超塑性二相ステンレス鋼とその適用

長田 邦明* 吉田 裕志**

1. 緒 言

フェライト相とオーステナイト相から構成される二相ステンレス鋼では、各相の存在比率がある範囲にあれば、お互いの結晶粒の成長が妨げられて数ミクロンオーダーの微細な結晶粒の組織を比較的容易に作り出すことが可能である。このことが、特に複雑な製造工程を利用しないでも、二相ステンレス鋼に優れた微細粒超塑性が観察される一因である。

これまで二相ステンレス鋼は高強度高耐食材料として実用的に広く利用されている。しかしその超塑性を活用している例はほとんど無い。その原因の一つは実際に成形に使った経験から本当に必要な成形に関係する特性とは何なのかがフィードバックされないことにある。ここでは二相ステンレス鋼超塑性材を実際の成形に使い、その結果得られた情報を材料開発に適用して実用的な超塑性二相ステンレス鋼を開発した経緯と適用例をまとめた。

2. 開発の経緯

二相ステンレス鋼の中で SUS329J4L に属する鋼種の一部では、3000% 以上にも及ぶ大きな超塑性引張り伸びが報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。この素材を超塑性材料として実際の成形品に適用した経過を生かし、さらに成形上実用的な SUS329J1 タイプの鋼種を開発した⁽³⁾。開発過程で着目した成形に関連した材料特性と適用例をまとめた。なお、前出の両者の化学成分値は表 1 に示した。なお、以降で参照している超塑性成

形とは気体の圧力をblankシートに適用し、成形のための力を得るガスブロー成形を対象としている。

(1) 超塑性

伸びの大きさ 超塑性材料では引張試験を行い、とりわけ伸びの大きさに着目して評価を行う。その結果、数千%の延性もときに報告される。しかし、実際の成形形状を考慮すると、必要な伸びの量として500%程度でも十分であることが多い。そこで実用的にはすでに広く超塑性成形に採用されているチタン合金(Ti-6Al-4V)の引張り伸びも参考として、1000%以上を一つの目標とした。

流動応力 超塑性ガスブロー成形では成形機的气体圧力、プレス荷重、成形可能な大きさが成形可能範囲を決める。そのため材料側では十分に小さな流動応力であることが必要となる。成形実績の多いチタン合金の流動応力なども勘案して、

図1 流動応力に及ぼすフェライト量の影響。

* ナス・マードック株式会社開発部開発部長

** 日本冶金工業株式会社技術研究所主任研究員
Superplastic Duplex Stainless Steels and their Practical Applications; Kuniaki Osada*, Hiroshi Yoshida**(*NAS/Murdock Inc. **Nippon Yakin Kogyo Co., Ltd.)
1995年2月1日受理

表 1 超塑性二相ステンレス鋼成分表(mass%).

鋼 種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	N	Others
NAS SuperDux64	<0.03	<1.00	<1.50	4.5~7.50	22.00~26.00	2.50~4.00	0.08~0.30	
NAS SD65	<0.030	<0.70	<0.70	5.50~5.90	23.20~23.80	1.30~1.50	0.120~0.140	Cu : 0.90~1.10 REM

最大35気圧，プレス荷重600トン，実成形面積1m×2mを前提に，40 MPa以下の流動応力を目標とした。

これを達成するため合金成分，フェライト量と流動応力の関係(図1)を調べた。このデータに基づき開発されたNAS SD65では900℃で約20 MPaという低い流動応力を得ることができる。このときの伸びは2240%である。一方，NAS SuperDux64では，同等の超塑性を得るためには950-1000℃程度の成形温度が必要である。

(2) 組織変化

超塑性成形を実施する場合には再結晶温度，ときには σ 相の析出を前提とした組織変化を考慮する必要がある。

σ 相 特に σ 相は成形後に得られる部品の諸性質や取り扱い上に大きな影響があり，成形前後，成形中の組織変化挙動において σ 相の析出の無い，あるいは残留しないことが望まれる。

CrとMoは耐食性の向上に大きな役割を果たすが σ 相の析出を加速したりするため超塑性成形用としてはその量を制限する必要がある。そこでNAS SD65では900℃近辺での成形を想定し，CrおよびMoの量を調整して成形工程で σ 相がほとんど残留しない成分構成とすることを目標として合金設計を行った。その結果得られたNAS SD65の σ 相の

図 2 σ 相析出の TTT 図.

