

アルカリ可溶潤滑処理ステンレス鋼板のプレス成形性

中村 尚文・河村 航・首藤 努・石川 半二・森川 茂

日新製鋼株式会社
日新製鋼技報 No. 83 別冊
平成14年12月

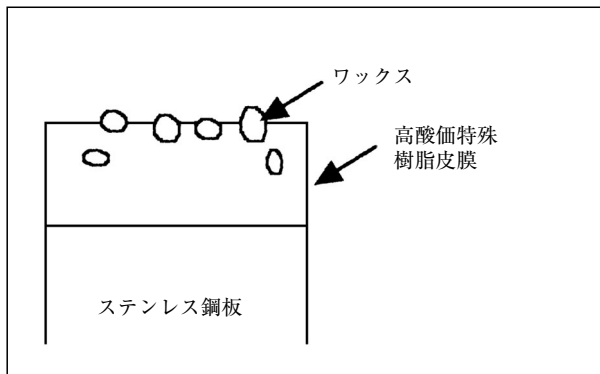


図1 アルカリ可溶潤滑処理 (Wコート) ステンレス鋼板の断面構成モデル¹⁾

Fig. 1 Schematic cross-section of alkali-soluble lubricant-organic composite coated (W-coat) stainless steel sheet.

果により難プレス加工材であるステンレス鋼板の加工性も大幅に向上する¹⁾。

図2に開発されたWコートステンレス鋼板と保護フィルム被覆材の製造工程の比較を示す。Wコートステンレス鋼板を使用すると、保護フィルムの貼付けとプレス加工後の保護フィルムの剥ぎ取り工程が省略でき、またケースによってはプレス油塗布の工程省略が可能で、生産工程の簡略化が可能となる²⁾。

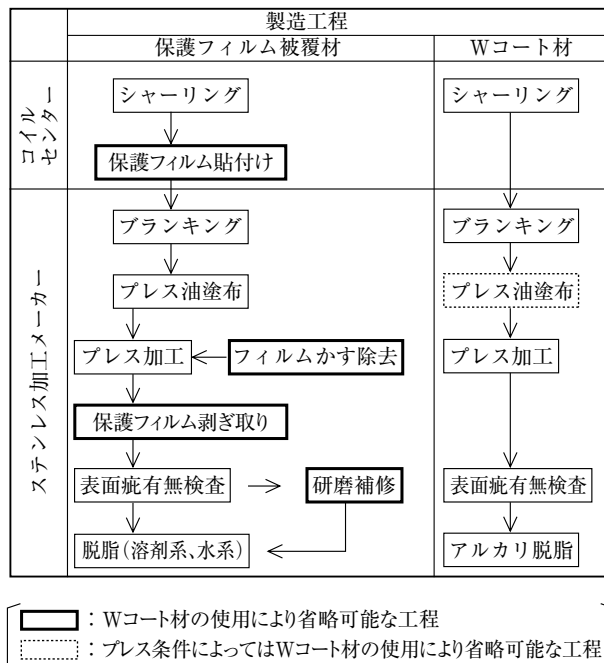


図2 保護フィルム被覆材とWコート材の製造工程の比較²⁾
 Fig. 2 Comparison of manufacturing process between conventional protective film coated stainless steel sheet and W-coat stainless steel sheet.

Wコートステンレス鋼板は、皮膜が高潤滑で優れた加工性を有しており、さらにプレス加工後のアルカリ脱脂工程で容易に除去できることから、厨房、家電、器物、自動車の排気系部品などの用途に広く使用され始めている。

実際のプレス加工では、縮みフランジ変形(絞り加工)、二軸引張り変形(張出し加工)、伸びフランジ変形(穴広げ加工)など、様々な変形様式の加工が行われる³⁾。したがって、量産プレス加工における加工不具合の発生を防止するには、被加工材のプレス加工性を体系的に整理することが重要である。また、実際のプレス成形においては、金型の温度、なじみ、表面状態や潤滑油の塗布状態、材料の特性、プレス機のしわ押さえ圧など、様々な要因によってプレス加工性が変動する。したがって、量産プレスでの不具合の発生を防止するには、成形可能範囲が広い材料が求められる。

そこで本報では、Wコートステンレス鋼板のプレス加工性を絞り加工、張出し加工、穴広げ加工の変形様式ごとに体系的に整理した結果、および量産プレスにおける安定性の評価方法として、角筒モデル金型を用いて成形可能範囲を検討した結果を紹介する。

2. 実験方法

2.1 供試材

表1および表2に供試材の化学成分ならびに機械的性質を示す。各種変形様式におけるプレス加工性の検討には、オーステナイト系ステンレス鋼板である一般プレス加工用途のSUS304、高プレス加工用途のNSS304M3を供試材として用いた。角筒モデル金型に

表1 供試材の化学成分
 Table 1 Chemical compositions of specimens. (mass%)

鋼種	C	Si	Mn	S	Ni	Cr	Cu	Mo	N
SUS304	0.04	0.55	1.08	0.004	8.56	18.50	0.28	0.14	0.038
NSS304M3	0.04	0.55	1.79	0.002	7.14	16.35	1.97	0.12	0.013
NSS304ES	0.01	0.37	1.69	0.001	7.91	16.90	3.20	0.09	0.021

表2 供試材の機械的性質*
 Table 2 Mechanical properties of specimens.

