

精密電子機器用 Pb フリー高強度・非磁性・高耐食性 快削ステンレス鋼線材の開発

高野 光 司^{*1)} 福 元 成 雄^{*1)} 天藤恭太郎^{*2)}
木 崎 雅 之^{*3)} 吉野浩一郎^{*4)}

1. は じ め に

従来、ビデオデッキ等の磁気媒体記憶装置のシャフト等の部品は、形状が単純で切削加工を殆ど必要としないため高 Mn-高 N 系の 200 系のステンレス鋼線材を強冷間伸線加工して、直径約 3 mm 以下の高強度 (1500 N/mm² 級)・非磁性 (比透磁率： $\mu \leq 1.01$) の鋼線として使用されてきた。しかしながら、最近のブルーレイディスク、DVD レコーダー、ハードディスク等の精密小型電子機器部品では、切削加工による部品の小型化・高精度化 ($\leq 5 \mu\text{m}$) が要求されるようになってきた。このため、表 1 に目標特性を示すように、従来の必要特性の強度、非磁性、耐食性に加え切削性が求められるようになった。こうした精密部品の切削性は、優れた切屑処理性はもちろんのこと切削表面の高精度化すなわち優れた表面性状が必要となる。直径約 1 mm 以下の精密小型部品では、切削加工時の機械の回転数に対する材料の周速が遅いため約 30 m/分以下の低速切削しかできず、構成刃先が生成し易く、表面性状を劣化させてしまうという問題があった⁽¹⁾。

一般に切削部品用として、Pb 快削ステンレス鋼や SUS303 のような S 快削ステンレス鋼 (0.3% S) が用いられてきたが、耐食性に優れる Pb 系は最近の環境問題があり、SUS303 では耐食性が悪い⁽²⁾ ばかりか、低速切削時の表面粗度が劣化するという問題があり適用ができず、新しい材料が求められてきた。このため、Pb フリーの S 快削ステンレス鋼の高冷間加工と高 N 化の相乗効果による低速切削時の表

表 1 材料の目標特性。

項 目	要求特性	従来鋼 200系	従来快削鋼 SUS303
高強度	約 1500 N/mm ² レベル	○	×
非磁性	比透磁率 $\mu \leq 1.01$	○	×
耐食性	SUS304 並以上 (部品の誤動作となる発錆を抑制)	○	×
切削性	切り屑処理性 (規則的にカーリング・分断すること)	×	○
	切削表面性状： $R_{\text{max}} \leq 5 \mu\text{m}$ (特に小型部品の低速切削加工時)	○	×

面高精度化の効果により快削ステンレス鋼でありながら精密小型電子機器部品として求められる表面性状を確保した高強度・非磁性・高耐食性の新しいステンレス鋼線材を開発した。

2. 開発の考え方

(1) 開発方針

200 系等の高強度オーステナイト系ステンレス鋼に SUS303 のように S を添加すると、図 1 に示すように MnS 系介在物による切り欠き効果、潤滑効果で約 0.15% 以上の S 量で切屑が規則正しくカーリング・分断した優れた切屑処理性が得られる。しかしながら、S 量の増加は MnS 系介在物により冷間加工性を劣化させるばかりか、高速切削域 (60 m/分) でも、図 2 に示すように工具先端にオーステナイト母相と MnS 相が強変形して層状に堆積した硬質層の構成刃先を生成させ、構成刃先の脱落により切削表面性状を劣化させ易い⁽¹⁾。

このような構成刃先は、図 3 に示すように、低速切削では切削界面の温度が低く、素材の加工硬化による硬質層を形成し易いため発生し易く、約 50 m/min 以上の高速切削では切削界面の温度が上昇するため抑制することが可能である。

