

ion, 13 (1957) 7, p. 437

- 11) A. R. TROIANO: Trans. Amer. Soc. Metals, 52 (1960), p. 54
- 12) 阪部, 川口, 小野寺: 鉄と鋼, 40 (1954) 3, p. 111

(111) 芯部に非硬化部を有する円柱の熱処理による残留応力

(冷間圧延用作用ロールの研究—V)

日本製鋼所

工博 下田秀夫・○阪部喜代三・松尾治男

On the Residual Stresses of Cylindrical Steel Pieces with Unhardened Core.

(Study on the working rolls of cold strip mills—V)

Dr. Hideo SHIMODA, Kiyozō SAKABE and Haruo MATSUO.

1. 緒言

既報¹⁾のごとく、冷間圧延用作用ロールの残留応力が、ロールの諸特性に与える影響と、その重要性を明らかにしたが、各種の熱処理条件の相異による残留応力の一般的な挙動を知るために、実際のロールを用いて多数の実験を行なうことは、試験に要する時間、経費、あるいは焼割れ、置き割れなどの危険性の点から困難である。したがって実際のロールの模型として、直径 100mm, 0.4% C 鋼の円柱材を用い、熱処理条件、中心孔の有無による残留応力の分布状態の変化を試験したので報告する。

2. 供試材の調製と応力の測定方法

冷間圧延用作用ロールとして使用されるロールの大部分は、胴径 400~600mm 中心孔径 75~100mm 程度のものが多く、材質は 0.7~1.0% C, 1.0~2.5% Cr 鋼が用いられ、必要に応じて若干の Ni, Mo, V などの合金元素が添加せしめられる。また水焼入れ後の焼入硬化層の深さは、およそ 20~25mm 程度である。このようなロールの模型として、直径 100mm, 0.4% C の単純炭素鋼の円柱材を供試材として選択したが、この中点円柱の試験材を水焼入れた場合の焼入硬化層の深さはおよそ 7mm で、実際のロールとの直径の相異による焼入れ時の温度勾配、あるいは材質の相異による熱伝導度、熱膨張率、変態特性などが異なるとしても、ロールの熱処理の際の残留応力の挙動を窺うことはできるものと考えられる。

供試材は、Table 1 のごとき化学成分の、同一溶解のものを用い、熱間で直径 110mm の丸棒に鍛造後、機械加工によつて直径 100mm, 長さ約 400mm の形

Table 1. Chemical compositions of the test pieces. (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.40	0.26	0.21	0.016	0.016	0.11	0.08	0.04

状に仕上げた。熱処理は、加熱の際、表面層の脱炭防止のため、中性雰囲気電気炉を用いたが、加熱保持の温度は $\pm 3^{\circ}\text{C}$ に制御した。また、水焼入れの際の水温は $20^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{C}$ とし、焼入れ中も温度上昇が認められぬ程度大型水槽を用いたが焼戻を実施した場合は、焼戻後炉中緩徐冷とした。

残留応力の測定に当たつては、それぞれの熱処理を行なった後、供試材の端面を約 50mm 切断し、約 300mm の長の試材としたものにつき、Sachs の内周削りの方法を用いて行なつたが、円柱の中心、あるいは内孔面、外周面の応力値は外挿によつて決定した。なお、内周切削の各段階においては、切削熱の発生防止に留意するほか、歪の測定を供試材、歪計とも恒温に保つて行なつた。

3. 焼入温度の影響

3.1 焼入温度が均一分布の場合

中実円柱につき、内外ともに均一に加熱し、焼入温度のみを $700^{\circ}, 750^{\circ}, 850^{\circ}, 900^{\circ}\text{C}$ に変化せしめ、各温度から水焼入れを実施したものの残留応力は、いずれも単純は熱応力型の分布を示し、外周面で圧縮、中心部で引張応力であるが、焼入温度が 700°C より 800°C に上昇するにしたがい残留応力の最高値も上昇する。なお焼入

