

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.17 (1985) No.3

ステンレス薄鋼板の温間プレス成形

Warm Press Forming of Stainless Steel Sheets

野原 清彦(Kiyohiko Nohara) 小野 寛(Yutaka Ono)

要旨：

ステンレス鋼薄板のプレス成形における絞り性およびリストライク性に対する温間加工の効果を検討した。その結果、材料の成分調整と温間加工条件の適正な選択によって、オーステナイト系およびフェライト系ともプレス成形性は著しく向上することがわかった。新しく開発した水溶性の耐熱性潤滑材を使用することにより、ステンレス鋼の温間成形法の実用化の目途を得た。とくに本法の適用により、従来の室温プレス成形時に問題となるオーステナイト系の置割れおよびフェライト系のリジングの現象が回避もしくは軽減されることがわかった。

Synopsis：

The effect to "warm press forming" on the press formability of stainless steel sheets in deep drawing and restriking was studied. The result indicates that the press formability of both austenitic and ferritic steels is markedly improved by the compositional control of materials and the suitable selection of warm press forming conditions. The application of a newly developed heat resisting lubricant which can easily be coated and removed because of being water-soluble is to make industrialization of warm press forming possible. It is noted that the problems of delayed fracture and ridging associated with austenitic and ferritic steels, respectively, during conventional press forming at room temperature can be avoided or reduced by the employment of this press forming technique.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

野原 清彦^{*2} 小野 寛^{*3}

Warm Press Forming of Stainless Steel Sheets

Kiyohiko Nohara, Yutaka Ono

要旨

ステンレス鋼薄板のプレス成形における絞り性およびリストライク性に対する温間加工の効果を検討した。その結果、材料の成分調整と温間加工条件の適正な選択によって、オーステナイト系およびフェライト系ともプレス成形性は著しく向上することがわかった。新しく開発した水溶性の耐熱性潤滑剤を使用することにより、ステンレス鋼の温間成形法の実用化の目途を得た。とくに本法の適用により、従来の室温プレス成形時に問題となるオーステナイト系の置割れおよびフェライト系のリジングの現象が回避もしくは軽減されることがわかった。

Synopsis:

The effect of "warm press forming" on the press formability of stainless steel sheets in deep drawing and restriking was studied. The result indicates that the press formability of both austenitic and ferritic steels is markedly improved by the compositional control of materials and the suitable selection of warm press forming conditions. The application of a newly developed heat resisting lubricant which can easily be coated and removed because of being water-soluble is to make industrialization of warm press forming possible. It is noted that the problems of delayed fracture and ridging associated with austenitic and ferritic steels, respectively, during conventional press forming at room temperature can be avoided or reduced by the employment of this press forming technique.

1 緒 言

温度上昇に伴う破断抵抗の低下よりもフランジ変形抵抗の低下のほうが著しい領域での、いわゆる温間深絞り加工は、従来非鉄合金や炭素鋼について試みられており¹⁾、これをステンレス鋼に適用しようという試みも若干行われている²⁾。しかしながら材料（オーステナイト系およびフェライト系）、加工条件（絞りおよびリストライク）、耐熱性潤滑剤などの相互関係を検討した例はみあたらない。とくにオーステナイトステンレス鋼の塑性挙動は、Fig. 1 に SUS 301 の単軸引張変形における例を示すように³⁾、強い温度依存性を有し、しかもそれが常温を若干上回る温度領域で示される事実は、上記非鉄合金や炭素鋼の数 100°C という高温での現象と比較して、実際プレス加工への適用の可能性の点で興味深い。

ここではオーステナイトおよびフェライト両系のステンレス鋼薄板の温間深絞り性ならびにリストライク成形性について実験するとともに、従来温間加工における大きな問題と考えられる作業性と除去性にすぐれた耐熱性潤滑剤の開発とその使用例についても検討した。

2 実験方法

金型形状は、とくにステンレス鋼薄板の通常の深絞り加工で問題のある比較的大寸法の 200×270 mm の長四角筒型で、直辺部に 700 mmR のキャンパーを設け、側壁には 2° のテーパをつけた。寸法諸元を Table 1 に示す。実際の現場への適用を考慮して、ダイス温度 (T_d) を加温油循環方式（もちろん電熱ヒーター埋込加温

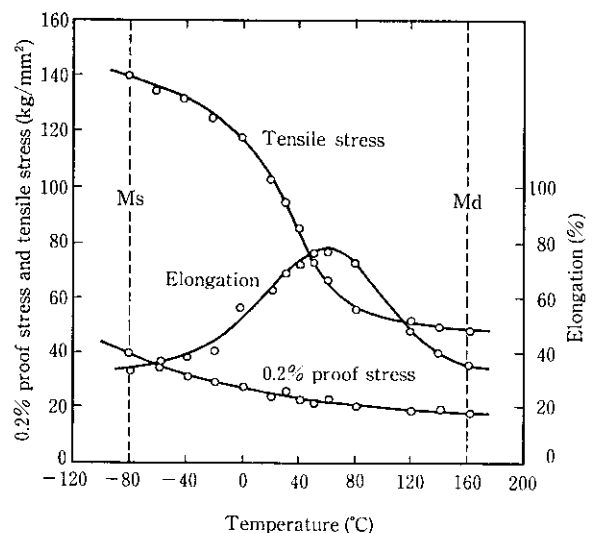


Fig. 1 Temperature dependance of tensile properties of SUS 301 austenitic stainless steel

方式でもよい)、ポンチ温度 (T_p) を冷却水通水方式により、それぞれ間接的に制御した。

プレス機械はインナー出力 400 t、アウター出力 250 t の複動油圧プレスで、ストローク速度は約 600 mm/min である。これらの装置の外観を Photo 1 に示す。供試材としては、オーステナイト系ステンレス鋼として SUS 304, SUS 301, R 304 UD (含 Cu 鋼)⁴⁾、フェライト系ステンレス鋼として SUS 430, R 430 LT (含 Ti 鋼)⁵⁾

*1 昭和60年3月27日原稿受付

*2 ハイテック研究所新素材研究センター主任研究員（部長補）・工博

*3 鉄鋼技術本部電磁ステンレス技術部主査（部長補）

Table 1 Tool dimensions

Tool	Material	Size (mm)	r_p (mm)	r_d (mm)	r_c (mm)	Clearance (mm)	Camber (mm)	Taper on wall
Punch	241M	198.9×268.9	17	—	50	1.1 (side) 1.3 (corner)	700R	2°
Die	AMPCO metal	200×270	—	10	50	—	700R	—
Blank holder	AMPCO metal	—	—	—	—	—	—	—

