

「ステンレス製品の品質管理」

ものづくり開発部 主任研究員 高橋輝男

TEL:078-731-4326

E-mail:takahashi-teruo@hyogo-kg.go.jp

1. はじめに

ステンレス鋼とは文字どおりさびない鋼であり、強度と見た目の美しさと相まって調理用品、シンク、浴槽や門扉などの家庭用品や建築金具からビルの内外装、電車の車体などありとあらゆる製品に使用されている。ステンレス鋼は、その特性を知り適正に使用すればその高耐食性故に丈夫でいつまでも美しさを保っているが、一歩間違った使い方をすると、腐食したり破壊に至るような事故を引き起こす結果になってしまう。本稿では一般的なステンレス鋼の性質と2～3の事故例について簡単に説明する。

2. ステンレス鋼の耐食性の原因

ステンレス鋼とは、耐食性を向上させる目的でCrまたはCrとNiを合金化した合金鋼で、Cr含有量が約11%以上の鋼を指す。一般の鉄鋼材料は、湿気存在で赤さびが発生し、酸と接触すると溶解するが、鉄にCrを合金するとCrの増加と共に腐食は少なくなり、Crが約11%以上で耐食性が著しく改善される。またCrとともにNi,Mo,Cu等も合金化すると非酸化性の環境（硫酸、塩酸）に対しても耐食性を示すようになる。

高耐食性の理由は、厚さが数nm（ナノメートル：1/1,000,000mm）の不動態被膜の形成にあり、鋼の陽極活性度を著しく減少させるために優れた耐食性が発現する。但しこの不動態皮膜も酸素が欠乏すると破壊され、その結果腐食の開始点となり、孔食や全面腐食の原因になる。

3. ステンレス鋼の種類と特徴

ステンレス鋼は、大まかに分類するとフェライト系、マルテンサイト系およびオーステナイト系ステンレス鋼になる。ここでは2相ステンレス鋼やスーパーステンレス鋼については紙面の関係で割愛する。

フェライト系ステンレス鋼の特徴は、

変態がない。熱処理硬化性がない。冷間加工性に優れる。熱膨張率が小さいため、溶接割れが発生しにくい。Niを含まないので、安価である。応力腐食割れが発生しにくい。一方、欠点としては、シグマ脆性が発生する。475脆性が発生する。低温脆性が生じる。耐食性はオーステナイト系に比べて劣る。

マルテンサイト系ステンレス鋼は、フェライト系ステンレス鋼と構造的に兄弟のような関係であ

るために類似点が多い。フェライト系ステンレス鋼と異なる点は、

焼入れ硬化性がある。 高強度である。 欠点は、 高炭素になるほど耐食性は悪くなる。 溶接性は悪い。

オーステナイト系ステンレス鋼の特徴は、

耐食性や加工性に優れる。 熱処理硬化性がない（析出硬化型ステンレス鋼を除く）。 低温脆性がない。 欠点は、 熱膨張率が大きい（マルテンサイト系およびフェライト系ステンレス鋼の約3倍）。 Niを含むので、高価である。 応力腐食割れが発生する。

上述のシグマ脆性や 475 脆性を避けるには、中間温度に長く保持しないことが肝要である。 中間温度保持すると炭化物の析出も生じ鋭敏化する。 これらの脆性や鋭敏化したステンレス鋼は 1050 で加熱し急冷（溶体化処理）すると脆性は消滅し、元の健全な材料に戻る。

ステンレス鋼の磁性、強度、耐食性などの性質は金属の「結晶構造」に由来するものである。 一般に、最もよく使用される SUS304 鋼を溶体化処理するとオーステナイトになるが、冷間での圧延、鍛造、曲げ、プレス成型、打抜き、ショットブラスなどの加工を行うと、塑性変形した部分は「加工誘起マルテンサイト変態」によりオーステナイトからマルテンサイトになる。

図1はシェフラーの組織図といって、どのような組成であればどの相になるということを示す図である。 これから分かるように SUS304 ではオーステナイト（A）+マルテンサイト（M）+フェライト（F）の領域にあり、冷間加工によりマルテンサイトが生成する。

