

高段差微細エンボス鋼板

榑 正仁・内畠 治・水木 久光・原 健治

日新製鋼株式会社
日新製鋼技報 No. 83 別冊
平成14年12月

新製品紹介

高段差微細エンボス鋼板

榊 正仁* 内 畠 治** 水 木 久 光*** 原 健 治****

Fine Deep Embossed Steel Sheet

Masahito Sakaki, Osamu Uchihata, Hisamitsu Mizuki, Kenji Hara

1. 緒 言

近年、部品加工メーカーでは加工工程の省略および生産性向上を目的に、異形断面帯鋼を利用した部品加工が進められており、各種の異形断面形状の需要が増加している。当社では、このような市場ニーズに対応するため圧延技術とCAE (Computer Aided Engineering) による孔型ロールのプロフィール設計技術により需要家のニーズに迅速に対応可能な異形断面帯鋼の設計システムを開発し、ベアリングリテーナーなどの素材として実用化した¹⁾。

本報告では、異形断面製造技術の応用としてエンボスロールプロフィール設計システムを構築し、微細で溝の深い凹凸を鋼板表面に付与した高段差微細エンボス鋼板を開発したので紹介する。

2. 開発の考え方

エンボス加工を施した材料は、主に各種建造物の柱、壁、ドア等の建築用材、各種厨房器、浴槽、家電製品などの意匠用途に広く使用されている。しかし、これらの用途に使用されるエンボス鋼板の溝深さは、エンボス模様が微細になるほど浅くなり、20~50 μm が限界深さであった^{2)~4)}。また、従来のエンボス圧延によるエンボス鋼板の製造方法では、エンボス模様が微細になるほど、エンボスロールの転動疲労に伴ない、早期にロール欠損による柄欠けが生じ易くなるため、エンボスロールの耐久性が問題となっていた。そのため、従来のエンボス鋼板はエンボス模様が大きく、溝深さ

が浅くなるため、意匠性の観点からの開発が中心であった。

当社では、鋼板表面に溝が深くて微細なエンボス模様を圧延加工で付与できれば、意匠性以外の表面機能を見出すことが可能になり、エンボス鋼板の新たな用途展開が図れると考え、エンボス圧延技術の開発に取り組んだ。

エンボス圧延の技術課題として、量産対応可能なエンボスロールの耐久性が必要である。エンボスロールの耐久性は、圧延中のエンボスロールの凸部とバックアップロール間に作用するヘルツ応力⁵⁾およびロール材質に起因する転動疲労特性⁶⁾に依存する。そのため、エンボス圧延条件に対応したヘルツ応力を予測し、エンボスロールプロフィールの設計を行うことが重要となる。

当社では、CAEによりエンボス圧延時のヘルツ応力を予測し、エンボスロールプロフィールを設計する技術と2次エッチングによるエンボス加工方法により溝が深くて微細なエンボス鋼板を開発した。

3. 製造工程および開発技術

図1に、普通鋼を素材としたエンボス鋼板の製造工程の一例を示す。普通鋼のエンボス鋼板は、当社の普通鋼の薄板製造を主体とする堺製造所と普通鋼および特殊鋼の薄板製造を主体とする大阪製造所で生産を行っている。

堺製造所の酸洗圧延連続ラインで普通鋼のホットコイルを酸洗後、エンボス加工用の素材板厚まで圧延を行い、その後軟化焼鈍を行う。そして、大阪製造所の20段センジミア圧延機でエンボス圧延を行い、電解洗

*技術研究所 加工技術研究部 加工第二研究チーム **薄板・表面処理事業本部 特殊鋼事業部 大阪製造所 技術チーム
新潟支店 普通鋼・特殊鋼販売チーム 主任部員 *技術研究所 加工技術研究部 加工第二研究チーム チームリーダー

