切りくずの硬度試験*

中 山 一 雄** 田 村 清**

Hardness Test of Chip

Kazuo NAKAYAMA, Kiyoshi TAMURA

The micro-Vickers-hardness test of the chips produced in the cuttings of steels and brass under usual cutting conditions reveals that:

- (1) Within the spread of $\pm 4\%$, the hardness is uniform all over the cross-section of a chip, and the cutting conditions have no effect on the hardness of chip.
- (2) The hardness is proportional to the tensile strength for each kind of chip.
- (3) (1) and (2) means that the chip is practically an ideally plastic material.
- (4) Using the relation derived experimentally and found to be reasonable theoretically, the shear stress on the shear plane during the cutting of steel can be estimated from the hardness of the chip produced with a satisfactory accuracy. In the cutting of brass, however, the shear stress is somewhat lower than that estimated from this relation because of the softening by the temperature-rise during the cutting.

1. 緒 言

さきに筆者の一人は、切りくずの純曲げ試験によつてその降伏応力を求め、これから切削中のせん断面上のせん断応力を推定することによつて、切削抵抗を直接測定せずに求める方法を発表した¹⁾。切りくずの降伏応力は切りくずの引張試験によつても求めることができる²⁾。しかし、これらの試験は試験片の作製や試験自体があまり簡単ではないので、本報告では最も手軽な材料試験法である硬度試験を行なつた結果について述べる。

押込み硬度の物理的意義については、近年かなり明確になつてきた。特に被試験体が完全塑性体である場合には、ブリネルやビッカースのように圧力単位で表わされる押込み硬度と降伏応力との間には、よい比例関係があることが理論的にも実験的にも認められている³⁾。切りくずは切削時に受けるきわめて大きいひずみによつて著しい加工硬化を受け、ほぼ完全塑性体と見なしうから、押込み硬度の測定からその降伏応力が求められることは十分期待できる。

2. 実験方法

2.1 切 削

本実験に用いた切りくずは、下記5種類の鋼および黄銅の丸棒(外径45~90 mm)を下記のような普通の切削

条件下で長手旋削して得たものである。

被削材: 炭素鋼 (S15C, S45C, S55C), Cr-Mo 鋼 (SCM3), 不銹鋼 (SUS7), 7-3 黄銅

旋 盤: 昌運カズヌーブ HB500 型

バイト: S2 種超硬, 0, 0, 7, 7, 8, 0, 0.5 mm

切込み(切削幅): 2.0 mm

送 り: 0.10~0.25 mm/rev. (変化)

切削速度: 60~240 m/min (変化)

この範囲で得られた切りくずは、いずれもほぼ完全な連続型切りくずであつた。なお旋削のさいに二成分切削工具動力計を用いて、切削抵抗の二分力を測定し、また切りくずの長さ重量を測定して算出した切りくずの厚さからせん断角 ϕ を求め、これらからせん断面上のせん断応力 τ_s を算出した。

2.2 硬 度 試 験

上記の切削で得られた切りくずの一部をとつて、これを保持するための鉄片に有機接着剤(東芝製アミライト)を用いて接着し、切りくずにおよぼす熱影響を無視できるように注意しつつ、その表面をペーパーおよびバフ仕上げし、微小硬度計(明石製作所製)でこの面のビッカース硬度を測定した。

予備実験として、硬度計の試験荷重の変化が切りくず硬度におよぼす影響を調べるために、荷重を 25 g, 50 g, 100 g, 200 g の4種類に変えて、同一切りくずの硬度を測定したところ、得られた硬度数は $\pm 4\%$ 以内のばらつきの範囲内で一致し、その影響は認められなかつた。

つぎに切りくず内部の硬度分布を知るために、S55C

* 昭和38年4月 精機学会春季大会学術講演会にて発表

** 横浜国立大学工学部 正会員

図1 切りくず内部の硬度分布 (ビッカース硬度)
被削材: S55C, 切込み: 2.0mm, 送り:
0.2mm/rev, 切削速度: 117 m/min.