TTT 図を NAS SuperDux64 と比較して図 2 に示す。

結晶粒 一般に，超塑性材料は予め超塑性を発現する微細粒組織に調整される。しかし，超塑性成形は熱間の成形方法であり，成形前の組織によっては成形中に結晶粒の粗大化が進んでしまうため，結晶粒の粗大化に伴う超塑性の劣化を考慮する必要がある。したがって，化学成分上でも結晶粒の粗大化を妨げる元素の添加が望ましい。

(3) 一般的性質

耐酸化性 変形中には不活性雰囲気中で新鮮な面が生成するため，金型との反応を防止する観点から安定な酸化皮膜の生成，他に異常酸化を起こさない配慮も成分上に必要である。NAS SD65では希土類元素などの微量元素の添加を行った。

(4) 成形後の材料品質

機械的性質 超塑性材料を使うときには一般的に，熱間での成形を経験して部品となるため，成形後の機械的性質の変化をひずみ量，熱履歴と対応させて把握しておくことは重要である。

可能であれば，実際の成形環境において，多軸応力下で変形したサンプルで評価することが望ましい。

耐食性 二相ステンレス鋼で成形後の部品の性質を大きく左右するのは σ 相の析出量，析出形態その分布である。 σ 相を除去するために成形後に焼鈍を実施することは形状完成度の点で問題があるため，焼鈍なしで利用できることが好ましい。NAS SD65を対象とし，超塑性多軸応力の下で成形されそのひずみが0.39に相当する場所から試験片を採取し，各種試験をした結果を表2に示した。二相ステンレス鋼として問題の無い性能を示している。

3. 応 用 例

NAS SuperDux64は成形温度が高温であるために成形作業が困難である問題はあったが，エンジン点検用ドアを1パーツで供給できる部品の成形，太陽熱エネルギーを利用したパネル型浄水器などを試験的に製造してきた。ここではその他の適用例を紹介する⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。

(1) 民間航空機用シンクデッキ

NAS SuperDux64を超塑性材料として初めて実用化したのが民間航空機用に採用されたラボトリーに装備されるシン

クデッキである。本シンクは完全に一体で成形され、従来の成形方法では経済的に製作することはほぼ不可能な形状を持っている。図3に設置されたMIDタイプのシンクの外観を示す。シンク自体の大きさは幅1100 mm、高さ270 mm、奥行き350 mmである。開発されたNAS SD65を使うことによって、 σ 相の無い製品を作業性良好に製造できるようになった。

(2) パルプモールド用金型

環境問題がクローズアップされている中で再生古紙製の卵、青果物、工業製品、家電製品用梱包資材が注目されている。パルプモールドといわれる技術がこれらの製造に使われ、形状を与える型が必要である。この型を製作するためにNAS SD65を生かした超塑性成形品を採用した。従来使用されていた型の構成とは全く異なるパルプモールド型を開発したもので、軽量、メンテナンスフリー、モールド型費低減の利点がある。

(3) 手形

超塑性材料は転写性がよいこともよく知られている。二相

図3 旅客機用シンクデッキ(MIDタイプ)。

表2 超塑性成形後の主な性質(SUS316は焼鈍状態)。

	NAS SuperDux64 超塑性変形後	NAS SD65 超塑性変形後	SUS316 焼鈍状態
耐力 MPa	578	550	304
引張強度 MPa	775	774	588
伸び %	19	27	53
孔食電位* V _{SCE}	0.9	0.73	0.30
腐食速度** g/m ² /h	0.1	2.25	2.67

* 40°Cの食塩水中でアノード分極試験により、電流値が100 μ Aに達したときの電位。

** 40°Cの10%塩化第二鉄水溶液中で4 h浸漬した後の重量減。

ステンレス鋼においても同様であり、人の手の指紋などを忠実に複製することができる。これまでスポーツ選手の手形などを製作し、良好な転写性を確認している。

4. 結 言

超塑性を実際の成形条件に適合させた超塑性二相ステンレス鋼を開発し、広範囲な製品に応用できることを確認した。

5. 特許

特許8件出願。

文 献

- (1) 小野定雄, 遅沢浩一郎, 根本力男, 長田邦明, 木原諄二: 鉄と鋼, **67**(1981), S1341.
- (2) K. Osada, S. Uekoh, K. Ebato: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., **28**(1987), 713.
- (3) 吉田, 岡登: CAMP-ISIJ, **16**(1993), 1778.
- (4) 長田, 白川: 日本冶金技報, No. 1, (1992), 90.
- (5) K. Osada: Proceedings of the Conference on Superplasticity and Superplastic Forming, TMS (1988), 429.
- (6) K. Osada and H. Yoshida: Proceedings of Superplasticity in Advanced Materials ICSAM-94, Materials Science Forum, Vol. 170-172 (1994), 715.