

p. 1050

- 9) R. I. ENTIN: Decomposition of Austenite by Diffusional Process: Ibid, (1962), p. 295
- 10) 例えば, 津谷: 日本金属学会誌, 22 (1958), p. 497

### (115) 低炭素薄鋼板の温間曲げ加工について

東洋製缶, 東洋鋼板, 総合研究所  
工博 周藤 悦郎・○斧田 一郎

#### On the Warm Bending of Low Carbon Steel Sheets.

Dr. Etsuro SHUTO and Ichiro ONODA.

#### 1. 緒 言

最近のブリキ原板は薄くかつ硬いものが要求される傾向にあり, これと同時に連続焼鈍法が採用されるようになってきた。しかし通常の成分の低炭素鋼板の連続焼鈍ではテンパー度 5 (T5: ロックウェル表面硬度 (HR 30 T) 62~68) 以上のものは得がたい。P 添加鋼では T6 (HR 30 T, 68~73) は得られても品質上のばらつきが大きい。また 2 回圧延による方法や不完全焼鈍による方法<sup>2)</sup>も開発中であるが, 十分な延性が伴わない欠点がある, A<sub>1</sub> 点以上の 2 相領域から 200°C 付近に焼入れすることによって T6 を得る方法も研究されているがまだ実用化にはいたっていない。このような点から T5 以上の硬度の原板を得る新方法の開発が望まれている。そこで著者らは青熱脆性温度範囲での加工が鋼を強化する現

象<sup>3)</sup>に着目して, 連続焼鈍の冷却過程で温間曲げ加工を与える実験を行なつところ通常成分の低炭素鋼板でも T5 以上が得られることを見出したので, 次に報告する。

#### 2. 試料と実験方法

試料はリムド鋼冷却板 7 種類で, その組成などを Table 1 に示した。ここで材質の影響に関する実験以外はすべて A 鋼を用いた。試片の大きさは 50×200mm である。

焼鈍サイクルは均熱温度まで 60sec で加熱し, 48sec の均熱の後曲げ加工温度まで 60sec で冷却し, 加工後は衝風冷却を行なつた(サイクル I)。硬度増加を期待してこの 1/2 の時間で焼鈍した場合もある(サイクル II)。焼鈍には水平管状炉を, 曲げ加工にはロール 1 本を内蔵した Pb-Bi 浴を使用し, 試片は 5sec に 3 回の割合で繰り返し曲げられた。なお各試片の中央部に熱電対を溶接してその温度変化を電子式温度記録計に記録した。連続焼鈍は空気中で行なつたため, その酸化を防止するため, あらかじめ Cu メッキし, 熱処理後稀塩酸溶液でメッキを除去してからロックウェル表面硬度 (30 T) を測定した。この後圧下率 2% で調質圧延, 250°C×10sec の歪時効を行なつて電気錫メッキ相当の履歴を与えた。

#### 3. 実験結果

##### 3.1 曲げ加工温度, 時間の影響

サイクル I で均熱温度は 700°C とし, 冷却過程の 100°~500°C 間の 7 水準の温度で 16mm φ ロールを使用し, 10, 30, 60sec 間曲げ加工を行なつた。また上記と同一条件で浴中に保持した試料も作成した。これらの硬度を測定した結果を Fig. 1 に示した。100°C, 10sec

Table 1. Check analysis and the mechanical properties of the specimens after bending with a 26mmφ roll or holding for 5 sec during cooling from 680° to 300°C. (Cycle II)

Steel	C %	N %	Treatment	Hardness (HR 30 t)		Tensile properties(After the treatment)			
				After the treatment	After 2% skin pass and aging	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Yield point (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Yield point elongation (%)
A*	0.03	0.0013	Bending Holding	62.2 53.3	65.0 60.8	40.7 36.2	40.1 33.5	25.0 39.0	7.5 10.7
B**	0.03	0.0021	Bending Holding	63.4 56.6	65.8 62.6	43.7 38.6	41.3 34.3	25.6 38.0	5.7 8.2
C**	0.04	0.0031	Bending Holding	64.1 58.2	66.6 61.8	42.1 37.8	40.3 34.5	23.5 27.3	6.7 9.4
D**	0.05	0.0026	Bending Holding	64.9 59.7	67.6 64.2	43.1 38.3	41.5 35.6	22.4 29.9	6.2 7.4
E**	0.06	0.0033	Bending Holding	65.4 55.6	66.8 63.4	42.9 37.0	41.1 32.9	26.1 36.5	6.0 8.1
F**	0.07	0.0020	Bending Holding	61.3 59.5	64.3 62.8	40.7 39.1	37.7 36.5	26.3 27.0	4.9 9.5
G**	0.08	0.0096	Bending Holding	65.7 63.0	68.8 65.8	47.5 45.2	42.5 40.8	20.3 27.8	5.4 8.4

