超深絞り用ステンレス鋼“NAS86D”の開発

津田正臣¹⁾ 池上雄二²⁾ 張 勤衆²⁾
岡登信義³⁾ 西 徹⁴⁾

1. 開発の背景

SUS304 に代表される準安定オーステナイトステンレス鋼は、変形中に加工誘起マルテンサイトが生成し、いわゆる TRIP 現象により優れた延性およびプレス成形性を示すことから、その良好な耐食性と相まって、流し台を始めとする広範囲のプレス成形用途に使用されている。最近ではプレス製品の高級化および低価格化の二極化が進み、より複雑な形状にプレス加工できる、あるいは過酷な深絞り加工に中間熱処理なしで耐えることができるステンレス鋼の要求が高まっている。

2. 開発の経緯

(1) 基本的な材料設計思想と基礎的検討

準安定オーステナイトステンレス鋼のプレス成形性の向上に関しては、オーステナイト安定度の調整が重要であり、この指標として M_{d30} ⁽¹⁾ や Ni 当量⁽²⁾ が広く用いられている。

合金元素としては Cu の添加が深絞り性の向上に有効であるが⁽³⁾⁽⁴⁾、多量に添加すると熱間加工性に問題があり、過酷なプレス成形に耐える超深絞り用オーステナイトステンレス鋼を開発するためには、Cu 以外の添加元素を考える必要がある。

Cu はオーステナイトステンレス鋼の積層欠陥エネルギーを増加させる元素⁽⁵⁾であり、加工硬化挙動や加工誘起マルテンサイトの生成挙動に影響を及ぼし、深絞り性向上に寄与しているものと考えられる。

歪み付与に伴うマルテンサイト変態過程を考察してみる

と、積層欠陥エネルギーが高いものほど、温度変化によるマルテンサイト変態量の大きいことが予測される。事実、積層欠陥エネルギーの低下により M_s 点と M_d 点の温度差が大きくなるという報告⁽⁶⁾がある。

Ni 当量は室温での引張変形時の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であり、この指標が同じであっても積層欠陥エネルギーが高い場合には、室温以上での加工誘起マルテンサイト生成が抑制されると考えられる。

これらのことより積層欠陥エネルギーの高低による実際のプレス成形時の各部位における温度変化を考慮したときのマルテンサイト生成挙動を模式的に示すと図1のようになる。

実際のプレス成形では、ボンチ肩部である程度適正な強さを持ち、フランジ部では加工硬化が小さく軟質であることが望ましいことから、その合金設計の考え方としては、(1)マルテンサイト変態に対する温度依存性が大きいこと、(2)オーステナイト相の加工硬化が小さいことが必要となる。

このためには積層欠陥エネルギーをなるべく高くすることとした。Cu と同様にオーステナイト相の積層欠陥エネルギーを高める元素として Al が知られている⁽⁷⁾が、深絞り性についてはほとんど検討されていなかった。そこで積層エネルギーを高めて深絞り性を向上させるという観点のもとに、

図1 同一オーステナイト安定度の材料の積層欠陥エネルギーの差によるプレス成形時の各部のマルテンサイト量の変化(概念図)。

* 日本冶金工業株式会社研究開発本部

研究企画部：1)部長

技術研究所：2)主任研究員 3)主幹研究員 4)研究員

Development of Austenitic Stainless Steel “NAS86D” for Deep Drawing; Masaomi Tsuda, Yuji Ikegami, Quinzhong Zhang, Nobuyoshi Okato, Tōru Nishi (Nippon Yakin Kogyo Co., Ltd.)

1996年1月31日受理

図2 限界絞り比に対する Al, Cu の添加効果.

0.02C-16.7Cr-(7~9)Ni オーステナイトステンレス鋼の深絞り性に及ぼす Al の効果を検討し、図 2 に示すよう、Al が極めて有効であり、Cu を複合添加するとさらに深絞り性が向上することを見出した⁽⁸⁾。

(2) 開発に関する検討

プレス成形性に大きく影響するオーステナイト安定度に及ぼす Al, Cu を含めた各種元素の効果を定量評価するため、供試材に一定の伸びを引張試験で付与し Fisher 社製フェライトスコップで磁性を測定し、この値をマルテンサイト量(相対量)とした。この結果を基にオーステナイトの安定度の指標として、よく用いられる平山⁽²⁾の Ni 当量式に Cu と Al の項を新たに追加した。それらの結果を図 3 に示した。Cu と Al の項を追加し次式を得た。

$$\begin{aligned} \text{Ni}^* \text{当量}(\%) = & 12.6\{(\%C) + (\%N)\} + 0.35(\%Si) \\ & + 1.05(\%Mn) + (\%Ni) + 0.65(\%Cr) \\ & + 0.98(\%Mo) + 0.6(\%Cu) - 0.4(\%Al) \end{aligned}$$