Table 2 Stainless steel specimens used

Steel	Thick- ness	C	Composition (wt %)							Properties					
			N	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Ti	HV	PS (kg/mm ²)	TS (kg/mm ²)	El (%)	Er	CCV
SUS 304	1.0	0.07	0.018	0.51	1.65	9.06	18.72	—	—	160	27	65	58	12.8	45.5
R 304 UD	1.0	0.08	0.039	0.49	1.50	6.9	13.7	2.9	—	139	24	69	58	14.8	43.7
R 430 LT	1.0	0.0010	0.009	0.44	0.45	—	16.5	—	0.55	153	34	50	31	9.4	45.1
SUS 301	0.5	0.12	0.020	0.67	1.05	7.05	17.1	—	—	187	27	78	56	14.9	44.5
SUS 430	1.0	0.06	0.015	0.5	0.6	—	18.2	—	—	160	35	45	28	8.8	48.1

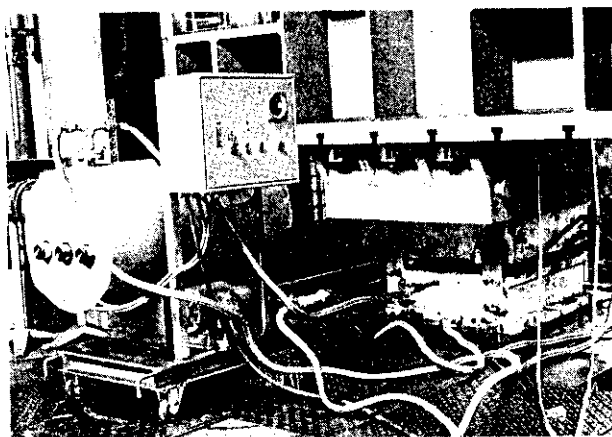
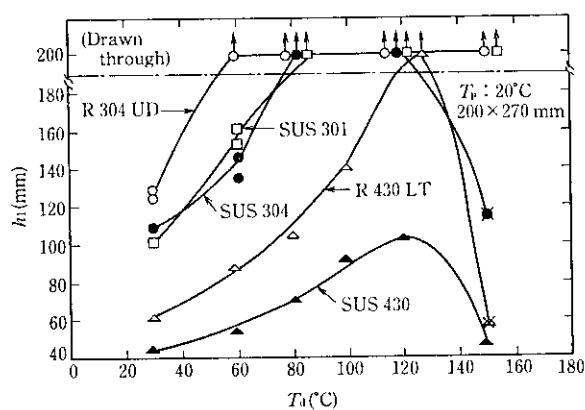


Photo 1 Appearance of hydraulic press and heating system

Fig. 3 Relation between die temperature (T_d) and limited drawing depth (h_1) when punch temperature (T_p) is kept constant at 20°C by cooling

フィルムのほかに新たに開発した水溶性耐熱潤滑剤³⁾をも用いて温間加工の効果および潤滑性能の検討を行った。

3 実験結果ならびに考察

3.1 絞り加工

3.1.1 成形性

Fig. 3 にポンチ温度 $T_p=20^\circ\text{C}$ 一定とし、ダイス温度 T_d を変化させたときの限界絞り深さ h_1 の変化を示す (潤滑剤は MoS_2)。室温絞りに比較して、ダイス温間絞りによる成形性の向上はオーステナイト鋼、フェライト鋼とも大きい、とくに前者で著しく、 $T_d \geq 60^\circ\text{C}$ で絞り抜け ($h_1 \geq 200\text{ mm}$) を生じている。ただし、オーステナイト安定度のもっとも高い SUS 304 は、 $T_p=160^\circ\text{C}$ とあまり高温にするとダイス肩部付近の材質が軟化しすぎのため、その部分で破断を生ずる。いずれにせよステンレス鋼の深絞り加工性は 100°C 前後にダイス温度を加熱し、ポンチ温度を低温に保持することによって著しく向上する。 T_d と T_p の相互の関係が成形性にどのように影響するかをオーステナイト系の R 304 UD について調べたのが Fig. 4 である。 T_d と T_p の組み合わせの適正領域が存在

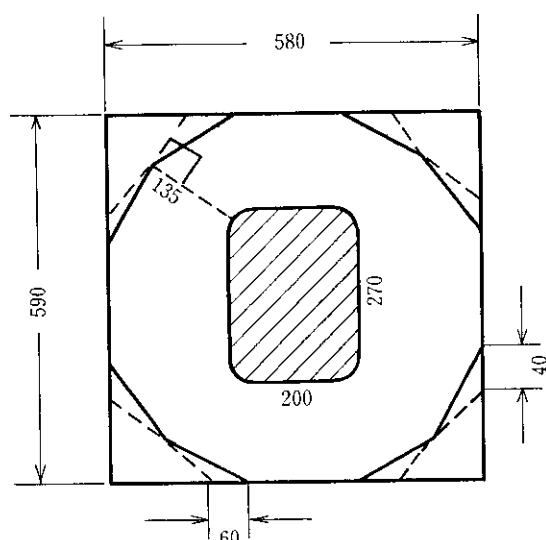


Fig. 2 Dimensions of blank

を用いた。板厚は 1.0 mm (SUS 301 は 0.5 mm) で成分組成と材質を Table 2 に示す。また、本実験に使用したブランクの形状寸法を Fig. 2 に示す。潤滑剤としては、市販の MoS_2 、プラスチック

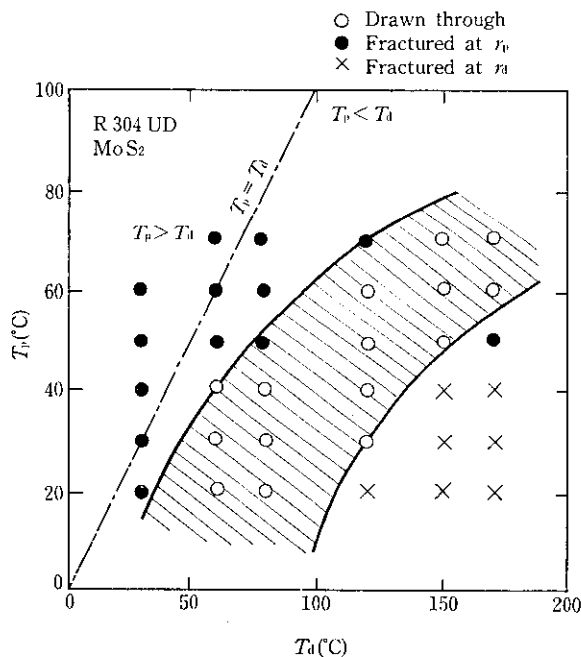


Fig. 4 Change in optimum drawing temperature on the basis of combination of die temperature (T_d) and punch temperature (T_p) in austenitic stainless steel