Note \* P: 0.021%, S: 0.012%, thickness: 0.30mm \*\* Thickness: 0.~0.24mm

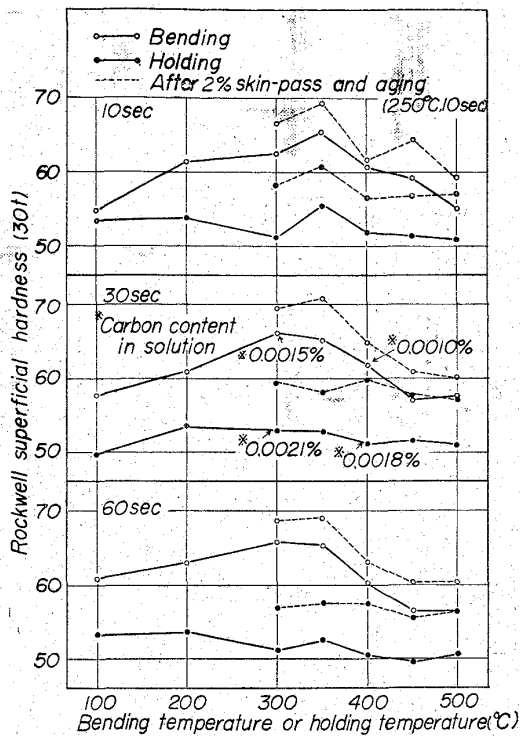


Fig. 1. Effect of bending temperature and time on the hardness.

での曲げ加工による硬度増加はごくわずかである。これ以後 300°C までは温度が高く、時間(回数)が長いほど硬度増加が大きく、ピークに達した 350°C では時間の影響はほとんどなくなっている。さらに温度が高くなるにつれて硬度は次第に低下する。温度保持のみの場合は、温度が上がるとともにやや硬度低下の傾向がみられる。なお電気錫メッキブリキ相当の処理による硬度増加は、曲げ加工の場合は保持のみの場合よりも小さいが、それでも最高硬度は 69.6 で T6 が得られている。

### 3.2 曲げロール直径の影響

16, 26, 40mm  $\phi$  の 3 種の曲げロールを使用した。試料の表面の加工度はそれぞれ 1.90, 1.15, 0.75% に相当する。サイクル I で均熱温度は 700°C とし、350°C で 5sec 間加工した後の硬度はそれぞれ 64.3, 62.0 および 59.5 であつてロール径が小さいほど、すなわち加工度が大きいほど硬化作用は大きい。しかし 40mm  $\phi$  ロールでも保持のみの場合の硬度 53.0 にくらべれば硬化作用はかなりあるといえる。なお 5sec 曲げ加工後そのまま 25sec および 55sec 浴中に保持したが、硬度の変化は認められなかった。

### 3.3 均熱温度の影響

サイクル II により均熱温度を 650°C~850°C の間で変え、300°C で 26mm  $\phi$  ロールにより 5sec 間曲げ加工を行ない、硬度、表面状態および結晶粒度を調べた結果を Fig. 2 に示した。これによると均熱温度が高くなるほど硬化は大きくなり、650°C~700°C で現われる腰折れも消失する。後者は結晶粒が大きくなるためと考えられる。

### 3.4 材質の影響

サイクル II により 680°C で均熱後、300°C で 5sec,

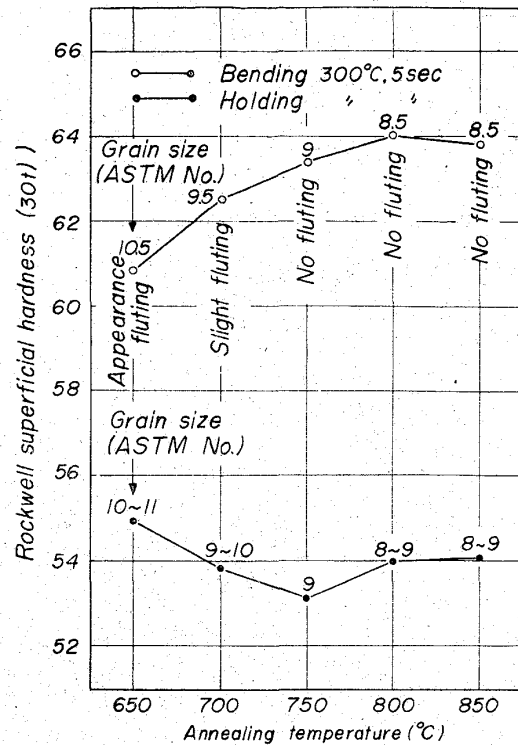


Fig. 2. Effect of annealing temperature on the hardness, grain size and appearance of specimens.

