被削性におよぼす硫化物形状の影響について

阿部山尚三*, 木村篤良*, 中村貞行*

Influence of Sulfide Shape on Machinability of Resulfurized Steel

Shozo Abeyama, Atsuyoshi Kimura and Sadayuki Nakamura

Synopsis

In order to clarify the influence of sulfide shape on the machinability of resulfurized steel, machinability tests were carried out using the medium carbon steels whose sulfide shapes were varied by different forging ratios. Forging ratio or sulfide shape has no distinguished effect on the machinability of those steels, while sulfur content has the larger effect. This fact suggests that the improvement in machinability by lowering C and Si content is not related with globularization in sulfide shape, but with some changes in sulfide composition, oxide composition or size of sulfides.

1. 結 言

硫黄快削鋼の被削性はその硫化物形状によって変化し、細長く伸びた硫化物よりも球に近い形の硫化物の方が被削性を向上させる程度が大きいとされている^{1)~4)}。しかし、この知見は、大部分がC, Si, Alなどの含有率を変えることにより硫化物形状を変化させた鋼を用いて得られたものであり、硫化物の組成やその機械的性質、あるいは酸化物の組成の変化などを伴っているため、硫化物形状のみの効果と考えることはできない。すなわち、硫化物が丸くて大きいことが被削性に良いのか、あるいは、硫化物が丸くなるような条件そのもの、例えば硫化物の組成や酸化物の組成などが被削性を向上させるのかを判別することはできない。硫化物形状そのものの影響に関する研究はほとんど

なく、一報告⁵⁾が見られる程度である。この場合、電子顕微鏡の中で切削試験を行い、球状介在物では、介在物と母相の界面ではなく離れによるポイドが生成し、これが成長するが、針状介在物の場合には、介在物自体が破壊し、ポイドの生成を伴わないことが観察されている。この実験での問題点は、その著者らが指摘しているように、実際の加工に比べ切削速度が著しく低いことである。すなわち、硫黄快削鋼を切削してできる切りくず中の硫化物は、加工前の硫化物が球状（あるいは紡鐘状）の場合でも、切削変形により極めて細長く伸ばされていることが観察されており、電子顕微鏡の中での微小切削とは様相⁶⁾が異なっている。

以上のような背景から、本研究では、実用切削条件下での被削性におよぼす硫化物形状そのものの影響を調べることを目的とした。その際、同一材料を用いて、鍛錬比を変えることにより、硫化物や酸化物の組成を変えることなく硫化物の形状のみを変化させる方法をとった。

昭和59年 4 月27日 受付

*大同特殊鋼株式会社中央研究所

2. 実験方法

2.1 試験材料

試験材料として、機械構造用炭素鋼 S 45C およびその硫黄快削鋼を用いた。Table 1 にその化学成分を示す。硫黄含有率は0.006%(S 45C), 0.05%(S 45C S1), 0.11%(S 45C S2) の3水準であり、その他の成分含有量は3鋼種ともほぼ同じである。硫化物の形状を変化させるために、同一材料から、それぞれ110mm, 60mm, 40mmの角棒(鍛錬比3, 11, 24)に熱間鍛造した。その後、マトリックスへの鍛造の影響を取り除くために、

Table 1. Chemical compositions of tested materials.

Grade	Chemical compositions (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
S 45C	0.47	0.24	0.81	0.028	0.006	0.08	0.05	0.03
S 45C S1	0.44	0.30	0.38	0.031	0.051	0.07	0.04	0.17
S 45C S2	0.44	0.27	0.92	0.031	0.110	0.07	0.04	0.19

Table 2. Hardness of tested materials (HRB).

Grade	Forging ratio	3	11	24
S 45C		91.0	91.0	91.1
S 45C S1		91.4	91.5	91.9
S 45C S2		91.5	92.5	92.3

850℃で3h保持した後空冷した(焼ならし処理)。Table 2 に試験材料のかたさを示す。3種類の材料のかたさはほぼ同じであり、その差は被削性に影響を与えないレベルである。

光学顕微鏡(倍率400, 目盛10μ)を用いて、任意の50個の硫化物の幅と長さを測定し、平均長短比を計算した。鍛錬比と硫化物平均長短比の関係をFig. 1に示す。鍛錬比の増大に伴い硫化物の長短比が増大している。また、硫黄含有率が高いほど長短比が大きいという傾向も認められる。

2.2 切削試験方法

切削試験としては、超硬工具による旋削加工時の切削抵抗試験およびハイスドリルによる切削抵抗試験、せん孔速度試験および寿命試験を行った。切削条件をTable 3に示す。旋削加工においては外径40mm, 内径35mmの円筒をチャックに取り

Fig. 1. Influence of forging ratio on shape factor (Length/width) of sulfide inclusions.