鋼種	板厚 (mm)	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	n値**	r値	硬さ (HV5)
SUS304	0.6	285	610	59	0.493	1.03	169
NSS304M3	0.6	211	591	59	0.731	0.91	138
NSS304ES	0.8	220	511	55	0.402	1.00	129

*) 試験片はJIS13B号を使用, L, B, C方向の平均値。
 **) n値は全伸びの30%, 40%での引張り応力を測定した。

よる成形可能範囲の検討には、軟質で耐時期割れ性に優れるNSS304ES⁴⁾を供試材として用いた。また、Wコートによるプレス加工性の向上レベルを把握するため、前述した鋼種にアルカリ可溶潤滑処理を施したもの（以下、Wコート材と記す。）と、原板裸材にプレス油を塗布したもの（以下、Wコート無し材と記す。）を実験に供した。

2.2 プレス加工性の実験室的検討方法

2.2.1 絞り加工

表3に絞り試験条件を、図3に絞り加工に用いた金型形状を示す。絞り加工性は、196kNの油圧式深絞り試験機を用い、平頭パンチによる円筒絞り加工により評価した。絞り加工性の優劣は、割れが発生した時のフランジ径 d と加工前のブランク径 D から求めた外径比（ $ODR = d/D$ ）と、割れが発生した時の加工品高さ（以下、絞

り高さとして記す。）により評価した。外径比は値が小さいほど絞り加工時のフランジ流入量が多くなることから、縮みフランジ変形をしやすく絞り成形性に優れる。また、“張出し+絞り”の複合加工性は絞り加工高さにより評価した。絞り加工高さが大きいほど複合加工性が優れることを示す。

2.2.2 張出し加工

表4に張出し試験条件を、図4に張出し加工に用いた金型形状を示す。試験には196kNの油圧式深絞り試験機を用い、平頭パンチの円筒張出し加工で、板厚を貫通する割れが発生した時の張出し加工高さ（以下、張出し高さとして記す。）から張出し加工性を評価した。

2.2.3 穴広げ加工

例えば、キッチンシンクの排水口部のような加工では、穴広げ部が段付け形状となるため、穴広げ加工性と併せて加工高さも重要な因子となる。そこで、シンク排水口

表3 絞り試験条件

Table 3 Conditions for deep drawing test.

諸元	条件
パンチ径(Dp)	40.0mm
ダイ径(Dd)	41.5mm
パンチ肩半径(Rp)	3.0mm
ダイ肩半径(Rd)	3.0mm
しわ押え力(BHF)	17kN
成形速度(Vp)	60mm/min
ブランクサイズ(D)	92mm
絞り比	2.3
プレス油	裸材のみ日本工作油製#620を塗布

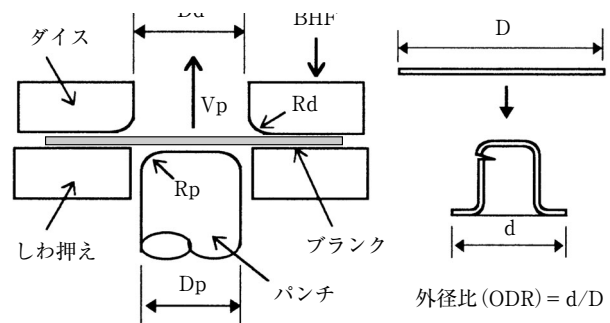


図3 絞り加工方法

Fig. 3 Schematic representation of deep drawing test.

表4 張出し試験条件

Table 4 Conditions for stretch forming test.

諸元	条件
パンチ径(Dp)	40.0mm
ダイ径(Dd)	42.0mm(ビード付)
パンチ肩半径(Rp)	3.0mm
ダイ肩半径(Rd)	3.0mm
しわ押え力(BHF)	30kN
成形速度(Vp)	8mm/min
ブランクサイズ	92mm
プレス油	裸材のみ日本工作油製#620を塗布

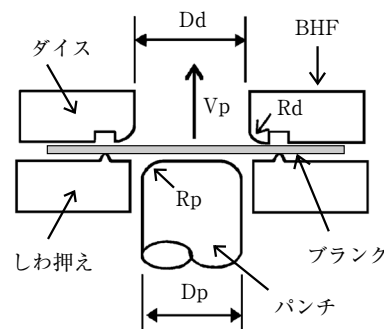


図4 張出し加工方法

Fig. 4 Schematic representation of stretch forming test.

表5 穴広げ試験条件

Table 5 Conditions for bore-expand test.

諸元	条件
パンチ径(D _p)	40.0mm
ダイ径(D _d)	42.0mm(ビード付)
パンチ肩半径(R _p)	3.0mm
ダイ肩半径(R _d)	3.0mm
しわ押え力(BHF)	30kN
打抜きクリアランス	10%
かえりの方向	ダイス側
テストスピード(V _p)	8mm/min
ブランクサイズ	92mm
プレス油	裸材のみ日本工作油製#620を塗布

の穴広げ加工を想定して平頭パンチを用い、穴広げ加工性と穴広げの加工高さを検討した。表5に穴広げ試験条件を図5に穴広げ試験に用いた金型形状を示す。穴広げ加工性は、あらかじめ設けた円孔の直径D₀(=φ10mm)と、加工によって円孔の穴縁に板厚を貫通する割れが発生した時の円孔の直径D₁から求めた穴広げ率および穴縁で割れが発生した時の加工高さ(以下、穴広げ高さ)により評価した。穴広げ加工性は穴縁部の材料の延性により支配されるが、円孔の打抜きクリアランスやカエリの方向などで変化するため⁵⁾、打抜きクリアランスは10%とし、カエリ外側の一定条件で試験を実施

表6 成形可能範囲検討のための試験条件

Table 6 Conditions for drawability test.

