

Fig. 5. Relation between bending load and hardness.

若干ながら加熱時間の長くなるにしたがつて、粗大化する傾向を示す。高温硬度計を用い赤熱硬度を測定したが試料 T-a に比較して優れていることが認められた。

(2) 靱性試験

Fig. 3 に抗折力、撓み、硬度と焼戻温度との関係を示す。Fig. 3 より試料 M-b は試料 T-a に比して焼戻二次硬化を示す温度以上に靱性に富んでいる。そのほか焼戻温度の影響としては、焼戻温度の低いほど試料 M-c, T-b とともに靱性に富んでいることが認められた。

Fig. 4 に抗折力、撓み、硬度と繰返し焼戻回数との関係を示す。Fig. 4 より試料 M-c の場合繰返し 4 回まで靱性の増加を示し、試料 T-b の場合は繰返し 3 回にて最も靱性に富むという傾向を示す。この際の熱処理条件を下記に示す。

M-c : 1220°C × 3mm 油冷, 540°C × 1h 空冷繰返し

T-b : 1300°C × 3mm 油冷, 560°C × 1h 空冷繰返し

Fig. 5 に二次硬化現象の起る温度以上の焼戻条件における抗折力と硬度との関係を示す。Fig. 5 より抗折力と硬度との関係は、硬度の低い場合に抗折力は高く、硬度が高い場合は抗折力が低いという定性的関係が得られた。また、二鋼種を比較すると、硬度の低い所では Mo 高速度鋼の抗折力が高いようである。

IV. 結 言

以上高 C 高 V Co 系 Mo 高速度鋼の基礎試料を得る目的で諸性質を調査した結果次のことが判明した。

(1) 焼戻温度 1220°C にて加熱時間を適当に選定し焼戻温度 525°C にて 3 回繰返し焼戻することによつて、HRC 68~70 が得られた。また赤熱硬度は T-a に比較して、600°C まで優れていることが認められた。

(2) 靱性について静的曲げ試験を用い Co 系 W 高速度鋼と比較して行つたが、靱性に富むことが判明した。

(3) 二次硬化現象の起る温度以上の焼戻条件における抗折力と硬度の関係は、一般的に硬度が高い場合は抗

折力が低く、硬度が低い場合は抗折力が高いという定性的結果が得られた。また、二鋼種を比較した場合、硬度の低い所では高 C 高 V Co 系 Mo 高速度鋼の方が抗折力が高いようである。

669.14.018.294.2-424:539.319

(142) 軌条の残留応力について

八幡製鉄技術研究所

63332

工博 合田 進・木村 勲・伊藤昭典

On Residual Stress of Rail. 1529~1531

Dr. Susumu GOHDA, Isao KIMURA and Akinori ITOH.

I. 緒 言

製造工程の各段階から採取した軌条について頭頂面あるいは足裏面にひずみゲージを貼付け、長さ方向に直角な切込みを入れた場合の歪の変化から、残留応力を定性的に求め、製造工程の各要因と残留応力の推移を解析するとともに、実物曲げ疲労強度その他におよぼす影響効果について検討した。

II. 残留応力測定法

軌条の残留応力測定法としては H. MEIER の切出法<sup>1)</sup> M. HELENYI らの X 線法などが発表されているが、今回採用した測定法ならびに測定結果の一部はすでに発表した通りで<sup>2)</sup>、Fig. 1 に示すように 1m 長さの軌条試料の頭頂面あるいは足裏中心部にひずみゲージを貼付けこれを中心に 100mm 間隔の切込を軌条長さ方向に直角に、頭頂面では 0~40mm、足裏面では 0~22mm 深さまで入れた時の歪の変化を連続的に測定し、ある深さで歪量の増大が飽和に達した時、始めて頭頂面あるいは足裏面が完全に開放された状態とみなし、この時の歪量  $\epsilon_{max} = \Delta l/l$  と軌条の弾性係数 E の積から頭頂面あるいは足裏面の残留応力 (それぞれ  $\sigma_h, \sigma_f$ ) を求めた。ただし、 $\sigma_h, \sigma_f$  は頭頂面あるいは足裏面における残留応力であつて、切込深さ方向への分布はこの方法でも求めることはできない。

III. 試 験 材

50N または p.s. 50K 型軌条で、化学成分、圧延後の曲り量その他を Table 1 に示した。

IV. 残留応力におよぼす製造要因の影響

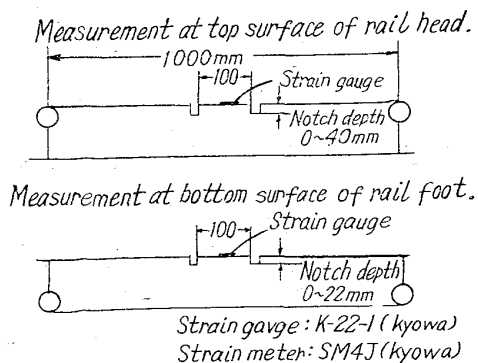


Fig. 1. Method of measurement of residual stress.