切削界面の高温化を達成する手段として、切削速度を上げる以外に、切削前に冷間加工を施して素材の強度を上昇させ

* 新日鐵住金ステンレス株式会社

1) 研究センター 製鋼・厚板・棒線研究部：上席研究員

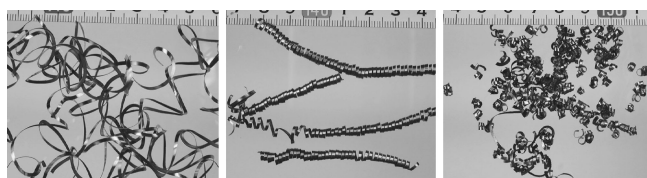
2) 光製造所 生産管理部：マネジャー

3) 商品開発部：マネジャー

4) 光製造所 製鋼工場：マネジャー

Development of The Machinability Stainless Steel “WR304NF” with High Strength, Non-magnetic and High Corrosion Resistance Properties; Koji Takano, Shigeo Fukumoto, Kyohtarō Amafuji, Masanori Kizaki, Kohichiro Yoshino (Nippon Steel & Sumikin Stainless Steel Corporation)

2009年10月28日受理



0.02%S(Rmax:3 μm) 0.18%S(Rmax:4 μm) 0.3%S(Rmax:7 μm)

図1 オーステナイト系ステンレス鋼の切り屑処理性と表面粗さ: Rmax に及ぼす S 量の影響(速度: 60 m/min, 切り込み: 1 mm, 送り: 0.07 mm/rev., 湿式, 超硬工具)

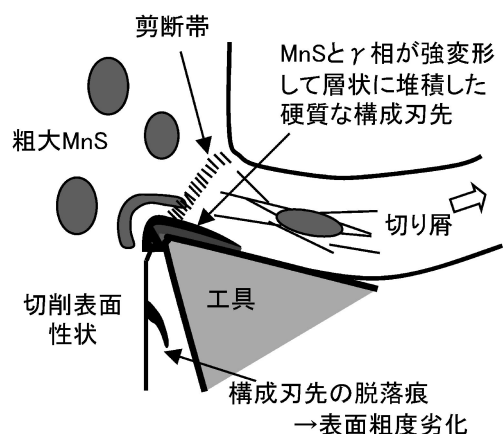


図2 S 快削ステンレス鋼の切削加工界面の構成刃先の生成機構(模式図).

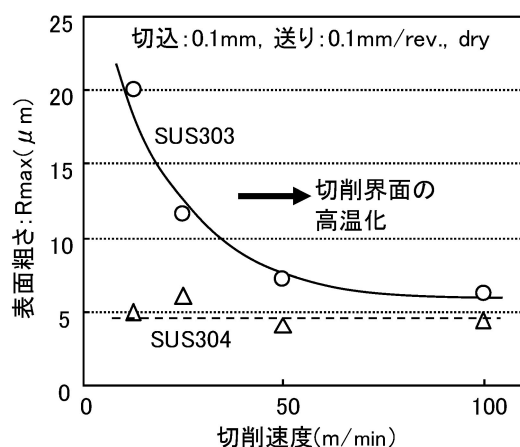


図3 SUS303の切削速度と切削表面粗度の関係.

ることも有効と考える. SUS303の切削前に冷間加工を施すと, 図4に示すように, 冷間加工率の増大と共に切削抵抗は一定であるが切削比が増加し, 切屑厚さが薄化する. すなわち, 冷間加工により切削界面近傍の単位体積当たりの剪断力が增大して切削界面の温度が上昇することを示唆している. さらに, 冷間加工は, オーステナイト母相, MnS相を硬質化させて塑性変形能を低下させ, オーステナイト母相に対する構成刃先の相対硬さを低減することから, より一層構成刃先の抑制に効いているものと考えられる.

しかしながら, SUS303では, MnSに起因して破断が発生するため高冷間加工ができず, 上記の構成刃先の抑制効果を最大限に発揮できない. そのため, S快削ステンレス鋼で

