

深絞り用鋼板（リムド鋼）の調質圧延効果と その時効による変化について

（昭和 27 年 11 月本會講演大會にて講演）

大 竹 正*・西 原 敏 郎*・松 本 武 敏*

EFFECTS OF TEMPER ROLLING ON DEEP DRAWING PROPERTIES OF RIMMED TYPE STEEL SHEETS AND THEIR CHANGES BY AGING

Tadashi Otake, Toshiro Nishihara & Taketoshi Matsumoto

Synopsis:

For the sheet of deep drawing steel the required properties were found as follows;

- (1) Low yield point and normal tensile strength and yet good ductility.
- (2) Negligible strain aging to get fine surface after drawing.

From this point of view, the authors studied the proper temper rolling reduction ratios for the rimmed type steel sheet manufactured in the yawata steel Works. The authors performed investigations on the annealed coil sheet manufactured by the normal process. The tensile and Erichsen tests were made with various aging samples which were reduced down to various rolling ratios, and the stress-strain curves and the strain aging effects were obtained. The author made clear the proper reduction ratio for the temper rolling mill operation. According to the result of the experiment, the most proper ratio for the temper rolling was 0.8~1.2%. If the drawing quality of the sheet was aimed, this range of the ratio should be extended to 0.5%. On the other hand, to secure fine surface quality of the sheet, it should be extended to 1.5%.

I. 緒 言

深絞り用鋼板は、調質圧延によりその加工性を増し、後続加工でのストレッチャー・ストレーンの発生を出来るだけ防止する必要があるが、これに適当な調質圧延率は鋼質によるは勿論、使用する圧延機の構造、運轉速度、ロール徑等によつても影響を受ける。そこで當所で使用中の四重圧延機により通常の作業工程により作られたリムド型鋼質焼鈍コイルを用い調質圧延率のみを種々かえた試料を作り圧延率に依つて機械的性質、至時効がどのように影響を受けるかを調べ、これらの結果からこの種鋼板に最適の調質圧延率を求めた。

焼鈍は冷間圧延後ベル型爐で 650°C×4hrs 行い、脱爐後インターカバーをかぶせたまま空中放冷してある。試料の取鋼分析値は第1表の通りである。

第1表 試料の取鋼分析値 C%

C	Si	Mn	P	S
0.08	0.01	0.31	0.016	0.021

調質圧延はメスタ社製四重圧延機で行い、圧延率は圧延前の焼鈍板に、けがいた標點距離 500mm の圧延による増加率から求めた。實驗した圧延率は第2表の8通りで各種試験片の採取位置は第1圖の通りである。

第2表 試料符號と調質圧延率との關係

試料符號	A	B	C	D	E	F	G	H
調質圧延率(%)	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	3.0	4.2

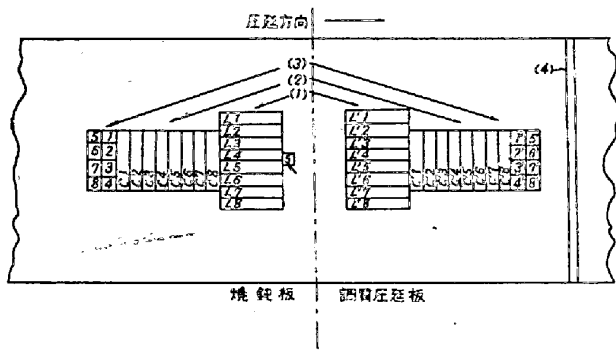
* 八幡製鐵所

II. 實 驗 結 果

A. 試料

1. 試料採取

試料は厚さ 2.7mm の熱間圧延コイルを約 1mm 厚に冷間圧延（冷間圧延率 63%）したものから作つた。



- (1) 引張試験片 L 方向 (40mm×300mm)
- (2) C 方向 (40mm×300mm)
- (3) エリクセン試験片 (70mm×70mm)
- (4) 再分析試料 (40mm×940mm)
- (5) 顕微鏡試料 (20mm×20mm)