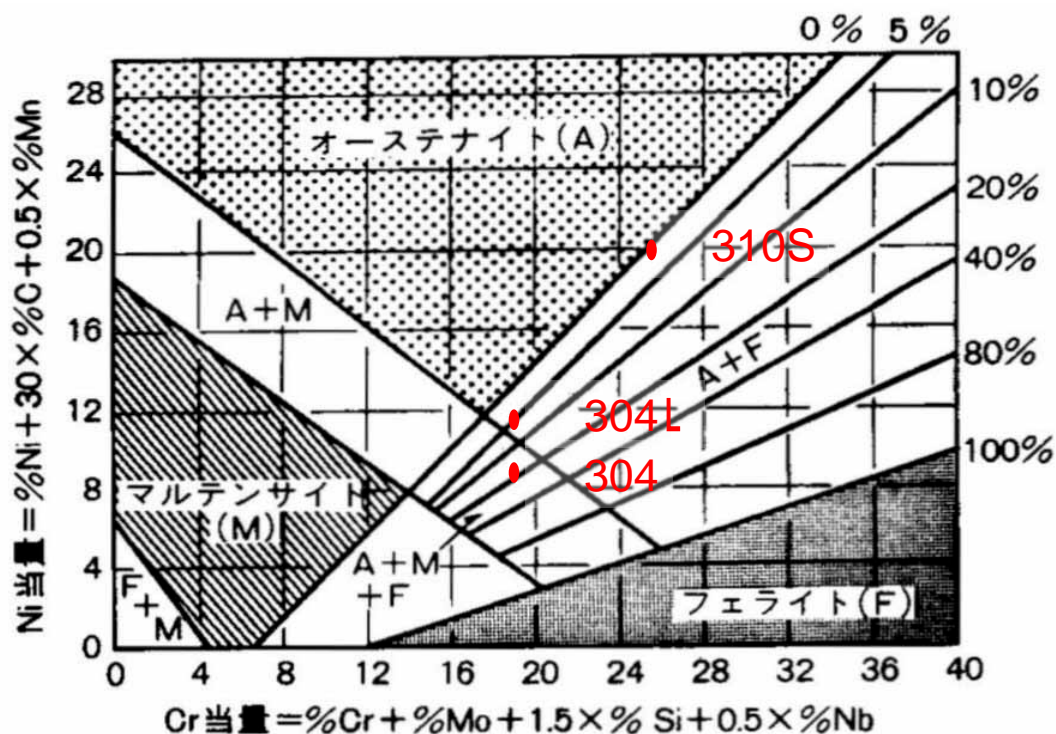


図1 シェフラーの組織図

図2は SUS304 の溶体化材と圧延率を変化させた試験片がどのような結晶相になっているかを表す X 線回折パターンであるが、わずか2%の圧延でもマルテンサイトが発生していることが明らかである。この現象を「加工誘起マルテンサイト変態」と呼んでおり、冷間加工された SUS304 の磁性発生の原因である。SUS304L 鋼ではオーステナイト領域に近づくため、かなり強い冷間加工でもわずかなマルテンサイトしか生成しないため磁性はわずかである。一方 SUS310S 鋼では、完全オーステナイト領域に入っているため、99%冷間圧延後でも加工誘起マルテンサイト変態は生じない。

すでに述べたようにマルテンサイトはオーステナイトより硬くなり（加工硬化にもよる）耐食性は悪くなる。よく技術相談で「SUS304 鋼を使用しているのに磁性があり、錆びている。なぜか？」という質問を受けるが、それは加工後に溶体化処理をしなかったことによる加工誘起マルテンサイトに起因する。加工誘起マルテンサイトは溶体化すればオーステナイトに戻る。

また、ステンレス鋼は加熱により鋭敏化され、脆化する。SUS304 鋼では 600 で半時間から 1 時間程度の加熱により炭化物が析出し鋭敏化するが、SUS304L 鋼では 20 時間程度加熱しても鋭敏化しない。