の切りくずを長手方向に対して直角に切断した断面について測定して結果は、図1に示すごとくで、場所による硬度の変化は測定誤差の範囲内で認められなかった。したがって以後の一般の硬度測定では、測定の便宜上切りくずの粗面を鉄片に接着し、その反対側の面、すなわちパイトのすくい面と摩擦した面をみかいて、ここから約0.1mm内部における硬度を測定した。

2.3 引張試験

上記の硬度試験の結果をうら付けるために、これらの切りくずから引張試験片を作り、その引張試験をおこなった。試験片の製作はやすりおよびペーパーを用いた手仕上げにより、平行部の表面にクラックが残せぬよう、かつ平行部の平行度が0.01mm以内になるよう入念におこなった。なお平行部の断面寸法はつぎの範囲内であり、全試験片にわたって統一はしなかった。平行部の幅0.82~1.78mm, 厚さ: 0.15~0.54mm, 長さ約10mm。

このようにして作った試験片の両端を図2に示すようにウッドメタルを用いて

図2 引張試験片

枠に埋込み、ばねばかりを用いた引張試験機により引張試験をおこなった。その際試験片に曲げがかからないように特に注意した。

なおこの試験では試験片の寸法が小さく、かつ切りくずは著しく加工硬化しているために伸び率も小さいので、ひずみの測定はおこなわず、最大荷重を引張り前の断面積で割った公称応力をもつて、引張りによる破断応力 σ_B とした。

3. 結果および考察

以上の実験結果をまとめるとつぎのごとくである。

(a) 表1にS55Cの場合について例示したように、本実験の範囲では、切削条件の変化(したがって切削時に受ける切りくずのひずみの変化)は切りくずの硬度には影響をおよぼさないことがわかる。この事実は、さきの予備実験で切りくず内部での硬度の変化が認められなかった事実と共に、切りくずの加工硬化がほぼ飽和状態に達していて、完全塑性体とみなしうることをうらづけるものといえよう。なおこの表で、同一切りくずについて

表1 切削条件と切りくずの硬度との関係
(被削材: S55C)

切込み mm	切削速度 m/min	切りくずのせん断ひずみ	ビッカース硬度	
			測定値	平均
0.10	117	2.60	442, 442, 446, 437, 450	443
0.15	117	2.48	450, 429, 450, 446, 433	442
0.20	117	2.43	464, 455, 446, 450, 446	452
0.25	117	2.36	464, 455, 446, 442, 459	453
0.15	46	2.90	433, 446, 450, 433, 450	442
0.15	73	2.82	446, 442, 459, 446, 446	448
0.15	183	2.41	433, 446, 442, 446, 437	441
0.15	234	2.32	433, 442, 433, 433, 437	436

繰り返し測定した硬度数のばらつきは意外に小さく、せいぜい $\pm 4\%$ 以内であることもわかる。

(b) 試験した6種類の被削材について、ビッカース硬度 H_V と引張破断応力 σ_B との関係をプロットすると図3のごとくであり、両者の間には

$$H_V = C_1 \sigma_B \quad (C_1 = 3.05 \pm 0.10) \quad (1)$$

なる比例関係が認められる。

材料が完全塑性体である場合、その押込み硬度と降伏応力との間に比例関係があることは、すべり線場を用いて(2次元問題としてではあるが)理論的に明らかにされており、またD. Taborが著しく加工硬化した数種の金属についてビッカース硬度と降伏応力とを比較した実験でも認められている。ただし、この比例定数は、すべり線場理論を用いて計算すると、圧子と測定物の間の摩擦係数が0の場合には2.4、摩擦係数が0.1の場合には