第1圖 試料採取位置

試料はコイル長さで約 100m に亘る廣範圍から採取したため圧延率別試料に接して焼鈍板試料をも採取し、試料採取位置による品質のバラッキを確かめたが、次項に示す如くその相違は著しいものではない事がわかつた。

2. 試料の性質

i) 顕微鏡検査：第1圖に示したコイル幅の中央部から採取した試料の圧延方向に平行な切斷面について組織

その他を調べた。

(イ) 組織：セメントイトは殆んど完全に球狀化しフェライト中に分散しているが、圧延方向に伸びた紐狀セメントイトも僅かながら認められた。なお冷延組織は完全に消失し、焼鈍が充分行われたことを示していた

(ロ) 結晶粒度並に非金属介在物：學振法に準じてフェライト結晶粒度と非金属介在物を測定した結果を第3表に示した。粒度番號は 7~8 で表面附近が幾分大きい傾向はあるが概ね均一であり、非金属介在物はB類（酸化物）がA類（珪酸物、硫化物）に較べて多いが、試料採取位置による相違はいずれも少ない。

ii) 化學分析：試料符號別に現品分析を行つた結果は第4表のとおりで炭素量が取鋼分析値に較べて可成り低下している以外は特記することもなく概ね當所製の標準成分であり、試料採取位置による著しい不同は認められない。

B. 實驗結果

1. 調質圧延効果

調質圧延効果を求めるために抗張試験とエリヒセン試験を行つた。試験は時効現象を考慮して圧延終了後できるだけ早く實施するように努めたが、試験開始迄に4日

第3表 試料採取位置と結晶粒度並に非金属介在物との關係

* 試料符號	結 晶 粒 度 番 號	非 金 屬 介 在 物			
		A 類		B 類	
		番 號	平均厚み μ	番 號	平均厚み μ
A	7.5 板厚に對し均一	—	—	3	5
B	7.5~8 板厚に對し均一	—	—	5	3
C	一方の表面附近 7.他は全て 8.	2	9	2	3
D	同 上	1	7	3	3
E	同 上	1	9	3	3
F	同 上	2	7	3	6
G	同 上	1	5	2	5
H	表面附近いずれも 7.中央部 8.	1	6	3	6
平 均		1	5.4	2.6	4.2

* 試験は各試料符號に相當する焼鈍板について行つた。

第4表 試料採取位置と化學成分との關係 (%)

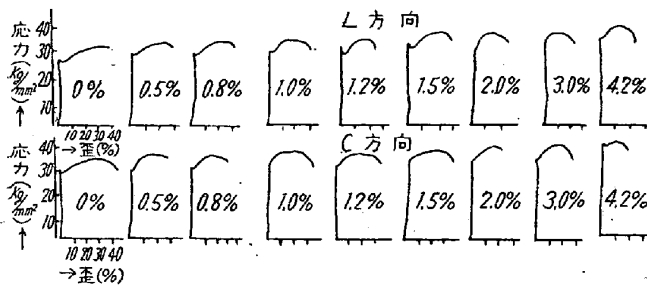
	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr
A	0.03	0.27	0.011	0.010	0.016	0.235	0.02
B	0.03	0.23	0.009	0.007	0.016	0.187	0.02
C	0.03	0.23	0.011	0.012	0.020	0.174	0.02
D	0.03	0.23	0.009	0.010	0.016	0.237	0.02
E	0.03	0.25	0.011	0.011	0.022	0.226	0.02
F	0.03	0.24	0.010	0.010	0.020	0.192	0.02
G	0.03	0.24	0.011	0.011	0.020	0.231	0.02
H	0.04	0.25	0.011	0.011	0.022	0.213	0.02
平 均	0.03	0.25	0.010	0.010	0.019	0.218	0.02

