

3. ステンレス鋼の成形性

日本冶金工業(株) 三浦 健 介
ソリューション営業部 課長

まえがき

ステンレス鋼は耐食性、耐熱性、強度に優れているため、建築関係、電気関係、ガス器具等広い範囲に使用される。

一般にステンレス鋼板はそのままの形状で用いられることは少なく、張出し、深絞り、曲げ、打ち抜きなどの成形加工が施されることが多い。

ここでは、ステンレス鋼板の成形加工のうち、張出しおよび深絞り成形の説明とそれぞれの成形に必要な材料特性について述べる。

◇ 成形加工に関して

1. 張出し成形

(1) 張出し成形

張出し成形はビードクランプによって材料を固定しながらパンチを押し込んで成形する加工方法で、張出し成形部はフランジ部から材料が流入しないため、二軸引張変形状態となり板厚を薄くしながら表面積を増加させ、パンチやダイの形状になる(図1)。

表面積の増加は必ず板厚の減少を伴うため、張出し成形では材料の伸び限界により成形深さが制約を受けるほか、たとえ割れなくても成形品の機能的な面から、大きい板厚減少は問題となるため、おのずと張出し量は制限される。よって、材料特性としては伸び、 n 値(加工硬化指数)の大きい材料が張出し性に優れる。

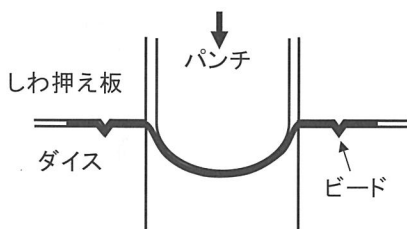


図 1 張出し成形

(2) 張出し成形性の評価方法

張出し成形性を評価する試験としてはエリクセン試験(JIS Z 2247)がある。エリクセン試験はしわ押さえとダイスとの間に締め付けた試験片に対して、球形の端部をもったパンチを押し込むことによって、貫通割れが発生するまでくぼみを成形する方法で、貫通割れが発生するまでのパンチの移動距離がエリクセン値となる。エリクセン値が大きい材料ほど張出し成形性は良好となる。

(3) オーステナイト系ステンレス鋼の張出し性

SUS304やSUS301は準オーステナイト系ステンレス鋼と呼ばれ、常温で加工されるとオーステナイト相の一部がマルテンサイト相に変態(加工誘起マルテンサイト変態と呼ばれる)し、著しい加工硬化が生じる。

このことは局部的に変形を受けてもその部分は強化され、変形がそれ以外へ伝播していき全体として大きな変形をすることを意味している。

この理由により張出し性においては、オーステナイト系がフェライト系より適する。

加工誘起マルテンサイト変態に対するオーステナイト安定度の指標としては、例えば、次式に示す Md_{30} 値¹⁾(Md_{30} : 真歪みで0.30の引張歪みを与え50%マルテンサイト相が生成する温度)がよく用いられる。

$$\begin{aligned} Md_{30} \text{ 値 } (^{\circ}C) = & 551 - 462(C + N) - 9.2Si - 8.1Mn \\ & - 13.7Cr - 29(Ni + Cu) - 18.5Mo \\ & - 68Nb - 1.42(GSN - 8.0) \end{aligned}$$

※GSNは結晶粒度番号

図2に Md_{30} 値とエリクセン値などの成形性指標の関係を示す。この図から、張出し性を最大にする Md_{30} 値が存在することがわかる。

(4) フェライト系ステンレス鋼の張出し性

SUS430等のフェライト系ステンレス鋼は、準オーステナイト系ステンレス鋼のような加工誘起マルテンサイト変態が生じないため、延性を向上させる手段としては目的以外の元素をいかに低減

