

北見工業大学 ○阿部 英明(院) 中国瀋陽新光動力機械 王 宝蘭
 北見工業大学 久保 明彦 北川 武揚

1. はじめに

硫黄快削鋼は切りくず処理性の良いこと、良好な仕上面が得られることなどから自動盤による小物部品のフォーミング切削加工に多用され、快削鋼素材の製鋼、圧延のプロセスでは介在物の大きさ、形状が被削性向上にどのように効くかが大きな課題となっている。ハイスによるフォーミング切削加工では、鋼中のMnS介在物サイズが大きいほど仕上面は良好となるが、これにも限界があり最適粒子サイズが存在する。著者らは、ホプキンソン棒法による高ひずみ速度(10³s⁻¹)・高温での流動応力特性を調べた結果、粒子サイズが大きいほど流動応力は低下することを明らかにした。一方、最近の報告によれば、介在物粒子の小なるほど摩擦減少作用を示唆する解析¹⁾がある。被削性向上のうえで最適粒子サイズが存在することは、粒子サイズが大なるほど流動応力は低下する反面、摩擦係数が増大するという相反する効果が相加された結果ともいえる。本研究では、このような観点から粒子サイズの大きさの摩擦係数に及ぼす影響を調べることと、切削シミュレーションのための摩擦特性式の導出を目的としている。

2. 供試材

表1は、粒子サイズの異なる二種類の低炭素硫黄快削鋼の化学成分と粒子サイズを示す。Mn,S含有量から、略番Xc,Yc材ともほぼ同量体積のMnSが含まれているものと思われる。画像処理による粒子サイズは圧延方向断面に現われる粒子の平均断面積 \bar{A} で表わし、Xc材よりもYc材の方が小さい。表2は、すくい角0°の工具による切削実験により得られたせん断角、せん断応力を示す。図1は、ホプキンソン棒法により測定された流動応力を示し、粒子サイズの小さいYc材の方がXc材に比べて大きい、高温ほど接近している。この結果は表2の切削実験により計算されたせん断応力とも対応しているようである。切削実験に用いた工具は超硬P-20の一種類である。

3. 実験方法と測定原理

切削実験は、直径100mmの円板(圧延方向に直角切断)の半径方向二次元切削で、切削速度は100および200m/min、切削幅約2.51mm、送り(切削厚さ相当)0.2mm/rev、工具すくい角0°である。すくい面応力分布測定には分割型動力計²⁾を用いた。応力分布測定の原理は、図2に示すような種々の分割長さ l をもつ工具により上述の二次元切削を行ない、この分割工具に作用する主分力 F_{c1} 、背分力 F_{t1} を測定し、式(1)により垂直応力 σ_t 、摩擦応力 τ_t が求められる。

$$F_{c1} = w \int_0^l \sigma_t dl, \quad F_{t1} = w \int_0^l \tau_t dl \quad (1)$$

ただし、 w は切削幅である。 F_{c1} 、 F_{t1} 測定の一例を図3に示す。具体的には同図の曲線の図式微分から σ_t 、 τ_t 分布を求めた。

4. 実験結果と検討

図4(a),(b)は、粒子サイズの大きいXc材と粒子サイズの小さいYc材について、切削速度100m/minで測定された応力分布である。い

表1 化学成分とMnS粒子サイズ

略番	化学成分 (Wt %)				画像解析による粒子サイズ \bar{A}
	C	Mn	P	S	
Xc	0.07	0.97	0.067	0.339	145 μm^2
Yc	0.07	0.91	0.087	0.321	124 μm^2

表2 切削実験によるせん断角、せん断応力

略番	せん断角 (deg)		せん断応力 (kg/mm ²)	
	V=100m/min	V=200m/min	V=100m/min	V=200m/min
Xc	13.06	18.90	40.94	50.80
Yc	16.19	19.06	47.04	49.50