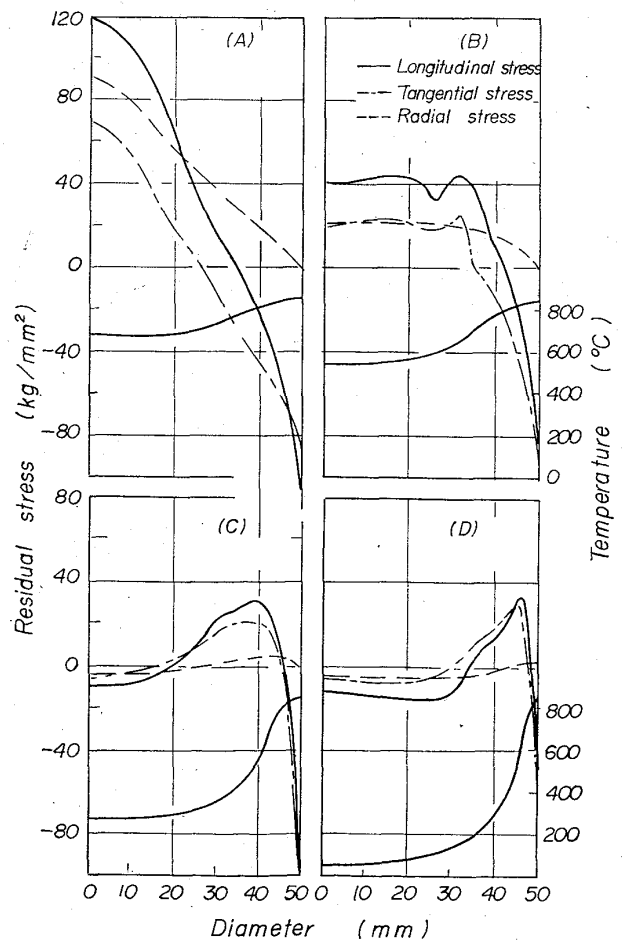


Fig. 1. Residual stresses on the test pieces which shows temperature gradient between inside and outside at quenching.

温度が 850°, 900°C のものは、ほとんど同じ残留応力分布を示した。

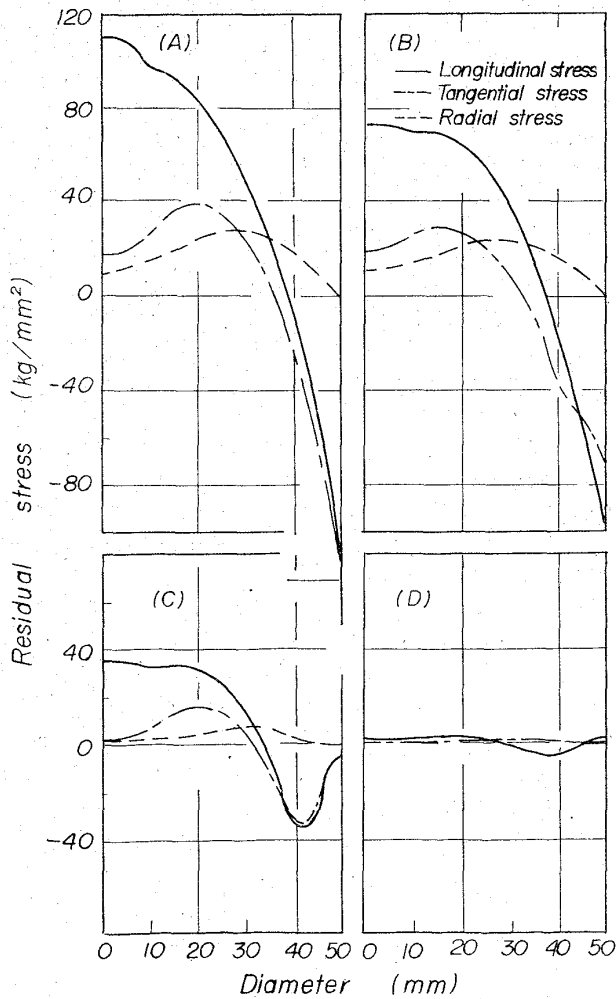
3-2 焼入温度が不均一分布の場合

MG 式 150kW 高周波焼入装置を用いて加熱時間、造り速度を変更して、焼入温度が不均一分布の状態から水焼入れした場合の残留応力の分布を測定した。焼入れ時の供試材の表面温度は 850°~860°C であるが、Fig. 1 に残留応力の測定結果とともに、焼入れの際の温度分布を示した。これより不均一加熱の場合、ある温度分布では均一加熱の場合よりも残留応力の最高値が高く現われることもあるといえるが、全般的には、加熱深度が浅くなるにしたがって、残留応力の最高値は減少するとともに、引張応力の最大点が外周面側に移動し、焼入れ硬化層の直下に現われるようになる。本供試材の焼入れ硬化層は、急速加熱のため完全なマルテンサイト組織を示していないが²⁾³⁾、焼入層の組織の相異による残留応力の分布形状におよぼす作用は、焼入層の深さも浅いことと相まつて小さいものと考えられる。

4. 焼戻温度の影響

4-1 変態点以上の温度から焼入れた場合

変態点以上の 850°C より焼入れた実体円柱を 600°C



(A): as quenched
(B)(C)(D): tempered at 200°, 400°, 600°C, 2hr

Fig. 2. Effect of tempering temperature on the pieces quenched from 850°C.