Table 3. List of cutting conditions.

Machining operation	Turning	Drilling	Drilling
Factor	cutting forces	cutting forces	tool life
Tool	Carbide P20 6° rake angle	HSS SKH51 10mm dia.	HSS SKH51 10mm dia.
Cutting speed	200m/min	10m/min	42m/min
Feed	0.2mm/rev	0.1mm/rev	0.1mm/rev
Depth of cut	2mm	20mm (blind)	20mm (blind)
Cutting fluid	Non	Non	Non

つけ、厚さ2mmに仕上げた後切削抵抗を測定した。円筒の端面を切削し、準二次元切削と考え、主分力と送り分力の二分力を測定した。

測定は2回繰返し平均値をもとめた。ドリル抵抗はトルクとスラストを測定した。測定は6回実施し、平均値をもとめた。

ドリルせん孔速度は5mmのドリルを用いて一定荷重(50kg)をかけて10mmの穴をあけるのに要する時間を測定した。さらに快削黄銅BsBMD2を標準材とし、標準材のせん孔時間 t_0 と試験材料のせん孔時間 t の比 t_0/t をドリルせん孔性指数とした。試験の繰返し数は3である。

ドリル寿命試験の条件もあわせてTable 3に示す。工具寿命は工具が折損するかまたは軟化溶融する時点までに加工した穴の全長で示した。

3. 結果と考察

3.1 旋削加工における切削抵抗

切削抵抗の測定結果をFig. 2に示す。主分力(Tangential force)、送り分力(Feed force)ともに同一鋼種(同一S含有量)では鍛錬比の違い、すなわち、硫化物形状係数(長さ/幅)の違いによる差は小さい。全体として見ると、見かけ上、硫化物形状係数の増大に伴い切削抵抗が減少するような傾向を示しているが、これは硫黄含有量により硫化物形状が異なるためである。Fig. 3はFig. 2のデータを横軸に硫黄含有量をとってプロットしたものである。硫黄含有量の増加により切削抵抗は減少している。この図からも若干のばらつきはあるものの、鍛錬比の違い、すなわち硫化物形状の違いの影響は小さいことが明らかである。

Fig. 4は工具すくい面上の摩擦角を計算し、硫化物形状係数に対してプロットしたものである。摩擦角は二次元切削と考え、次の式で計算した。

$$\beta = \tan^{-1} \mu$$

$$= \tan^{-1} \left[\frac{F_1 \sin \alpha + F_2 \cos \alpha}{F_1 \cos \alpha - F_2 \sin \alpha} \right]$$

β : 摩擦角 μ : 摩擦係数
 F_1 : 主分力 F_2 : 送り分力
 α : 工具すくい角

同図より、摩擦角は硫化物形状によって変化せず、硫黄含有量の増加に伴い減少する、すなわち、摩擦係数が小さくなることがわかる。

Fig. 5は切削抵抗測定時に得られた切りくずの

Fig. 2. Influence of sulfide shape on cutting forces in turning.

Fig. 3. Influence of sulfur content on cutting forces in turning.

Fig. 4. Influence of sulfide shape on friction angle on the rake face of the tool.

厚さを任意に30点測定し、その平均値を計算した結果である。切りくず厚さについても、硫化物形

Fig. 5. Influence of sulfide shape on chip thickness in turning.

状の影響は小さく、硫黄含有率の増加により切りくず厚さが減少している。二次元単一せん断面を仮定した場合のせん断面におけるせん断ひずみ γ は

$$\gamma = \cot \phi + \tan(\phi - \alpha)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\cos \alpha}{\frac{t}{f} - \sin \alpha} \right)$$

ここで、 ϕ : せん断角 α : 工具すくい角
 t : 切りくず厚さ f : 送り

で表わされ、切りくず厚さの減少はせん断ひずみの減少と対応している。したがって、せん断面のせん断ひずみは硫化物形状によらず一定であると言えることができる。

3.2 ドリル加工性

Fig. 6 にはドリル加工時のトルクと硫化物形状の関係を示した。この場合にも硫化物形状の影響は小さく、また硫黄含有量の増加により若干切削抵抗が低下している。Fig. 7 は硫化物形状係数とドリル寿命の関係を示したもので、ドリル寿命は当然ながら硫黄含有率の高い S 45C S2 が最も長い。これに比べて、硫化物形状の影響は小さく、系統的な影響は認められない。ドリル切削抵抗とドリル寿命の間には良い対応のあることが知られているが、この試験でも切削抵抗と工具寿命の間には対応があり、切削抵抗の大きい S 45C の工具寿命が最も短い。