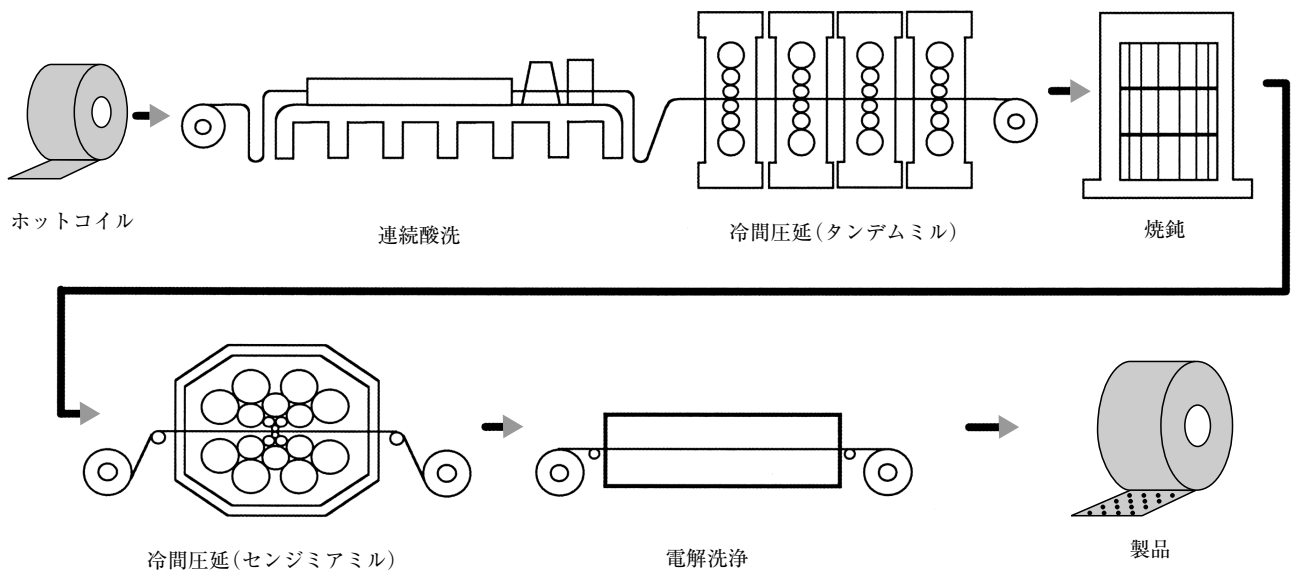


図1 エンボス鋼板の製造工程の一例
Fig.1 Example of process producing embossed steel sheet.

浄脱脂後に出荷する製造工程である。エンボス鋼板に加工性が要求される場合は、エンボス圧延後に焼なまし処理を行う。

エンボス圧延の主要な技術であるエンボスロールプロフィールの設計システムと加工方法の概要を以下に述べる。

3.1 エンボスロールプロフィールの設計システム

エンボスロールの耐久性を維持し、量産対応を可能とするためにはエンボス圧延条件下におけるヘルツ応力を予測し、そのヘルツ応力に対応した適正なエンボスロールプロフィールを設計することが重要となる。ヘルツ応力の低減には、圧延荷重の軽減が最も効果的であり、そのためにはエンボスロールの小径化が有効である。

当社では、小径のワークロールを有する20段センジミア圧延機を用いたエンボスロールプロフィールの設計システムを構築した。図2に、エンボスロールプロフィールの設計システムの概要を示す。

当社で既に開発済みの20段センジミア圧延機の形状解析モデルを用い⁷⁾、エンボス圧延条件下における圧延機を構成する各ロールの軸心たわみおよびロール偏平を計算し、圧延中のバックアップロールとエンボスロール間に作用する板幅方向の接触荷重分布を求める。接触荷重の最大値からバックアップロールとエンボスロールの凸部に作用する最大ヘルツ応力を求め、ロール材質に起因する転動疲労特性に対応したエンボスロールプロフィールを設計するシステムである。