諸元	条件
パンチ寸法	98W×148Lmm
ダイ寸法	100W×150Lmm
パンチ肩半径	15.0mm
ダイ肩半径	5.0mm
パンチコーナー半径	20.0mm
しわ押え力(BHF)	(油圧プレス)9.8~392kN (メカプレス)9.8~245kN
成形速度	(油圧プレス)10mm/sec (メカプレス)210,370mm/sec
ブランクサイズ	220W×250Lmm
プレス油	基準：a(10倍希釈) 裸材のみ塗布

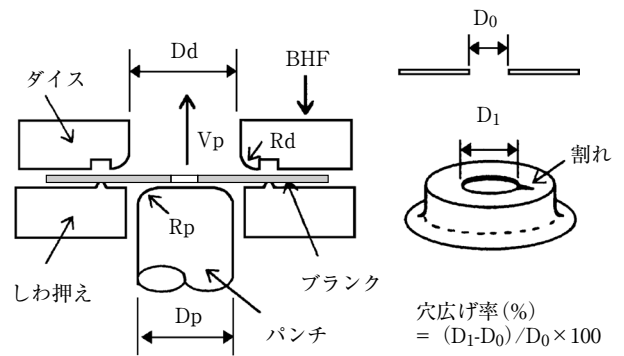


図5 穴広げ加工方法

Fig. 5 Schematic representation of bore-expand test.

した。なお、穴広げ加工性は、穴広げ率と穴広げ高さが大きいほど優れる。

2.3 成形可能範囲検討のための試験条件

表6に成形テストの試験条件を示す。絞り加工と張出し加工の複合的要素を含む角筒絞り加工により、しわが発生しない下限のしわ押さえ力と破断が発生しない上限のしわ押さえ力の範囲、いわゆる成形可能範囲を求めた。なお、成形可能範囲は広いほど金型、材料、プレス機などに起因する変動要因による不具合の発生を回避できるため、量産プレスでの安定性に優れるものとして評価した。図6に角筒絞り加工品形状およびフランジしわと割れ発生状態の一例を示す。試験には784kNの油圧式深絞り試験機と1960kNのメカプレスを使用し、10mm/sec(油圧プレス)、210mm/sec、370mm/sec(メカプレス)の3水準の速度で成形を行い、成形可能範囲に及ぼす成形速度の影響を評価した。油圧式深絞り試験機ではしわ押さえ力を9.8~392kNで加工を行なったが、メカプレスでは最大のしわ押さえ力を245kNとした。これに併せてWコートの有り無しの成形可能範囲に及ぼす影響を検討した。

成形可能範囲に及ぼす成形速度の影響の検討に用いたプレス油は、Wコート無し材は水溶性プレス油aを水で10倍に希釈したものを使用し、Wコート材はプレス油無しとした。

成形可能範囲におよぼすWコート皮膜の潤滑性の影響を把握するため、Wコート無し材に表7に示す記号a~ζの市販の水溶性のプレス油、粘度2~110mm²/sの速乾性プレス油および鉱物油を塗布し、成形可能範囲を調査した。また、図7に示す平板摺動試験によりWコート材とWコート無し材+各種プレス油の動摩擦係数を測定した。

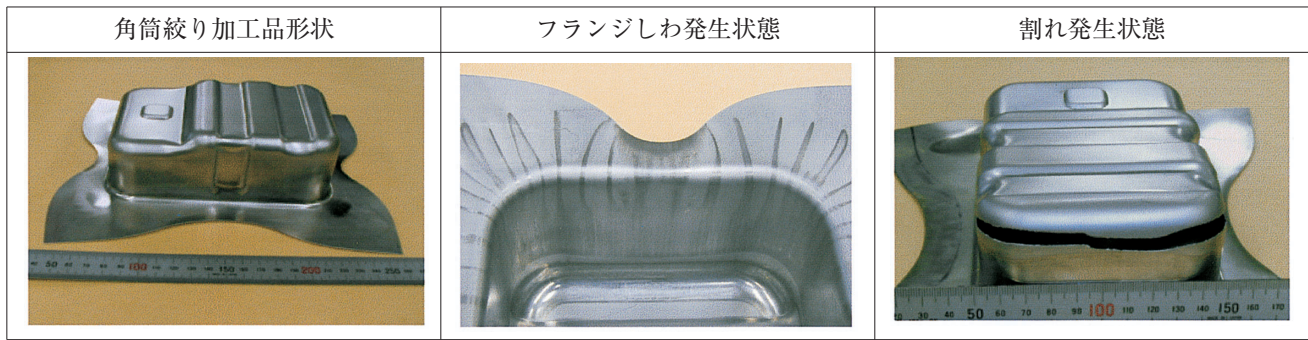


図6 角筒絞り加工品形状およびフランジしわと割れ発生状態
 Fig.6 Formed part of rectangular drawing and conditions for flange wrinkles and crack.

表7 成形可能範囲の検討に用いたプレス油
 Table 7 Lubricants for examination of drawable condition range.