を要した。

抗張試験には松村式 5t 萬能試験機を用い、使用荷重は 1t とし、引張り速度 5mm/min で試験した。試験には JES 5 號片を用い、引張り時のズリを防ぐために試験片の両端はチャックにかしめた。試験により下降伏点、抗張力、全伸びを求め、更に降伏比（下降伏点/張抗力）降伏差（抗張力-下降伏点）を計算し深絞り性の目安とした。

エリヒセン試験は米國 Bock 社製試験機を用い試験片には塗油せずに試験した。

第 3, 4, 5, 圖は試験結果で調質圧延試料の抗張試験値は各 3 試料の、エリヒセン試験値は各 4 試料の平均値である。なお圧延率 0% で示した焼鈍原板の値は圧延率別試料の原板相当部より採取した試料についての總平均値で、それらの箇々の値の變動は少なく圧延率の影響を調べるに當つて採取位置を考慮する必要がないことを示しておつた。



第 2 圖 調質圧延効果による應力—歪曲線の變化

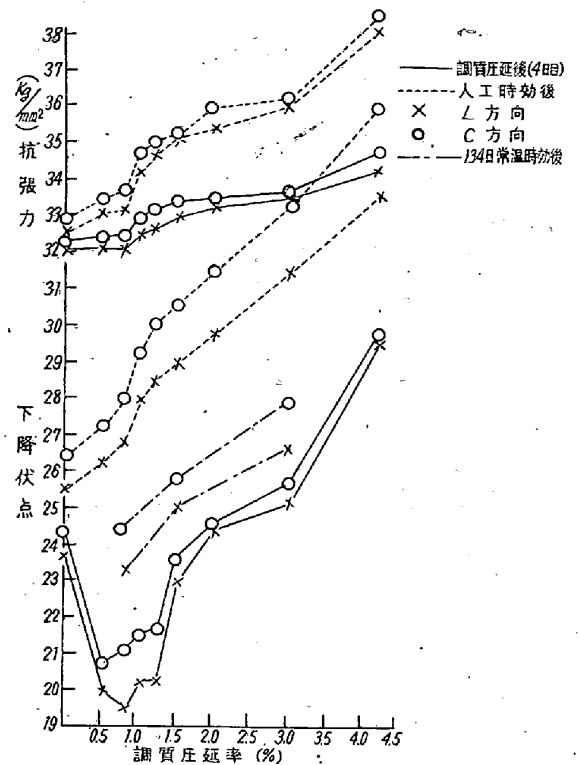
第 2 圖は、圧延率の増加による應力—歪曲線の變化を示し圖によれば圧延率 0.5% で既に軟鋼特有の降伏点の伸び (yield point elongation) は殆んど消失するが詳細に點檢すれば圧延率 2.0% 迄は明らかにこれを指摘できる。しかし、圧延率がこの値を越すとその指摘は困難となる。なお試料採取方向による相異は、C 方向が L 方向に較べ常にその消失が困難なことが認められる。

次に第 3, 4, 5 圖によれば

抗張力: 焼鈍板の抗張力は約 32kg/mm² で圧延率 0.8% 迄はこれと大差なく、更に圧延率が増すと漸増の傾向を示し圧延率 1.5% で約 33kg/mm², 4.2% で約 34.5 kg/mm² となる。

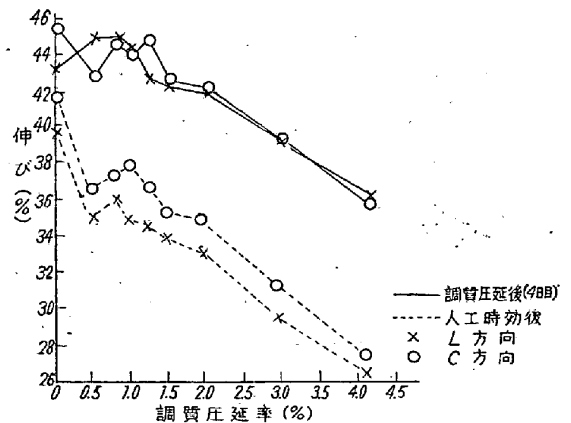
圧延方向による差は常にほぼ一定で、C 方向が L 方向より約 0.4kg/mm² 高い。