し高純度化するか、となる。

前述した n 値とは、Hollomonの式

$$\sigma = C \cdot \varepsilon^n$$

ここで、 σ ：真応力、 ε ：真歪み、 n ：加工硬化指数、 C ：定数

から求められ、均一伸びと対応するものであり張出し性の指標となる。

不純物を低減したフェライト系ステンレス鋼の n 値は、図3に示すように侵入型固溶元素である

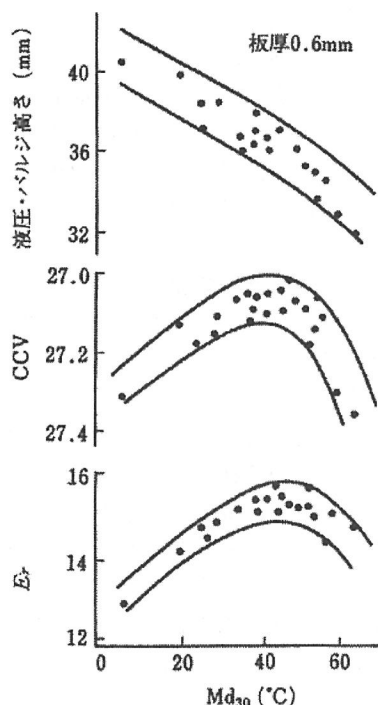


図 2 Md_{30} と成形性指標の関係²⁾

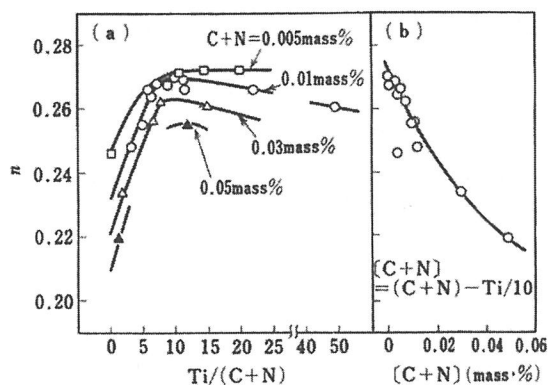


図 3 13Crフェライト系ステンレス鋼の n 値に及ぼすC、Nの影響³⁾

C、Nを減じ、さらに、CやNを炭化物や窒化物として固定するTiを適量添加することで向上する。

2. 深絞り成形

(1) 深絞り成形

深絞り成形とは、面内での材料の移動により、平板から容器状のものを成形する方法である(図4)。深絞り成形と対比される張出し成形が肉厚減少と引き換えて表面積増加分を立体形成に充てるのとは異なり、肉厚減少が変形の本質ではない。深絞り成形される容器の部分、成形の立場から便宜的に別けると、

- ①底部：パンチ力を受ける部分
- ②側壁部：パンチ力を伝達する部分
- ③フランジ部：周方向に縮みながら、ダイス肩から変形部へ流れ込んでいく部分

となる。

①底部では張出し成形と同様に二軸引張変形状態となるが、②側壁部では絞り方向の引張変形、③フランジ部では絞り方向の引張変形と円周方向の圧縮変形を受けており、部位によって変形状態が異なっている。よって、パンチ底部や側壁部での材料強度と、フランジ部の圧縮変形時の材料強度の兼ね合いで深絞り性は決まる。

(2) 深絞り性の評価方法

深絞り性を評価する試験としては円筒深絞り試験がある。円筒深絞り試験は円形に加工した試験片を平底円筒深絞りし、破断することなく絞り抜ける最大素板系 D とパンチ系 d_p の比から限界絞り比 $LDR (=D/d_p)$ を求める方法である。限界絞り比 LDR が大きいほど深絞り性が良好となる。

(3) オーステナイト系ステンレス鋼の深絞り性

SUS304やSUS301は上述したように加工誘起マルテンサイト変態を起こすので n 値が大きく深絞

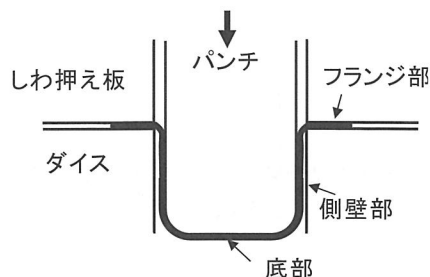


図 4 深絞り成形

り性に優れる。しかし、加工誘起マルテンサイト変態が起こりすぎても縮みフランジ変形抵抗が増大し絞り性は劣化する。

深絞り性向上には、縮みフランジ変形抵抗の低下、すなわち軟質化の目的でCuの添加が有効であることが知られている。更に、C、Nの低減、Cu、Alの複合添加も深絞り性向上には有効である。

