研究論文

省 Ni 型オーステナイト系ステンレス鋼のプレス成形性
（誘導加熱用鍋釜の軽量化に関する要素技術開発研究）

山崎　栄一*　杉井　伸吾*　白川　正登*　田村　信*

Press Forming of Cr-Mn-Ni Austenitic Stainless Steels

YAMAZAKI Eiichi*, SUGII Shingo*, SHIRAKAWA Masato*and TAMURA Makoto*

抄　録

オーステナイト系ステンレス鋼の代表鋼種である SUS304 と同等の加工性と耐食性を目指した材料として注目されている省 Ni 型オーステナイト系ステンレス鋼（Cr-Mn-Ni オーステナイト系ステンレス鋼）の機械的性質の温度依存性および，常温と温間におけるプレス成形性を調べ，SUS304 とほぼ同等の絞り成形性であり，温間加工によってさらに成形性が向上することを示した。また，温間での再絞り加工を行い，再絞り率 55%の成形が可能であること，また，成形品のパンチ肩部で板厚が最も薄くなるものの，加工誘起マルテンサイト変態の発現はわずかであることを示した。

1.　緒　　言

近年のニッケル価格変動を受け，SUS304 と同等の加工性と耐食性を有し，Ni 含有量が少ないことから価格変動リスクが少ない鋼種として注目を集めている省 Ni 型オーステナイト系ステンレス鋼について，機械的性質の温度依存性を調べるとともに常温および温間での絞り成形性と張り出し性の評価を行った。また，絞り加工 1 工程では成形が困難な，アスペクト比の高い製品を得る場合に，絞り加工を繰り返して行う再絞り加工を温間で行い，第 1 絞り成形後と再絞り成形後の品質について，板厚，硬さ，加工誘起マルテンサイト変態量の分布を調べたので報告する。

2.　供試材

供試材は省 Ni 型オーステナイト系ステンレス鋼 3 種（公称板厚 0.8mm）を用い，加工性については SUS304 と比較を行った。供試材の呼びをその代表成分から定め，それぞれの化学成分とともに表 1 に示す。また，組織観察写真を図 1 に示す。

*　研究開発センター

3.　試験方法

3.1　機械的性質

供試材の機械的性質を調べるため，圧延方向に対して 0°，90°の方向に JIS Z 2201 による 13B 号試験片を採取し，精密万能試験機（（株）島津製作所製　AG-250KNI）により引張り試験を実施した。試験条件は初期クロスヘッド速度を 5mm/min とし，ひずみ 5%以降は 10mm/min とした。また，試験温度は常温，100℃および 150℃とした。

3.2　絞り成形性

絞り成形性は，円筒絞り成形により評価を行った。試験装置は（株）アミノ製塑性加工万能試験機（インナー1274kN，アウター686kN）を使用し，絞り比（DR：Drawing Ratio）を 0.1 刻みに変えて限界絞り比（LDR：Limiting Drawing Ratio）を求めた。また，試験は常温～150℃の間でダイス温度を変えて温間加工の効果を確認した。

表 1　供試材の化学成分　　(wt%)

呼　び	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Ti	Nb	N
2.5Ni-6Mn	0.10	0.60	6.48	0.042	0.006	2.44	17.18	-	2.48	-	-	-
4.5Ni-4Mn	0.06	0.60	3.78	0.028	0.004	4.58	17.01	-	2.64	-	-	-
3.5Ni-6Mn	0.06	0.60	5.73	0.029	0.003	3.60	17.49	-	2.17	-	-	-
SUS304	0.06	0.41	0.98	0.030	0.006	8.02	18.23	-	-	-	-	-