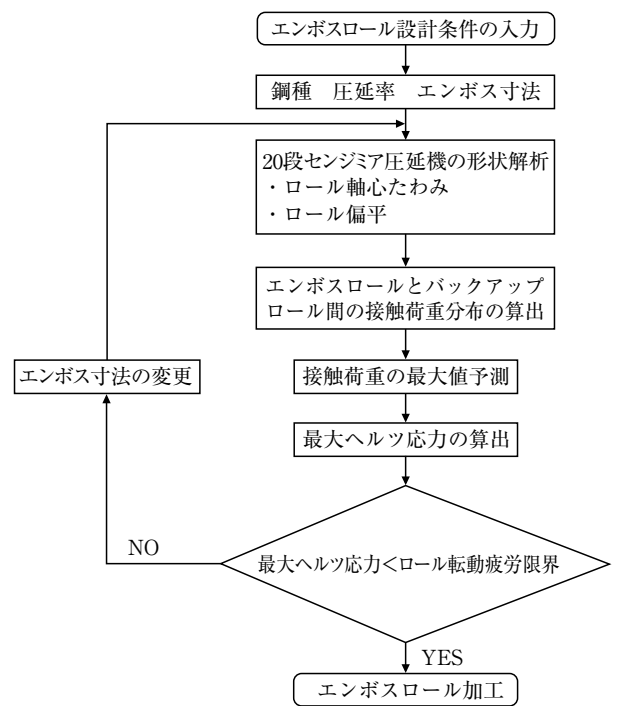
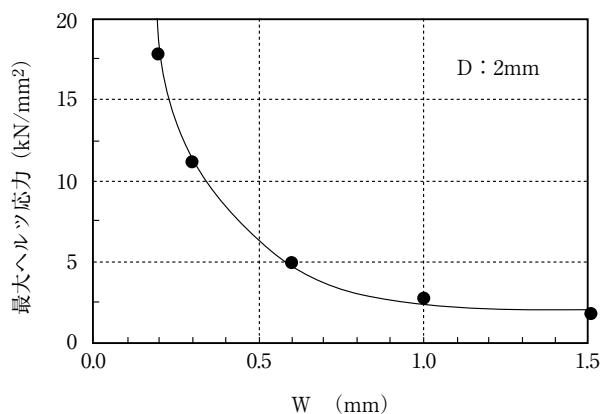
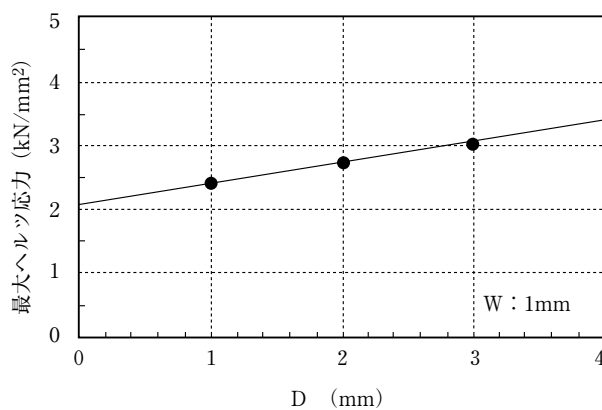


図2 エンボスロールプロフィールの設計システム
Fig.2 System for developing embossed roll profile.

図3に、エンボスロールプロフィール設計システムからエンボス寸法と最大ヘルツ応力との関係を求めた一例を示す。エンボスロールプロフィールは、図4に示すような幾何学的に配した水玉模様として簡易化し、凹部の直径Dと凹部間隔の最小幅Wをパラメータとして水玉模



a) ロール凸部幅



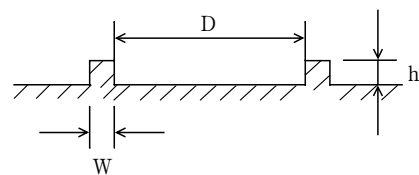
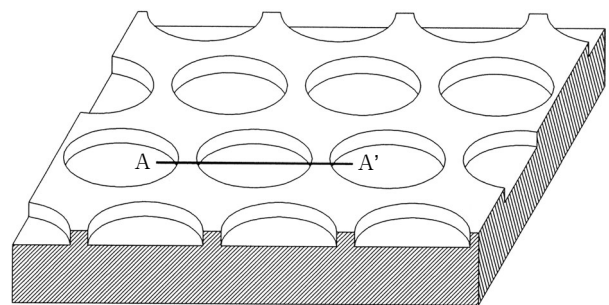
b) ロール凹部の直径

図3 エンボスロールプロフィールのヘルツ応力に及ぼす影響
Fig. 3 Effect of embossed roll profile on hertzian stress.

