

# 被削性に優れた低炭素鉛フリー快削鋼 「スミグリーンCS」の開発

松井直樹<sup>1)</sup> 岡山 敦<sup>2)</sup> 加藤 徹<sup>3)</sup>  
長谷川達也<sup>\*\*</sup> 藤原順介<sup>\*\*\*</sup>

## 1. はじめに

AISI 12L14に代表される低炭素鉛快削鋼はさほど高い強度を必要としない自動車用の油圧部品やプリンターシャフトなどのOA機器用部品に広く使用されている。これらは主に多軸自動盤やNC旋盤による切削加工によって製造され、素材となる鋼材としては切削加工後の表面が滑らかである(表面粗さが小さい)こと、加工中に排出される切りくずが短く分断される(切りくず処理性が良い)ことなど優れた被削性が要求される。鉛は鋼中で単独の介在物として存在し、融点が高いことから切削温度の上昇とともに溶解して表面粗さや切りくず処理性の向上に大きな効果を発揮する<sup>(1)</sup>ので、鉛を含有させて被削性を向上させた鉛快削鋼が広く使用されてきた。しかし、環境への配慮から鉛の使用を控える動きが高まっており<sup>(2)</sup>、低炭素鉛快削鋼においても鉛フリー化が望まれている。特に低炭素鉛快削鋼においては、鉛を添加しないときの被削性の低下は中炭素鋼に比べて顕著であり、鉛フリー化した快削鋼でいかにして鉛快削鋼と同等以上の被削性を確保するかが開発の課題である。当社グループでは、以前より様々な用途で鉛フリー快削鋼「スミグリーン・シリーズ」を開発してきたが、AISI 12L14系の低炭素鉛快削鋼においても代替可能な被削性に優れた鉛フリー快削鋼を開発し、商品名「スミグリーンCS」として実用化したので、その概要を紹介する。

## 2. 開発鋼の特徴

開発鋼では鉛フリー化に伴う被削性の低下をMn系硫化物(MnS)を活用することで補った。よって0.5 mass%以上という従来にない高いレベルのS量を含む、独自の製鋼技術によってアスペクト比(L/W)の小さいMnSを均一に分散させたことに特徴がある。図1に開発鋼のMnSを観察した光学顕微鏡写真と画像解析によって調べたMnS粒子のアスペクト比の分布を示す。0.5 mass%以上の大量のSを含有する高S鋼を量産するにあたっては、アスペクト比の小さなMnSを均一かつ多量に分散させる以外に連続铸造における内部割れを抑制することが重要な技術課題となった。MnSを均一かつ多量に分散させるためには、スラグ精錬段

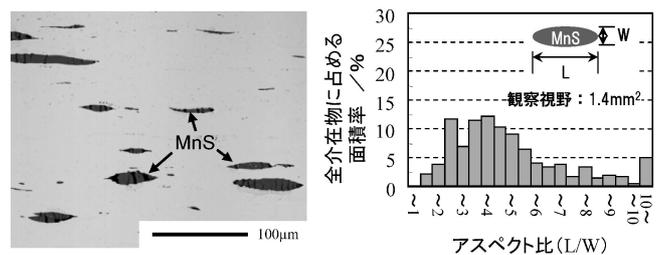


図1 開発鋼のMnSの分散形態(φ22.5 mm 冷間加工材)。

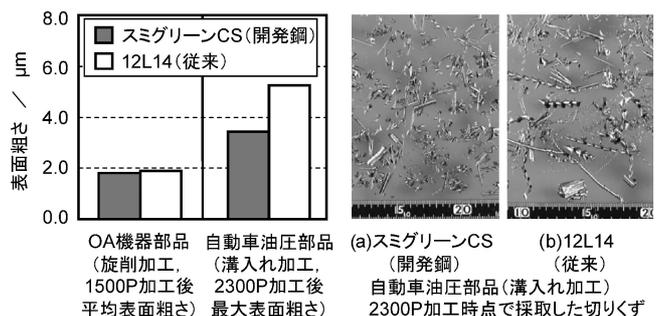


図2 実部品加工における開発鋼の被削性。

\* 住友金属工業株式会社総合技術研究所：  
1)主任研究員 2)副主任研究員 3)参事

\*\* 株式会社住友金属小倉商品開発部 参事

\*\*\* 大阪大学准教授；工学研究科

Development of “Smigreen CS”, Non-Leaded Low Carbon Free Cutting Steel with Improved Machining Performance; Naoki Matsui\*, Atsushi Okayama\*, Toru Kato\*, Tatsuya Hasegawa\*\*, Junsuke Fujiwara\*\*\* (\*Sumitomo Metal Industries, Ltd., \*\*Sumitomo Metals Kokura, Ltd., \*\*\*Osaka University)