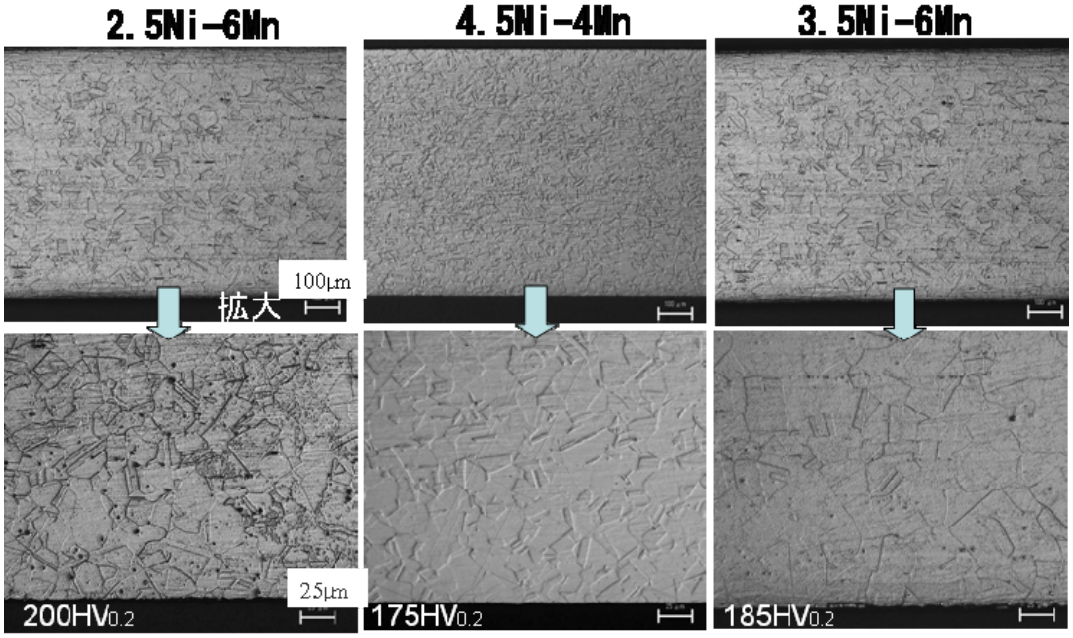


図 1　供試材の組織写真

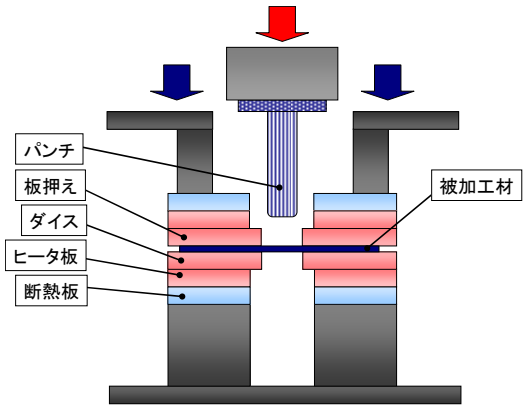


図 2　温間絞り金型の概要

表 2　円筒絞り試験条件

ダイス材質	SKD11硬質Crめっき
パンチ径	40mm
パンチ肩半径	3.8mm
ダイス径	42.1mm
ダイス肩半径	3mm
ダイス温度／パンチ温度	27/27，100/5，150/5℃
しわ抑え力	50kN
パンチスピード	3mm/sec
潤滑剤	PTFEシート　0.05mm

図 2 に金型概要を，表 2 に試験条件を示す。

3.3　再絞り試験

再絞り加工には，前工程の絞り加工におけるパンチよりも小径のパンチを，前工程の挿入方向と同一方向に挿入する直接再絞りと，前工程の絞り加工におけるパンチの挿入方向と逆方向に挿入する逆再絞りがある。[1)]　本試験では，直接再絞りにおける，再絞り率（＝再絞りパンチ径／第 1 絞りパンチ径×100%）55%の試験を行った。なお，第 1 絞りの成形にはサーボプレス装置（アイダエンジニアリング（株）製 NS1-2000（D），加圧能

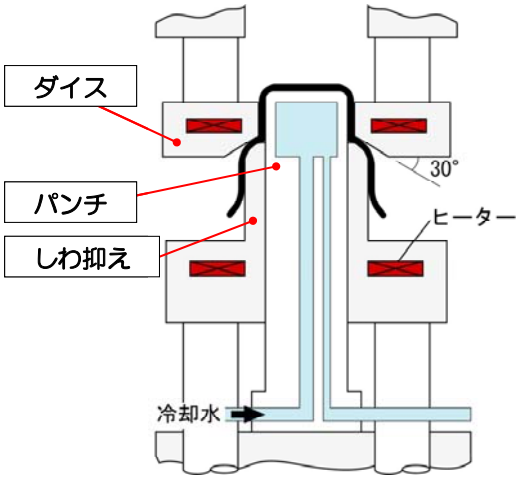


図 3　再絞り金型構造

表 3　再絞り試験条件

第1絞り	絞り比	2.6
	金型材質	SKD11　硬質Crめっき
	パンチ径	60mm
	パンチ肩半径	6mm
	ダイス径	61.8mm
	ダイス肩半径	5mm
	ダイス温度／パンチ温度	120／0　℃
	しわ抑え力	110kN
	パンチスピード	3.5mm/sec
	潤滑剤	PTFEシート0.05mm
再絞り	再絞り率	55%
	パンチ肩半径	3mm
	ダイス肩半径	4mm
	ダイス温度／パンチ温度	150／5　℃
	しわ抑え力	10kN
	パンチスピード	3.5mm/sec
	潤滑剤	乾燥皮膜型

