

Photo. 2 Electron microscope structure of carbon replica.  $\times 3000(3/5)$

- い.
- b) S.R. によつて抽出物中に富化する合金元素は Mn, Fe, Mo がほとんどである.
- c) 抽出物中の Ti, Nb は S.R. によつてほとんど変化しないが V は S.R. とともに増大する.
- d) 残渣量/電解量は S.R. とともに増加する.
- e) 抽出物中の Fe, Mn 量は Mo の多少によつて大きく変化する.

文 献

- 1) B. WATKINS, et al.: Brit. Welding J, 10 (1963) 2, p. 295
- 2) 薄田, 他: 日本金属学会, (1965) 秋期講演会
- 3) 稲垣, 他: 金属材料研究所研究報告, (1965) 8, p. 42
- 4) T. KOUTSKY: Neue Hütte, 11(1966) 6, p. 367

(201) 鍛鋼焼入ロールの焼戻による応力緩和

日立製作所, 勝田工場  
 武市彦四郎・門瀬 益雄・○中川 師夫  
 Stress Relief of Forged Hardened Steel Rolls in Temper

Hikoshirō TAKEICHI, Masuo KADOSE and Mitsuo NAKAGAWA

1. 緒 言

4重冷間圧延機用の作業ロールは十分な剛性と高い表面カタサおよび深い硬化層が要求され, これらの要求を満たすために高炭素低クロム鋼の鍛鋼焼入ロールが一般に用いられている. 熱処理としては強烈的な水焼入がなされるために大きな焼入応力が発生し, 焼戻温度が低いので応力緩和が少なく, 焼入時に発生した応力がそのまま残っており鍛鋼焼入ロールは大きな残留応力を有するものと考えられている.

しかしながら本鋼を焼入したのち 80~160°C の温度で負荷応力を与えて焼戻を行なつた時の応力緩和が予想外に大きいことが明らかになつたので 50φ および 420φ の大小径テストロールを用いて焼戻による表面応力の変化を測定した結果につき報告する.

2. 実験 1 — 試験片による応力緩和率の測定 —

試料は 10 t エル式塩基性電気炉で溶製後, 鍛造, 焼準, 球状化焼鈍を行ない 5×10×50 mm の試験片を作成した. 試料の化学成分を Table 1 に示す.

試験片は 850°C に 1hr 保持したのち油焼入を行なつた.

2.1 一定温度で焼戻を行なつた時の焼戻時間と歪変化

試験片の 10×50 面中央に歪ゲージを貼り 80°C, 100°C, 130°C, 150°C, 160°C の温度に保たれた油槽中で所定の時間 (10 min~10hr) 焼戻を行ない室温まで冷却し歪変化を測定したのち再び同一温度で焼戻す操作を繰返し行なつた. その時の焼戻時間と歪の関係を Fig. 1 に示す.

Table 1. Chemical composition of sample (%).

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0.85	0.30	0.35	1.95	0.25	0.10

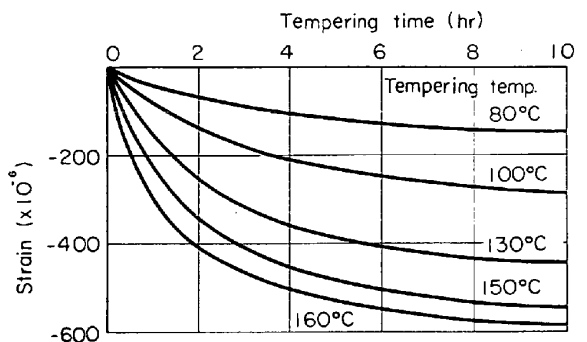


Fig. 1. Relations between strain and tempering time.

Table 2. Experimental condition (1).

Burdened strain ( $\times 10^{-6}$ )	-1000, -2000, -3000
Tempering temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	80, 100, 130, 150, 160
Tempering time (hr)	3