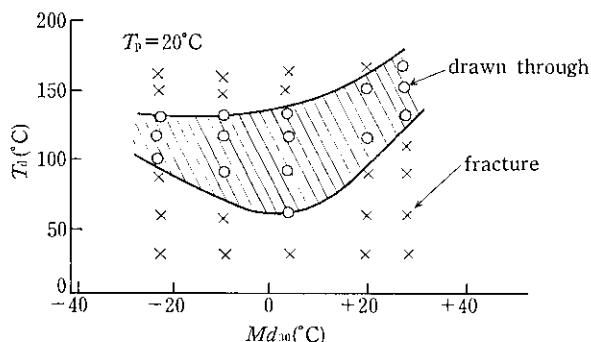


Fig. 5 Relation between austenite stability (Md_{30}) and drawing (die) temperature (T_d) in austenitic stainless steel (punch temperature T_p : 20°C)

し、それは T_d が高いほど T_p も高くなる傾向がある。 T_d に比べて T_p が相対的に高いとポンチ肩部の α 破断を生じやすく、また T_p に対して T_d があまりに高すぎると上述のごとくダイス肩部割れを生じ、ほとんど成形できなくなる。

オーステナイト系およびフェライト系材料の温間成形性を大きく左右する材料因子として、それぞれオーステナイト安定度 Md_{30} (材料に 0.3 の単軸引張歪を与えたときオーステナイト相の 50% がマルテンサイト相に変態する温度⁹⁾) および C 含有量が重要であることが Fig. 5 と 6 から知られる。上述のようにとくにオーステナイト系材料に対する温間絞りの効果が大きい、これはマルテンサイト変態の温度依存性と関連するため、最適温度域が材料のオーステナイト安定度に左右されることが予想された。このことが Fig. 5 に実験的に示されている。図示のごとく最適温度域は Md_{30} によって変化し、それは

$$Md_{30} = 551 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 29.0(Ni+Cu) - 18.5Mo - 68Nb - 1.4(G.S.N. - 8.0) \quad (1)$$

によって成分 (wt%) および結晶粒度 (G.S.N.) と関係づけられ

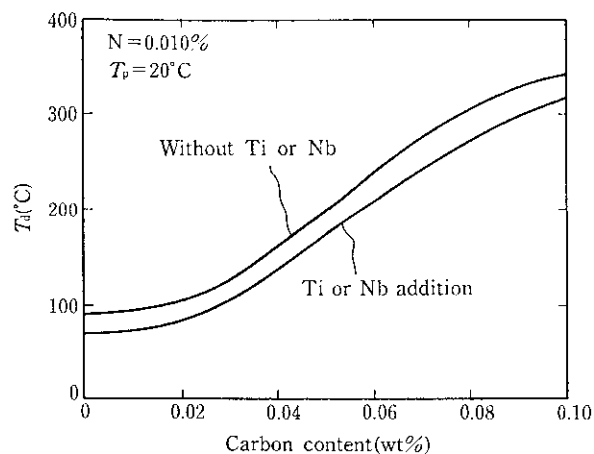


Fig. 6 Change in optimum drawing (die) temperature (T_d) with carbon content in ferritic stainless steel (punch temperature: 20°C)

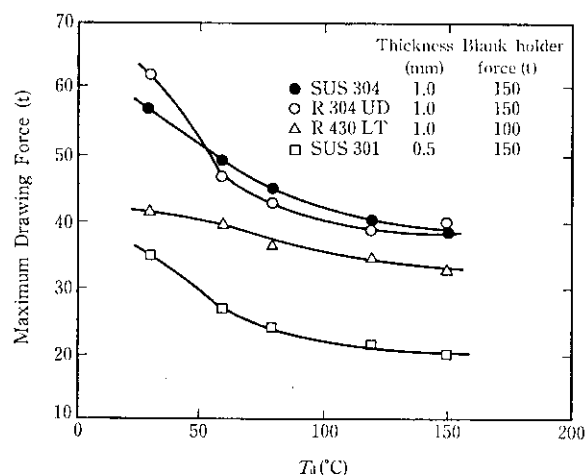


Fig. 7 Relation between die temperature (T_d) and maximum drawing force (punch temperature T_p : 20°C)

る⁷⁾。一方、フェライト系においては材料強度、ひいてはフランジ変形抵抗の温度依存性が主として C 含有量で支配されるために、Fig. 6 のごとく使用金型成形における所要深さ (200 mm) まで絞るための T_d の最低値 (T_p は 20°C 一定) が C 含有量によって大きく変化する。C 含有量が高いと T_d の最低値が非常に高温となり、設備装置上または潤滑剤の使用上問題が生ずる。 T_d が 200°C 以下であればこれらはそれほど問題にならず、作業環境の劣化も起こらない。

温間絞り加工、すなわち T_d を上げ、 T_p を下げる (通常絞りのように室温のままでも適正条件でありうるが、この場合でもブランク周辺部からの熱伝達による昇温を防ぐためにポンチを冷却する必要がある) によって成形性が向上するのは、Fig. 7 に示すように最大絞り力が T_d の上昇とともに低下することが寄与している。すなわち、Fig. 8 に模式的に示したように、 T_d を上げ ($T_{d1} < T_{d2}$)、 T_p を下げる ($T_{p1} > T_{p2}$) ことによって絞り力 P_d が下がり、($P_{d1} > P_{d2}$)、破断力 P_f が上がる ($P_{f1} < P_{f2}$) ので、 P_d と P_f 両直線の交点で与えられる限界絞り比 LDR が増加する ($LDR_1 < LDR_2$)。このことが成形性の向上をもたらすわけである。