力 2000kN）を，再絞りには複動油圧プレス装置（（株）不二越製，加圧能力 294kN，ダイクッション能力 245kN）を使用した。

再絞り金型の構造を図 3 に，試験条件を表 3 に示す。

3.4　張り出し成形性

張り出し成形性の評価は JIS Z 2247 エリクセン試験方法に準じて行い，パンチ側のみ潤滑剤として PTFE シート（厚さ 0.05mm）を用い，試験温度を常温，100℃，150℃にして試験を行った。試験装置は絞り成形性の試験で用いた（株）アミノ製塑性加工万能試験機である。

4.　試験結果

4.1　機械的性質

試験した各供試材の圧延方向（0°方向）の機械的性質の測定結果を図 4 (a)～(c) に示す。

常温において 4.5Ni-4Mn, 3.5Ni-6Mn の 2 鋼種は引張強さで 720MPa，0.2%耐力は 350MPa 程度でほぼ同等の値を示し，2.5Ni-6Mn はそれらに比べ 50MPa 程度高い値を示した。また，試験温度上昇に伴い，いずれも値が低くなり各鋼種とも 150℃においては引張強さで 2 割程度，0.2%耐力で 3 割程度低下する。

破断伸びは，各鋼種ともに常温で 55%以上示すものが温度上昇に伴って低下し，150℃では 40～45%となった。

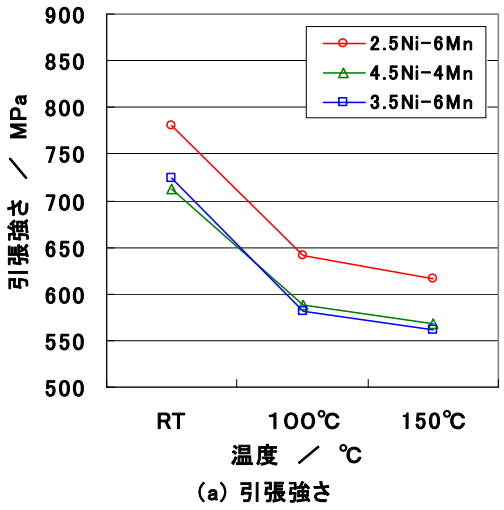
板材の圧延方向に関する異方性について 4.5Ni-4Mn の圧延方向とその 90°方向の測定結果を図 4 (d) に示すが，0.2%耐力では圧延方向の影響がほとんど見られないのに対し，引張強さでは圧延方向が強く，破断伸びでは圧延方向に対し 90°方向が大きな値となる傾向が各試験温度において見られた。また，同様の傾向を他の 2 鋼種も示した。

4.2　絞り成形性

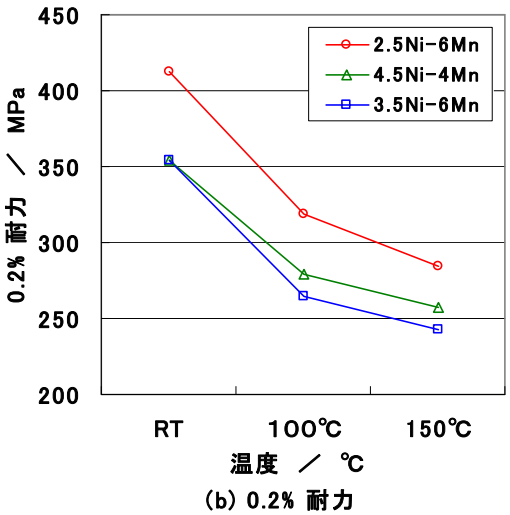
円筒絞りにおける限界絞り比の試験結果を図 5 に示す。

常温における省 Ni 型オーステナイト系ステンレス鋼の LDR は 2.1 を示し，SUS304 のそれを若干上回った。また，各鋼種ともに温度上昇に伴い LDR が向上することから，温間加工により成形限界向上の効果があることがわかる。