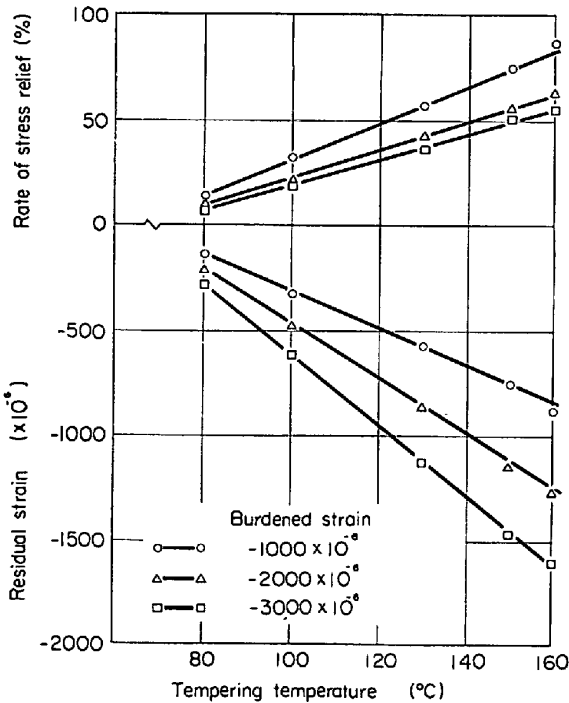


Fig. 2. Relations between residual strain rate of stress relief and tempering temperature. (tempering time : 3hr)

すなわち焼戻温度 80 $^{\circ}\text{C}$ ~160 $^{\circ}\text{C}$ において体積(長さ)は収縮し、その割合は温度が高いほど大きく、また収縮の速度は焼戻初期において大きく時間が経過するにつれてそれぞれの焼戻温度における一定値に近づいている。

2.2 均一圧縮応力を負荷して焼戻を行なった時の歪変化

試験片の 5 $\times$ 10 面から均一圧縮応力を負荷する装置を作成し、それにより所定の応力(歪)を与え、所定の焼戻を行なったのち、試験片を応力負荷装置からとりはずし残留歪を測定した。

その実験条件をまとめて Table 2 に示す。

負荷歪を  $\epsilon_1$  (負荷応力  $\sigma_1$ )、負荷応力を除いた時の残留歪を  $\epsilon_2$  (残留応力  $\sigma_2$ ) とし  $\eta = 1 - (\sigma_1 - \sigma_2 / \sigma_1) = \epsilon_2 / \epsilon_1 (\times 100\%)$  なる値をもつて応力緩和率とすれば Fig. 2 のごとくなる。

すなわち残留歪、応力緩和率は焼戻温度の上昇と共に直線的に増加し、負荷歪の小さいものほど応力緩和率が大きく勾配も急である。

3. 実験 2

—50 $\phi$  テストロールによる表面応力の測定—

本試験に用いた材料は実験 1 と全く同じものであつて球状化焼鈍後、50 $\phi$   $\times$  150 l の円柱試験片を作成し、850 $^{\circ}\text{C}$  で 1hr 保持したのち水焼入を行ない試験片に焼入応力を与えた。焼入後、80 $^{\circ}\text{C}$ 、100 $^{\circ}\text{C}$ 、130 $^{\circ}\text{C}$ 、150 $^{\circ}\text{C}$ 、160 $^{\circ}\text{C}$  に保たれた油槽中でそれぞれ 3hr の焼戻を行なった。

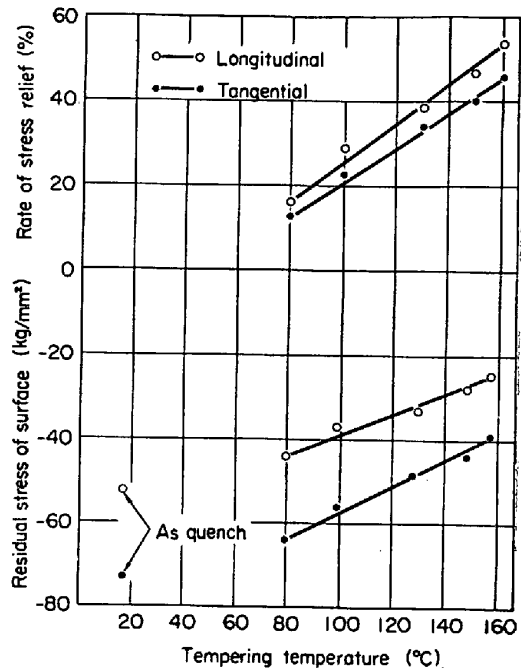


Fig. 3. Relations between residual stress surface, rate of stress relief and tempering temperature by 50 $\phi$  test rolls. (tempering time : 3hr)

表面応力の測定は SIEBEL, PFENDER 法<sup>2)</sup>を用いて解放歪を測定し平面応力-歪の関係式により焼戻による表面残留応力の変化を求めた。さらに焼入状態における表面応力を基準として焼戻による応力緩和率を次式により求めた。

$$\eta = (1 - \sigma_2 / \sigma_1) \times 100\%$$

ここに  $\sigma_1$ : 焼入後の表面応力、 $\sigma_2$ : 焼戻後の表面応力。Fig. 3 は表面残留応力および緩和率と焼戻温度の関係を示すもので、焼入後における表面応力は軸方向応力 -52.8 kg/mm<sup>2</sup>、接線方向応力 -73.1 kg/mm<sup>2</sup> であり、焼戻により表面応力は減少しており、応力緩和率は焼戻温度の上昇とともに直線的に増大している。