様の寸法を表した。図3に示されるように、エンボスロールプロフィールの凸部間隔の最小幅Wが狭くなるにつれて、ヘルツ応力は指数関数的に急激に高くなる傾向にある。これは、一般のフラットロールの圧延と異なり、エンボス圧延の場合は凸部間隔の最小幅Wによってロール間接触長が決まることにより、凸部への応力集中が大きくなるためである。したがって、エンボス模様の微細化にはヘルツ応力に対応したエンボスロールプロフィールの設計が重要となる。

エンボスロールプロフィール設計システムにより、ロールの転動疲労特性に対応したエンボス模様の設計が可能になり、微細で溝の深い凹凸を有するエンボス鋼板の製造が可能になった。

当社では、エンボスロールの転動疲労の限界を高める



(mm)

D : 2.0, h : 0.18, W : 0.3

A-A'断面

図4 エンボスロールの表面プロフィール
Fig. 4 Surface profile of embossed roll.

ため、耐摩耗性に優れているセミハイスおよびハイス系のロール材質を採用した。

3.2 エンボスロールプロフィールの加工方法

エンボス圧延では、1パス圧延で所定の溝深さを得ることが必須の圧延条件となるため、エンボス圧延中の材料の塑性流動を促進する方法を検討した。

当社では、圧延加工中の塑性流動を促進するためにエンボスロールのプロフィールに着目し、エンボスロールの加工方法としては、二次エッチングを採用した。

図5に、エッチングによるエンボスロールの加工方法の概要を示す。一般的に行われているエッチングによるエンボス加工方法では、エッチングの特性からレジスト膜のエンボス縁部が鋭角的に仕上がりに、この鋭角なコーナーが材料の塑性流動を阻害する要因となっていた。この鋭角的なエンボス縁部にコーナーRを付与するとともにエンボスロール加工表面を均一化することを目的に、特殊な二次エッチング方法によりエンボスロールの表面調整を行った。

図6に、二次エッチング加工後のエンボスロール表面状態を三次元プロフィールで示す。二次エッチング加工によりエンボス縁部はコーナーRが形成され、均

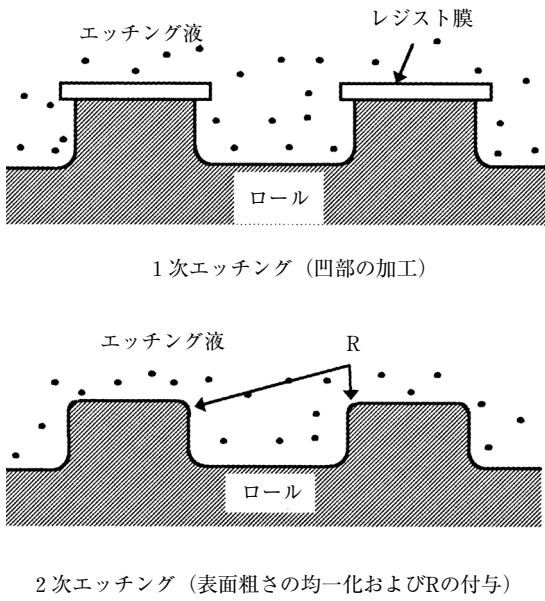
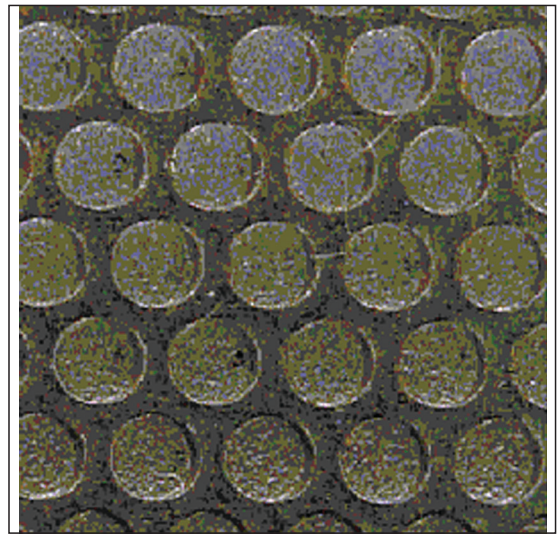
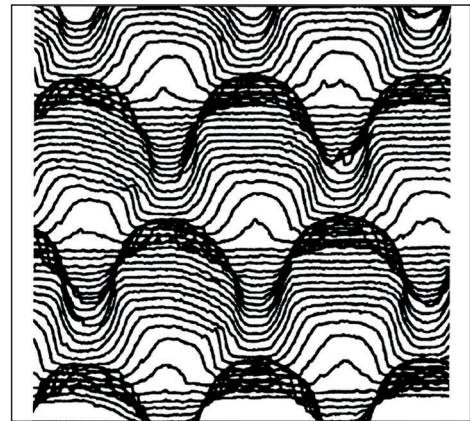


図5 エンボスロールのエッチング加工方法
Fig. 5 Method of forming embossed patterns on rolls by etching.