3.1.2 形状性

長四角筒体の絞り加工においてフランジ残りの異方性 dl を次

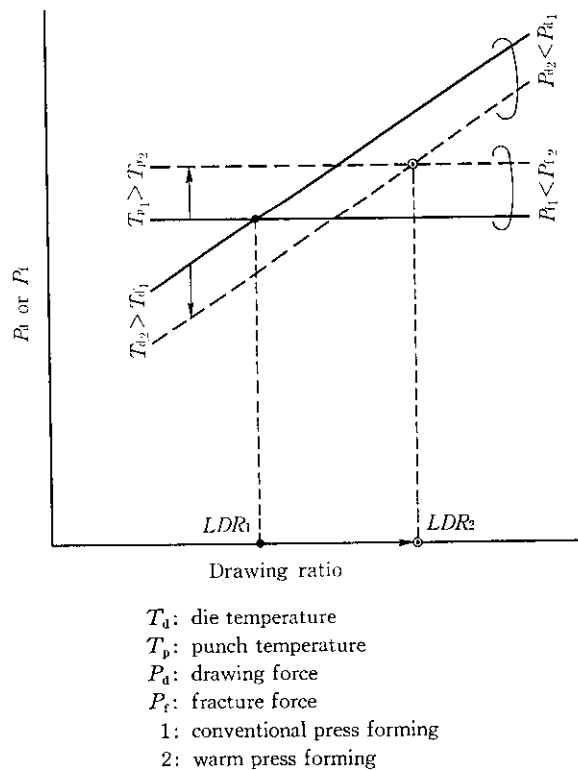


Fig. 8 Schematic comparison of limited drawing ratio in warm press forming (LDR_2) with that in conventional press forming (LDR_1)

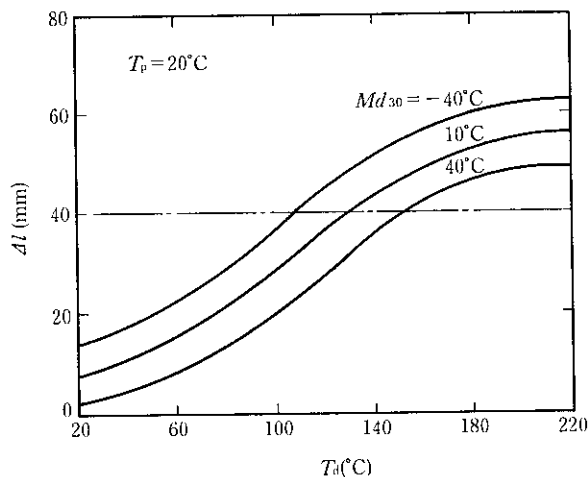


Fig. 9 Change in anisotropic parameter related to residual flange width (Δl) with die temperature (T_d) in austenitic stainless steel

のように定義する。

$$\Delta l = l_x - \frac{l_u + l_c}{2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに l_c , l_u , l_x はそれぞれ長辺部、短辺部およびコーナー部フランジ残量である。 Δl があまり大きくなるとリストライク加工やフランジ部の2次加工がやりにくくなるばかりでなく、 blanks の寸法を大きくしなければならなくなるので材料歩留が低下し、絞り加工性も阻害されることになる。本実験結果によれば温間絞りによって Δl が変化し、しかもその傾向がオーステナイト系とフェライト系のステンレス鋼において相反することが知見された。Fig. 9 はオーステナイト系の結果を $Md_{30} = -40, 10, 40^\circ\text{C}$ と異なる場

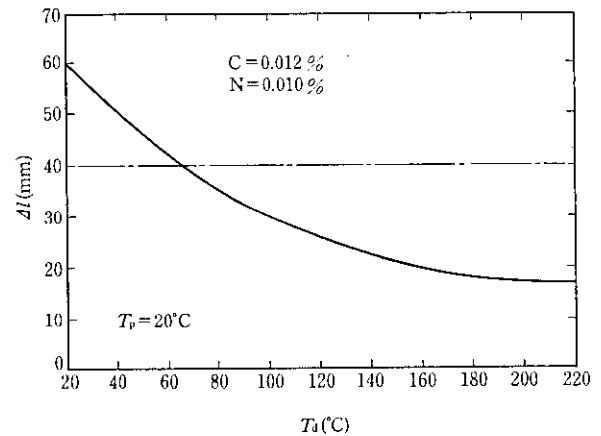


Fig. 10 Change in anisotropic parameter related to residual flange width (Δl) with die temperature (T_d) in ferritic stainless steel

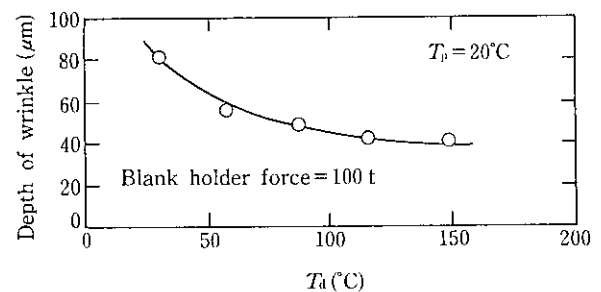


Fig. 11 Change in depth of wrinkle on flange of R 304 UD with die temperature (T_d)

合について示したものである。いずれの場合もダイス温度 T_d (ポンチ温度 T_p は 20°C 一定) の上昇につれて Δl は増加し、高温域もしくは低温域では飽和傾向がみられる。また Md_{30} が大きい、すなわちオーステナイト相がより不安定なものの方が Δl 小さい。 Δl をたとえば 40 mm 以下と規定すれば、 T_d の上限温度が Fig. 9 の実線と鎖線の交点で示される値に規制されることとなる。Fig. 10 はフェライト系の結果を示したもので ($T_p = 20^\circ\text{C}$)、 T_d の上昇につれて Δl は単調に減少している (C 含有量によって影響されない)。この傾向はオーステナイト系の結果と相反している。 Δl をたとえば 40 mm 以下と規定すれば、 T_d の下限温度が図の実線と鎖線の交点で示される値 (約 65°C) に規制される。異方性パラメータ Δl が以上のようにダイス温度依存性を有するのは、材料のマクロな塑性流動が変形温度に依存することに由来するものと考えられる。

フランジしわの程度が温間絞りに左右されるか否かを調べた結果の一例を Fig. 11 に示す。これは R 304 UD をしわ押え力 100 t、12 角形 blank (Fig. 2 参照) で絞ったときのフランジしわの程度を示したもので、しわの高さをうねり計によって測定した。ダイス温度 T_d の上昇につれてしわは軽微になるが、60°C 以上では大きな変化はみられない。他のオーステナイト系の材料やフェライト系の材料についても同様の結果が得られた。すなわち温間絞りはしわに対して有利である。

3.1.3 置割れおよびリジング

オーステナイト系ステンレスおよびフェライト系ステンレスの深絞り加工に際してしばしば発生する不良現象にそれぞれ置割れおよびリジングがあり、これらが限界絞り性向上の制約条件となることがある⁸⁾。