また、オーステナイト系ステンレス鋼のプレス成形において、重要かつ特有の問題として時期割れがある。これは深絞り成形後、数分から長いときは数ヶ月後に発生する遅れ破壊である。材料的には

- ①C、Nの低下
- ②オーステナイトの安定化 (Mn₃₀低下)
- ③鋼中水素量の低減

がその防止に有効であり、成形方法としては残留応力を低減させる工夫が必要となる。

(4) フェライト系ステンレス鋼の深絞り性

フェライト系ステンレス鋼の深絞り性は、r値が支配要因になる。r値とは板の異方性を表す特性値で、r値の高い材料とは、変形を加えた場合板厚が減少しにくい、つまり板面内方向での材料流動が板厚方向へのそれよりも起こりやすい。成形面というr値の高い材料では、フランジ部の流動がより小さな力で行われ、絞られたカップの頭部では板厚減少によるくびれが生じにくいこととなる。

このr値は、素材の集合組織により変化し、集合組織は組成や製造条件により大きく影響を受ける。特に冷間圧延時の圧延率、焼鈍条件の組み合わせ

の影響が大きい。

組成面では、C、N量を極力低下させてTiやNbを添加して固溶C、Nを低くすることによってr値を向上させることができる。

また、冷間圧延率増大、および冷延回数増加によってもr値は向上する。

フェライト系ステンレス鋼特有の問題としては、ストレッチャーストレイン、ローピングがある。

ストレッチャーストレインは引張方向に対して45度方向に発生する凹凸模様であり、侵入型元素であるC、Nと転移の相互作用に起因した不均一降伏現象である。この現象は、適切な調質圧延を施すことにより防止できる。

ローピング (リジングとも呼ばれる) は成形時に圧延方向に平行に生じる凹凸模様である。これは連続製造スラブの柱状晶に起因するバンド状組織が製品板に残留しているために生じる現象であり、鍛造、熱間圧延、冷間圧延の各工程で種々の対策により軽減することが可能である。

3. ステンレス鋼の成形性指標

代表的なオーステナイト系、フェライト系ステンレス鋼の成形性指標を表1に示す。同じ鋼種でも成分や製造方法、試験条件により指標は変わるが鋼種選定の目安となる。

参 考 文 献

- 1) 野原清彦 他：鉄と鋼、64 (1977)、772
- 2) ステンレス協会編：ステンレスの初歩 2015
- 3) 特殊鋼 2002年10月号 p. 17

表 1 機械的性質と成形性指標の一例²⁾

鋼種	板厚 (mm)	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	硬さ (HV)	加工硬化 指数 n値	ランク フォード指数 r値	エリク セン値 (mm)	限界 絞り比 LDR
オーステナイト系									
SUS304	1.0	314	618	59	170	0.44	1.0	13.2	2.10
SUS304L	1.0	275	598	58	161	0.37	1.0	12.3	2.08
SUS316	1.0	275	588	58	170	0.38	1.0	12.7	2.10
SUS316L	1.0	255	549	56	151	0.37	1.0	12.3	2.08
フェライト系									
SUS410L	1.0	245	480	30	154	0.20	1.3	9.0	2.14
SUS430	1.0	274	519	30	154	0.20	1.2	9.0	2.04
SUS430LX	1.0	338	515	32	155	0.20	1.4	9.2	2.16
SUS430J1L	1.0	360	530	31	177	0.20	1.4	9.3	2.06
SUS436L	1.0	343	530	32	160	0.20	1.4	9.3	2.16