下降伏点: 下降伏点は低圧下の調質圧延によつて低下し、圧延率 0.5~0.8% で最低値 (20~21kg/mm²) を示すが、これより圧延率が増せばその値は急速に増加に



第 3 圖 抗張力、下降伏点と調質圧延率との關係並びにその時効による變化

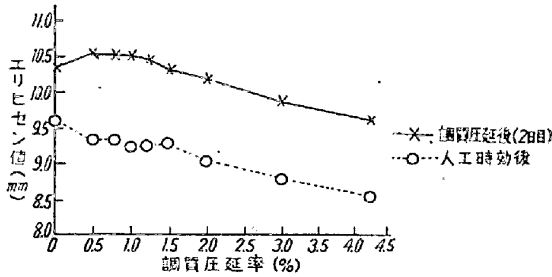
轉じ圧延率 1.5% でほぼ焼鈍板の値 (約 24kg/mm²) に達し、更に圧延率が増せばその増勢は幾分おとろえるものゝ、いぜん増加し続け 4.2% で約 30kg/mm² となる。なお圧延方向による差は圧延率 1.5% 以上では僅少であるが、降伏値の低下する 0.5~1.2% の壓下範圍では 1.5kg/mm² にも達している。



第 4 圖 伸びと調質圧延率との關係並びにその人工時効による變化

全伸び (Bench elongation): 破断後の破面を継ぎ合せて全伸びを求めた。破断の様相が一樣でないため値にばらつきはあるが、圧延率 1.0% 迄は焼鈍板の値 (43~

45%)と大差なく、抗張力が圧加し始める履歴率 1.2% によると低下し始め履歴率 1.5% で 42%, 4.2% で 36% となる。



第5圖 エリヒセン値と調質履歴率との関係及びにその人工時効による變化

エリヒセン値: 履歴率 0.5~0.8% で極大値に達し、更に履歴率が増すと直線的に減少し始める。エリヒセン値が焼鈍板の値より大きい範囲は履歴率 0.5~1.2% に亘っている。

2. 調質履歴効果におよぼす時効の影響について

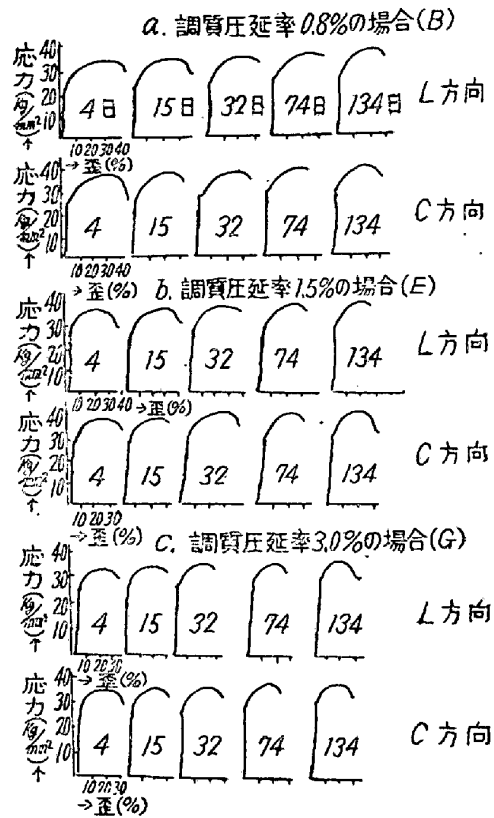
前記調質履歴効果が常温での至時効によりどの様に變化するかを調べるためにB, E, Gの三種類の試料について調質履歴後4日目, 15日目, 32日目, 74日目, 134日目の5回に亘つて抗張試験を行うと共に、焼鈍板をも含めた全試料を人工時効処理し、それについても抗張試験, エリヒセン試験を行い、常温時効によつて到達すると推定されるこれらの極限値の日安を求めた。