26mm  $\phi$  ロールで曲げ加工を行ない、加工しないものと比較した。Table 1 に示すように、曲げ加工による硬度増加は電気メッキ相当処理前は 1.8~9.8 であるが、処理後は 1.5~4.8 であつて減少している。なおこの硬度増加におよぼす C および N 量の影響は本実験の範囲内ではあまり明らかでない。通常の連続焼鈍サイクルで T5 を得るためには通常は G 鋼のような加窒材が用いられるが、本表によれば温間曲げ加工を行なえば通常の成分のリムド鋼でも曲げ加工を行なわない加窒材に匹敵する硬度が得られることがわかる。なお曲げ加工を行なつた場合は、引張強さは 1.6~5.9 kg/mm<sup>2</sup>、降伏点は 1.2~8.2 kg/mm<sup>2</sup> 増加し、伸び率は 0.7~14.0%、降伏点伸びは 1.2~4.6% 低下している。

## 4. 考 察

曲げ加工によつて表層に近づくほど加工度が大きく硬化するのではないかと考え、均熱温度を 700°C とし、300°C (26, 40mm  $\phi$  ロール) および 400°C (16mm  $\phi$  ロール) で 30sec 加工した試料について断面のマイクロピカース硬度分布を調べたところ (Fig. 3 参照)、やはり内層は加工しない試料とほぼ同一硬度であり、表層付近ほど硬化が大きいことがわかった。板の両面はそれぞれ引張、圧縮加工を受けるが、両面の硬化は同程度である。これらのうち 26mm  $\phi$  ロールを使用し、300°C で 30sec 曲げ加工を行なつた試料につき、表面より 20  $\mu$  付近および内層より得た薄膜の電子顕微鏡 (100 KV) による直接観察を試みた結果、Photo. 1 (a)(b) に示すごとく、表層付近には微細な析出物群 (矢印 A) と転位の増殖がみられるが、内層は未加工組織に近く、転位は少ない。これは硬度分布の傾向とよく合致してい

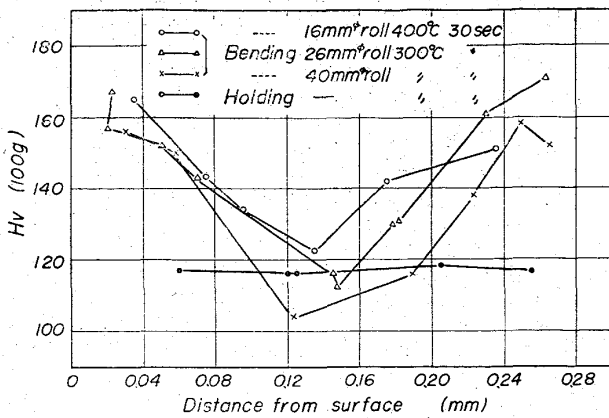
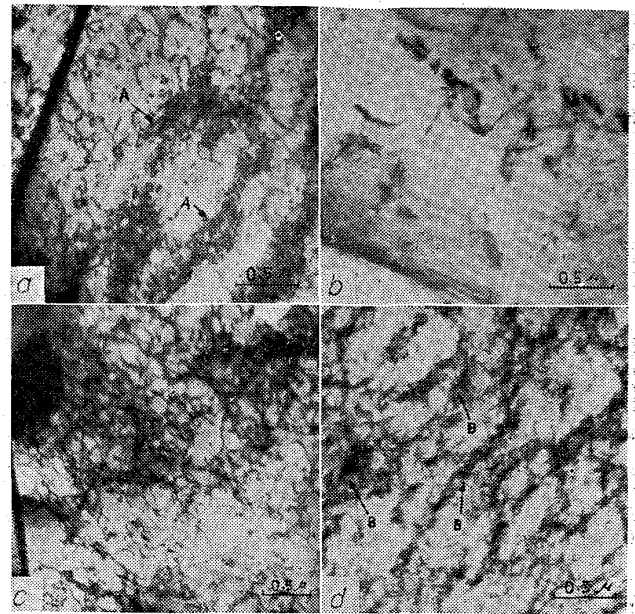