まず置割れについてであるが、常温加工で置割れを回避し、かつ

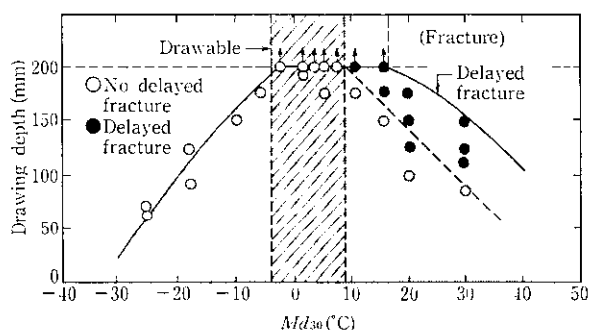


Fig. 12 Relation between drawing limit and austenite stability (Md_{30}) in drawing at room temperature

Table 3 Delayed fracture test result at various drawing (die) temperature

Steel	Md_{30}		RT (30°C)	60°C	80°C	120°C	150°C
R 304 UD	7°C	A	○	○	○	○	○
		B	×	○	○	○	○
SUS 301	22°C	A	×	○	○	○	○
		B	×	×	○	○	○

A: RT (30°C) × 10d in air

B: 80°C × 1 h in water

○: No delayed fracture

×: Delayed fracture

優れた絞り性を確保するには Fig. 12 に示すようにオーステナイト安定度 Md_{30} と成分組成を厳密に規制する必要がある。すなわち、この図は、Cu 添加オーステナイト系ステンレス鋼の Md_{30} を、前述の (1) 式⁹⁾ に従い、成分組成を変化させることによって種々変えたときの長四角筒による常温成形性を表わしている。斜線部に示される範囲に Md_{30} を調整した場合に、絞り抜けに相当する絞り深さ 200 mm の加工が、破断も置割れも生ずることなしに可能となる（このように調整された Cu 添加オーステナイト系ステンレス鋼が R 304 UD である⁹⁾）。 Md_{30} がこの範囲より低値の場合は絞り抜け前に破断する。他方 Md_{30} がこの範囲より高値の場合は絞り抜けても（絞り深さ 200 mm）置割れを生ずるか（ $Md_{30}=8\sim 13^\circ\text{C}$ ）、絞り抜け前に破断するか（ $Md_{30}>13^\circ\text{C}$ ）であり、後者の場合破断前に加工をストップしても図中右下りの点線より以上の絞り深さまで絞ると黒丸印で示したように置割れを生ずる。しかるに本実験のごとく温間絞りを行うことにより、絞り性の向上のみならず（Fig. 3 参照）、Table 3 に示すように耐置割れ性も向上することが示された。すなわち、R 304 UD はもちろん、 Md_{30} が 22°C と高く耐置割れ性が本質的に劣る SUS 301 においても、ダイス温度 80°C 以上の温間加工を実施すると（絞り抜けの状態）、水中で 80°C × 1 h 保持の促進置割れ試験においてすら置割れを生じなくなる。Photo 2 に促進試験を行った場合の R 304 UD の室温加工（絞り抜け相当の絞り深さ 200 mm で置割れ発生）および 80°C 加工（絞り抜け相当の絞り深さ 200 mm で置割れ発生なし）後の外観を示す。これらの結果は、温間絞りの適用によってより低グレードの材料を使用できる可能性があることを示唆しており、実用上大きなメリットとなりうる。

以上の実験事実は加工誘起マルテンサイト変態の温度依存性と密接に関連している⁹⁾。種々のオーステナイト安定度からなる材料を残つかのダイス温度で温間絞りしたときに置割れの発生しやすい成

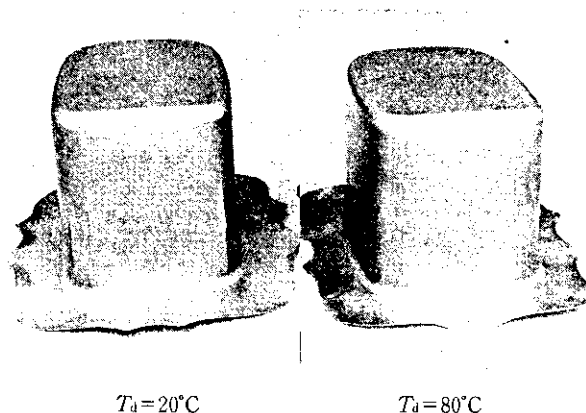


Photo 2 Appearance of drawn bodies of R 304 UD with or without delayed fracture after drawing at room temperature (20°C) or warm temperature (80°C) (T_d : drawing (die) temperature)

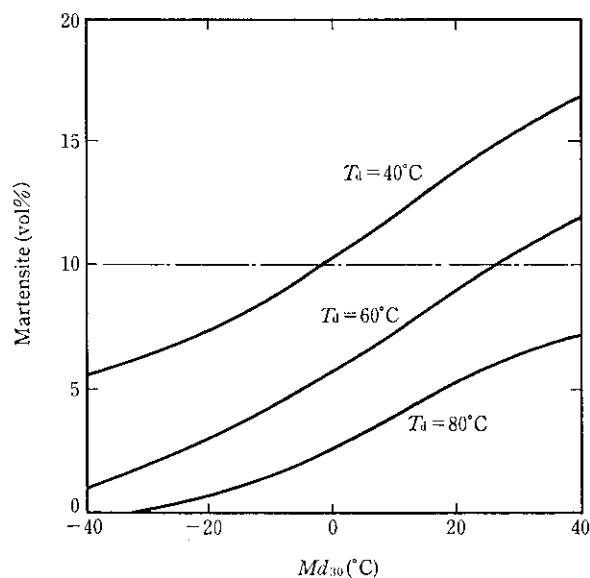


Fig. 13 Change in martensite volume ratio after drawing of austenitic stainless steel with austenite stability (Md_{30}) and die temperature (T_d)

形体コーナー部に発生するマルテンサイト相体積率を測定した結果を Fig. 13 に示す。 Md_{30} の小さいほど、また加工温度の高いほどマルテンサイト変態量は少ない。置割れを発生させないためにはマルテンサイト量をおよそ 10% 以下にする必要があるが、温間加工によって容易にこの条件を満足できる。

次にフェライト系ステンレス鋼の深絞り加工で問題となるリジングについてであるが、温間絞りによって基本的には影響は受けないものである。しかし、定性的には加工温度を高くすると成形深さが同じでもリジングの発生傾向が若干軽減される徴候が認められた。これは温間加工によって変形がより均一化され、ゆるやかな歪分布状態になるからであると考えられる。したがって、リジング対策としては根本的には材質そのものの改善が必要であるが、温間加工を施すことによって少なくともマイナス効果が生ずることはないとしてよい。