Table 1. Materials tested.

Mark	Type of rail	Ch. No.	Position in ingot	Cooling after rolling	Sample	Chemical composition (%)					Treatment of rail	Test
						Camber of rail after rolling	C	Si	Mn	P		
A	50N	H 8950	M	Controlled cooling	25M $\varnothing$ × 4 pieces	15M $\varnothing$	0.67	0.19	0.69	0.013	0.019	① Measurement of residual stress ② Measurement of deflection
						10M $\varnothing$	70					
B	50K	T 55268	M	Air cooling	15M $\varnothing$ × 4 pieces	58/25M	0.72	0.13	0.76	0.017	0.025	① Measurement of residual stress ② Bending fatigue
						T 54						
		H 83895	0.61	0.11	0.76	0.014	0.032					
		H 83895	0.61	0.11	0.76	0.014	0.032					
C	50K	H 99804	B	Controlled cooling	25M $\varnothing$ × 8 pieces	58/25M	0.64	0.16	0.75	0.012	0.023	① Measurement of residual stress ② Bending fatigue
						T 54						
		H 95047	0.67	0.15	0.74	0.012	0.025					
		H 10126	0.64	0.17	0.75	0.013	0.025					
D	50K	H 95047	B	Air cool	7M $\varnothing$ × 1	58/25M	0.67	0.15	0.74	0.012	0.025	① Strain in each position in rail surface during straightening ② Residual stress due to depth affected by heat-treatment
						T 54						
E	50N	H 10126	B	Controlled cooling	5M $\varnothing$ × 5	58/25M	0.64	0.17	0.75	0.013	0.025	① Residual stress due to depth affected by heat-treatment
						T 54						

熱間圧延後の軌条は空冷(また徐冷)後冷間矯正を行つて成品となるが、一部は頭頂部を高周波熱処理、矯正を行ない焼入軌条成品となる。

そこで軌条の製造工程の各段階で採取した試料について残留応力を測定した結果を定性的にとりまとめるとFig. 2のようになる。(ただし上反り、下反りとは、頭頂面が上になるよう置いた場合、上方に向つてそれぞれ凹および凸になる場合をいう。)すなわち、残留応力の符号についてみれば、圧延まま軌条と焼入まま軌条、あるいは焼入後圧迫矯正した軌条は頭頂面が圧縮、足裏面が引張を示し、一方圧延まま軌条あるいは焼入のまま軌条をローラー矯正すれば頭頂面足裏面とも引張となる。

ローラー矯正によつて頭頂面の残留応力の符号が変わり、足裏面ではそのままである点についてはローラー矯正機構、すなわち矯正中の軌条各部の歪の変化と密接な関係があると思われる。

V. 残留応力が軌条材質におよぼす影響

各種処理軌条について、頭頂面に引張荷重がかかるようにした片振り曲げ疲労強度を求め、頭頂面の残留応力との関係を求めてみるとFig. 3のようなほとんど直線的な関係が得られる。

すなわち疲労強度は頭頂面の残留応力

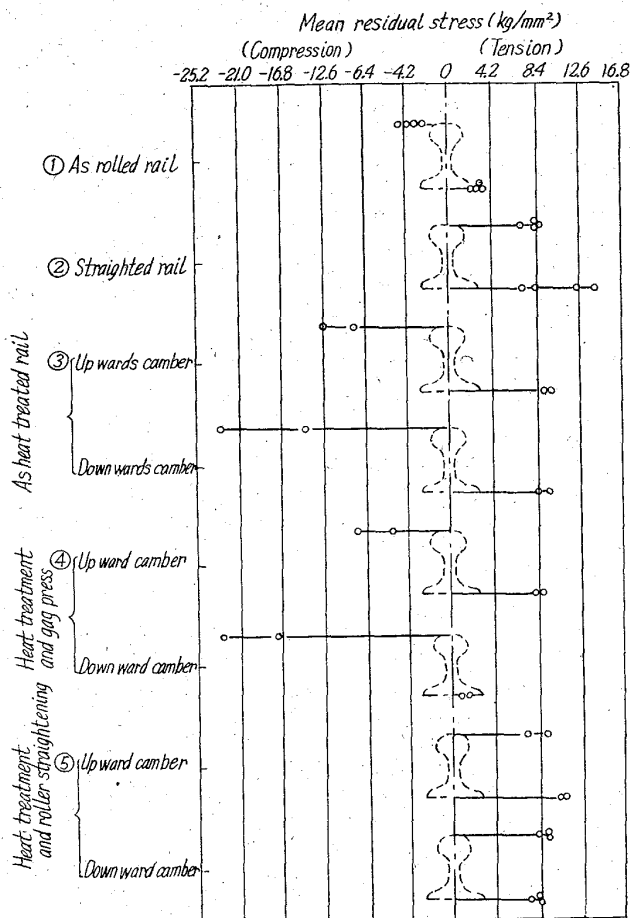


Fig. 2. Test results of residual stress in variously tested rails.

