

ぞれ 1 回のみの分析値である。

同一検量線を使用して、日を違えた場合の計数値の変動に対しては、測定に先だつて標準試料により補正を行なつて充分であつた。

分析所要時間は試料のセット、3 回計数、計算を行なつて 1 元素あたり 3~5 分である。

(2) 精 度

計数の統計誤差からいうと W, Mo, Co の定量の σ は存在量の 0.40% で、V は 0.56% であるが、検量線の σ はこれより小さく、他の分析法に比較して満足すべきものと思われる。

VI. 結 言

特殊鋼中の諸元素について蛍光 X 線分光法による定量法を研究した結果、共存元素による影響は比較的蛍光分光分析よりも少なく検量線作製は容易であること、分析操作は簡単であり、また精度は充分高く、分析所要時間も短時間であることが知れた。

特殊鋼、超耐熱合金における諸元素特に高含有元素の分析には将来装置の発展と相いまち有効な機器分析方法として活用し得られるとし確信を得た。

(116) 高周波焼入による残留応力の測定について

神戸製鋼所、神戸研究部

西原 守・O中野 平・後藤督高

Measurement of Residual Stress by Induction Hardening.

Mamoru Nishihara, Taira Nakano
and Tadataka Gotō.

I. 緒 言

高速ディーゼルクランク軸のピンおよびジャーナル部は運転時の耐摩耗性を考慮して高周波焼入を施す場合が

多い。この場合高周波焼入を施した部分は表面層に高い圧縮残留応力の生成されることが知られており、著者らも Sachs の方法を用いて、焼入冷却液、焼入深度の影響を入れて焼入部の残留応力分布を測定したが¹⁾、焼境部の非焼入部分には逆に引張残留応力の生成される場合も予想され、事実クランク軸大型疲労試験で高周波焼入を施した時に実体の疲労強度が低下し²⁾、この傾向は漸進式焼入法の場合にいちじるしく、定置式焼入法の場合にその低下が僅少であることを認めた。この現象に対する原因を究明するため、主として焼境部近傍の非焼入部について残留応力測定を行ない、原因究明の手掛りを得たのでそれについて報告する。

II. 供 試 材

供試材は S40C, SCM4, SAE4340 の 3 鋼種を選び、調質処理を施した径 86mm、長さ 200mm の各 2 本ずつの丸棒試験片に、Fig. 1 に示すごとく長さ 55mm だけ局部的に高周波焼入を施したものをを用いた。高周波焼入は 300kVA の鳥養式高周波焼入装置を用いて、漸進式、および定置式の二通りの方法により、深度 5mm に焼入し、170°C 6h の低温焼戻を行なつた。Table 1 に供試材の焼入方法と、焼入深度、硬度の明細を示す。

III. 実 験 方 法

高周波焼入部および焼境部近傍の非焼入部の残留応力を、前者に対しては Sachs の方法により、後者に対しては主として X 線回折法により測定した。Fig. 1 に示すとき測定位置に Sachs 法の場合は、ゲージ長さの 3mm ストレインゲージを貼布し、X 線回折法の場合は表面の機械加工の影響を除くため 30% 硝酸水溶液による腐蝕により深さ 0.11~0.13mm の表面層を除去した後、X 線ビームを照射した。X 線回折法は、Co K α 特性 X 線を試験片の軸中心線を含む平面で、試験片表面に対して 90° および 45° 方向に照射し、背面反射集中法により両方向の格子面間距離 d_{90° と d_{45° との差をもとめ Glocker の式³⁾により応力を計算した。

Table 1. Specimens for measuring of residual stress.