3.2 リストライク加工

通常極深絞り加工製品の製造に際しては、絞り加工後形状矯正の

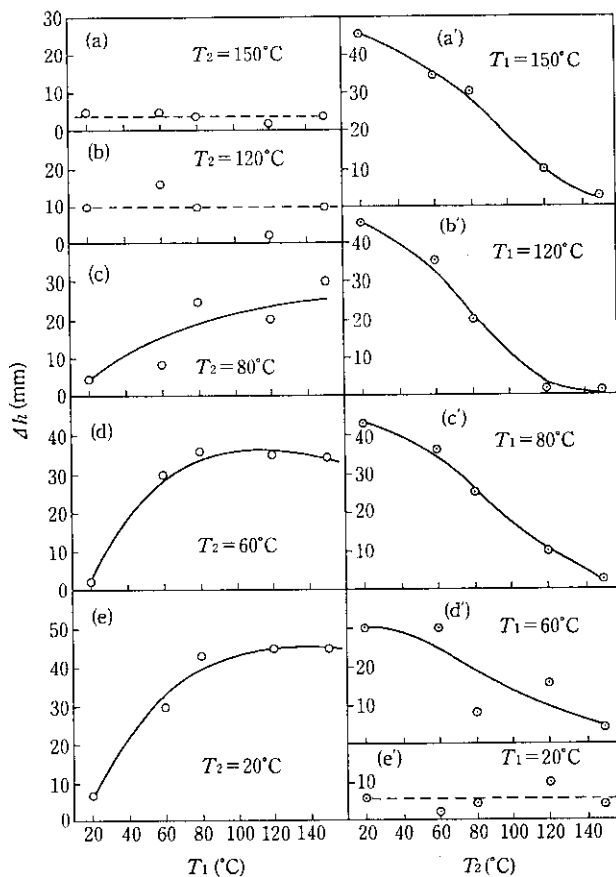


Fig. 14 Change in restriking depth Δh with primary drawing temperature T_1 and subsequent restriking temperature T_2 (primary drawing depth h_1 : 150 mm)

ためのリストライク加工が行われるので、この点につき温間絞りとの関連について検討を行った。

まず試料として R 304 UD を用いて絞り加工とそれに続くリストライク加工におけるダイス温度（それぞれ T_1 および T_2 とする。ポンチ温度はいずれの場合も室温）がリストライク量 Δh （1 伸の絞り加工深さ $h_1=150$ mm 一定）に与える影響を調べた結果を Fig. 14 に示す。 $T_2=20\sim 80^\circ\text{C}$ の範囲で T_1 を温間温度にすると Δh は著しく増大し、 $T_1\geq 80^\circ\text{C}$ で大体一定となる。また $T_1\geq 60^\circ\text{C}$ において T_2 の上昇につれて Δh は減少し、 $T_2=20^\circ\text{C}$ で極大となる。このようにリストライク性を良好ならしめるには T_1 を高く T_2 を低い温度で加工するのが望ましい。通常の加工（ T_1, T_2 ともに室温）における Δh は 8 mm 程度であるのに比べ、 $T_1=120^\circ\text{C}$ 、 $T_2=20^\circ\text{C}$ の条件では $\Delta h=43$ mm 程度と著大になる。ただし後出のごとく $T_2=20^\circ\text{C}$ では磁性の発現が著しいので、実際にはたとえば $T_1=80^\circ\text{C}$ 、 $T_2=60^\circ\text{C}$ なる条件が望ましい。この場合でも $\Delta h=32$ mm 程度で、通常加工の 4 倍程度のリストライク加工が可能である。

次に絞り深さ h_1 の Δh に及ぼす影響を $T_1=80^\circ\text{C}$ 、 $T_2=20^\circ\text{C}$ なる条件で各種供試材について調べた結果を Fig. 15 に示す。 h_1 の増加につれて全加工深さ $h_2(=h_1+\Delta h)$ は減少するが、 Δh の値そのものやその h_1 依存性は鋼種によって異なり、R 304 UD が各 h_1 値ごとの Δh が最も大きく、R 430 LT のそれが最も小さい。SUS 301 の Δh が h_1 にほとんど依存しないのは、理由は明確でないが実際プロセスで有利であるといえる。

さらにリストライク加工後の成形体の性状についての実験結果を

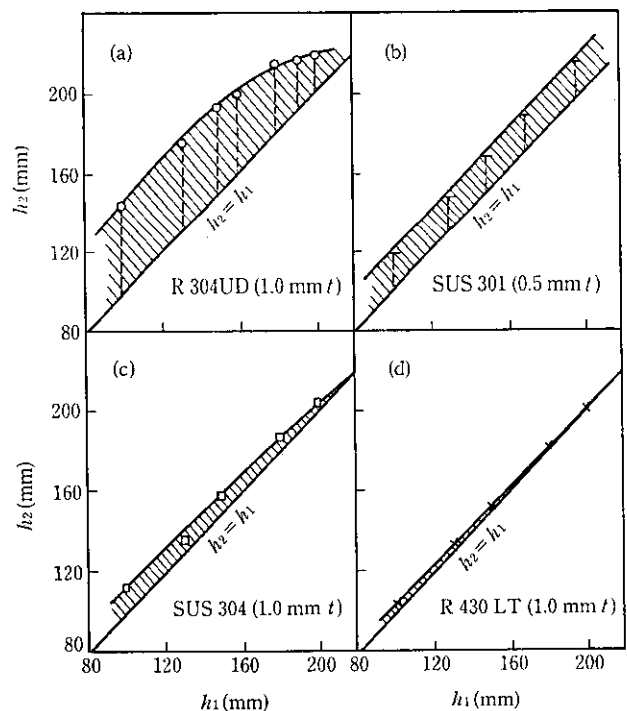


Fig. 15 Change in total press forming depth after restriking (h_2) with drawing depth (h_1) when warm press forming is applied (drawing temperature $T_1=80^\circ\text{C}$, restriking temperature $T_2=20^\circ\text{C}$)

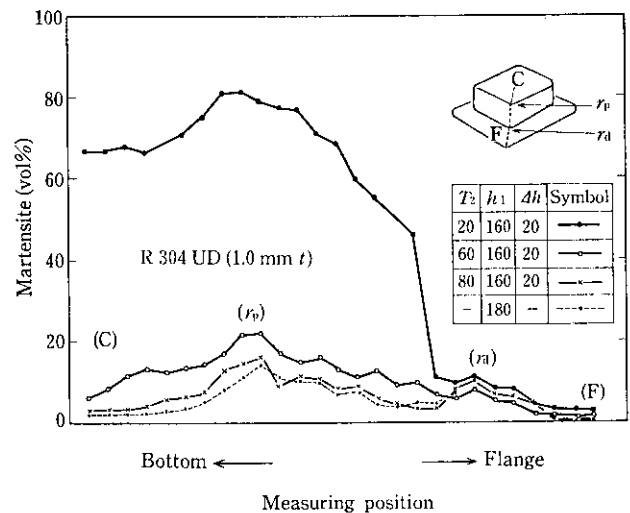


Fig. 16 Amount of martensite transformed at different positions of bodies during primary drawing (Temperature $T_1=80^\circ\text{C}$, depth $h_1=160$ mm) and subsequent restriking (Temperature T_2 =parameter, depth $\Delta h=20$ mm)