人工時効處理の條件は 200°C×4hrs¹⁾ 爐冷である。

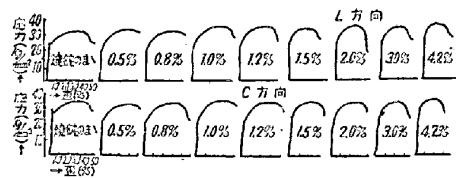
第8, 9圖は常温時効經過を圖示したもので、いずれも5試料の平均値である。前述の第3, 4, 5圖, 後述の第10, 11圖には人工時効効果と調質履歴率との関係おも併示してある。

應力—歪曲線: 第6圖に常温時効による應力—歪曲線の變化の模様を示した。圖によれば調質履歴後の経過日數の増加につれて降伏點の伸びは漸進的に明瞭になる。すなわちB試料では15日目の試験で、伸びは微かに指摘できる程度であるが、32日目の試験では一見してその存在を指摘できる程度に迄増大している。また降伏點の伸びの回復の程度に及ぼす調質履歴率の影響は履歴率の増加につれて少くなりE試料の32日目の試験結果はB試料の15日目の試験結果に相當するに過ぎない。なお履歴方向による相違は調質履歴によつて消失し難い傾向を示したC方向の方がL方向よりも回復の程度が大きい。

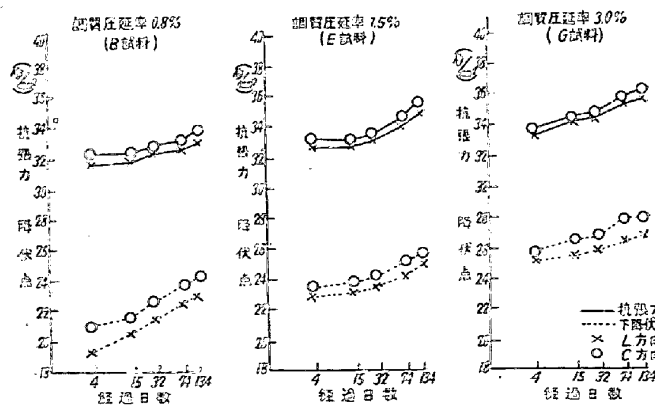
次に人工時効後の試験結果の一例を示す第7圖を見るといずれの履歴率のものも明瞭に降伏點の伸びを回復し



第6圖 常温時効による應力—歪曲線の變化



第7圖 人工時効 (200°C×4hrs) による應力—歪曲線の變化



第8圖 抗張力, 降伏點の常温時効による變化

ておりその程度は常温時効134日のものより遙かに大きい。また降伏點の伸びは履歴率の大きいもの程概して不明瞭になる傾向があるが、これは履歴に伴う抗張力の増加が比較的少ないためであろう。しかし試料採取方向による差はいぜん降伏値の高いC方向がL方向より大きく

現われている。

抗張力：第8圖によれば抗張力は常温時効によつて調質圧延後の経過日数の對數値にほぼ比例して増加するが134日目の値は人工時効値に近い、従つてこれ以上の日数経過による増加傾向は微々たるものと豫想される。

次に第3圖によれば人工時効による抗張力の増加は調質圧延を行わないものでも約 0.5kg/mm^2 程度起り圧延率がB, E, Gと増すにつれてほぼ1.2, 2.0, 3.8kg/mm^2 と増加しており、増加量と圧延率との間には直線的な増加関係が存在する。