Specimens No.	Type	Induction-hardening condition		Hardening depth		Surface hardness (HS)
		Method	Cooling medium	Heat effected depth (mm)*	Hardening depth (mm)**	
S-1	S40C	Stationary	Water (20°C)	4.4	2.4	83
S-2	S40C	Progressive	Water (20°C)	4.3	2.3	84
C-1	SCM4	Stationary	Hot soap water solution (40°C)	4.9	4.2	83
C-2	SCM4	Progressive	Hot soap water solution (40°C)	4.6	4.3	84
A-1	SAE 4340	Stationary	Hot soap water solution (40°C)	4.8	4.2	84
A-2	SAE 4340	Progressive	Air-blast	4.5	3.2	73

$$\sigma = 2E/(1+\nu) \cdot (d_{45} - d_{90})/d_{90}$$

..... (1)

なお、回折格子面は[310]面を用い、試料とフィルム間の距離は金の回折線で補正した。

IV. 実験結果

1) Sachs法による残留応力測定。

Fig. 1 に示した位置にストレインゲージを貼布して、Sachs の孔ぐり法により残留応力を求めた。この場合焼境部近傍の非焼入部の値については、元来 Sachs 法が試料全長に均一な応力の存在する場合のみに適用されるべきものであり、不均一応力の場合には隣接部の影響が大きく効いてくるので、その値に対してはかかる考慮で以て評価しなければならない。実際に測定した結果で非焼入部はいずれの場合も圧縮応力に対応する歪を示し、期待した引張応力に対応する歪を得ることができなかった。

焼入部の残留応力は、その中央に貼布したストレインゲージの歪変化から求めることができ、その結果をFig. 2 に示した。焼入部断面の残留応力分布はいずれも表面層が圧縮応力、内部で引張応力を示すが、表面の圧縮応力はS40C、SCM4とも、漸進式焼入の方が高くなっている。なおSAE4340の場合に逆に漸進式焼入の方が低くなっているのは冷却にエアーブラストを用いたためと考えられる。

2) X線回折法による残留応力測定

焼境部近傍の非焼入部の残留応力は、Sachs法によつては充分にその挙動を見究め得ないのでX線回折法による測定を試みた。

焼入境界にごく近い部分は回折線がdiffuseで、 $K_{\alpha 1}$ と $K_{\alpha 2}$ の分離が困難であつたが、境界部から遠ざかるにしたがつて漸次明瞭な回折線を得ることができた。X線回折による応力測定法には種々の問題が残されているが、今回は高周波焼入法の差異による残留応力の性質の変化をみることに主体をおいて、得られた結果をGlockerの計算式で求めてみると、Fig. 3のごとき結果を得た。漸進式焼入の場合は、焼入境界から遠ざかるにつれて圧縮応力の値が急激に低下する傾向を示し、SAE4340の場合は逆に引張応力に転じた。定置式焼入の場合は圧縮応力の低下が緩やかで、今回の測定範囲では引張応力

を認め得なかつた。この事実、漸進式焼入によるクラック軸実体の疲労限低下の原因究明に対する一つの手掛りを与えるものと考えられる。

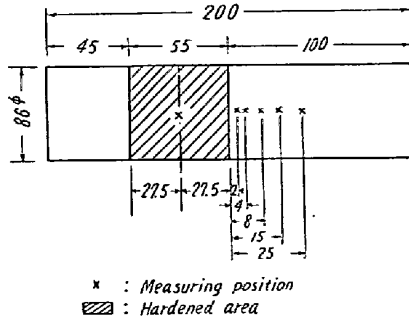


Fig. 1. Stress measuring positions on specimens.