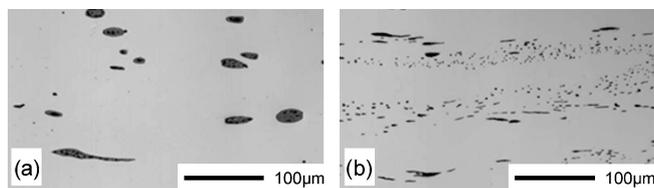
2010年10月28日受理

階で溶鋼中の酸素含有率やS含有率の減少速度を適切に制御すること<sup>(3)</sup>、連続铸造での铸片の内部割れを防止するためには、MnおよびSそれぞれのミクロ偏析挙動を解析し、S濃度に応じた適切なMn濃度を設定すること、が重要であることを明らかにして、これらの技術課題を克服した。

開発鋼の被削性を実部品の量産加工で評価した結果の一例を図2に示す。開発鋼は異なった加工条件、すなわち、NC旋盤による旋削加工で加工されるOA機器部品でも、あるいは多軸自動盤による溝入れ加工で加工される自動車部品でも、従来の低炭素鉛快削鋼(AISI 12L14)と同レベルの良好な表面粗さや切りくずが細かく分断される切りくず処理性を発揮することができる。

### 3. 開発鋼の被削性改善機構

鉛を添加せずとも優れた被削性を有する快削鋼を開発するために、鉛快削鋼(AISI 12L14)の切削機構を検討した。その結果、鉛快削鋼では切削中に工具刃先に形成される「構成刃先(Built-up Edge, BUE)」が大きく成長しないことで良好な表面粗さが得られていた<sup>(4)</sup>。そこで筆者らは、鉛フリー快削鋼においても構成刃先を鉛快削鋼の場合と同様になるようにコントロールする目的でMnSの量や分散形態と被削性の関係について、特に構成刃先の成長挙動に着目して検討した。実験には小型真空溶解炉で脱酸調整し、図3のように



(a)粗大・紡錘形状MnS鋼 (b)微細・伸長形状MnS鋼

図3 試験材のMnS形態(φ28mm冷間加工材)。

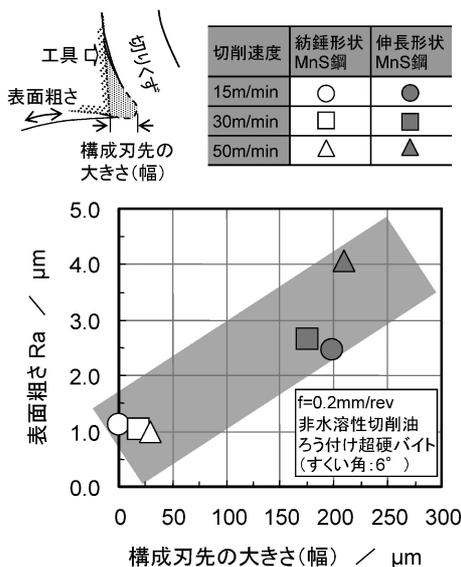
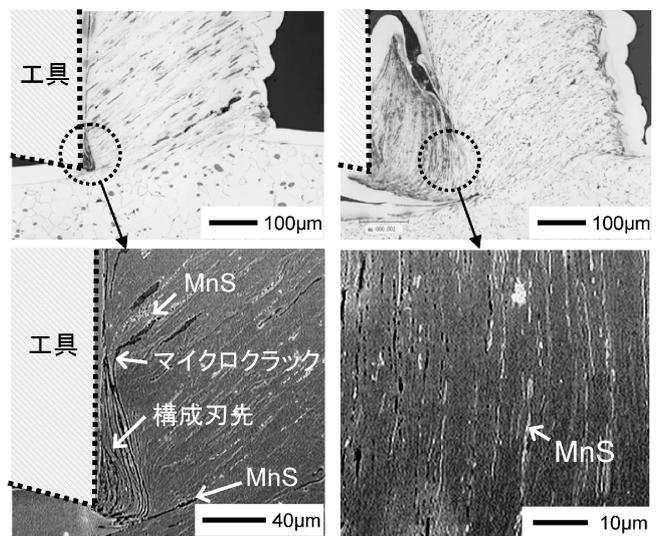