修正 Ni 当量式(以下 Ni* 当量)とマルテンサイト量はよい相関を示している。Cu はオーステナイトを安定にし、逆に Al は不安定にする。

Ni* 当量と機械的性質の関係を図 4 に示した。0.2%耐力

図3 Ni* 当量と加工誘起マルテンサイト量の関係。

図4 機械的性質に及ぼす Al, Cu 添加と Ni 当量の影響。

図5 成形高さに及ぼす Ni 当量と合金元素の影響。

は Ni* 当量および Cu, Al の有無に係わらず一定である。一方引張強さは Ni* 当量の影響を強く受け、Ni* 当量の減少に伴い上昇する。Al, Cu を含有すると引張強さが低下し、その影響は Ni* 当量が低くなるにつれ大きくなっており、Cu はオーステナイト相、マルテンサイト相の加工硬化を抑制する働きがあることを示している。

図 5 に円筒深絞り試験の成形高さに対する Ni* 当量と合金元素の関係を示した。Cu と Al を複合添加すると Cu 単独添加鋼より成形高さが増加する。また、Cu と Al の複合添加鋼の C 量を 0.05% に増加させると成形高さはさらに増加することがわかる。また、張出し性についてはエリクセン試験を実施し適正な Ni* 当量を把握している。

3. 開発鋼の特性と有用性

以上の結果から、オーステナイトステンレス鋼の深絞り性を向上させるためには、Cu と Al を複合添加し、Ni* 当量の調整ならびに C 量の適正化が重要であることがわかった。

これらの結果と製造性、耐食性、溶接性を加味して合金設計し、超深絞り用オーステナイトステンレス鋼 NAS86D を開発した。次に本開発鋼の特性について示す。

(1) 化学成分と機械的性質

NAS86D の化学成分および機械的性質の例を SUS304 と比較して表 1、2 に示した。

Al は深絞り性に必須元素であるが強力なフェライト生成元素であり、熱間加工性の点より、 δ フェライト量を最適に調整するため、Cr, Si は SUS304 より少なくし、また Cr の低下による耐食性劣化を防止するため少量の Mo を添加している。また NAS86D は SUS304 と比較して、硬さ、耐力、引張強さともに低く極めて軟質である。

(2) 深絞り性および時期割れ感受性

図 6 に円筒深絞り試験結果を示す。

表 1 NAS86D の代表的化学成分 (mass%)

Grade	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	N	Ni*当量
NAS86D	0.05	0.3	1.2	8.0	16.2	0.2	2.8	0.6	0.01	22.2
SUS304	0.05	0.5	1.2	8.2	18.2	—	—	—	0.05	22.8

表 2 NAS86D の機械的性質

Grade	Thickness (mm)	Surface finish	0.2%YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	E1 (%)	HV
NAS86D	0.8	No. 2B	230	560	57	125
SUS304	0.8	No. 2B	280	630	54	170

図 6 各種ステンレス鋼の絞りテスト。

NAS86D の限界絞り比は SUS304 に比べて著しく高い。また、SUS304 では絞り比=2.1 で時期割れが発生したが、NAS86D は絞り比=2.30 でも時期割れは認められなかった。また NAS86D は絞り比の高い領域での成形高さが高く、張出し性にも優れている。実際のプレス工程では単純な深絞りではなく、フランジが残る状態でのプレスが多いので、絞り比が高い領域での成形高さが重要であり、この点においても NAS86D は優れたプレス成形用材料といえる。

(3) 市場評価

NAS86D を家庭用・業務用機械器具、電気機械器具、建設用、自動車、産業用機械器具の広い範囲の分野でのユーザー評価を行い、絞り加工性、耐時期割れ性についていずれもほぼ当初予想したとおりの良好な評価結果が寄せられている。例えば、筐体、小型タンク、ドアノブなどの成形で中間熱処理が不要となり、1 回のプレスで成形できた。エルボ、ポンプ用部品、シリンダーなどの成形で形状凍結性が良く、しわが発生しないなどの評価が寄せられている。その他、研磨性が良い、部分的形状矯正が極めてやりやすいなどの評価を得、後工程工数の低減や歩留の向上が認められており、VA 面でもユーザーにとって種々の利点が見出されている。

4. 製造実績および将来性

1995 年 4 月より市場開拓を行い、次第に製造実績も増え、現在毎月 10 トン以上の販売を行うまでに成長してきている。市場評価に確かな手応えを感じており、ユーザーにおける利点が十分浸透するにつれ、さらに大きな展開が期待される。

5. 特 許

8 件の国内特許を出願し、すでに 1 件が特許登録されている。国外にも 1 件出願中である。

文 献

- (1) T. Angel: JISI, 177(1954), 155.
- (2) 平山俊成, 小切間正彦: 日本金属学会誌, 34(1970), 507.
- (3) 野原清彦, 小野 寛, 大橋延夫: 塑性と加工, 18(1977), 938.
- (4) 川島節雄, 結束良一, 金子 智, 原田憲二: 鉄と鋼, 63(1977), 865.
- (5) D. Dulieu and J. Nutting: Metallurgical Developments in High-Alloy-Steels, Special Report 86, ISI, (1964), p. 140.
- (6) 田村今男, 牧 正志, 波戸 浩, 油井孝輔: 日本金属学会誌, 33(1969), 1383.
- (7) K. Ishida and T. Nishizawa: Trans. JIM, 15(1974), 225.
- (8) 津田正臣, 根本力男: 社内データ(未発表)。