Fig. 3. Hardness distribution across the cross section of the bent specimens. (Cycle I)

る。また本試料の電気抵抗法<sup>5)</sup>によつて求めた固溶C量は Fig. 1 に示したように、温間曲げ加工を行なつたほうが少なく、電頭組織に微細な析出物が多くみられる傾向と合つている。

温間加工による鋼の強化の機構に対して、五弓、橋本<sup>3)</sup>および KEH, LESLIE<sup>4)</sup>は加工によつて転位が発生するとただちに格子間原子 C, N によつて釘付けされて動きにくくなるので、さらに変形を続けるため新たに転位が発生するという過程が繰り返されることによつて、室温加工の場合よりも転位密度が著しく増加するためであると説明している。しかし本実験のよう温間加工前に過飽和に格子間原子とくに C が含まれた場合には、温間加工中の析出を考慮に入れる必要がある。転位は炭化物析出の核となるので、温間加工による転位密度の増加



(a) Bent at 300°C, 30 sec, 26mmφ roll, near surface.  
 (b) Bent at 300°C, 30 sec, 26mmφ roll, middle of the specimen.  
 (c) Bent at 500°C, 30 sec, 26mmφ roll, near surface.  
 (d) Bent at 200°C, 30 sec, 26mmφ roll, near surface.

Photo. 1. Transmission electron microphotograph of steel A bent at various temperatures.

は Photo. 1 (a) に示したように炭化物粒子の析出を促進するはずである。この影響を調べるため A 鋼を用い種々の前熱処理を行なつてから 300°C で 10sec 間曲げ加工を行なつた結果を Table 2 に示した。温間曲げ加

Table 2. Effect of pre-heat-treatments on the hardness of bent specimens. (Steel A, 26mmφ roll)

Pre-heat-treatment	Mark	Treatment after pre-heat-treatment	Hardness: H <sub>R</sub> (30 t)
Decarburization annealing at 700°C for 8 hr in wet N <sub>2</sub> +10%H <sub>2</sub> C 0.004% N 0.0011%	a	As annealed	38.7
		Bent at room temperature	40.5
		Reheated at 700°C and 10 sec holding during cooling at 300°C (Cycle I)	40.3
		Reheated at 700°C and 10 sec bending during cooling at 300°C (Cycle I)	46.2
Batch annealing at 700°C for 1hr in vacuum cooling rate: 0.5°C/min C 0.028% N 0.019%	b	As annealed	45.7
		Bent at room temperature	44.9
	c	Reheated at 300°C and 10 sec holding	45.7
		Reheated at 300°C and 10 sec bending	51.2
	d	Reheated at 700°C and 10 sec holding during cooling at 700°C	50.7
		Reheated at 700°C and 10 sec bending during cooling at 700°C	60.1
Continous annaling (Cycle I) C 0.03% N 0.0013%	d	As annealed	52.8
		Reheated at 300°C and 10 sec holding	51.2
		Reheated at 300°C and 10 sec bending	61.9

669.15'296-194

工直前に C が 300°C における平衡固溶量以下しか含まれていないと考えられる条件 a, b での曲げによる硬度増加は約 6 であり, C が過飽和に含まれていると考えられる条件 c, d の場合は約 10 であることがわかる. 後者のほうが硬度増加が大きいのは微細析出粒子による強化効果のためと考えられる. Photo. 1 (c) は 500°C で 30sec 温間加工した試料の表層付近の組織を示したものであつて, 粒界に長径約 1 $\mu$  の楕円状の炭化物が析出しており, ここから多数の転位が放出されている. 平均転位密度は 300°C 試料と同程度であるので, 本試料のほうが硬度が低い原因の一つは微細析出粒子群が生じないためと思われる. Photo. 1 (d) に示されるように 200°C で 30sec 温間加工した場合は, 表層付近の組織は一見セル構造に類似している. しかし加工度が極めて小さく, また温間加工による硬度増加も 300°C のときよりも小さいので, 黒色部に多数の転位が集合しているとは考え難い. 一方黒色部の中のとくに黒い部分 (矢印 B) は樹枝状セメントタイト<sup>4)</sup>への発達過程にあるように観察されるので, 残りの黒色部は C が炭化物として析出する前の段階の集合体 (cluster) の密集したところと推測される.