プレス油記号	種別	粘度 (mm ² /s)	備考
α	水溶性プレス油	—	水溶性金属加工油
β	速乾性プレス油	2	浅絞り用揮発性プレス油
γ		4	絞り用無洗浄プレス油
δ	鉱物油	16	冷延・アルミめっき鋼板用防錆油
ϵ		60	浅絞り用
ζ		110	トランスファープレス用

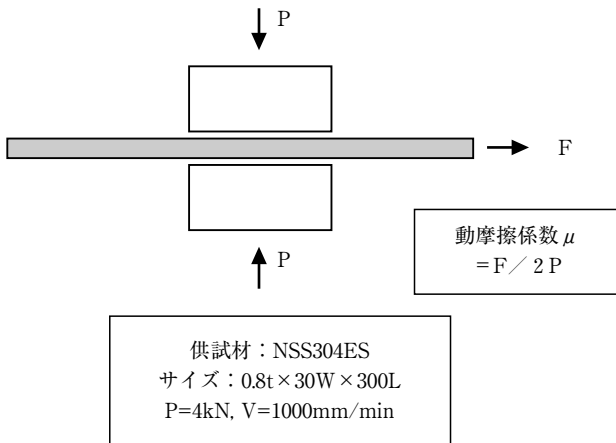


図7 平板摺動試験による動摩擦係数の測定方法
 Fig.7 Measurement method of dynamic friction coefficient in flat die sliding test.

3. 実験結果

3.1 プレス加工性の実験的検討

3.1.1 絞り加工

図8にWコート有り無しの絞り加工における外径比と絞り高さを示す。同一鋼種におけるWコート有無材の加工性を比較すると、Wコート材はWコート無し材に比べて絞り加工性が大幅に向上する。Wコート有無材の加工性を鋼種で比較すると、一般プレス加工用途のSUS304と比べて、高プレス加工用途のNSS304M3は、外径比が小さく大きな絞り高さが得られており絞り加工性に優れる。このときの、Wコート材の絞り加工性の向上率を絞り高さで比較すると、SUS304で約20%、NSS304M3では30%を超える向上率となっており、高プレス加工用材料ほど加工性向上の効果が大きい。

通常、量産プレスでの変動要因により発生する加工割れは、絞り高さを数%低くするとほとんどが解消できる。Wコート材の加工性の向上度合いから見ると、Wコート材への切り替えは加工割れの解消に極めて有効であり、安定量産の実現が可能と言える。

絞り加工とは、平面ブランクをパンチ(雄型)とダイ(雌型)を用いて板の外周部(以下、フランジ部と記す。)を縮みフランジさせてダイ内部へ絞り込み、継ぎ目のない中空の容器に加工する塑性加工である⁶⁾。絞り成形中、パンチ肩部の材料には材料をダイ内へ引き込むために必要な力(成形力)が作用しており、絞り加工性はパンチ肩部の破断強度とフランジ部の流入抵抗の大小により著しく影響を受ける。すなわち、フランジ部の流入抵抗がパンチ肩部の破断強度を上回ると割れを生じやすくなり、逆にパンチ肩部の破断強度がフランジの流入抵抗を上回ると割れが回避され、絞り加工が可能となる。したがって、絞り加工性を向上させるにはパンチ肩部の破断強度を高いレベルに維持したままフランジの流入抵抗を小さくすることが有効である。一般的には、パンチ肩半径を拡大してパンチ肩部に加わるひずみを分散させると

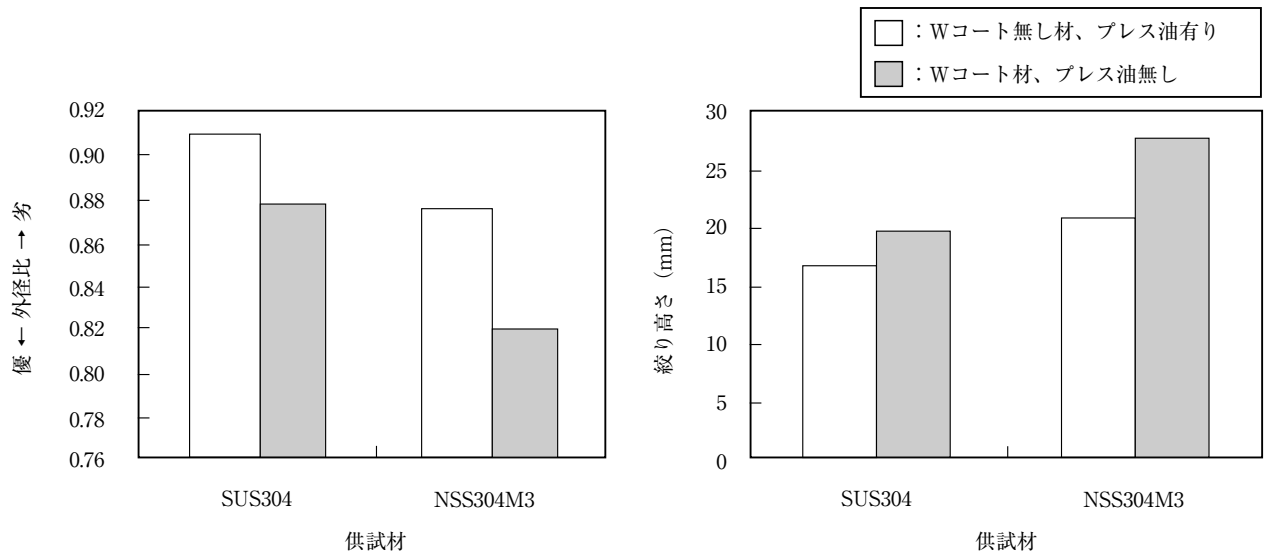


図8 絞り加工における外径比と絞り高さにおよぼすアルカリ可溶潤滑処理(Wコート)の影響

Fig. 8 Effect of alkali-soluble lubricant-organic composite coat (W-coat) on outer diameter ratio and limit of forming height in deep drawing test.