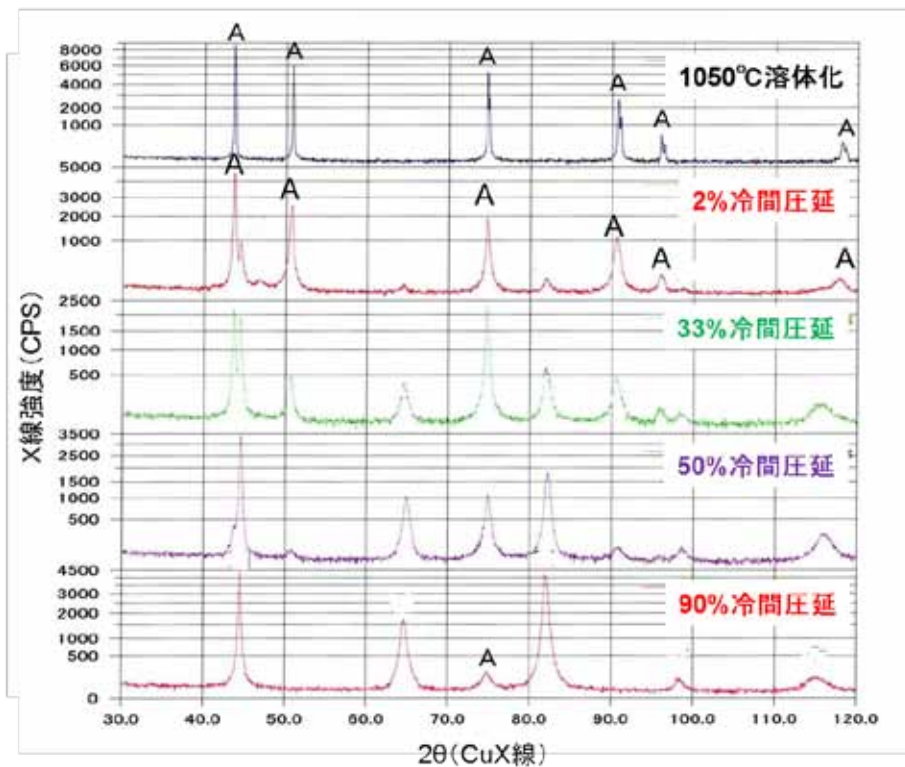


図2 SUS304 鋼の溶体化処理材と冷間圧延後の X 線回折パターン

4 . 事故例

4.1 疲労破壊

図3は疲労破壊した SUS304 ステンレス鋼の破断面を走査電子顕微鏡で観察した結果である。微細な筋状の様子が観察できる。この模様はストライエーションと呼ばれるものであり、疲労破壊の決め手となるものである。機械加工部品では応力集中を緩和する様な加工が必要である。

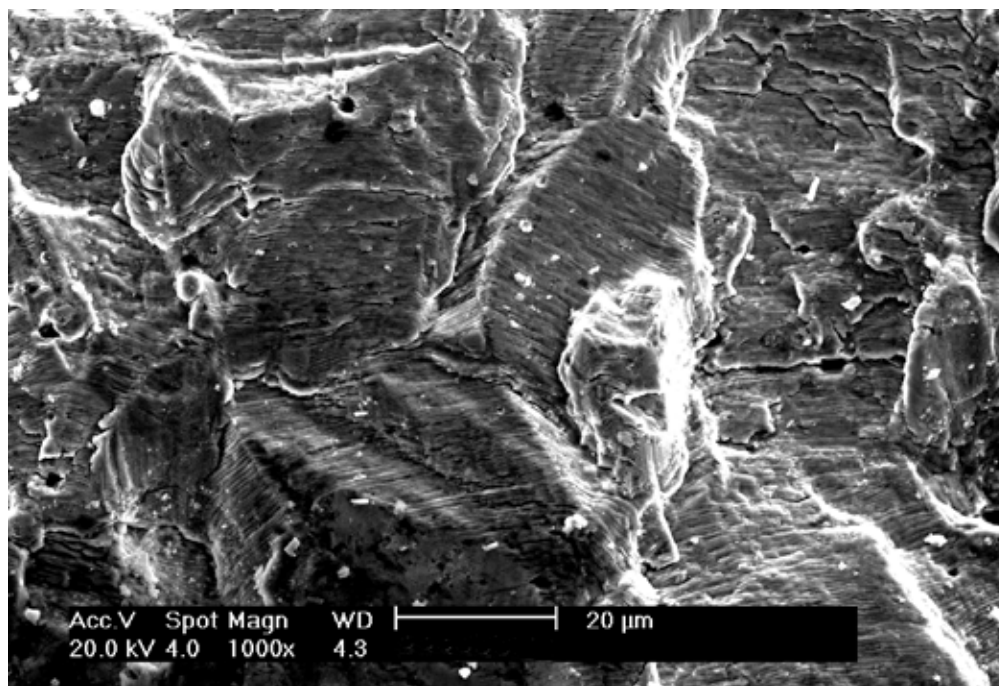


図3 SUS304 鋼疲労破壊部のSEM像

4.2 応力腐食割れおよび孔食

図4は応力腐食割れを起こした SUS303 鋼の金属組織である。亀裂はコーナー部から発生し粒界に沿って亀裂が進展している様子がよく分かる。亀裂は1本ではなく、数本の亀裂が確認できる。SUS303 鋼は快削性ステンレスであり加工は比較的容易であるが、使用環境が厳しい部材としては SUS304 鋼や SUS316 鋼を使用する方がいい結果が得られる。