図3 切りくずの硬度試験と引張試験との比較

2.6 となり、Tabor の実験では約 2.9 であつた⁴⁾。

これらに対して、本実験では約 3.05 と多少大きく出たのは、引張破断応力に公称応力を用いたので、これが過少であつたためであろうと思われる。

(c) 切りくずのピッカース硬度 H_V と切削中のせん断面上のせん断応力 τ_s とは、図4に示すように、黄銅を除

図4 切りくずの硬度試験と切削試験との比較

いた5種類の鋼についてはかなりよい比例関係を有する。すなわち

$$H_V = C_2 \tau_s \quad (C_2 = 5.20 \pm 0.15) \quad (2)$$

したがつて、式(1)と式(2)から

$$\tau_s = \frac{C_1}{C_2} \sigma_B = \frac{1}{1.70} \sigma_B \quad (3)$$

一方、Thomsen 等が2次元切削にせん断ひずみエネルギー説を適用して求めた結果⁵⁾は、

$$\tau_s = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_B \quad (4)$$

であり、本実験で得られた式(3)は式(4)とかなり良く一致する。

切削中のせん断面上におけるせん断変形はかなり高温(鋼切削で 200~400°C)で、著しく高いひずみ速度で行なわれるにもかかわらず、この時の変形抵抗が、室温での静的硬度試験の結果と一義的關係を有するというこの事実は、鋼の切削中のせん断面上のせん断応力は、温度およびひずみ速度の影響をほとんど受けないことを示すものといえよう。

これは、すでに報告したように⁶⁾ 大部分の鋼の変形抵抗は、室温から 400°C くらいの範囲では、温度によつてはあまり変化せず、また速度修正温度 (velocity modified temperature) の考え方をを用いれば、ひずみ速度によつてもあまり変化しないことから納得できることである。

一方、図4で黄銅のせん断応力 τ_s が式(2)の直線からはずれて過小に現われたのは、黄銅の変形抵抗が上記の温度範囲内でも温度上昇によつて敏感に低下するためと考えられる。すなわち、黄銅切削中のせん断面温度を本実験の場合について計算すると、約 200°C であり、硬度試験は切削後に室温でおこなつたものであるから、その温度差の影響が現われたものであろう。

8. 結 論

(1) 以上の切りくずの微小硬度試験では、同一切りくず内部での場所による硬度の変化は認められず、また同一被削材を異なる条件で切削して得た切りくずの間にも硬度の差は認められず、いずれの場合も測定値のばらつきはせいぜい ±4% 以内であつた。

(2) 切りくずの硬度は、その引張り強さとのよい比例関係 [式(1)] を有する。これは、切りくずをほぼ完全塑性体とみなしうることを示すものであり、切りくずの降伏応力はその硬度試験からきわめて簡単に知ることができる。

(3) 鋼切削中のせん断面上のせん断応力は、それによつて得られた切りくずの硬度とのよい比例関係 [式(2)] を有する。この事実から、切りくずの硬度試験により切削中のせん断面上のせん断応力を容易に求めることができる。これは切削抵抗を実測せずに求めるための有効な手段となる。またこの事実は、鋼切削中のせん断面上の変形抵抗は通常の切削条件下では、温度およびひずみ速度の影響をほとんど受けないことを示すものである。

(4) 黄銅切削の場合には、切削中のせん断面上の温度上昇により、ここでのせん断応力は低下するので上記の関係からすこしはずれる。

(5) 切りくずの引張破断応力と切削中のせん断面上の

せん断応力との関係は、せん断ひずみエネルギー説を用いて理論的に導かれたものとよく一致する。

(1963, 4月27日受付)

参考文献

- 1) 中山一雄：精密機械，28巻9号 (1962) 525.
- 2) 中山一雄：日本機械学会論文集，27巻178号 (1961) 833.
- 3) D. Tabor : The Hardness of Metals, Oxford University Press (1951).
- 4) D. Tabor : Proc. Roy. Soc. (1948) A192, 247.
- 5) E.G. Thomsen 他2名 : Trans. ASME, Vol. 72 (1950) 979.
- 6) 中山一雄：精密機械，24巻12号 (1958) 674.