なお試料採取方向による差は時効によつても殆んど変わらずC方向がL方向より約 0.4kg/mm^2 高い。

下降伏點：この値も第8圖に見られる如く常温時効によつて調質圧延後の経過日数の對數値にほぼ比例して増加するが134日目の値はなお人工時効値に較べてかなり低い。また常温時効による増加傾向は圧延率の低いB試料が三者中最も著しいが、この試料は調質圧延による下降伏點の降下が著しいために上記の常温時効の程度でもなお焼鈍板の下降伏點に達しておらない。しかしE試料では134日の常温時効によつて焼鈍板の人工時効値に近い値に到達している。

次に第3圖によると人工時効による下降伏點の増加は焼鈍板でも約 2kg/mm^2 起り、時効後の値は圧延率の増加と共にほぼ直線的に増大し、その値はC方向がL方向より大きく、兩者の差は圧延率に比例して増加する傾向がある。

全伸び (Bench elongation)：第9圖の如く調質圧延後の日数の経過に伴い急速に低下し134日目にはいずれも人工時効値に到達している。

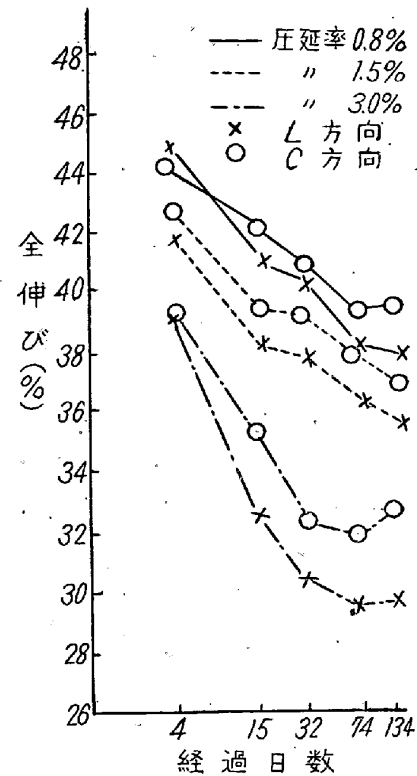
また、第4圖によれば全伸びは人工時効により減少し圧延率0の焼鈍板でも約3%の低下が起り、この低下は低下が増すにつれ急激に大きくなる。しかし圧延率0.5~2%の範囲では時効前の値と同様圧延率増加の影響は明白でない。

なお時効による伸びの減少はL方向がC方向に較べて明瞭に大きい。

エリヒセン値：第5圖に併示した如くエリヒセン値は人工時効によつていずれも低下しその低下は焼鈍板では約0.7mm、圧下の加わつたものでは1.0~1.2mm程度で絶対値は圧延率の大きいもの程小さい。しかし、0.5~1.5%の圧下範囲ではその値に大差ない。

III. 實驗結果の考察

深絞り用鋼板としてはその使用の目的上表面平滑で美



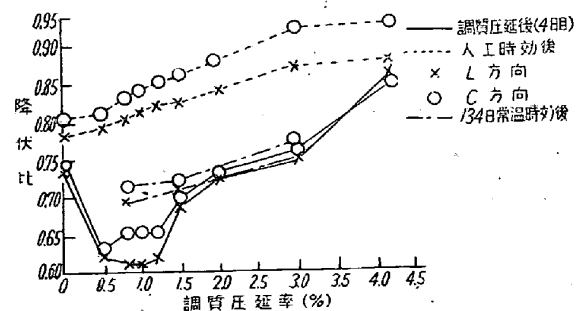
第9圖 全伸びの常温時効による變化

麗であると同時に加工性がよく、しかも深絞り加工にあつてストレッチャー・ストレーンが現われぬことが要望される。従つて調質圧延はこの線に沿つて行われねばならない。

そこでこの見地から前記實驗結果を検討してみよう。まず、鋼板表面の平滑き美しさであるがこれに關してはストリップ圧延では問題も少なく、調質圧延前の工程による影響の方が大きいからこゝでは觸れない。

