鉛フリーの h-BN 快削ステンレス鋼

櫻谷 和之* 山本 重男* 津崎 兼彰**

1. はじめに

近年、我が国では安全・安心や地球環境対策の面から、電気部品、玩具など身近な製品ばかりでなく、リサイクルや作業環境の面からも非鉛化の傾向がある。年間約100万tの生産がある快削鋼の分野でも、そのうちの50%強がPb快削鋼であり、新たなPbフリー快削鋼の開発⁽¹⁾が求められている。

低・中炭素鋼では、Pbを使用しない快削鋼として、S快削鋼が生産されている。その他、数多くの快削鋼が考案されているが、その一つに、六方晶窒化ホウ素(h-BN)をPbの代替とし、10年ほど前から開発が進められたBN快削鋼⁽²⁾⁻⁽⁴⁾がある。黒鉛が晶出した鋳鉄の被削性が良好なこと、またh-BNがホワイトグラファイトと呼ばれるように、黒鉛と類似した結晶構造と物理的性質を有するため、炭素鋼をベースとして、BN介在物を鋼中に均一に分散晶出させることにより得られる快削鋼である。

ところで、難切削性のオーステナイト系ステンレス鋼(JIS規格 SUS304)に関しては、Pb快削ステンレス鋼、S快削ステンレス鋼(JIS規格 SUS303)が市販されている。しかしながら、S快削ステンレス鋼はSUS304の10倍以上である約0.3 mass%のSを添加して軟質なMnSを多量に分散させて切削性を向上させているため、ステンレス鋼の最大の特長である耐食性がS添加により極端に劣化する⁽⁵⁾のと、伸長したMnSのため材料の機械的特性に異方性が生じる⁽⁶⁾ので、その使用範囲が限定されてしまう。そのため、Pbフリーかつ耐食性の劣化が見られない快削ステンレス鋼の開発が望まれていた。

2. h-BN 快削ステンレス鋼

物質材料研究機構では、火力発電所用の耐熱鋼の開発研究⁽⁷⁾を行ってきたが、この研究で開発された低C高Crマルテンサイト系耐熱鋼には、クリープ強度を改善するためにBとNが添加されている。BとNが同時に添加されると、条

件により耐熱鋼中にBNが析出することがわかり、その析出挙動を検討した。その結果、1250℃以上の温度に保持すると、BNは短時間でBとNに分解して耐熱鋼中に固溶し、逆に、固溶したBとNは焼もどし熱処理を行うと再度BNの析出が開始する⁽⁸⁾ことが明らかとなった。

この結果を踏まえ、BN自身の持つ特殊な性質と、高Cr鋼中での固溶・析出挙動に着目し、固体潤滑性に優れたh-BN粒子を高Cr鋼でもあるステンレス鋼中に最適な粒径で均一に分散させて、被削性を高めることを目的としてh-BN快削ステンレス鋼の開発に取り組んだ。

3. オーステナイト系 h-BN 快削ステンレス鋼の試作

市販 SUS304 ステンレス鋼 18 kg を弱減圧窒素雰囲気中で溶解し、これにフェロボロン(B含有量 19.2 mass%)を添加することにより、目的の濃度のBとNを含むインゴットを製造、これを55 mmφ棒材および15 mm厚、100 mm幅の板材に熱間加工した。加工温度は1200℃である。

熱間加工材に対し、h-BNの固溶化のため1250℃、30分保持した後水冷した。この熱処理により、凝固過程、あるいは熱間加工中の鋼中にすでに析出していたh-BNは、BとNに分解し、これらが過飽和の状態で固溶している状態となる。次に、h-BNを鋼中に均一に分散析出させるため、1050℃、1時間保持後水冷の熱処理を施した。この熱処理の温度と保持時間を選択することにより、析出するh-BNの粒径と分布状態を制御することができる。

