験値がちらばっているが、だいたい一定とみなしうる。

以上の実験によって面心立方格子である黄銅、ジュラルミンに対しては切削力、仕上面あらさに低温切削の効果が全然現れないが炭素鋼のように体心立方格子の材料に対しては二次元切削同様その効果が顕著に

第 14 図 ジュラルミン

現われ切削力は下がり, 仕上面あらさは室温切削の約 1/4 というきわめて美しい切削面が得られることが明らかになった。二次元切削, およびこの旋削実験はいずれも比較的低速度の切削速度で行った結果で -20°C という遷移温度が求められたが, 更に高速切削を行えばこの遷移温度は一般に衝撃速度を早めれば高温側に移行すると言われていることを考えれば当然高温側にずれるものと考えられる。また炭素鋼において炭素含有量の差によっても変化があるであろう。

6. む す び

- 1) この低温切削は体心立方格子の材料には有効であるが面心立方格子の材料には効果がない。
- 2) この実験で, 低速における仕上切削, 粗削切削に -20°C で効果があることが明らかになったので, 現有の低速工作機械による生産能率向上の新しい一方法として十分活用しうるものと思う。たとえば現在行ったところでは炭素鋼, モジュール=1, 歯数 32 枚のミクロン歯切盤による歯切り作業に際して, -20°C のアルコールを切削中ホブおよび歯車素材に注入しただけで乾式切削の場合のピッチ円の軸方向のあらさ 6μ に対して 2μ の美しい仕上面が得られている。また端面の ぼり も少い。
- 3) バイト刃先の衝撃力が切削の重要な要素であるという結論にいたり, これから従来の切削が断続的切削であることに對して規則的な周期の早い強制振動を与えればより効果的な切削が期待できそうであるヒントが考えられた。(これを超音波振動切削⁽⁶⁾と名づけている)

次報に切削機構の解析, それぞれの応用効果について述べる予定でいる。この第 1 報実験研究遂行に當って絶大なる御援助をいただいた三菱石油会社研究部, バイトを提供していただいた三菱金属工業会社大井工場 中村裕道氏に深く感謝し, 実験の一部は現在富士精密工業中村敏昭, 本田技研 堺平八および川崎航空辻明, 明治製糖 白石定裕の諸君の卒業論文によってなされたことを記し, その労を謝する次第である。

文 献

- (1) E. J. Armstrong, A. S. Cosler & E. J. Katz: "Machining of Heated Metals", *Trans ASME*, Jan (1951) など。
- (2) 長谷川: "金属の低温破壊" 金属, Vol. 26, No. 7.
- (3) P. L. Teed: "The properties of metallic materials at low temperature" London(1950).
長谷川: "低温度における鋼材の特性" 鉄と鋼 41, (4). 1955 p. 55~71.
- (4) 隈部: 精機学会春季大会前刷(1957).
- (5) 伊藤: "切削温度の測定" 実験技術ハンドブック p.99~101.
- (6) 隈部, 益子: 岡山臨時地方講演会前刷(1956).