板厚減少が抑制される。フランジ部では、ダイ肩半径の拡大によるダイ肩部での曲げ・曲げ戻しの変形抵抗の低減や被加工材と金型との潤滑を向上させて摩擦抵抗を低減すると良い。また、絞り加工では潤滑油を塗布して加工するのが一般的であり、高潤滑プレス油ほど良好な絞り加工性が得られる。これは工具と鋼板表面の間に強固な油膜が形成され、両者の直接接触を防ぐことにより、型かじりや焼付きを防止するとともに、工具と材料との間に生じる摩擦力を低減する効果による⁷⁾。

図8に示したようにWコート材の絞り加工性が大幅に向上するのは、図1に示したワックスが均一に分散しており、後述するように優れた潤滑性が付与されプレス油と同様な作用を呈し、縮みフランジ変形する際の流入抵抗を大きく低減させる効果によると考えられる。

3.1.2 張出し加工

図9にWコート有無材の張出し高さを示す。Wコート有無材の張出し高さにおよぼす影響を見ると、どちらの鋼種もWコート材の方が大幅に張出し高さが向上している。絞り加工性と同様にWコートの有無にかかわらず高プレス加工用途のNSS304M3の方が張出し加工性に優れる。Wコートの張出し高さの向上率をNSS304M3で見ると、Wコート無し材と比べて40%近くも張出し高さが大きい。このように、Wコート皮膜は張出し加工においても大幅な加工性の向上が図れる。量産プレスでの張出し加工部での割れは、加工高さを数%程度低減することによりほとんどが解消できるため、Wコート

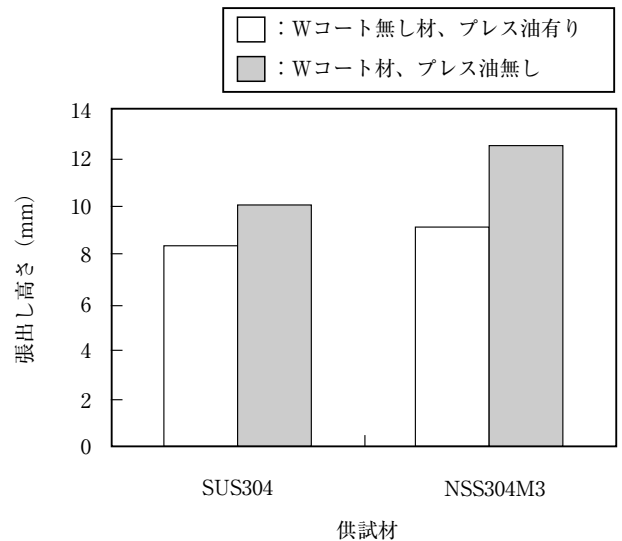


図9 張出し加工における張出し高さにおよぼすアルカリ可溶潤滑処理(Wコート)の影響

Fig. 9 Effect of alkali-soluble lubricant-organic composite coat (W-coat) on limit of forming height in stretch forming test.

材を使用すれば量産プレスでの張出し加工における割れが抑制できると言える。

張出し加工とは、フランジ部の材料がダイ内部へ流入のない状態でパンチ部の材料を伸び変形のみで塑性変形させる加工である⁶⁾。したがって、パンチ底部の材料が

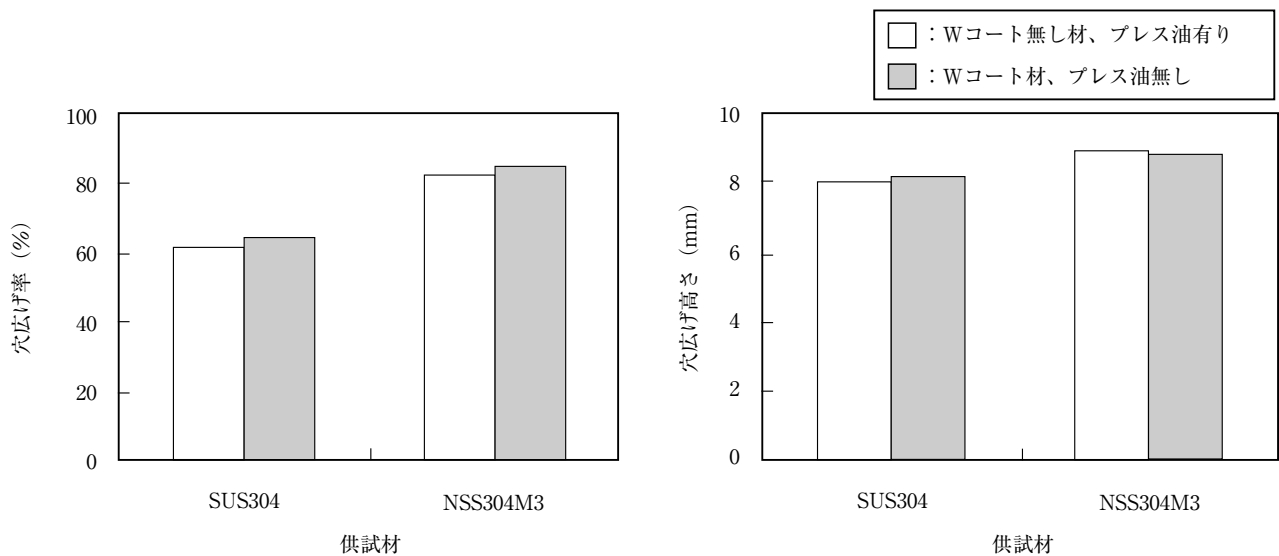


図10 穴広げ加工における穴広げ率と穴広げ高さにおよぼすアルカリ可溶潤滑処理(Wコート)の影響

Fig.10 Effect of alkali-soluble lubricant-organic composite coat (W-coat) on bore-expand ratio and limit of forming height in bore-expand test.