示す。1 番目として Fig. 16 に 2 伸リストライク加工後の成形品各部位に発生したマルテンサイト量の分布を示す。材料は R 304 UD、 $T_1=80^\circ\text{C}$ 、 $h_1=160$ mm、 $\Delta h=20$ mm で 2 伸温度 T_2 を 20, 60, 80°C と変化させた。これからわかるように $T_2=20^\circ\text{C}$ では前述のようにリストライク性はよいがポンチ肩部中心にマルテンサイトが多発して磁性が発現する。この場合でもダイス肩部近傍でのマルテンサイト発生は少ないことと、リストライク加工の場合は伸びフランジ変形が主で、1 伸絞り加工のように縮みフランジ変形要素は存在しないことの 2 つの理由から、置割れ発生の危険はない。しかし

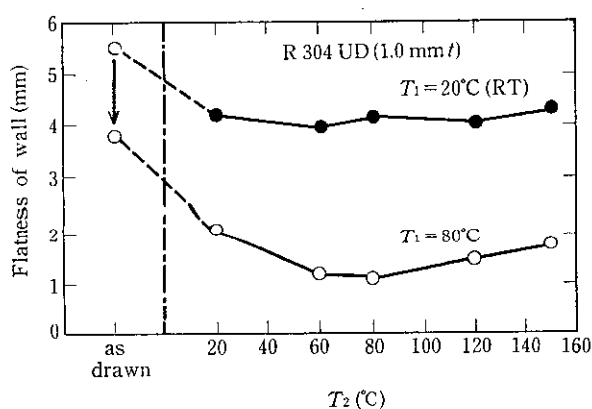


Fig. 17 Influence of drawing temperature T_1 and restriking temperatures T_2 on flatness of wall body (drawing depth 150 mm)

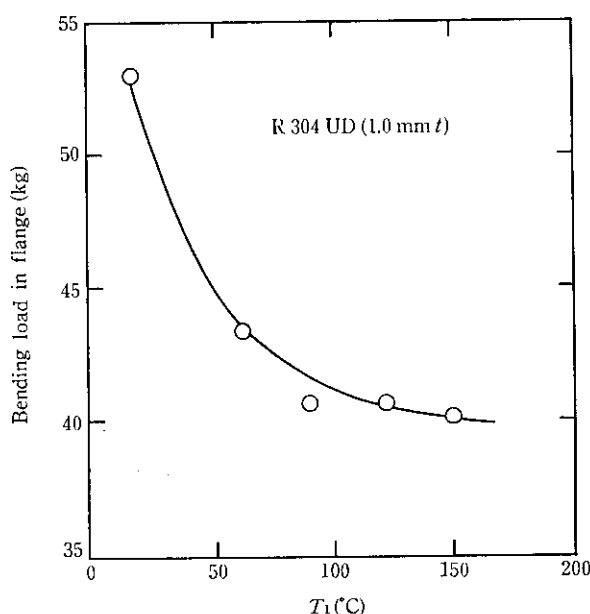


Fig. 18 Change in bending load in flange after restriking at 20°C with primary drawing temperature T_1 (drawing depth=150 mm, depth after restriking=180 mm)

ながら、シンクなどの加工では磁性を嫌うことが多いから、なるべくマルテンサイトを発生させない工程が望まれる。前述したリストライク性 (Fig. 14) や後出の側壁のそりをも考慮すると $T_1=80^\circ\text{C}$ 、 $T_2=60^\circ\text{C}$ (R 304 UD の場合) が望ましい。

リストライク後の成形体の性状の第2の事項として、側壁のそりをダイヤルゲージで調べた結果を Fig. 17 に示す。1伸絞り温度 $T_1=20^\circ\text{C}$ (室温) の場合は as-drawn で 5mm 以上のそりを示し、リストライク加工によってあまりそりは減少せず、2伸リストライク温度 T_2 による変化も小さい。これに対し $T_1=80^\circ\text{C}$ の場合は、as-drawn で $T_1=20^\circ\text{C}$ に比べてそりの低下がみられる。そしてリストライクで大幅にそりが低下し、 $T_2=60^\circ\text{C}$ 付近で極小を示す。この事実も R 304 UD の場合の場適加工条件として前述のごとく $T_1=80^\circ\text{C}$ 、 $T_2=60^\circ\text{C}$ を選択した理由の一つである。

さらにリストライク後の成形体の第3の性状として、リストライク加工を $T_2=20^\circ\text{C}$ で行ったのちのフランジ部の曲げ荷重の変化を1伸絞り温度 T_1 ごとに計測した結果を Fig. 18 に示す。この結

Table 4 Examples of compositions of new water-soluble lubricant with heat resistance

Element	Type	(wt %)		
		A	B	C
Boric trimethyl		10	10	10
Machine oil		—	5	—
Polyethylene glycol		—	—	5
Methanol/1,1,1 trichloroethane		90	85	85

果によれば、温間絞りによってリストライク後フランジ曲げ荷重は大きく低下し、室温加工に比べて最大 25% 程度の荷重減少がもたらされる。これは温間変形によって素材のフランジ部の加工硬化が減殺されるためである。したがって、温間加工は2次加工性をも改善することとなる。なお、リストライク温度 T_2 による曲げ荷重の変化は小さかった。

3.3 耐熱性潤滑剤

温間絞りおよび温間リストライク法を実用化する大きなポイントの一つは、耐熱性に富み、作業性と除去性が良好で、かつ安価な潤滑性能に優れた潤滑剤の開発にある。既存の耐熱性潤滑剤としては、本研究でも使用した MoS_2 、あるいは WS_2 や耐熱性プラスチックフィルムがあるが、いずれも塗布性、作業性、除去性が悪く、連続的なプレス加工には向かない。

そこで、この点について種々検討した結果、新しい耐熱・水溶性潤滑剤を開発した¹⁰⁾。既述のオーステナイト系ステンレス鋼およびフェライト系ステンレス鋼の温間加工諸条件とこの新潤滑剤とを組み合わせることにより極深絞り加工と十分なリストライク加工が可能となった^{11,12)}。