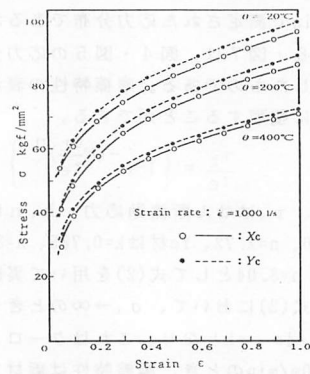


図1 応力-ひずみ関係

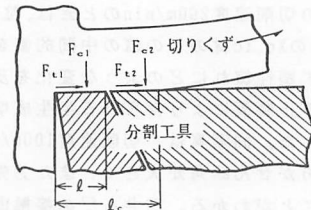


図2 応力測定用分割工具動力計

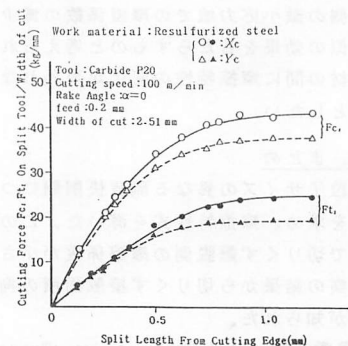


図3 実測された F_{c1} 、 F_{t1} の一例

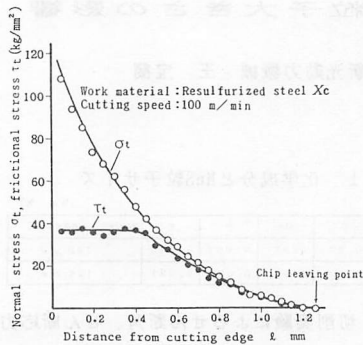


図4 (a) すくい面応力分布 Xc材

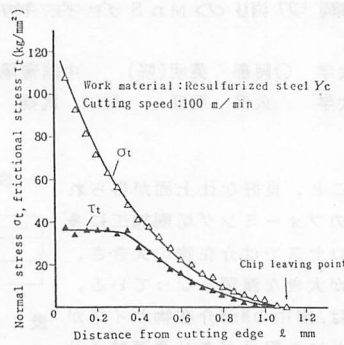


図4 (b) すくい面応力分布 Yc材

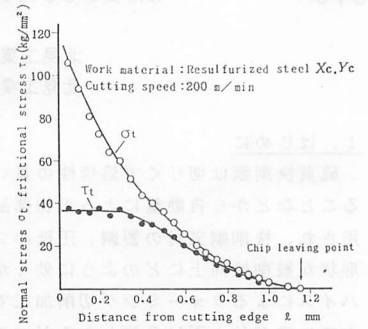


図5 すくい面応力分布 Xc材, Yc材

いずれも垂直応力 σ_t については、切刃で最大値をとる指数曲線の分布を示し、摩擦応力 τ_t は刃先側で約 36kg/mm^2 に飽和する台形の分布である。しかしXc材とYc材には明らかな相違がみられる。図5は切削速度 200m/min で測定された応力分布であるが、両材に差異はみられなかった。図6・図7は、図4・図5の応力分布からの σ_t と τ_t の関係をプロットしたものである。摩擦特性の表示は、白樫³⁾と類似の式で次式のように整理することができる。

$$\frac{\tau_t}{\tau_{te}} = \left\{ 1 - e^{-\left(k \frac{\sigma_t}{\tau_{te}}\right)^n} \right\}^{\frac{1}{n}} \quad \text{--- (2)}$$

ただし、 τ_{te} はせん断流動応力、 k 、 n は定数である。図6で、Xc材は $k=0.980$ 、 $n=2.72$ 、Yc材は $k=0.785$ 、 $n=3.31$ 、図7ではXc、Yc材とも $k=0.886$ 、 $n=3.04$ として式(2)を用いて実線の曲線で表示できることがわかる。式(2)において、 $\sigma_t \rightarrow \infty$ のとき $\tau_t = \tau_{te}$ となり、一方、微係数は $d\tau_t/d\sigma_t \rightarrow k$ となり、これはクーロン摩擦に相当する。図6の切削速度 100m/min のとき、摩擦特性は両材で明らかに異なり、切りくず離脱付近の小応力状態のクーロン摩擦領域では粒子サイズの小さいYc材が、Xc材に比べてかなり小さな摩擦係数 k をとることが特徴的である。図7の切削速度 200m/min のときは、粒子サイズに関係なく切削速度 100m/min のXc、Yc材の k の値の中間的値を示している。摩擦係数 k が、切りくず塑性流れにどのような変化を及ぼしているかを調べるため、切削急停止装置により得られる半生成切りくずの顕微鏡写真(図8)を作成した。同写真は、切削速度 100m/min のものであるがXc材に比べYc材の方がせん断角が大きく、また刃先二次流れがかなり複雑になっていることがわかる。白井ら⁴⁾の接触面積拘束工具による切削機構の解析でも、通常工具に比べて同様なせん断角の増大と複雑な塑性域の存在を報告している。粒子サイズの小さいYc材の切削では、切りくず離脱側の微小応力域での摩擦係数の減少は、切りくず接触面積の拘束と類似の効果をもたらすものと考えられる。切削速度 200m/min でのXc材Yc材の間に摩擦特性の変化が現われなかったことについては今後の課題としたい。

5. まとめ

粒子サイズの異なる硫黄快削鋼について、実験的にすくい面応力分布を求め、摩擦特性式を導いた。この結果、粒子サイズの小さい快削鋼で切りくず離脱側の摩擦係数が小さくなること、また切削の急停止観察の結果から切りくず接触面積の拘束と類似の効果を示していることが知られた。

参考文献 1) K.Yamaguchi et.:Trans. ASME Vol.102, Aug. 1980. 2) 北川他:精密機械、42巻12号 3) 白樫他:精密機械、39巻 9号 4) 白井他:精密機械、35巻 3号

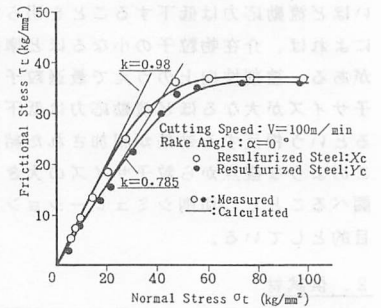


図6 垂直応力と摩擦応力の関係

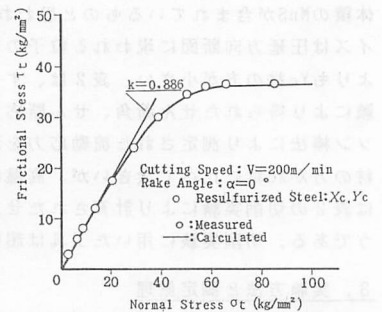


図7 垂直応力と摩擦応力の関係

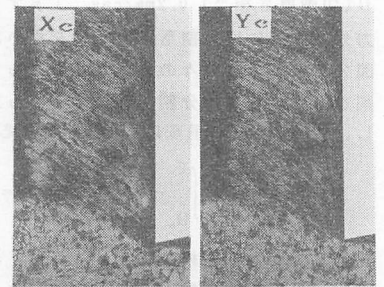


図8 切削急停止写真