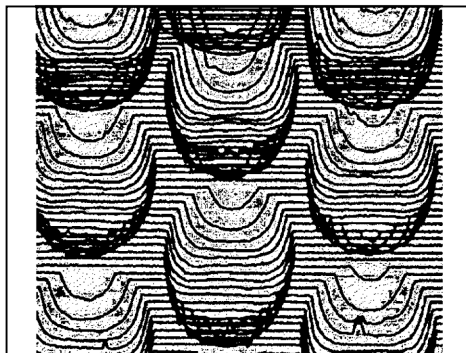


a) 表面外観 2mm

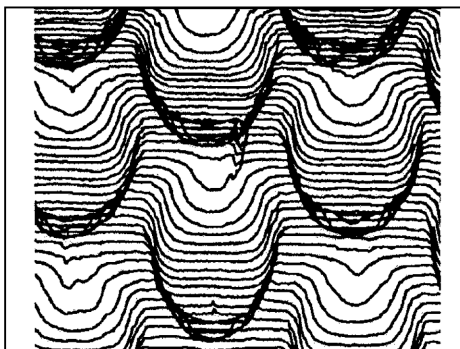


b) 3次元プロフィール
 圧延方向 ←
 ×10, ×50, ×10

図7 エンボス鋼板表面
Fig. 7 Surface of embossed steel sheet.



a) 1次エッチング加工後



b) 2次エッチング加工後

ロール軸方向 ←
 ×10, ×50, ×10

図6 エンボスロール表面
Fig. 6 Surface of embossed roll.

一なエンボスロールプロフィールに仕上がっていることがわかる。

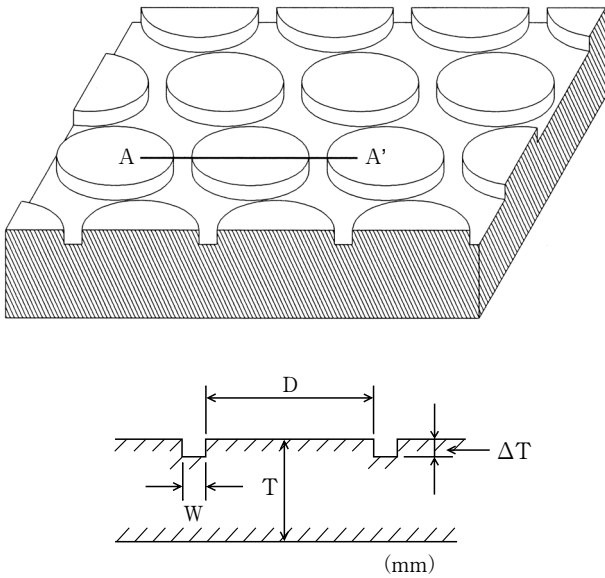
このエンボスロールのエッチング加工技術と高精度なエンボス圧延技術により、図7に示すような微細で、溝部の深い水玉模様のエンボス加工を実現した。

4. 製品特性

4.1 鋼板表面のエンボス寸法と製造可能範囲

図8に、普通鋼を素材にした高段差微細エンボス鋼板

のエンボス寸法の一例を示す。製造範囲は、板厚0.6mmから2.3mm、板幅最大約1250mmと広範囲の製造が可能



T : 0.6~2.3, D : 2.0, ΔT : 0.10~0.13, W : 0.30

A-A' 断面

図8 エンボスパターンの一例

Fig. 8 Example of embossed pattern.