4. 実験 3

—420 $\phi$  テストロールによる表面応力の測定—

本実験に用いたロールは外径 420 $\phi$ 、内径 75 $\phi$ 、胴長 1070 l であり、化学成分はクロム含有量が 2.12% で他の成分は実験 1, 2 に用いた試料とほぼ同じである。熱処理は球状化焼鈍後 860 $^{\circ}\text{C}$  から内外噴射水冷を行ないただちに 140 $^{\circ}\text{C}$  で 15hr の焼戻を行ない実験に用いた。実験条件を Table 3 に示す。

すなわち、140 $^{\circ}\text{C}$  で 1回、150 $^{\circ}\text{C}$  で 5回、160 $^{\circ}\text{C}$  で 1回の焼戻を行ない表面応力におよぼす焼戻温度と焼戻時間(回数)の影響について実験を行なった。

表面応力の測定は歪ゲージにより Gunnart 法の原理

Table 3. Experimental condition (2).

Tempered No.	1	2	3	4	5	6	7
Tempering temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	140	150	150	150	150	150	160
Tempering time (hr)	15	15	15	15	15	15	15
Measured No.	1	2	3	—	4	5	6

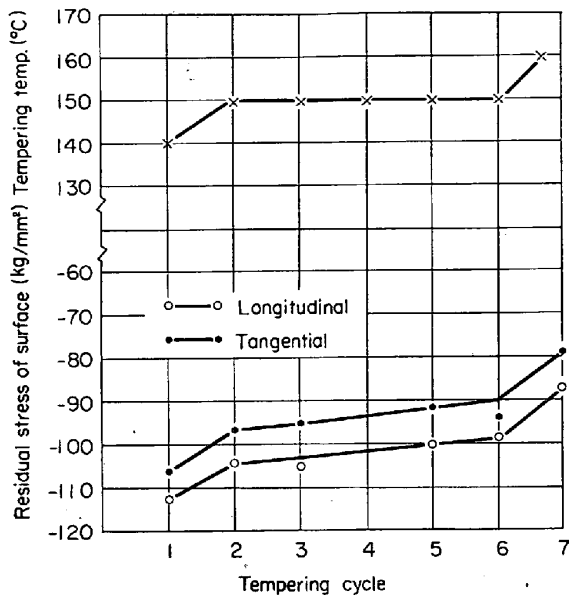


Fig. 4. Effect of tempering temperature and tempering cycle on residual stress of surface by 420φ test roll. (tempering time : 15hr)

を用いて行ない応力の測定位置は局部的応力の解放による応力の変化が互いに干渉せず、また端面効果が現われない位置を選んで行なつた。実験結果をFig. 4に示す。

焼入後、ただちに 140°C で 15hr 焼戻を行なつた場合の表面残留応力は軸方向で -113 kg/mm<sup>2</sup>、接線方向で -106 kg/mm<sup>2</sup> であり、これを 150°C で 15hr 焼戻を行なうと 8~9 kg/mm<sup>2</sup> 残留応力が減少する。しかしながら引き続き数回 150°C で焼戻を行なつても残留応力はあまり減少しないようである。さらに焼戻温度をあげて 160°C で 15hr 焼戻を行なうと残留応力は 11~12 kg/mm<sup>2</sup> 減少する。

### 5. 考 察

(1) 寸法が 5×10×50 mm の試験片を焼入した直後の組織は焼入マルテンサイトと若干の残留オーステナイトおよび未溶解炭化物が存在するがこれを 160°C 以下の温度で焼戻した場合、炭素量の多い過渡的な炭化物の析出があり正方晶のマルテンサイトは立方晶に変わり体積が収縮する焼戻の第一過程<sup>2)</sup>に相当する。この温度範囲において圧縮応力をもつた材料の応力緩和は体積の収縮による見かけ上の引張応力の付加およびクリープ変形との重量作用としてなされるものと考えられる。

均一圧縮応力を与えて焼戻を行なつた場合の応力緩和率を格子変態による体積の収縮とクリープ変形にわけて考えると Fig. 1, Fig. 2 より Fig. 5 が得られる。格子変態による体積の変化は負荷応力に無関係と考えられるので応力緩和率は負荷応力に反比例し、またクリープ変形による応力緩和率は負荷応力のいかにかわらず一直線上にあり、クリープ変形量は負荷応力に正比例する。したがつて応力緩和率としては初期応力の小さい場合ほど大きくなる。