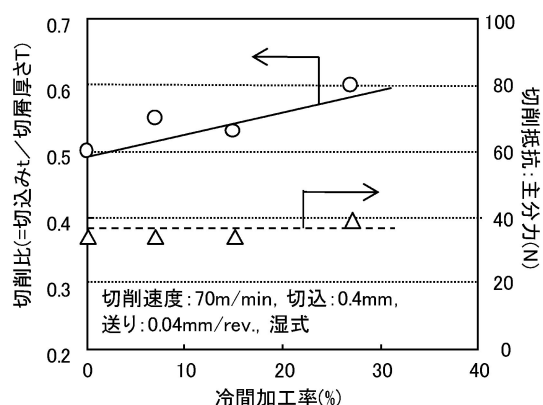


図4 S 快削ステンレス鋼(SUS303)の切削前の冷間加工率と切屑比(切屑厚さ), 切削抵抗の関係

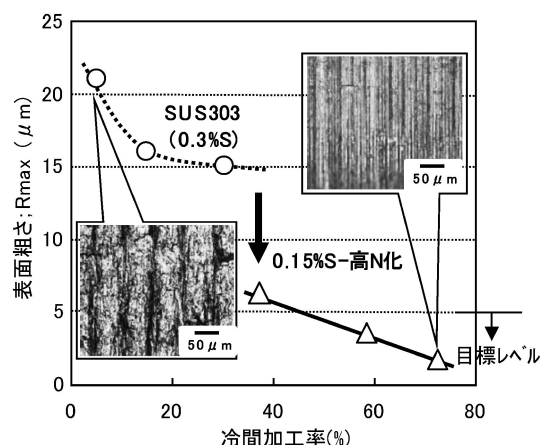


図5 低速切削(25 m/min)における表面粗さに及ぼす冷間加工及び S, N 量と切削表面性状の関係.

構成刃先を抑制して優れた切削表面性状を得るためには, MnSの低減による冷間加工性の向上と高N化により高強度化することが有効と考える.

そこで, S快削ステンレス鋼の切削表面性状に及ぼす冷間加工性とNの影響を研究し, 強冷間加工と高N化の効果を見出した.

(2) 強冷間加工と高N化による表面高精度化

SUS303は約30%超の冷間加工率で破断するため約1000 N/mm²レベルの強度特性しか得られない. しかしながら, S量を良好な切屑処理性が得られる範囲で約0.2%以下にしてMnSを低減し, 高N化(0.2%N)することで約70%の強冷間加工が可能となり, 1500 N/mm²レベルまで高強度化できる.

一方, 低速切削におけるSUS303の切削表面性状は, 図5に示すように30%程度の冷間加工率では改善に限界(Rmax > 15 μm)があるが, S量の適量化でMnSを低減し, 強冷間加工と高N化で高強度化すると表面性状がRmaxで約2 μm程度まで大幅に改善できることがわかる.

以上のことから, S快削ステンレス鋼において強冷間加工と高N化の相乗効果で, 低速切削時の構成刃先が抑制されて切削表面が飛躍的に高精度化されることが明らかとなった.

表2 開発鋼および従来鋼の化学組成(mass%).

鋼 種	C	Mn	S	Cr	Ni	N	孔食指数 ^{※1}
開発鋼 WR304NF	0.06	2.6	0.18	20	9	0.2	23
従来鋼 200系	0.09	9	—	17	5	0.3	22
従来鋼 SUS303	0.05	2	0.3	18	9	0.06	19

※1：孔食指数 = %Cr + 3%Mn + 16%N

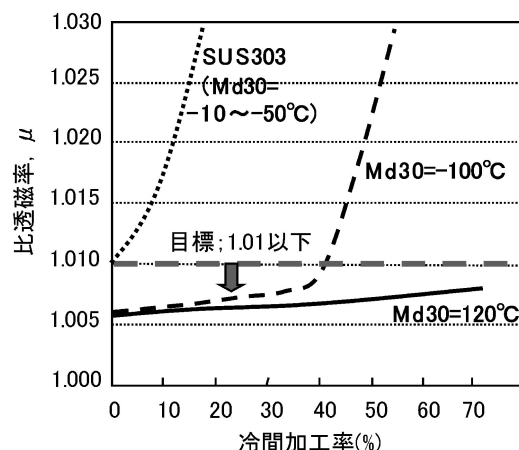


図6 素材の M_d30⁽²⁾ および冷間加工率と比透磁率の関係。
(M_d30 = 551-462(%C + %N) - 9.2%Si - 8.1%Mn - 29(%Ni + %Cu) - 13.7%Cr - 18.5%Mo - 68%Nb)。