この新開発の潤滑剤は、有機ホウ素化合物を主成分とし、これに潤滑油、界面活性剤などを添加した水溶性のものである。これをブランクに塗布すると、空気中およびブランク表面に付着している水分によって加水分解を生じ、そのためにブランク表面にホウ酸を析出する。これによってすぐれた耐熱性と潤滑性が賦与される。潤滑剤の組成例を Table 4 に示す。前述のように塗布性がよくハケ塗り、スプレー法、浸漬法、ロールコート法などの塗布方法で被膜ができ、また加工後の洗浄除去性もよく、水洗、湯洗、有機溶剤洗のいずれでも容易に除去しうる。さらに表からわかるようにリン酸塩やシュウ酸を用いていないので廃水処理の問題もなく公害の恐れもないことも特徴としてあげられる。

R 304 UD と SUS 301 の両鋼種について温間絞りおよび室温絞りでの開発潤滑剤 (414K と呼称) の潤滑性能を、従来剤およびポンチ面とダイス面の潤滑剤の塗布組み合わせとの比較において測定した結果を Table 5 に示す。これまで示した本実験結果からもわかるように、 MoS_2 は耐熱性があり温間効果も生ずるが、作業性と除去性がきわめて悪く高価である。従来より代表的な水溶性潤滑剤としてステンレス鋼の室温絞りに使用されている J 剤の場合、室温と温間 (80°C) の限界絞り深さが両鋼種についてほとんど同じであり、温間絞りの効果がまったく現れない。これは絞り温度の上昇によって潤滑剤が流動状態になり粘度が大幅に低下するからである。これにくらべ 414K 剤の潤滑剤の潤滑性能はとくに温間において絞り抜けを生じ、J 剤よりもはるかにすぐれ、 MoS_2 と同等とみなされる。室温絞りにおいても従来の J 剤の絞り深さに勝った結果が得られた。これは本剤が従来の水溶性潤滑剤 (従って作業性、除去性

Table 5 Lubricating performance of newly developed heat resisting lubricant in warm drawing

(mm)

Punch side		J**)	PF***)	MoS ₂	PF***)	414 K*)			PF***)		
						A	B	C			
Die side		J**)	J**)	MoS ₂	MoS ₂	414 K*)			414 K*)		
						A	B	C	A	B	C
RT	R 304 UD	125	171	130	170	135	140	148	Drawn	Drawn	Drawn
	SUS 301	95	135	105	132	115	121	130	125	135	151
80°C	R 304 UD	122	170	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn
	SUS 301	90	130	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn	Drawn

* 414 K: Newly developed lubricant¹⁰⁾ (easy working, good removability)

** J: Conventional water-soluble lubricant

*** PF: Heat resisting plastic film

Drawn: Drawn through

がよい)と異なる潤滑機構, すなわち有機ホウ素化合物の加水分解反応によってブランク表面に固体ホウ酸の微結晶群よりなる緻密な被膜が形成されるためである。さらにポンチ面に耐熱性プラスチックフィルムを併用することにより MoS₂, J 剤, 414K 剤のいずれにおいても絞り性は向上する。とくに 414K 剤との組み合わせにおいては R 304 UD の室温絞りの場合, この比較実験条件において絞り抜けを生じた。ただし耐熱性プラスチックフィルムの使用に際しては加工後の除去が複雑で能率が悪い点に難がある。

以上のように, 新開発の耐熱性潤滑剤の使用と温間加工法を結びつけることによって, ステンレス鋼の極深絞り成形と十分なリストライク成形とが実際プレス加工の場で可能となった¹¹⁻¹³⁾。

4 結 論

ステンレス鋼のプレス成形に際し, ダイスおよびブランクホルダー部を加熱し, ポンチ部を冷却する温間加工法について検討した結果をまとめると次のようになる。

- (1) 長四角筒成形に温間加工法を適用した結果, オーステナイト系, フェライト系ともに大幅な絞り性の向上が認められた。適正加工温度は前者の場合オーステナイト安定度の, また後者の

場合 C 含有量の影響を受ける。かかる効果は, ダイス肩材料流入部の成形力の低下とポンチ肩部の破断力の増加によってもたらされる。

- (2) 温間絞り温度の上昇によりフランジ残りの異方性は, オーステナイト系の場合増加し, フェライト系の場合減少する。しむ傾向は両系とも減少する。また温間絞りによってオーステナイト系では置割れが, フェライト系ではリジリングが軽減される。
- (3) 1 伸の絞り加工を温間で行うことにより, 2 伸のリストライク加工性が改善される。1 伸と 2 伸の適正加工温度は, 熱原単位や磁性の発現を考慮すると, R 304 UD の場合それぞれ約 80°C および約 60°C となる。
- (4) 温間加工に適した水溶性の耐熱性潤滑剤を開発した。これは加水分解反応によってブランク表面にホウ酸の微結晶群からなる緻密な潤滑被膜を形成することによって潤滑性能を具備したもので, 作業性と除去性にすぐれる。この潤滑剤と温間加工法の結合によって, 低グレードのステンレス鋼でも極深絞りおよび十分な 2 次加工が可能となる。

おわりに耐熱性潤滑剤の開発を共同で行った石原薬品(株)の山島一延氏および有山彰三氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 橋本 明: 「プレス絞り加工」, (1970), 173, [日刊工業新聞社]
- 2) 日本冶金(株): 特開昭 50-137861
- 3) 野原清彦, 小野 寛, 大橋延夫: 塑性と加工, 18 (1977) 202, 938
- 4) 野原清彦, 渡辺健次, 宮脇哲雄, 小野 寛, 大橋延夫: 川崎製鉄技報, 9 (1977) 3・4, 132
- 5) 大橋延夫, 小野 寛, 増尾 誠, 竹田元彦, 西山 昇: 川崎製鉄技報, 9 (1977) 1・2, 83
- 6) T. Angel: JISI, 177 (1954) 10, 165
- 7) 野原清彦, 小野 寛, 大橋延夫: 鉄と鋼, 63 (1977) 5, 772
- 8) 野原清彦, 渡辺健次, 小野 寛, 大橋延夫: 鉄と鋼, 68 (1982) 6, 649
- 9) 野原清彦, 小野 寛, 大橋延夫: 塑性と加工, 18 (1977) 202, 938
- 10) 石原薬品(株), 川崎製鉄(株): 特公昭 57-57118
- 11) 川崎製鉄(株): 特公昭 59-21687
- 12) 川崎製鉄(株): 特公昭 59-27261
- 13) 鈴木誠一, 渡部豊臣, 上野 博, 後藤隆夫: プレス加工製品の信頼性に関する研究報告 [新潟県工業技術センター], (1983)