塑性変形し縦壁部へ流出することにより成形が進み、パンチが進行するとともに板厚が減少し、材料の伸び変形が限界に達した時破断する。平頭パンチによる張出し加工の場合、パンチ肩半径が小さいとパンチ肩部へひずみが集中して加工割れが生じやすい。そのため張出し加工での割れはパンチ肩半径の拡大によるひずみの分散により回避することが一般的に行われている。

Wコート材の張出し加工性が優れるのは、張出し変形の際にパンチ肩部に集中するひずみが優れた潤滑性を有するWコート皮膜により広範囲に分散されるためと考えられる。

3.1.3 穴広げ加工

図10にWコート有無材の穴広げ加工における穴広げ率と穴広げ高さを示す。高プレス加工用途のNSS304M3の方が穴広げ率と穴広げ高さのどちらも大きく、穴広げ加工性に優れる。しかし、どちらの鋼種もWコート有無で穴広げ率と穴広げ高さに優位差は認められない。

穴広げ加工とは、中央部に円孔を設けた平面ブランクのフランジ部の材料をダイ内部へ流入させずにパンチ底部の円孔が円周方向に伸び変形しながら縦壁方向に流出する変形であり、伸びフランジ変形の一つである⁶⁾。

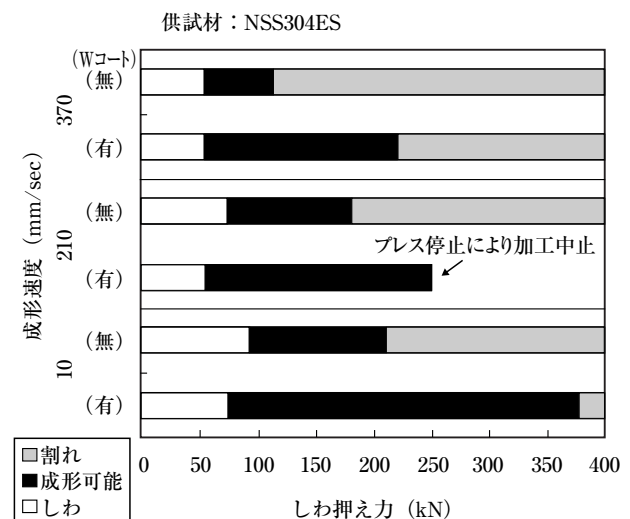
穴広げ加工の成形限は、穴広がりに伴う穴縁の伸び変形能が限界に達し、くびれあるいは亀裂が生じる β 破断因子により支配される⁸⁾。このように穴広げ加工性を支配する β 破断因子は潤滑の影響をほとんど受けない穴縁の伸び変形により決定される。したがって、Wコート有無では穴広げ率に差が生じなかったものと

考えられる。

3.2 模擬金型による成形可能範囲の検討

3.2.1 各成形速度における成形可能範囲に及ぼす成形速度とWコートの影響

図11に軟質低加工硬化型のオーステナイト系ステン



注) Wコート無し材はプレス油 α (10倍希釈) を使用

図11 角筒絞り加工における成形可能範囲におよぼす成形速度およびWコートの影響

Fig.11 Effect of forming speed and W-coat on drawable condition range in rectangular drawing.

レス鋼NSS304ESの角筒絞り加工における成形可能範囲におよぼす成形速度およびWコートの影響を示す。Wコート材、Wコート無し材とも成形速度が速くなるにつれて成形可能範囲は低下する。また、Wコート有無での成形可能範囲を比較すると、Wコート材はWコート無し材に比べていずれの成形速度においても成形可能範囲が広い。この結果より、Wコート材は油圧プレス、メカプレスの成形方式によらず量産プレスにおいて加工割れの発生抑制に大きな効果があり、量産プレスの安定性に優れると言える。

なお、オーステナイト系ステンレス鋼板の絞り加工性が成形速度が速くなるにつれ低下するのは、成形速度が速くなるにつれて材料の耐力が上昇し、引張り強さと全伸びが低下することに起因すると考えられる。この機械的性質の変化は材料温度の上昇に伴う加工誘起マルテンサイト変態の抑制による⁹⁾。

3.2.2 成形可能範囲におよぼす潤滑の影響

図12にNSS304ESの各種プレス油とWコート材の成形可能範囲を示す。エマルジョンタイプの水溶性プレス油 $a \times 20, 10, 5, 1$ は希釈度を20倍希釈から原液ままで変化させたものであるが、希釈度が小さいものほど成形可能範囲が広く、速乾性プレス油 β, γ と鉱物油系プレス油 $\delta \sim \zeta$ は粘度を2~110mm²/sまで変化させたもので、粘度が高くなるほど成形可能範囲が広がる傾向を