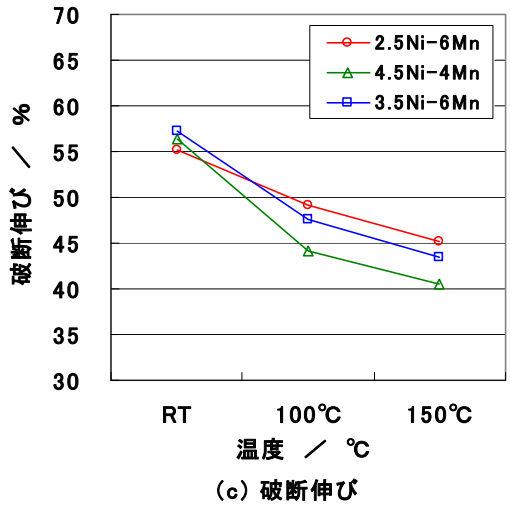
各温度において省 Ni 型オーステナイト系ステンレス鋼は SUS304 とほぼ同等の絞り成形性を持つ。



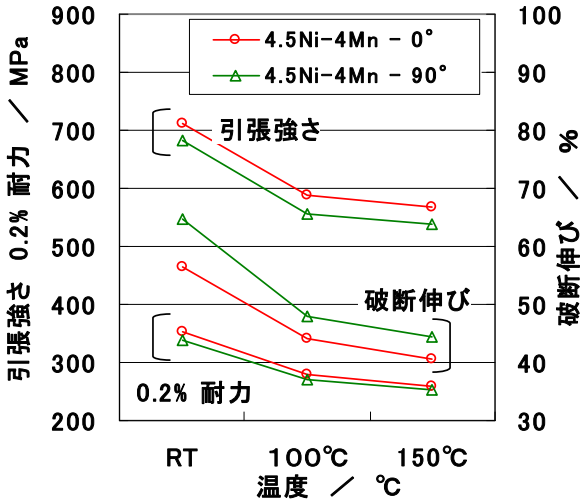
(a) 引張強さ



(b) 0.2% 耐力



(c) 破断伸び



(d) 異方性

図 4　機械的性質の温度依存性

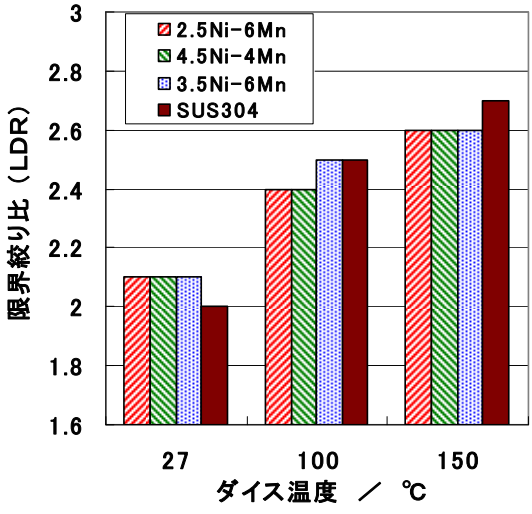


図 5　限界絞り比

左：第 1 絞り　　右：再絞り

図 6　再絞り成形品

4.3　再絞り試験

第 1 絞りおよび再絞り成形品の写真を図 6 に示す。第 1 絞り後の軸方向板厚分布を図 7 に，再絞り後の軸方向板厚分布を図 8 に示す。第 1 絞り後の板厚は，素材板厚 800μm に対して底部は 650～700μm。パンチ肩部が最も薄く 600～650μm。側壁部はその値から徐々に厚さが増し，ダイス肩近傍では 800μm を超える値となっている。鋼種別に見ると，全域で 2.5Ni-6Mn が他の鋼種に比べ 50μm 前後厚くなっている。再絞り後には，底部の板厚は第 1 絞り後と変わらず，パンチ肩部は第 1 絞りよりも 50μm 前後薄くなっている。側壁部はパンチ肩部からフランジ方向に向かっておよそ 30mm の領域で 100μm 程度厚さが増し，その後ダイス肩部近傍まで厚さ変化がほとんど見られない。鋼種別では 2.5Ni-6Mn が他の鋼種に比べて厚い傾向は第 1 絞り後と同様である。