まで 100°C ごとの各温度段階に 2hr 焼戻処理を行なった供試材の残留応力の分布を Fig. 2 に示すが、100°C の焼戻では応力除去の作用がなく、200°C 以上の温度で顕著に応力を減少し、600°C の焼戻では 5kg/mm² 以下の残留応力となる。

この焼戻過程で興味ある事象は、300°, 400°C の焼戻温度で、焼入硬化層の圧縮応力が引張応力側に大きく反転することである。この現象は、別途に行なつた試験の結果、マルテンサイトのパーライトへの変化にもとづく容積収縮によるものと考えられる。

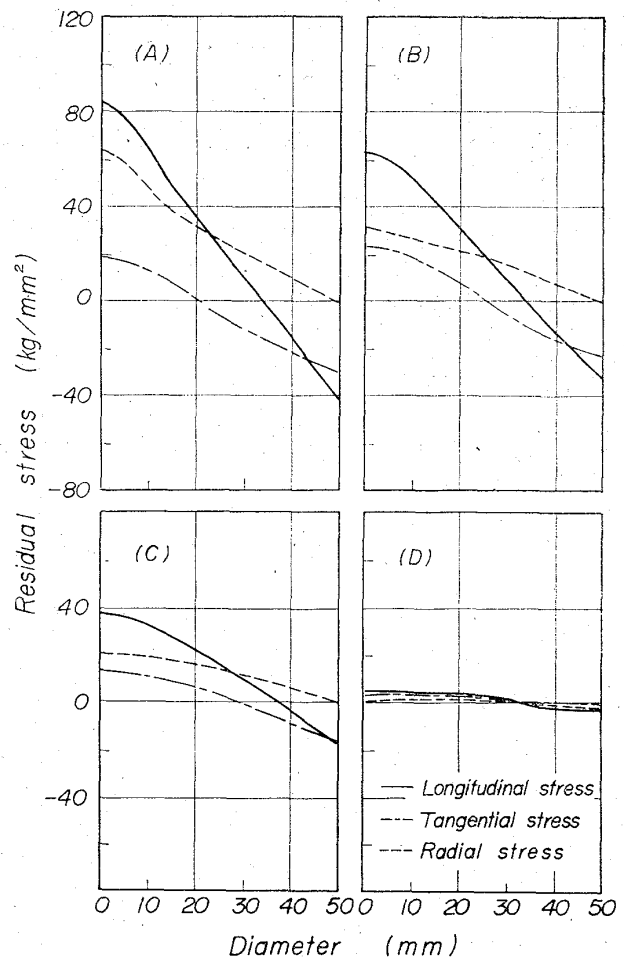
4-2 変態点以下の温度から焼入れた材料

変態点以下の 700°C より焼入れた供試材について、同様の方法で焼戻処理を行なつたものの残留応力の測定結果を Fig. 3 に示す。焼戻温度の上昇とともに残留応力の最高値は、ほぼ直線的に低下し、600°C の焼戻では 5kg/mm² 以下となる。

5. 中心孔を有する場合の冷却法の影響

5-1 外周および中心孔をそれぞれ単独に焼入れた場合

供試材に直径 25mm の中心孔を開けた円筒とし、850°C に加熱した後、それぞれ単独に中心孔および外周より水焼入れを行なつたものについて残留応力を測定し



(A): as quenched
(B)(C)(D): tempered at 200°, 400°, 600°C, 2hr

Fig. 3. Effect of tempering temperature on the pieces quenched from 700°C.

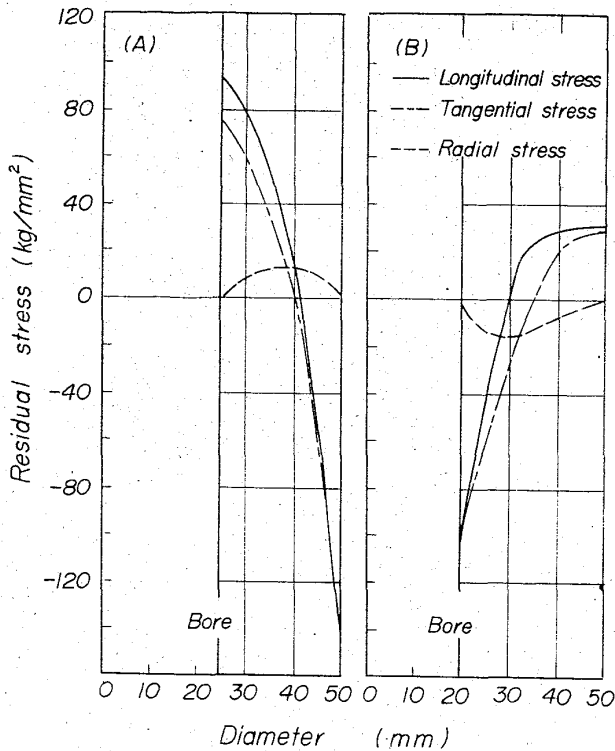


Fig. 4. Effect of bore quenching and external quenching on the bored pieces.