である。鋼板表面のエンボス寸法は、直径約2mmの真円で溝部の間隔が最小約0.3mmと極めて狭く、且つ溝深さは0.10~0.13mmと、従来にない溝の深い微細な水玉模様エンボス鋼板である。

4.2 板厚分布と硬度分布

図9に、エンボス鋼板の代表例として、凸部板厚1.2mm、板幅1000mmのエンボス鋼板の板幅方向板厚分布を示す。図に示されるように板幅方向のどの位置でも、

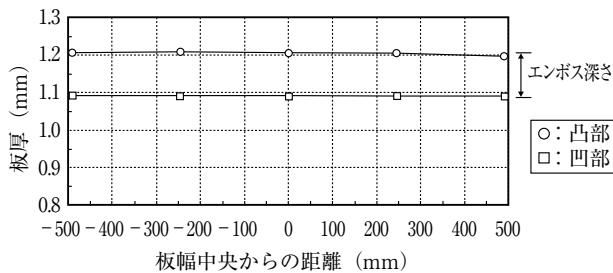


図9 板幅方向の板厚分布

Fig. 9 Example of thickness profile in the transverse direction.

溝深さは約0.11mmと広幅鋼帯に関わらずほぼ均一なエンボス寸法が付与されている。なお、圧延方向の板厚は圧延機の高精度な板厚制御により、一般の冷延鋼板とほぼ同等な板厚精度であった。

図10に、板幅方向の断面内硬度分布の一例を示す。本開発製品のエンボス鋼板は、エンボス加工後に軟質化

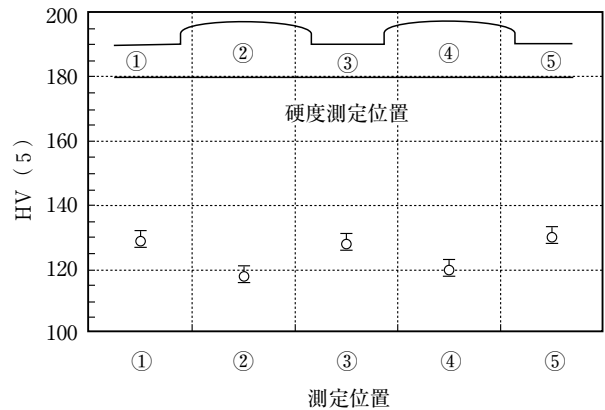


図10 断面内硬度分布

Fig.10 Example of hardness distribution on the cross section.

の熱処理を行わないことを前提とした品質設計としているため、凸部と凹部では10HV程度の断面硬度差を生じている。この断面硬度差は、エンボス加工後に焼なまし処理を行えば減少する。

4.3 エンボス鋼板の成形性

表1に、エンボス鋼板とエンボス加工前素材の機械試験値の一例を示す。エンボス鋼板は機械試験値で示すように、エンボス加工に伴い加工硬化が生じているため、

表1 エンボス鋼板の機械的性質

Table 1 Mechanical properties of embossed steel sheet.

	板厚 (mm)	エンボス深さ (mm)	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
エンボス加工前素材	1.2	-	175	303	44.0
エンボス鋼板	1.2	0.11	342	362	29.7

エンボス加工前素材に比較すると破断伸びが約14ポイント低い約30%の伸び値となり、加工性は劣化する。

図11に、本開発製品の成形性の一例として、張り出し成形の模型試験でエンボス圧延前の素材と比較した結果を示す。エンボス鋼板は、エンボス加工に伴う伸び値の低下により、エンボス加工前素材に比較すると成形性は劣る。しかし、実製品の成形加工ではエンボス鋼板表面の溝が潤滑油の流入を促進する効果があるため、金

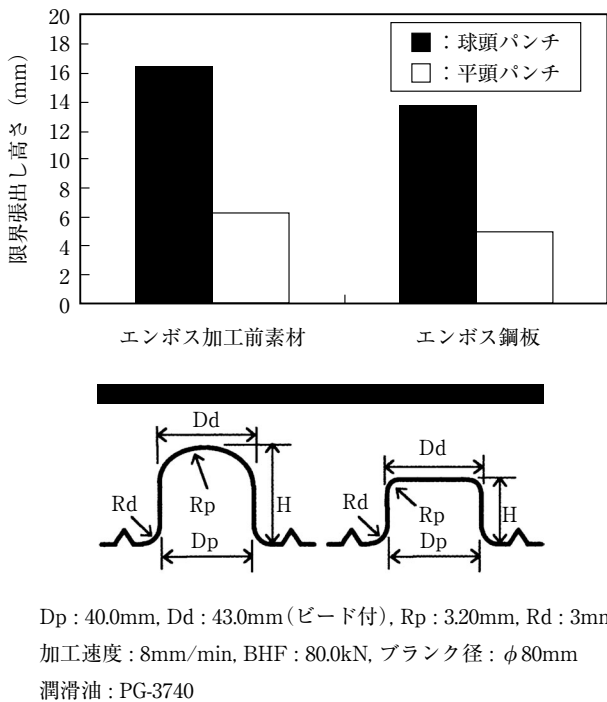


図11 張出し成形性
 Fig.11 Formability of embossed steel sheet.