### 5. 結 言

- 1) 低炭素薄鋼板の連続焼鈍の冷却過程で温間曲げ加工を行なうことによつて, 硬度が高く比較的延性があり, 降伏点伸びが小さいブリキ原板が得られることが判明した. 均熱温度は高く, 曲げロール直径 (加工度) は小さいほうが硬度が高くなる. 曲げ加工温度 300°~350°C で最も高い硬度が得られる.
- 2) 断面硬度分布は, 内部から表面に向つて硬度が高くなつていく. これは凹みに対する変形抵抗が重視される製缶用材料として有利である.
- 3) 温間加工による硬化は転位の増殖の他に, 炭化物析出によつて影響されることを電顕直接観察によつて示した.

### 文 献

- 1) E. W. WILLIAMS and L. K. DAVIES: Iron & Steel Inst. (U. K.), Spec. Rep., 79 (1963), p. 93
- 2) 竹本, 藤井, 原田: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 962.
- 3) 五弓, 橋本: 日本金属学会講演概要, (1964), 秋期, p. 53
- 4) A. S. KEH and W. C. LESLIE: Materials Science Research, 1 (1963), p. 209, Plenum Press, NY.
- 5) 周藤: 鉄と鋼, 50 (1964) 5, p. 766

## (116) Zr 系標準鋼に関する研究

(材質特性と連続冷却変態曲線—I)

日新製鋼, 周南製鋼所 工博○藤田 春彦  
金属材料技術研究所

工博 荒木 透・中島 宏興

### Study of the Standard Steel Contained Zirconium.

(The material properties and continuous cooling transformation curves—I)

Dr. Haruhiko FUJITA, Dr. Toru ARAKI and Hirooki NAKAJIMA.

### 1. 緒 言

最近各種の特殊元素を添加した新種鋼が開発されているが, 試行錯誤によらず, 無作為実験により各種特殊元素の成分効果を定量的に算出し, 標準鋼の決定的な材質を得ようと計画したその経緯を述べる.

低炭素鋼におよぼす各種合金元素および熱処理の影響を, 実験計画を組み推計学的解析により定量的に求めた.

引張り強さ範囲は 45~130 kg/mm<sup>2</sup> であるが, 因子として, C, Mn, C×Mn, C×Mn<sup>2</sup>, Si, Cu, Ni, Cr, Mo, B, V, Zr の各 3 水準を選び, おのおのの要因効果が独立に検出できるように実験配列し, これら要因の効果量を推定した. 特性値としては, 圧延焼鈍, 焼準, 調質状況における引張り強さ, 降伏強度, 伸び, 絞り, 降伏比, 衝撃値, 遷移温度, 結晶粒度, 焼入性 (変態点, ジョミニイ曲線) その他材質特性について数量化できるものについては, 熱処理別に各種成分のおよぼす効果量を求め, この効果量の加算性から標準鋼の化学組成を決定し, この材質特性につき試験研究を行なつた. あわせて一連の研究中特殊鋼の連続冷却変態曲線を作製し, 連続冷却履歴中の変態相の生成過程について現象面からの考察を加えた. この標準鋼の決定方法については先に<sup>1)</sup>, 合金元素の機能および熱処理の影響について考察を加えた推計学的な方法によつた. またこの結果得られた標準鋼および各種選択鋼についての実用上必要とされる耐食性, および溶接性についても研究を行なつたのであるが, Zr 系標準鋼と Cu-P-Cr-Zr 系鋼に関して材質特性, とくに連続冷却変態曲線 (CCT 曲線) 作製に関して 2, 3 の知見を得たので報告する.

### 2. 実験方法

上述の 10 元素の各特性値におよぼす効果を求め, さらに 2 元素の交互作用の有無を求めるために各合金元素の水準を Table 1 に示すように定め, 各合金元素の主効果を独立に得られるように配列して得られる 27 鋼種を溶製した. 交互作用項について技術的に影響あると考えられるものは交絡せぬよう留意した.

溶製は 30kg 高周波炉によつて行ない, 10~40mm 径の各種丸棒に圧延し, また 500t プレスにより 25mm 板に鍛造しその高温加工性を試験しさらに 20mm 丸棒の先端嚙出部より採取した試験片につき 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 温浴により酸洗し発生疵と合金成分の影響を調べた. これら実験鋼塊での検討から 1t 高周波炉により選択した鋼種を溶製し直圧の可否, 熱間加工性, 熱延表面疵, 冷延焼鈍から薄手冷延板の可否など圧延作業性の確認を 25,