た結果を Fig. 4 に示す。中心孔より焼入れた供試材では中心孔面に圧縮、外周面で引張応力を現わす。また外周面より焼入れた供試材では、中心孔面に引張、外周面に圧縮応力を生ずるが、中実円柱に比べて、その引張、圧縮応力の最大値は、中実円柱のそれよりも大きく現われ、このような熱処理法をとつた場合、中心孔面よりの焼割れ発生の危険性を示唆する。

5.2 内、外周を同時に冷却した場合の中心孔の大きさの影響

円筒の中心孔の直径を 10, 25, 50, 75mm として 850°C より内、外周を同時に水焼入れした場合の残留応力を Fig. 5 に示す。この場合の一般的傾向は、中心孔面と外周面に圧縮応力、肉厚の中央部に引張応力が発生し、中心孔径の増加とともに、引張、圧縮応力の最大値を減少する。しかし、中心孔が小さい場合には、中心孔部よりの冷却効果が小さいため、この部品は圧縮応力に転換せず引張応力が残留する。また、中心孔径がある大きさに達し、肉厚が減少すると、焼入れ硬化層の増加から内周および外周部に変態応力が現われて、この部分の圧縮応力が引張応力側に反転する傾向を示す。

焼割れ防止の点からは、円柱に中心孔を穿ち、内、外周から焼入れることが、材料の中央部の引張残留応力を軽減して有利であるが、中心孔の大きさに制限があつて細孔を開けられぬ時は、この効果はあまり期待できぬから、このような場合は、中心孔のみをあらかじめ強制冷却する、いわゆる pre-bore quenching の方法も必要であろう。

6. 結 言

焼入ロールの熱処理の際の残留応力の一般的挙動を知るため 0.4% C 鋼の小型試材を用い、芯部に非硬化部を

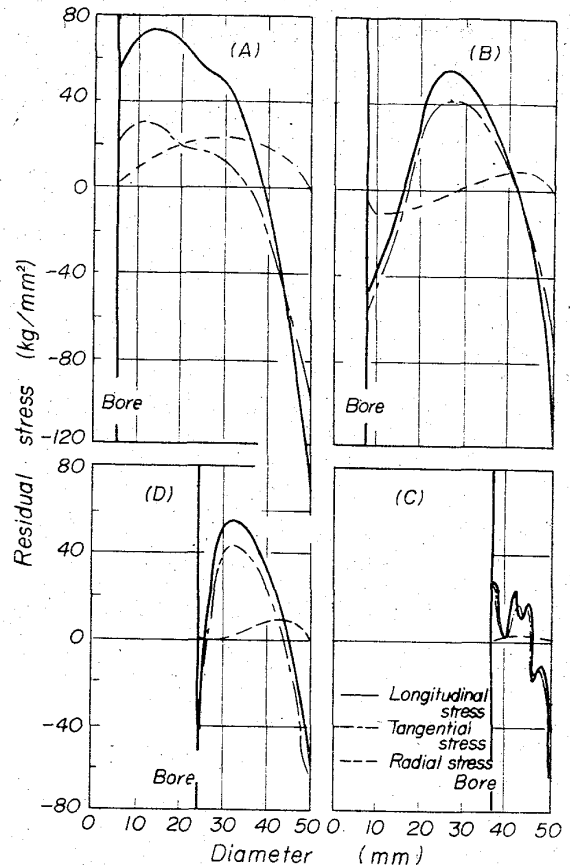


Fig. 5. Effect of the bore diameter at external quenching.

有する場合の残留応力を測定し、熱処理条件、あるいは中心孔の大小による形状の変化との関連を求めた。

焼入硬化層が非硬化部に対して浅い場合の焼入応力は、単純な熱応力型であること、残留応力の軽減の点からは、円筒として焼入れる方が有利なことを知つた。また実際のロールについて実際に行なわれているような 100°~150°C の低温焼戻処理は応力除去の点からは、あまり期待できぬこと、焼入硬化層のマルテンサイトがパーライトへ組織変化するような温度範囲での焼戻の際は、組織変化にともなうような容積収縮によつて残留応力の分布に変化をきたすことなどを明らかにした。

文 献

- 1) 下田, 阪部, 松尾: 鉄と鋼, 50 (1964) 12, p. 2063, p. 2066, 51 (1965) 5, p. 932
- 2) 西村, 山崎, 藤井, 京谷: 水曜会誌, 13 (1959) 10, p. 775
- 3) 西村, 藤井, 京谷: 水曜会誌, 14 (1960) 3, p. 160
- 4) C. WELLS et al.: Trans. Amer. Soc. Metals, 42 (1950), p. 206