Fig. 8 にドリルせん孔性試験結果を示す。せん孔性指数 (Drill machinability rating) も硫化物形状によらずほぼ一定であり、硫黄含有量の増加による、せん孔性指数の上昇の方が顕著である。

Fig. 6. Influence of sulfide shape on torque in drilling.

Fig. 7. Influence of sulfide shape on tool life in drilling.

Fig. 8. Influence of sulfide shape on drill machnability rating.

3.3 硫化物形状と被削性

以上のように、同一材料をもとにして、鍛錬比

を変えた材料の被削性は鍛錬比に影響されない。すなわち、硫化物形状によらずほぼ一定であることが明らかになった。各データには若干のばらつきがあるが、少なくとも従来言われているような硫化物が丸いほど被削性が良いと言った明確な傾向は認められな^ち。前に述べたように低炭素系の硫黄快削鋼では硫化物が丸いほど被削性が良いと言うことが多くの研究で明らかにされている。¹¹⁻¹⁴⁾これらのデータは主として、溶製方法の違いや鋼の成分、例えばC、Si含有率を変えることによって、硫化物の形状を変化させている。同一熱間加工条件のもとで硫化物の形状に差が生じるという現象は、逆に、硫化物の組成(例えば酸素の固溶やTi、ZrによるMnの置換⁷⁾)や、硫化物に付着している介在物の組成(例えば低融点酸化物やMnTeの付着⁹⁾)が変化していることを意味している。硫化物の組成や硫化物に付着している介在物の組成が変化すれば被削性の変化することは予想され、硫化物形状よりも影響が大きいとも考えられる。従って、本研究の結果をもとに推論すると、CやSiが低いほど酸素含有率が高くなり、その結果として硫化物は丸くなるが、それと同時に低融点の酸化物(含硫化物)が生成され、とくに後者が被削性に影響していると考えられる。低融点介在物以外にも、サブミクロンの酸化物系介在物が被削性を改善すると言う報告もある⁹⁾。

本研究のデータは硫化物の形状に関するものであり、硫化物のサイズについては言及していない。Si量が変化すると硫化物サイズも変化するので、これが被削性¹⁾に影響していることも考えられるが、介在物の組成の影響とサイズの影響を分離することは今後の課題である。

4. 結 言

鍛錬比を変えることにより硫化物形状を変えた

S 45C およびその硫黄快削鋼 S 45C S1, S 45C S2 の被削性を試験した結果、つぎのような結論を得た。

1) 超硬工具による旋削加工時の切削抵抗、ドリル加工時の切削抵抗、ドリルせん孔性指数、ドリル寿命は硫化物形状によらずほぼ一定であり、硫黄含有率の影響が大きい。

2) これより、C、Si等を低めることにより硫黄快削鋼の被削性が向上するのは、硫化物の形状以外の結果、例えば、硫化物や酸化物の組成、硫化物のサイズ等によるものと推論される。

謝辞

本研究の切削試験の実施にあたり、労を惜しまず協力していただいた大同工業大学の学生杉浦直人氏に感謝致します。

(文 献)

- 1) L.H. Van Vlack: Trans. ASM, 45 (1953), 741
- 2) G.J. Marston and J.D. Murray: JISI, 208 (1970) 6, 568
- 3) F.W. Boulger, H.A. Moorhead and T.M. Garvey: Iron Age, 167 (1951) 17, May, 90
- 4) E.J. Paliwoda: Trans. ASM, 47 (1955), 680
- 5) 岩田一明, 上田完治, 柴坂敏郎: 精密機械, 43 (1977) 3, 311
- 6) M.G. Stevenson and K.R. Duncan: JISI, 211 (1973) 10, 710
- 7) 三本木貢治: 鉄と鋼, 64 (1978) 1, 145
- 8) 加藤哲男, 阿部山尚三, 木村篤良, 中村貞行: 電気製鋼, 53 (1982) 3, 195
- 9) L.M. Riekels: "The Machinability of Engineering Materials", ASM (1983), 42