(2) 50φ テストロールの焼入後における一次元相当歪は軸方向で  $-2180 \times 10^{-6}$ 、接線方向で  $-3020 \times 10^{-6}$  となり応力緩和率は均一圧縮応力を負荷して焼戻を行な

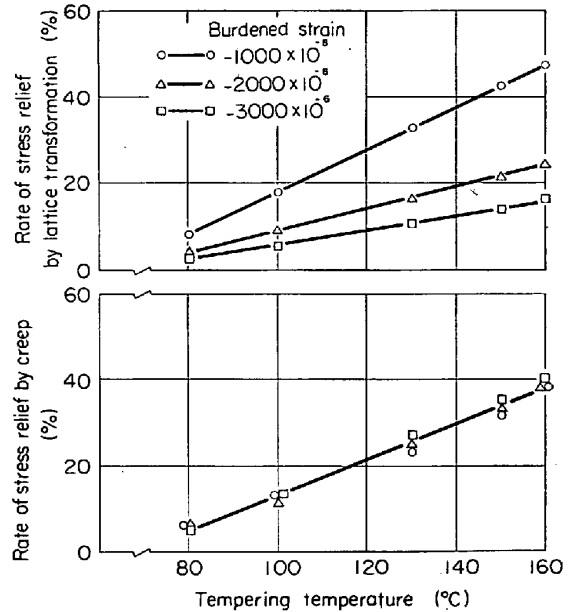


Fig. 5. Relations between rate of stress relief by lattice transformation, rate of stress relief by creep and tempering temperature. (tempering time : 3hr)

つた場合に比して若干小さくなつては内部で拘束されており変形が阻害されるためと考えられる。

(3) 420φ テストロールについては1本のロールで焼戻温度の影響、繰返し焼戻の効果などについて求めたが焼入状態における表面応力を測定していないので焼戻による応力緩和率を求めることはできないが 140~160°C の温度範囲で焼戻温度を 10°C 上げることにより 8~12 kg/mm<sup>2</sup> 表面応力が低下すること、繰返し焼戻の効果は期待できないことが明らかとなつた。これらのことより鍛鋼焼入ロールの応力緩和はマルテンサイトの格子変態による体積の収縮、格子変態時に現われる変態塑性に基づくクリープ変形の重畳効果としてなされ、したがつて格子変態の進行する焼戻初期において応力緩和がおこり、繰返し焼戻の効果は得られないものと考えられる。

### 6. 結 言

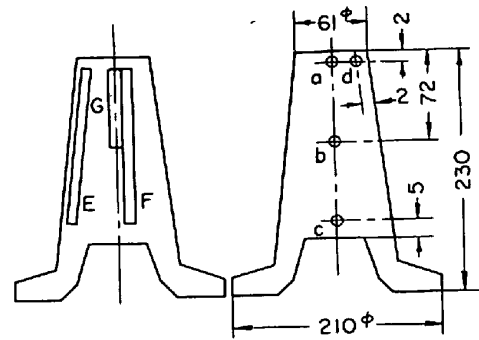
鍛鋼焼入ロールの焼戻による応力緩和について実験を行ない次の結果を得た。

- (1) 高炭素低クロム鋼を焼入後 80°~160°C の温度で焼戻した場合、体積は収縮する。
- (2) この温度範囲において焼入材の応力緩和は大きく焼戻温度と応力緩和率の間には直線関係が成り立つ。
- (3) 均一圧縮応力を負荷した時の応力緩和は格子変態による体積の収縮とクリープ変形の重畳効果としてなされ格子変態による体積の収縮は負荷応力(残留応力)に無関係と考えられるのでクリープ変形量は負荷応力に比例する。
- (4) 50φ テストロールの表面残留応力の緩和は均一圧縮応力を与えた場合より若干小さい。
- (5) 420φ テストロールの表面残留応力は 140~160°C の温度範囲で焼戻を行なうことによつて 10°C につき 8~12 kg/mm<sup>2</sup> の応力緩和がなされるが、焼戻回数

を増した場合の効果は期待できない。

### 文 献

- 1) 武市, 中川: 材料学会講演会前刷, (1966) 5, p. 65
- 2) E. SIEBEL and M. PFENDER: Arch. Eisenhüttenw., (1933/34) 7, p. 407
- 3) B. L. AVERBACH and M. COHEN: Trans. Amer. Soc. Metals, 41 (1949), p. 1024



(mechanical properties)  
(micro structure)

Fig. 1. Sampling situation of die forgings.