型と材料との摺動性が改善される。したがって、伸び値の低下ほど成形性の劣化は少ないと考える。本開発製品はクッション圧力、ダイス金型のコーナーRなどの加工条件に留意すれば十分な成形性を有している。

4.4 加工製品例

図12に、高段差微細エンボス鋼板の加工製品例を示す。

本加工製品は、高段差微細エンボス鋼板の表面機能として鉄製調理器具の「焦げ付き難さ」に着目して、フライパン、炒め鍋、玉子焼き器および角型グリルなどを双葉工業(株)殿と共同で開発した製品である。

フライパン、炒め鍋および玉子焼き器などの調理器具に使用される素材は、アルミニウム表面にフッ素樹脂塗装を施したものが、焦げ付き難く、汚れが落ちやすいため、現在では一般家庭で良く使用されている。しかし、食材の美味しさと道具にこだわる本職の料理人の間では今でも鉄製調理器具が主流である。

鉄製調理器具は熱伝導性と蓄熱性のバランスが良く、空焚きにも耐える耐熱性があることから高温調理が可能である。しかも鉄製調理器具は耐久性に優れ、油なじみが良いという長所があり、食材を美味しく焼いたり炒めたりするには、鉄製素材が最適であると考えら

れている。

そこで、鉄製調理器具用素材として高段差微細エンボス鋼板を適用し、フッ素樹脂塗装アルミニウム製調理器具と同等以上の調理機能性の改善を行った。

高段差微細エンボス鋼板の調理器具への成形は可能で、内面のエンボス寸法を大きく崩すことも無く、微細で溝深さの深いエンボス寸法が保持されている。

本加工製品の調理器具としての機能性を、料理学校および一般消費者によるモニター調査した結果の一例を示す。

- (1) エンボスの溝部を通じて油が拡散しやすいため、少量の油で良くなじみやすくなり、食材が焦げ付きにくく、効果が認められる。また、油が拡散しやすいため少量の油で料理が可能で健康にも良い。
- (2) 熱効率が良く、油の昇温が早くなるため調理時間が短縮できる。
- (3) 内面に疵が付きにくいいため、気がねなく料理できる。

などの評価が得られ、高段差微細エンボス鋼板の表面機能を活かした製品開発となった。

5. 結言

当社で開発した高段差微細エンボス鋼板の製品特性について紹介した。本開発製品はエンボス表面の機能性を活かした新たな鉄製調理器具としてフライパン、炒め鍋および玉子焼き器などに使用されている^{8),9)}。

微細で溝深さの深いエンボス付与技術は、ステンレス素材でも可能で、今後エンボス表面の調理機能性のみならず意匠性および新たな表面機能を利用した用途展開が期待される。



図12 調理器具商品化例（双葉工業株式会社）

Fig.12 Example of cooking utensils formed from blue-tempered embossed steel sheet.

参考文献

- 1) 原 健治, 榊 正仁: 日新製鋼技報, 81 (2000), p.29
- 2) 清水公二: 特殊鋼, 37 (1988), p.41
- 3) 川野敏範, 竹島鋭機, 森重美千春, 森直人, 前北 杲彦: 日新製鋼技報, 52 (1985), p.65
- 4) 増田治雄, 高井正行, 鏡野剛, 佐藤信二, 肥野真行, 小針三千夫: 川崎製鉄技報, 24 (1992), p.214
- 5) 中原一郎: 材料力学下巻, (1987), p.116 [養賢堂]
- 6) 第2版鉄鋼材料便覧(日本金属学会, 日本鉄鋼協会編), (1990), p.453 [丸善]
- 7) Kenji HARA, Toshiro YAMADA, Kazuhiro TAKAGI: ISIJ International, 31-6 (1991), p.607

8) 特開 2002-065469号

9) 登録実案登録第 3077070号