図4 切削急速停止実験によって測定された構成刃先の大きさと表面粗さの関係。

MnSの分散形態を変化させた高S鋼を用いた。また構成刃先やその周囲の微細組織を観察するため、切削加工の途中で工具を高速に抜き取ることで切削加工の状態を“凍結”することができる「切削急速停止装置」を活用した。試験は15, 30, および50 m/minの切削速度で二次元切削(超硬バイト(すくい角6°), 送り0.2 mm/rev, 非水溶性切削油使用)を行い、切削加工を“凍結”した試験片を得た。これらの切削面の表面粗さを測定した後、樹脂埋めし、鏡面研磨後の断面でそれぞれの構成刃先を観察した。図4に構成刃先の大きさ(幅)と表面粗さの関係を調べた結果を示す。粗大で紡錘形状のMnSを分散させた鋼ではいずれの切削速度においても構成刃先の大きさが小さく、良好な表面粗さが得られた。これに対し、微細で伸長したMnSを分散させた鋼ではいずれの切削速度においても構成刃先が大きく成長し、表面粗さも大きな値となった。図5に切削速度50 m/minで得られた構成刃先近傍の断面組織を示す。粗大・紡錘形状MnS鋼では構成刃先は約40 µmと小さく、これを拡大すると構成刃先の周囲では変形した紡錘形状のMnSを起点としてマイクロクラックが多数発生しており、その一部は構成刃先と切りくずの境界にまで達していることが観察された。一方、微細・伸長形状MnS鋼の構成刃先は幅が200 µm以上あり大きく成長していた。構成刃先と切りくずの境界近傍では、マイクロクラックが発生して構成刃先と切りくずを分断しているような様子は観察されず、多くのMnSがそのまま構成刃先の内部に取り込まれていた。すなわち、本観察からMnSの形態によってマイクロクラックの発生挙動が異なり、これが構成刃先の成長に影響を及ぼしていることがわかった。

ここでMnS周囲でのマイクロクラックの発生挙動を「SEM内切削」を用いて詳細に観察した<sup>(5)</sup>。SEM内切削は図6(a)に示すように微小切削が可能な小型試験機をSEM内に設置し、切削中の切りくず内部の変形を微視的にその場観察できる装置である。図6(b), (c)に試験材を1ステップ(約4 µm)ずつ送って切削したとき、点線丸印で囲った形態