第 1 絞り後および再絞り後の軸方向硬さ分布お

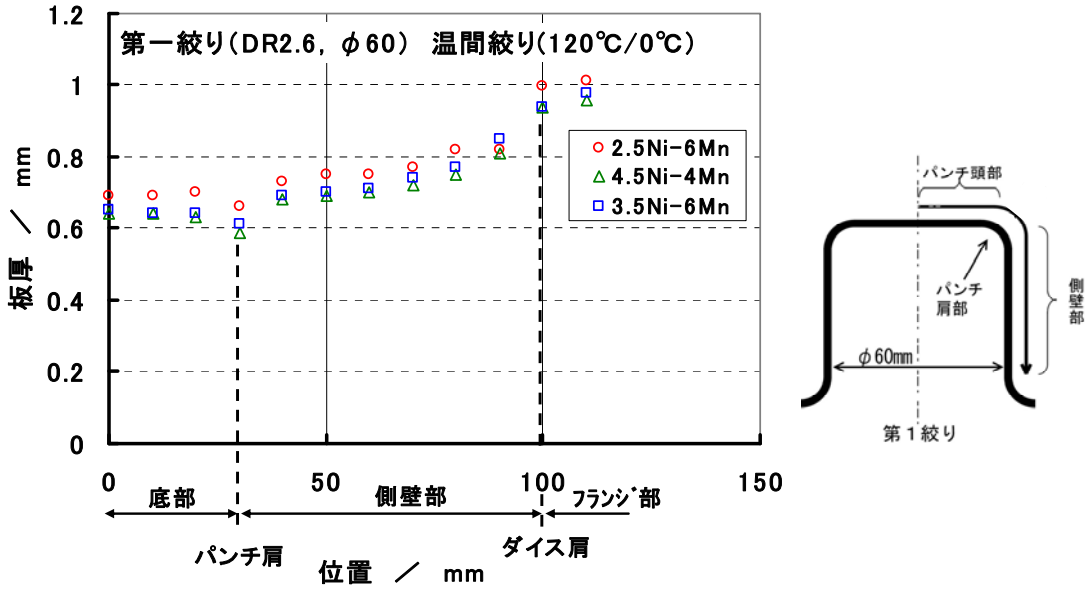


図 7　第 1 絞り後の板厚分布

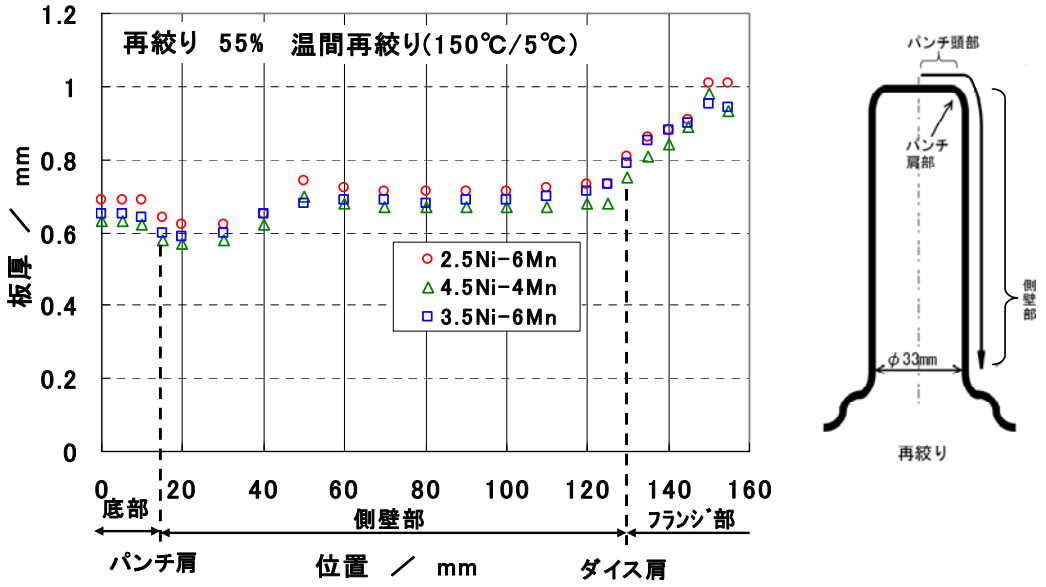


図 8　再絞り後の板厚分布

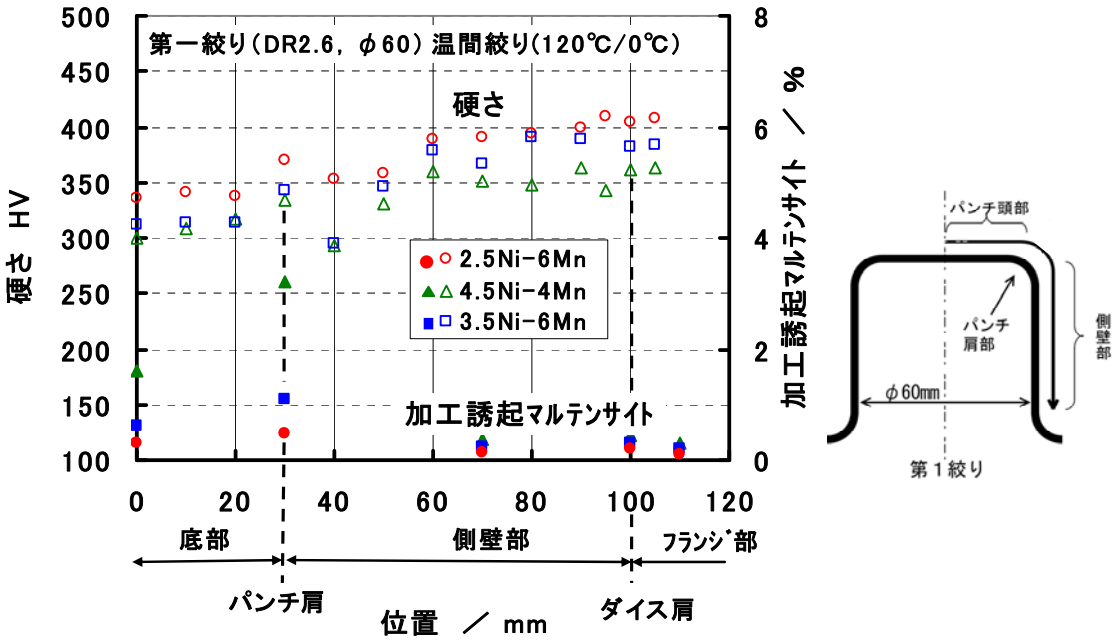


図 9　第 1 絞り後の硬さとマルテンサイト変態量

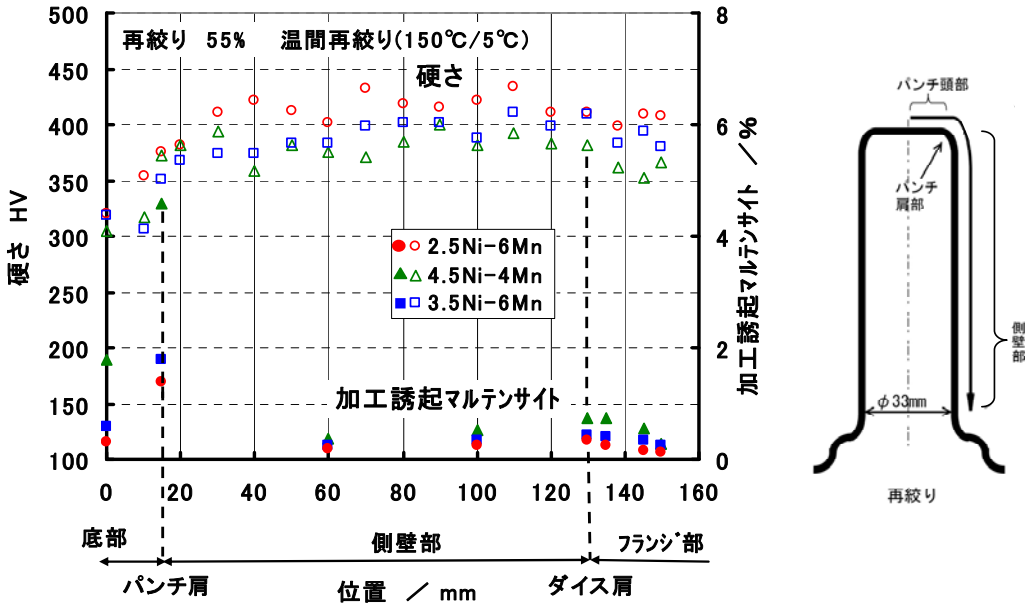


図 10　再絞り後の硬さとマルテンサイト変態量

よび加工誘起マルテンサイト変態量をそれぞれ図 9，10 に示す。第 1 絞り加工後における硬さを見ると，底部は HV300～350，側壁部はフランジ部に向かって徐々に上昇し，2.5Ni-6Mn では最大で HV410 超，4.5Ni-4Mn では HV360 程度となり，3.5Ni-6Mn はその中間的な値を示した。加工誘起マルテンサイト変態量を見ると，最も大きな変態量となるのがパンチ肩部であり，鋼種別では 4.5Ni-4Mn が最大約 3%である。温間で変形が進んだ側壁部，フランジ部は全ての鋼種で 0.5%以下であった。