1. 深絞り加工性

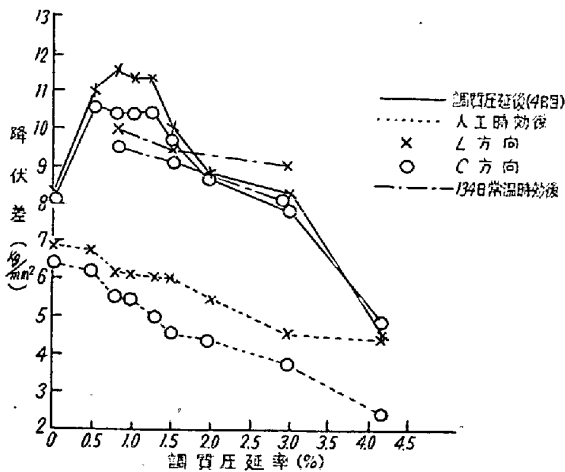
加工性の目安としてエリヒセン値、全伸びの他に際伏比、降伏差が考えられる。すなわち降伏比が小さく降伏差の大きい事は永久變形を起さしめるに可能な加工範囲の廣い事を意味し、しかもこのような加工範囲の擴大が



第10圖 降伏比と調質圧延率との關係並びにその時効による變化

抗張力の著しい増加を伴う事なく主として下降伏點の低下によつて起れば加工にあつてのエネルギーが少なくすむから好ましい。

まず、降伏比をみると調質壓延後の値は第 10 圖の如くで壓延率 0.5~1.2% の範圍で急激に下がり、しかもこの低下は下降伏値の減少によつて起つている(第 3 圖参照)しかしこれより壓下が増すとその値は増加し始め 3% の壓下では焼鈍板と同程度に回復する。一方、人工時効後の値はいずれも焼鈍板の時効後の値より大きく壓延率の増加につれて増大している。しかし降伏値の常溫時効による増大は抗張力に較べて遅く、B 試料では 134 日常溫時効のものでも焼鈍板の値に迄到達しない。(第 3 圖)従つて、上記の調質壓延効果は壓延率 2% 以下ではこの程度の常溫時効により完全には失われぬ。



第 11 圖 降伏差と調質壓延率との關係並びにその時効による變化

次に降伏差をみると調質壓延後の値は第 11 圖の如くで壓延率 0.5~1.2% の範圍で著しく増大しており、更に壓延率が増しても 3% 以下では焼鈍板の値より大きい。また、この値は常溫時効によつて低下するが前述の如く時効による降伏値の増大は抗張力に較べて遅いため 3% 以下の壓下ではいぜんその値は焼鈍板の値より大きい。

また人工時効後の降伏差は壓延率 0.5~1.2% の範圍では大差ない。

以上により加工性の點から深絞り用鋼板に適當な調質壓延率を考えると 0.5~1.2% がよく、多くとも 1.5% 以内に止めるべきであり、その効果は壓延後 4~5 ヶ月程度の放置でも完全には失われぬ。

2. 深絞り加工後の鋼板表面の美しさ

深絞り加工後の鋼板表面の美しさは、主として加工に

より板表面にストレッチャー・ストレーンが現われるか否かによつて左右され、この出現の有無は抗張試験における應力-歪曲線で、降伏點が明瞭に指摘出来るか否か(換言すれば降伏點の伸の有無)によつて知る事が出来る。また、L、C 方向の降伏値の相違も加工後の板表面の美しさに關係するものと考えられる。