これら2種類の熱処理(h-BN固溶化とh-BN析出)を組み合わせることにより、適正な粒径の球形h-BN粒子を鋼中に均一分散させることが可能となった。

4. 切削性の評価

切削性の評価試験として、丸棒材についての旋削試験を行った結果を図1に示した。図は、B添加量を変えた試料(Nは0.19~0.20%)の切削速度と切削抵抗合力の関係を示した

* 物質・材料研究機構新構造材料センターリサーチ・アドバイザー(〒305-0047 つくば市千現1-2-1)

** 物質・材料研究機構新構造材料センター・センター長

Free Cutting Stainless Steel Containing h-BN without Lead Addition; Kazuyuki Sakuraya, Shigeo Yamamoto, Kaneaki Tsuzaki (Structural Metals Center, National Institute for Materials Science, Tsukuba)

Keywords: free cutting steel, stainless steel, boron nitride, lead free, cutting force, corrosion resistance, anisotropy

2007年2月28日受理

図1 切削速度と切削抵抗合力の関係。(切削試験条件：切込み深さ1.0 mm，工具送り0.1 mm/rev，工具材質M30(チップブレイカなし))

ものである。切削試験の条件は、切り込み深さ1.0 mm，工具の送り0.1 mm/rev，工具材質M30(チップブレイカ無し)である。

h-BN 介在物を均一に分散析出させる(A32, A33)ことにより，析出しない(A31)場合に比較し切削抵抗が，低切削速度では同程度であるが，高切削速度側になると20～25%低減しており，切削性が向上していることが示された。これにより，高速度での旋削加工が容易になり，生産性，経済性の向上が図られる。

5. 耐食性の評価

ステンレス鋼の耐食性の評価試験として，板材についての耐食試験を行った結果を図2に示した。図はB添加量を変えた試料のステンレス鋼の硫酸腐食試験方法(JIS G 0591)による腐食試験の結果を示したものである。試験条件は，沸騰5% H_2SO_4 に連続6時間浸漬し，腐食減量を試料初期表面積で除した腐食度で比較した。Bの量が増加しても，腐食度が増大する傾向は見られず，耐食性の劣化は認められない。なおS快削ステンレス鋼(JIS規格SUS303)を同じ条件で評価すると腐食度は500 g/m²h以上であり⁽⁵⁾，SUS304(腐食度100 g/m²h以下⁽⁵⁾)や本開発鋼(約70 g/m²h)と比べると耐食性が著しく低い。

6. BN 介在物の形態

図3は，h-BN 析出熱処理を行った後の試料中の析出物の生成・分布状態を示すSEM(走査電子顕微鏡)写真である。この写真は，試料A33(0.016%B)の例であり，板材試料から直径3.6 mm，長さ50 mmの棒を圧延方向と直角に削り

図2 腐食試験結果。(試験条件：沸騰5% H_2SO_4 ，6時間浸漬)

図3 h-BN ステンレス鋼中の破断面における介在物SEM観察。試料はA33(0.016%B)。圧延方向は写真の上下方向。

出し，これを折り曲げて破断しその破断面(圧延方向に平行な面)をSEMで観察したものである。

更に，観察された析出物をSEMに付属したEDS(エネルギー分散型X線分析装置)で分析し，析出物の種類を同定した。1000倍視野の中に，10個の1～3 μmのh-BNが視野全体にわたって分布していた。また，市販のSUS304ステンレス鋼中には，製造工程で混入する不可避的不純物である硫黄が0.02%程度含まれている。本実験試料中にもSがMnS(硫化マンガン)を形成し視野中央部に6個局在し，10 μm程度のMnSとh-BNが共存したものが2ヶ所観察された。視野中央部に観察される3個のMnSは，熱間加工時に展伸されて20 μm程度の細長い針状のMnSに変形したものが，試料破断時に分断されたものと思われる。このように，MnSはインゴットの凝固時に析出するため偏在しやすく，また圧延方向に容易に展伸されるため材料の異方性を示しやすいことが知られている。例えば機械構造用鋼(JIS規格SCM420)の室温シャルピー吸収エネルギーの圧延直角方向と圧延方向の値の比は，0.01%Sでは0.4程度であるがS量増加とともに減少して0.07%Sでは0.15近くまで低下す