(a)粗大・紡錘形状MnS鋼 (b)微細・伸長形状MnS鋼

図5 切削急速停止実験(切削速度50 m/min)で観察された構成刃先の断面組織。

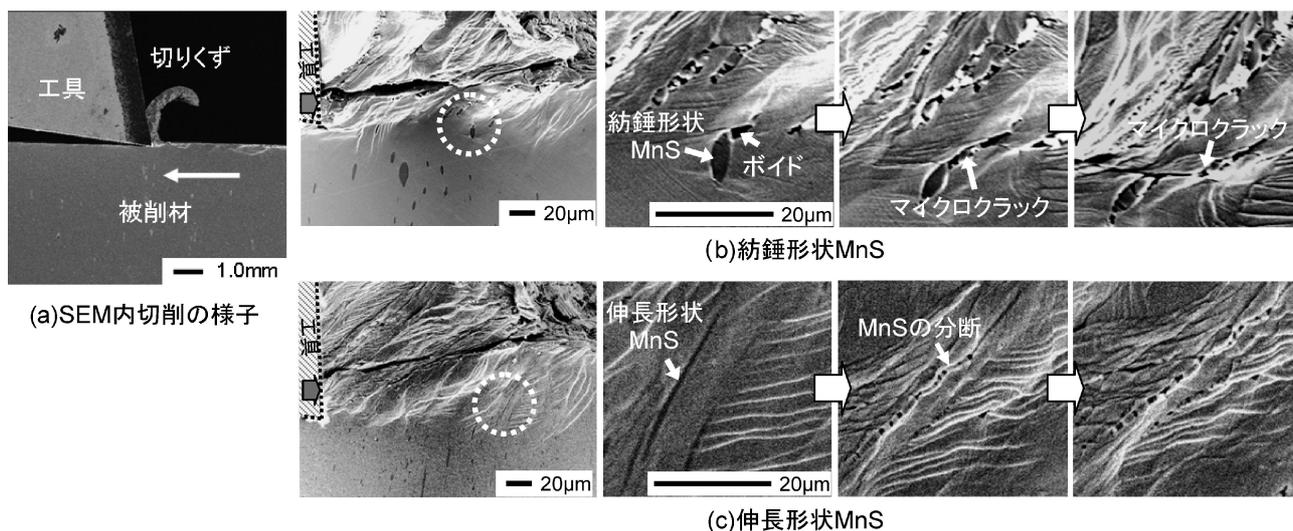


図6 (a) SEM内微小切削試験(切削速度; 16.2 mm/min, 切り込み; 0.10 mm, 工具; SKH4(すくい角 $6^{\circ}$ , 逃げ角 $3^{\circ}$ )の概略と切りくずせん断域における (b) 紡錘形状 MnS, (c) 伸長形状 MnS の変形挙動.

の異なる2種類のMnSが切りくずの内部で変形する様子を観察した結果を示す. 図6(b)に示すようにアスペクト比の小さな紡錘形状のMnSでは, 切りくず内のせん断ひずみによって母材との界面にポイドが生じ, ポイドが大きくなマイクロクラックとなって進展していくが, 伸長形状のMnSでは紡錘形状のMnSで観察されたようなポイドやき裂は生じず, せん断ひずみによってMnS自体が分断されていく様子が観察された. このようにSEM内切削においてもMnSの形態によってマイクロクラックの発生挙動が異なることを確認した. 以上のことから, アスペクト比の小さな紡錘形状のMnSはせん断域でマイクロクラックを容易に発生させるため, これを鋼中に多数分散させることで構成刃先と切りくずが分断される頻度が高まり, 構成刃先の成長が抑制されると考えられる. また, 紡錘形状のMnSが多数存在することで切りくず内部のせん断域でもMnSを起点とするマイクロクラックの発生頻度が高まり, これらが進展, 結合して切りくずが分断されやすくなると考えられる. 一方, 伸長形状のMnSでは紡錘形状のMnSのようなマイクロクラックが発生しにくいと, このような効果が得られにくいと考えられる. 鉛フリー快削鋼において構成刃先を鉛快削鋼のように小さくし, 同時に切りくず処理性を向上させるには, せん断変形によってマイクロクラックを効果的に発生するアスペクト比の小さな紡錘形状のMnSをより多く, より均一に分散させることが重要である. 高度な製鋼, 鋳造プロセスにより,

0.5 mass%以上のSを含有し, アスペクト比の小さい紡錘形状のMnSを大量に均一分散させた, 被削性に優れた鉛フリー快削鋼「スミグリーンCS」を実用化した.

#### 4. 実用化状況

本開発鋼は2007年以降, 自動車用油圧部品およびOA機器用部品として量産, 実用化されている. 今後も鉛フリー快削鋼の需要増加に伴って適用の拡大が期待される.

#### 5. 特許

特許第3687370号, 特許第4325497号など5件の関連特許が国内外に出願, 登録されている.

#### 文献

- (1) 例えば, 家口 浩: 鉄と鋼, **77**(1991), 683-690.
- (2) 潮 憲樹: 金属, **74**(2004), 1239-1243.
- (3) A. Okayama and T. Nishi: Proc. AISTech. 2008, **1** AIST, (2008).
- (4) 松井直樹, 長谷川達也, 藤原順介: 精密工学会誌, **76**(2010), 1166-1170.
- (5) 川添 翼, 藤原順介, 松井直樹: 精密工学会秋季大会講演論文集, **B34**(2009), 107-108.