が圧縮側に大きくなるほど高くなり、逆に引張側に大きくなるほど低くなる。したがって、圧延後矯正した軌条は頭頂面が引張であるため、疲労強度は低く、逆に圧延まま軌条は頭頂面が圧縮であるため疲労強度も高くなる。

軌条成品は一定期間敷設後、ゲージコーナーの摩耗が烈しくなると、軌条交換のために取外されるが、この際特に焼入軌条の場合、大きいはね上りを生じることがあり交換作業上支障になることがある。このはね上り現象は軌条成品の頭頂面の摩耗と残留応力の関連において生じる可能性が強い。そこで軌条の頭頂面を平削あるいは頭頂面と足裏面に切入を入れた場合の頭頂面、顎部足裏面の变形歪量を測定し、定性的に曲り傾向を求めた。これらの結果を総括したもので、現行の軌条成品では焼入軌条（焼入後圧迫矯正）ははね上りの傾向があるが、普通軌条（圧延後ローラー矯正）はむしろ下反りの傾向を有するものと推定される。事実、一定期間敷設した普通軌条を軌条交換のため取外してもはね上りはなく、むしろ両端が垂れ下がる傾向のあることが国鉄の保線関係で認められており、この点を実証しているといえる。

### VI. 結 言

今回の一連の調査研究から明らかにされた顕著な点を以下にとりまとめる。

- ① 軌条の残留応力は圧延中および圧延後の断面各部の温度差にもとづく熱歪あるいは仕上圧延後の冷却過程における変態歪によつて生じる。
- ② 発生した残留応力は圧延後の徐冷処理の有無、あ

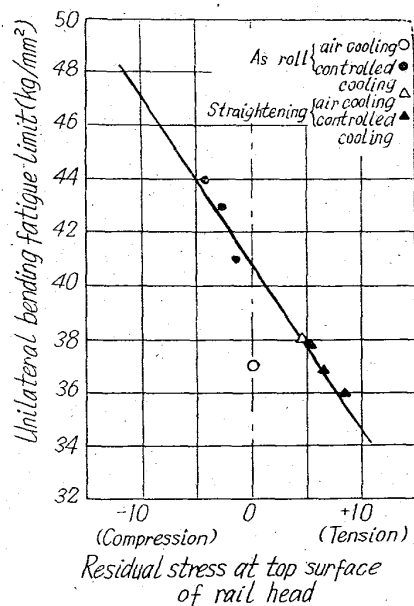


Fig. 3. Correlation of fatigue strength with residual stress.

るいは曲りの程度、冷間矯正、熱処理など製造工程上の諸要因によつて変化する。軌条の頭頂面残留応力についてみると、圧延ままでは圧縮、ローラー矯正で引張、焼入で圧縮、焼入後の圧迫矯正では圧縮のままローラー矯正では引張と推移し、一方足裏面残留応力は常に引張のままである。特にローラー矯正は頭頂面の残留応力を圧縮から引張に変える点でその効果は顕著であるが、これについてはローラー矯正の塑性加工のヒステリシスを考えた場合、矯正過程の最終段階が圧縮の形で終わった点と密接な関連があると考えられる。また熱処理による残留応力の引張から圧縮への変化も、頭部のみを熱処理することによる変態応力、熱応力が組合さつた結果であろう。

③ この種の残留応力は実物曲げ疲労強度にかなり大きな影響を与える。頭頂面に引張り荷重のかかるようにした片振曲げ疲労では頭頂部に圧縮の残留応力を有する圧延まま軌条、焼入まま軌条、焼入後圧迫矯正した軌条は疲労強度も高いが、逆に引張の残留応力を有する圧延後ローラー矯正した軌条、焼入後ローラー矯正した軌条はこれらに較べて低い結果を示している。

④ 一定期間敷設した軌条の交換時におけるはね上り現象は頭頂面の摩耗による残留応力の不均衡に起因すると思われる。現行の軌条成品では焼入軌条（焼入後圧迫矯正）がこの種のはね上りの傾向を有し、普通軌条（圧延後ローラー矯正）ではむしろ両端が垂れ下がる傾向がある。なお焼入軌条でも焼入後ローラー矯正すれば普通軌条と同様に下に垂れ下がり、はね上りの現象は一応防止されるものと推定される。この場合、頭頂面の残留応力が引張に変わるため、疲労強度の若干の低下はまぬがれない。

### 文 献

- 1) H. MEIER: "Eigenspannungen in Eisenbahnschienen" VDI Zeitschrift. 81 (1937) 12, p. 362~363
- 2) M. HELENYI: "Handbook of Experimental Stress Analysis" p. 512~513
- 3) 青木, 木村, 伊藤: "軌条の残留応力におよぼす曲り量, 矯正量の影響" 鉄と鋼, 47 (1961) 10, p. 234~236