る⁽⁶⁾。これに対して、h-BNは過飽和に固溶させた状態から析出されるため、球状のh-BN介在物が比較的均一に分散して存在し、材料の異方性を示さない特長を示すはずである。実際にS快削ステンレス鋼(JIS規格SUS303, 0.28%S)の室温シャルピー吸収エネルギーを測定したところ圧延方向で100 J、圧延直角方向で13 Jとなり、その比は0.13であった⁽⁹⁾。一方、A33材(0.16%B, 0.18%N, 0.022%S)のシャルピー吸収エネルギーは圧延方向で162 J、圧延直角方向でも99 Jと高い値を示し、その比は0.61と異方性が小さいことが確認できた⁽⁹⁾。

7. 終わりに

紙面の関係で詳細を示すことができなかった部分もあるが、今回報告したh-BN快削ステンレス鋼の特長は次のようにまとめられる。

(1) 高速切削時の切削抵抗が20%以上も小さくなるため、切削加工性に優れ、製品の生産性が向上する。

(2) 快削性付与成分としてPbを含まないので、環境やリサイクル時の問題がない。

(3) 市販されているS快削ステンレス鋼のように、Sを添加していないので、ステンレス鋼の最大の特長である耐食性が劣化しない。

(4) h-BN析出粒子が球状で、素材内に均一に分布しているため、S快削ステンレス鋼に見られるような材料の機械的性質の強い異方性を示さない。

(5) 通常のステンレス鋼製造法と同じ設備で、製造工程での熱処理を1回追加するだけでできる。

このようにh-BNステンレス快削鋼は、Pbフリーである

ことに加えて、JIS等で規格化されている市販のS快削ステンレス鋼に比較して、機械的性質でも、化学的性質でも優れた特長を持つ。さらなる切削性向上のためのh-BN析出物の粒径や分布量の最適化、切削性向上の機構、熱間加工性等、これから解明すべき点も数多くあるものの、既存の快削ステンレス鋼に置き換わるものとして、また切削加工を必要とするステンレス鋼製品製造に普及していくものと期待している。

文 献

- (1) 山本重男：熱処理，**40**(2000)，104-109.
- (2) 村上俊之，白神哲夫，山根八洲男：まてりあ，**45**(2006)，144-146.
- (3) 村上俊之，白神哲夫：NKK技報，No. 178(2002)，21-25.
- (4) 羽生田友則，中村貞行：電気製鋼，**65**(1994)，4-12.
- (5) ステンレス協会編：ステンレス鋼便覧第3版，日刊工業新聞，678-679.
- (6) 日本鉄鋼協会編：鉄鋼便覧第3版第4巻，丸善，135.
- (7) 樫木義淳，阿部富士雄：材料，**51**(2002)，701-706.
- (8) 櫻谷和之，岡田浩一，阿部富士雄：鉄と鋼，**90**(2004)，819-826.
- (9) 櫻谷和之，山本重男，津崎兼彰：未公表データ.

新聞掲載

- ①日経産業新聞：2006年10月7日7面「物材機構 ステンレス鋼開発 加工しやすく腐食しにくく」.
- ②日刊工業新聞：2006年10月9日13面「物材機構が新ステンレス鋼 切削性20%超向上」.
- ③鉄鋼新聞：2006年10月11日1面「物質材料研 新ステンレス快削鋼開発 切削性，20%超向上」.
- ④化学工業日報：2006年10月11日8面「BN分散で快削性ステンレス物材機構」.
- ⑤科学新聞：2006年10月20日4面「h-BN粒子を均一分散切削性20%向上 ステンレス鋼」.