さて、リムド鋼の降伏點の伸びは前述の如く調質壓延によつて一應消失するがその程度は壓延率に關係し壓延率 2.0 以下では完全には消失出来ない。しかし、實用上では 0.5% 程度の壓延率でも充分であろう。一方この値は調質壓延後の常溫時効によつて回復し、回復の程度は壓延率の低いものほど、経過日數の増加するほど増大する。従つて第 6 圖より調質壓延率 0.8% 程度のものでは壓延後 1 ヶ月も経過して加工すればストレッチャー・ストレーンが認められるものと豫想される。しかし壓延率 1.5% にもなれば、その現れ方は遙かに少なく壓延率 0.8% のものを 15 日経過して加工したものに匹敵する程度に過ぎないであろう。しかし、調質壓延が行つてあれば、たとえその程度が 0.5% でも 4 ヶ月経過後において現れるストレッチャー・ストレーンは焼鈍板のそれより遙かに少いものと思われる。

従つて深絞り加工後の表面の美しさという見地からは調質壓延率は 0.8% 以上が望まれる。しかし、L、C 方向の降伏値の相違は壓延率が増す程大きくなる(第 3, 11 圖)から自らそれには限度があらう。

3. 深絞り用鋼板に適當な調質壓延率

1, 2 の二點から深絞り用鋼板に適當な調質壓延率を求めれば第 5 表の通りである。

第 5 表

圧延率 (%)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
(1)		-----								
(2)		----->								

すなわち壓延率 0.8~1.2% が好ましく、この範圍は加工性を重視すれば 0.5% 迄、加工後の美しさを重視すれば 1.5% 迄擴大してもたいして支障なからう。

IV. 結 論

深絞り用高級仕上鋼板(リムド鋼)を製造するに當つての適當な調質壓延率を當所での作業條件の下で調べた。

實驗結果を要約すれば次の通りである。

1. 調質壓延板の加工性の降伏比, 降伏差, 全伸び,

エリヒセン値等から判断されるが、これらの性質に及ぼす調質圧延率の影響は次の通りである。

(イ). 降伏比は調質圧延率 0.5~1.2% の範囲で、0.75 から 0.60~0.65 に急激に下り、しかもこの低下は主として降伏点の低下によつて得られる。一方この値は常温時効によつて増加するが上記圧延率では4ヶ月経過しても 0.70 程度に回復するに過ぎない。

(ロ). 降伏差も調質圧延率 0.5~1.2% の範囲で極大を示し 11kg/mm² 程度に達する。一方この値は常温時効によつて減少し4ヶ月の時効で10kg/mm²程度となるがこれでもなお焼鈍板の値(約8kg/mm²)より大きい。

(ハ). 全伸びは圧延率 0~1.2% では大差ない。しかし時効による伸びの低下は割りに急速に進行し、前記圧延率では4ヶ月の常温時効で絶対値で約6%の低下が起る。

(ニ). エリヒセン値は圧延率 0.5~1.2% の範囲では焼鈍板より良好となるがこれより圧延率が増せば漸減する。

また、エリヒセン値の時効による低下は約10%が限度と考えられる。

2. 深絞り加工後の表面の美麗さは加工時に現れるストレッチャー・ストレーンによつて左右されるが、その程度を抗張試験に當つての應力—歪曲線に見られる降伏点の伸から判断すれば次の通りである。

(イ). 深絞り用鋼板の降伏点の伸びは調質圧延によつて消失するが、消失の程度は圧延率2%以下では完全でなく一般にC方向がL方向に較べて消失し難い。しかし實用上では圧延率 0.5~1.5% 程度で充分である。

(ロ). 降伏点の伸びの時効による回復は圧延率の少ないもの程、またC方向がL方向より早い、しかしいずれの圧延率でも4ヶ月も時効すれば明瞭に認め得る。

3. 1), 2) の諸点からこの種のリムド型深絞り用鋼板に適當な調質圧延率は 0.8~1.2% でありこの範囲は加工性を重視すれば 0.5% 迄、加工後の美麗さを重視すれば 1.5% 迄擴大しても支障なからう。

(昭和 28 年 2 月寄稿)

文 献

- 1) J. R. Low & M. Gensamer. T. A. I. M. E. (1944) 207