ステンレス鋼では応力腐食割れ以外にも孔食(図5)やすきま腐食などが発生する。使用環境に十分注意して鋼種の選定を行う必要がある。

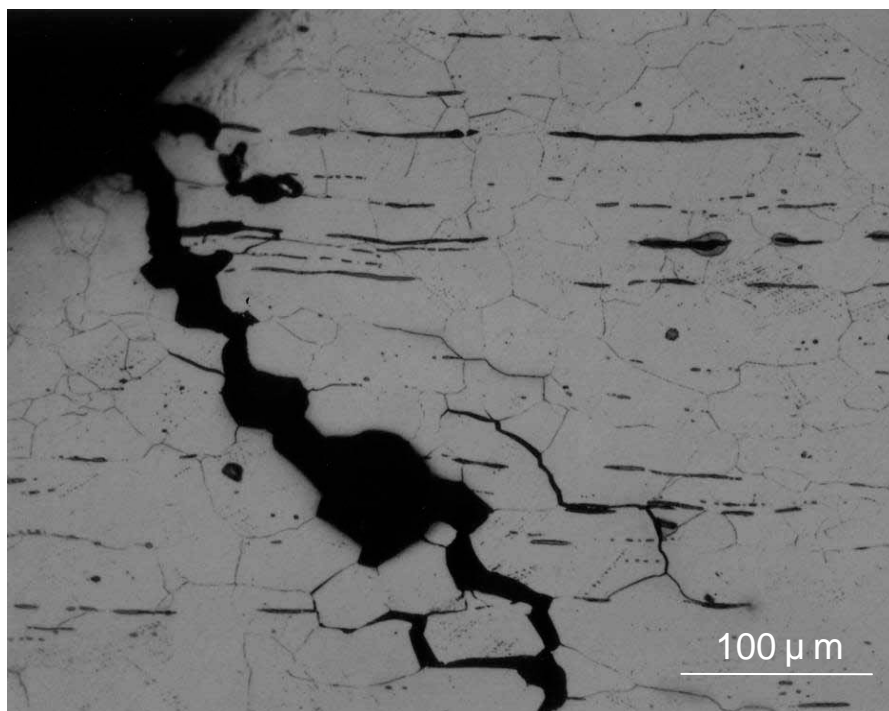


図4 SUS303 鋼の応力腐食部の金属組織

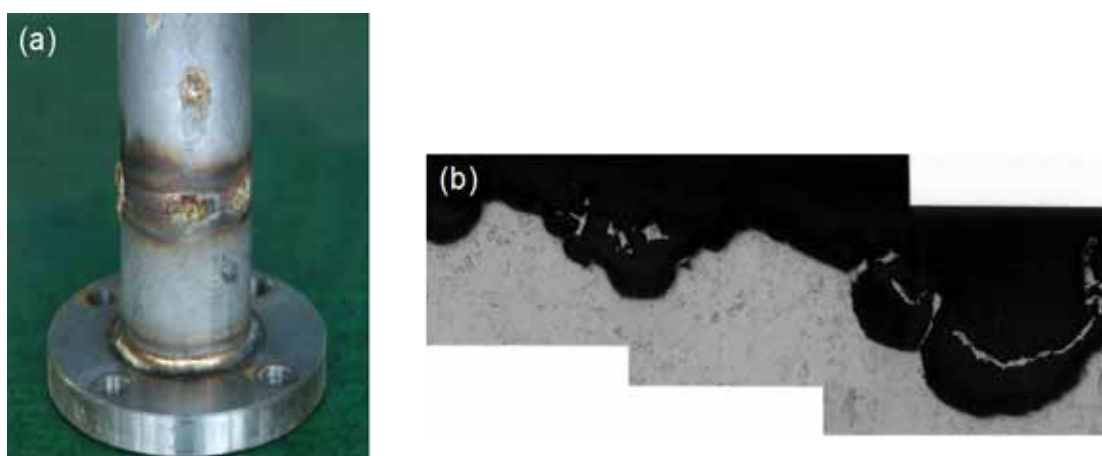


図5 SUS304 鋼溶接品腐食部の外観写真(a)と孔食を示す金属組織(b)

5. 終わりに

ステンレス鋼は多くの種類があり、その特性を十分に理解し、使用環境に十分注意して鋼種の選定を行えば、美しく丈夫で永く使用できる優れた材料である。現在も新しい鋼種の開発が精力的に進められており、将来更に優れた合金が出現する可能性を秘めている。

もしステンレス鋼で破壊や腐食など、何らかの問題が発生すれば、筆者までご連絡していただければ、微力ではありますが問題解決に努力いたします。