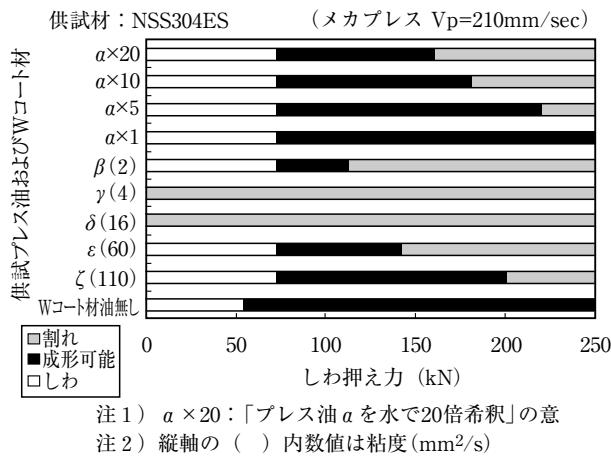


図12 各供試プレス油およびWコート材における成形可能範囲
 Fig.12 Drawability condition range for various lubricants and W-coat stainless steel sheets.

示す。

図13に平板摺動試験により求めたNSS304ESの裸材 + 各種プレス油とWコート材の動摩擦係数 μ を示す。Wコート材は、水溶性のプレス油や粘度110mm²/sの鉱物油を塗布した材料よりも動摩擦係数が小さく潤滑性に優

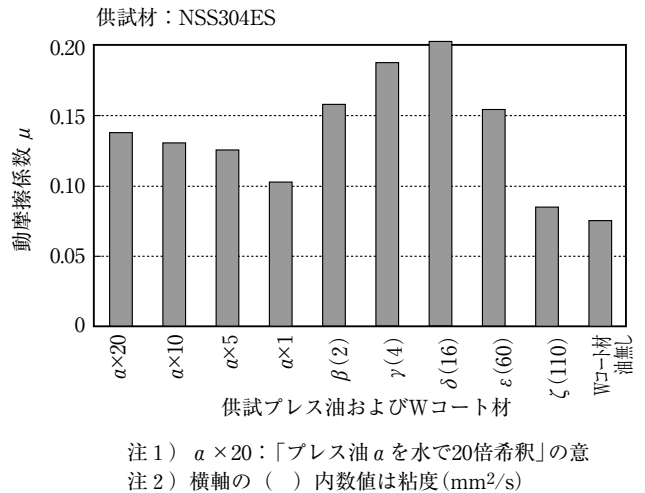


図13 各供試プレス油およびWコート材の動摩擦係数
 Fig.13 Dynamic friction coefficients of various lubricants and W-coat stainless steel sheets.

れる。

図14に各種プレス油塗布材とWコート材の動摩擦係数と成形可能な最大しわ押さえ力 (BHF) の関係を示す。成形可能な最大しわ押さえ力はプレス油の動摩擦係数と良い相関があり、動摩擦係数が小さいものほど成形可能な最大しわ押さえ力大きい。

自動車用部品の実プレス加工においても、実験室的試験にて求めた動摩擦係数の低いものほど実プレスでの成

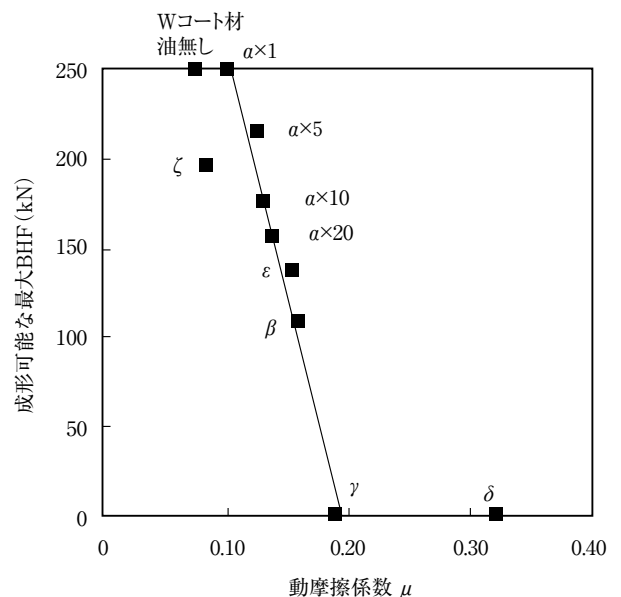


図14 各供試プレス油およびWコート材の動摩擦係数と成形可能な最大BHFの関係
 Fig.14 Relation between dynamic friction coefficient and drawability maximum BHF.

形可能範囲が広くなるとの報告がある¹⁰⁾。したがって、Wコート材の加工割れ発生の限界しわ押さえ力が高くなるのは高潤滑な皮膜のWコートが縮みフランジ変形の際、摩擦抵抗を大きく低減する効果によると考えられる。

4. アルカリ可溶潤滑処理ステンレス鋼板の加工上の留意点

4.1 プレス油との併用

Wコート皮膜は固形潤滑皮膜でありプレス油のような金型の冷却効果がなく、金型の温度上昇が避けられない。量産プレスでの金型の温度上昇はWコート皮膜の金型への焼付きや型かじり、金型のクリアランス変化の原因となり、加工割れや打痕の発生が懸念される。