再絞り後では，側壁部のほぼ全域で硬さの値が大きく，2.5Ni-6Mn では HV400～430 に達し，4.5Ni-4Mn では 360～400 程度，3.5Ni-6Mn はその

中間的な値を示し，再絞りによって第 1 絞りよりも硬さの値は大きくなっている。

加工誘起マルテンサイト変態量は，再絞りのパンチ肩部が最も値が大きくなり，4.5Ni-4Mn が最大 5%弱である。鋼種別では硬さの値が低かった 4.5Ni-4Mn の変態量が多くなったことから，加工による硬さ値の上昇と変態量を直接関連づけることはできない。

マルテンサイト変態量 10%以上が SUS304 の置き割れ危険領域と言われている [2] ことから本試験の値で置き割れへの進展の可能性は低いと考えられるが, 省 Ni 型オーステナイト系ステンレス鋼については今後検証が必要である。

その他の鋼種はパンチ肩部でも 2%以下で，側壁部は第 1 絞りに比べ大きな増加は見られず 0.5%以下となった。

4.4 張り出し成形性

張り出し成形性の指標となるエリクセン試験の結果を図 11 に示す。常温における省 Ni 型オーステナイト系ステンレス鋼のエリクセン値は SUS304 に比べ若干低く，張り出し成形性は劣ると言える。しかし，100℃以上の試験結果ではその差が縮まる傾向を示した。

試験温度の上昇に伴うエリクセン値の推移は低下傾向を示すことから，いずれの鋼種も温間加工による張り出し性の向上は期待できない。

5. 結　　言

SUS304 と同等の加工性，耐食性を有し，Ni 価格変動の影響を受けにくい鋼種として注目を集めている省 Ni 型オーステナイト系ステンレス鋼のプレス成形性について調べ，つぎの結果を得た。

(1) 絞り成形性は SUS304 とほぼ同等の成形性を持ち，温間加工により成形限界が向上する。

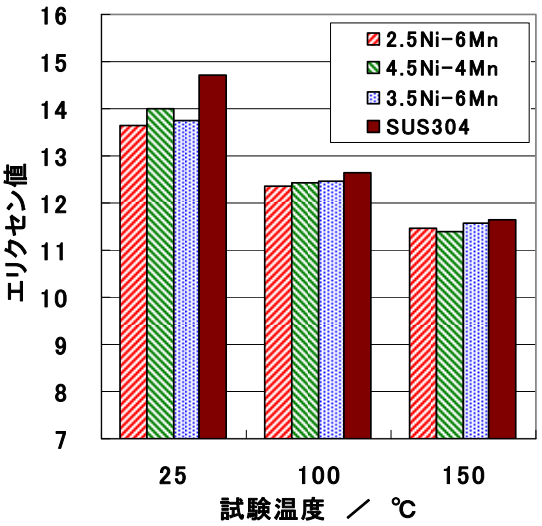


図 11　エリクセン試験結果

(2) 温間の再絞り加工後の硬さは側壁部が大きくなり，各鋼種ともに HV400 を超える点が見られた。また，鋼種別では 2.5Ni-6Mn が最も値が大きく，次いで 3.5Ni-6Mn，4.5Ni-4Mn の順となった。

(3) 加工誘起マルテンサイト変態量は再絞りのパンチ肩部で多くなり，本試験では 4.5Ni-4Mn の再絞りで最大 5%弱であった。また，マルテンサイト変態量と硬さの値には相関がない。

(4) 張り出し成形性は常温において SUS304 よりも若干劣るものの温間加工ではその差が縮まる。また，温間加工による張り出し性向上は期待できない。

参考文献

1) （社）日本塑性加工学会編，塑性加工便覧，2006，p479.

2) 鋸屋正喜，塑性加工学会ステンレス鋼板のプレス成形分科会資料，28，1983.