(3) 合金設計

表2に開発鋼の化学組成を従来鋼とともに示す。前述のように切削性(切屑処理性、切削表面性状)と高強度、強冷間加工性の観点から、0.18%S-0.2%Nとしている。約70%の強冷間加工後も非磁性($\mu \leq 1.01$)を得るために、図6に示すように非磁性であるオーステナイト組織の安定度指数：M_d30⁽²⁾を、高N化とともにCr, Mn, Ni量等の調整で-120℃以下にした。また、S快削ステンレス鋼の耐食性はMnS系介在物により劣化する⁽³⁾が、高N・高Cr化により孔食指数(=%Cr + 3%Mn + 16%N)⁽⁴⁾を23まで上げることで、研磨肌でSUS304(孔食指数：19)並以上の耐食性が得られた。

3. 開発鋼の特性

表3に、開発鋼の特性を従来鋼と比較して示す。従来の200系材料では切屑処理性が大幅に劣り、SUS303では切屑処理性は非常に優れているが、強度、磁性、耐食性、切削表面性状が劣っている。それに対して、開発鋼では、S量を適正化した上で切削前に50%以上の強冷間伸線加工を施すことで約1500 N/mm²の強度レベルの達成と良好な切削性を両立させた。さらに冷間加工による加工誘起マルテンサイト変態を抑制する成分調整を行うことにより、70%の強冷間加工時でも比透磁率 $\mu \leq 1.01$ の非磁性を達成した。また、研磨までSUS304研磨肌並の耐食性を確認した。図7に

表3 開発鋼と従来鋼の特性比較例。

	強 度	磁 性	耐食性	切削性(低速切削)	
				切屑 処理性	表面 性状
開発鋼 WR304NF	(1500 N/mm ²)	($\mu : 1.005$)	(250 mV)	○	○
従来鋼 200系	(1600 N/mm ²)	($\mu : 1.005$)	(250 V)	×	○
従来鋼 SUS303	(1000 N/mm ²)	($\mu : 1.2$)	(150 mV)	○	×
目 標	1500 N/mm ²	比透磁率 $\mu \leq 1.01$	≧ SUS304 (孔食電位 ≧ 250 mV)	カーリン グ・分断 すること	R _{max} ≦ 5 μm

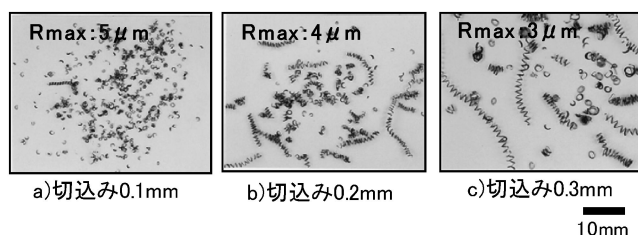


図7 開発鋼の仕上げ切削における切屑処理性と表面粗さ例。(切削速度：25 m/min，送り：0.03 mm，湿式，超硬工具)

1500 N/mm²の強度レベルの開発鋼の仕上げ切削加工時の切屑処理性と表面粗度例を示す。幅広い条件で規則正しくカーリング・分断した良好な切屑処理性とR_{max}が5 μm以下の良好な切削表面性状が得られている。

4. ま と め

本開発鋼は、汎用のステンレス鋼線材およびステンレス鋼線の製造プロセスで安定製造が可能であり、切削前の強冷間伸線加工と組み合わせることで高強度・非磁性・高耐食・高切削性を示す従来鋼にない特性を兼ね備えた高機能商品である。ブルーレイディスク、DVDレコーダー、ハードディスク等の精密小型電子機器部品の分野で約150 t/年の適用実績があり、今後の精密小型電子機器部品の更なる精密化・小型化・複雑化に伴い適用が進むと期待する。

5. 特 許

特許-4018021，特開2009-1844

文 献

- (1) T. Akasawa, H. Sakurai, M. Nakamura, T. Tanaka and K. Takano: Journal of Materials Processing Technology, **143-144** (2003), 66-71.
- (2) 野原晴彦，小野 寛，大橋延夫：鉄と鋼，**63**(1977)，212.
- (3) 古賀 猛，清水哲也，岡部道生：電気製鋼，**67**(1996)，75.
- (4) ステンレス協会：ステンレス，**33**(1989)，Oct., 32.