そこで、速乾性のプレス油有無でのガスコンロ部材の量産プレストライにより、金型の温度上昇によるWコート皮膜の金型への焼付きなどによる不具合の有無を確

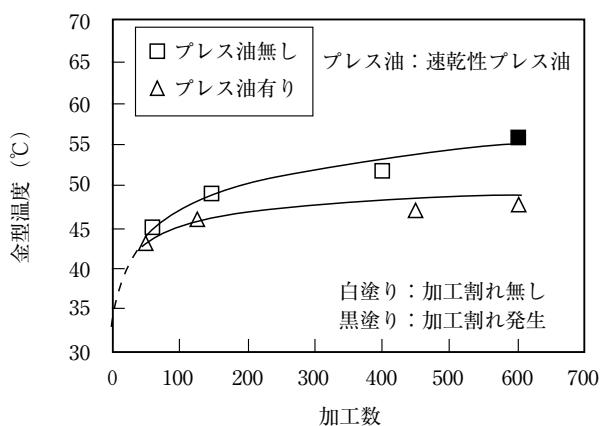


図15 連続プレスにおける金型の温度上昇におよぼすプレス油の影響

Fig.15 Effect of lubricant on increase of die temperature during continuous stamping.

認した。図15にその結果を示す。速乾性プレス油を使用しない連続プレスでは約600個加工した時点で金型の温度上昇に伴う金型への焼付きが原因と見られる加工割れが発生した。一方、速乾性プレス油を使用すると100個程度で金型の温度上昇がほぼ一定となり、600個連続加工しても加工割れの発生は認められなかった。このことから、金型の温度が著しく上昇するような加工条件下では焼付きや型かじりを防止するために金型を冷却するための速乾性プレス油を併用することが望ましい。ただし、極性の高い、すなわち結合の反応性の高い¹¹⁾グ

リコールエーテル系速乾性プレス油や弱アルカリ性の水溶性プレス油は皮膜を侵食する可能性があるため、事前にプレス油との相性を確認することが必要である。

4.2 金型のメンテナンス

金型との摺動によるステンレス鋼板表面への損傷は金型の表面仕上げ状態にも大きく影響を受ける。皮膜の厚みよりも金型表面の粗さが大きい場合には、鋼板表面の疵付き防止が不十分となる¹²⁾。Wコート皮膜の厚みは2 μ m程度と薄く、金型とのすべり疵を防止するには金型を研磨し金型の表面粗さを小さくすることが必要である。

5. アルカリ可溶潤滑処理ステンレス鋼板の適用例

アルカリ可溶潤滑処理ステンレス鋼板の適用例としてガスコンロ部材のプレス成形後の外観を図16に示す。



(原板鋼種：NSS304M3)

図16 ガスコンロ部材へのアルカリ可溶潤滑処理 (Wコート) ステンレス鋼板の適用例

Fig.16 Example of application of alkali-soluble lubricant-organic composite coated (W-coat) stainless steel sheet to stamping part of burner of table cooker.

SUS304に比べプレス加工性に優れるNSS304M3にWコート皮膜を被覆することにより、Wコート無しでは加工不可能であった難加工品の安定量産が可能となった。

6. 結 言

アルカリ可溶潤滑処理ステンレス鋼板のプレス加工性について、円筒金型を用いた実験室的検討により変形様式ごとに体系的に整理するとともに、角筒モデル金型を用いた成形可能範囲から量産プレスにおける安定性を検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 絞り加工性および張出し加工性はWコートを実施することで大幅に向上する。穴広げ加工に対しては、Wコートによる加工性向上効果は認められない。
- 2) Wコート材はWコート無し材に比べて成形可能範囲が広く、量産プレスでの安定性に優れる。
- 3) Wコート材は固形潤滑のため金型の冷却効果がないことから、金型の温度が著しく上昇するような加工条件下では焼付きや型かじりを防止するために金型を冷却するための速乾性プレス油を併用することが望ましい。
- 4) 金型とのすべり疵を防止するには、金型を研磨し金型の表面粗さを小さくする必要がある。

以上のように、アルカリ可溶潤滑処理ステンレス鋼板には、ステンレス鋼板と金型との摩擦現象により阻害される深絞り加工性や張出し加工性の低下を抑制する特徴があり、今後多くの難加工用途への適用が期待される。

参考文献

- 1) 山本雅也, 古川伸也, 武津博文: 日新製鋼技報, 82 (2001), 71.
- 2) 山本雅也, 武津博文, 内田幸夫: 日新製鋼技報, 76 (1997), 56.
- 3) 林 豊: 第47回塑性加工学講座 (1990), 97.
- 4) 鈴木聡, 田中秀記, 宮楠克久: 日新製鋼技報, 80 (2000), 23.
- 5) 竹添明信, 川瀬尚男: 日新製鋼技報, 35 (1976), 79.
- 6) 金属塑性加工用語編集委員会: 図解金属塑性加工用語辞典, 日刊工業新聞社 (1974), 10, 282., 306.
- 7) 片岡征二: プレス作業の潤滑技術, 海文堂 (1986), 56.
- 8) 吉田清太: 薄板のプレス成形の成形域区分と体系化に関する研究 (1959), 133.
- 9) 宮地弘文, 渡辺 敏: 日本金属学会誌, 40 (1976), 341.
- 10) 薄鋼板成形技術研究会: プレス成形難易ハンドブック第2版, 日刊工業新聞社 (1997), 324.
- 11) R. T. MORRISON, R. N. BOYD: 有機化学, 東京化学同人 (1989), 32.
- 12) 須藤忠三: プレス技術, 33 (1995), 29.