## (204) 純酸素転炉, 連続鑄造により製造した炭素鋼鍛造材の材質について (連続鑄造により製造した鋼の材質について—Ⅳ)

北日本特殊鋼, 八戸工場

工博 小池 伸吉・○木村 皓

On the Quality of Carbon Steel Forgings from Billet by LD Converter and Continuous Casting Process

(On the quality of steel from continuously cast billet—Ⅳ)

Dr. Shinkichi KOIKE and Akira KIMURA

### 1. 緒 言

前回までの報告<sup>1)~3)</sup>で連続鑄造により製造した鋼を線材または板材に圧延した場合に, 鋼塊法により製造した生産材と比較してほぼ同様の結果を得ることができた。

本報では純酸素転炉—連続鑄造により製造した炭素鋼を型打鍛造材とリング材に鍛造し, その鍛錬比と材質の関係を調査し, 鋼塊法により製造した生産材との比較を行なった。

### 2. 試 料

鋼番 A, B, C とも砂鉄溶銑を主原料として, 10 t 純酸素転炉でキャッチカーボン法により吹錬し, 連続鑄造機により, 鋼番 A は 115φ ビレットに, 鋼番 B, C は 165φ ビレットに鑄造したものである。これら試料の鋼種, 鑄造ビレットサイズおよび化学成分を Table 1 に示した。鋼番 A, B は S45C でビレットサイズは異なるが, 同一鍛造工程によつて型打鍛造材としたものである。両者とも全面グラインダー疵取りを施し, 所定の単重に切断後, 同一温度条件のもとに鑄造方向に荒地鍛造を行ない, つづいて型打鍛造を実施した。熱処理条件は焼準 (820~840°C, 1hr, 空冷)→焼入 (820~840°C 1hr, 油焼入)→焼戻 (580~650°C, 1.5hr, 水冷) である。

この場合の鍛錬比は型打鍛造材に仕上げて, 鋼番 A (115φ ビレット) では 4S, 鋼番 B (165φ ビレット) で

は 8S 程度である。これら型打鍛造材と鋼塊法により製造した生産材について, マクロ組織, ミクロ組織, 機械的性質の比較を行なった。

鋼番 C は S10C, 165φ ビレットをグラインダー部分疵取りし, 所定の単重に切断後, 据込み, 穴明け, 穴拡げ鍛造を行ない, リング材としたもので, 鍛錬比は約 1/1.2U 2.5E である。

### 3. 調 査 結 果

#### 3.1 型打鍛造材

試験に供した型打鍛造材の機械試験片の採取位置と顕鏡位置を Fig. 1 に示した。

##### 3.1.1 マクロ組織

Photo. 1 に鋼番 A, B の連続鑄造ビレットのマクロ組織を示したが, この組織は高炭素鋼連続鑄造ビレット<sup>4)</sup>に見られるものと同様に, 外周部にチル晶があり, その内側にデンドライトが発達し, 中心に多孔質部がある。165φ ビレットのチル晶の内側に表面に対して直角方向の微細な内部割れが 2, 3 ヶ見られ, 多孔質部も 115φ ビレットのものより大きい。

Photo. 2 に荒地鍛造後および熱処理後の型打鍛造材のマクロ組織を示し, a, c, e は鋼番 B (165φ ビレット) b, d, f は鋼番 A (115φ ビレット), h は鋼塊法によりおのおの製造したものである。荒地鍛造後の横断面 (a, b) と縦断面マクロ組織 (c, d) を見ると 165φ ビレットからのものではデンドライトはほとんど消滅しているが, 115φ ビレットからのものではかなり残存している。ビレット時の中心の多孔質部も 165φ ビレットからのものでは痕跡程度にしか残存していないが, 115φ ビレットからのものでは残存程度がやや多い。またビレット時に見られた微細な内部割れは完全に圧着し疵として残っていない。熱処理後の型打鍛造材でのマクロ組織 (e, f, h) を比較すると, 鋼塊法によるものは明瞭に織

Table 1. Chemical composition (Ladle).

Steel No.	Steel quality	Cast billet size	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)
A	S45C	115 mm φ	0.48	0.25	0.64	0.020	0.017	0.01	0.01	0.04
B	S45C	165 mm φ	0.44	0.27	0.62	0.025	0.022	0.01	0.01	0.04
C	S10C	165 mm φ	0.09	0.23	0.31	0.021	0.014	0.03	0.02	0.02