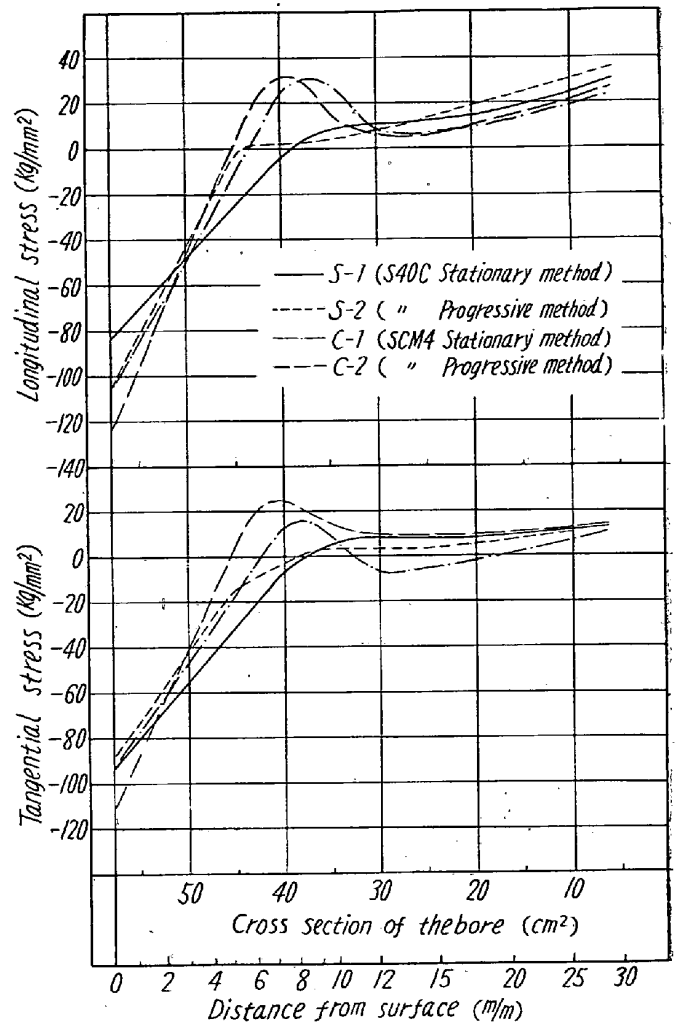


Fig. 2. Residual stresses of sections of hardening parts. (by Sachs method)

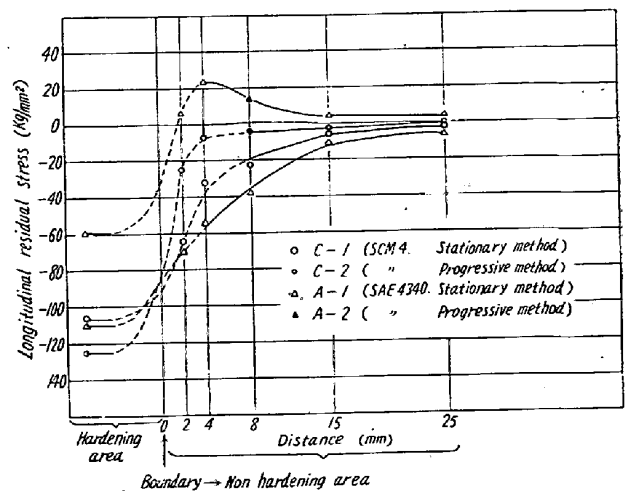


Fig. 3. Longitudinal residual stresses of surface of nonhardening parts near hardening parts. (by X-ray diffraction method)

V. 結 言

漸進式および定置式による局部的に高周波焼入を施した径 86mm の丸棒試験片について、Sachs 法および、X線回折法により焼境部近傍の軸方向の残留応力分布を測定した結果、漸進式焼入法の場合には焼境部近傍の非焼入部に引張残留応力の生成される可能性のある事実を確認し、クランク軸実体の疲労強度が高周波焼入の実施により低下した事実の原因究明に対する有力な手掛りと、クランク軸の高周波焼入法に対する一つの指針を得ることができた。

文 献

- 1) 西原, 他: 金属学会, 昭和 33 年秋季大会において発表
- 2) 西原, 他: 鉄と鋼, 45, (1959), No.3, p. 349

(117) 高周波焼入鋼の残留応力に対する加熱条件, Ar'' 変態の影響について

日立製作所, 亀有工場 本 間 八 郎

Effect of Heating Conditions and Ar'' Transformation on Residual Stress of Induction-Hardened Steels.

Hachiro Homma.

I. 緒 言

高周波焼入用適性鋼種の選択と、各鋼種に応じた適正焼入条件の確立を目的として、3, 10 および 430kC の各種周波数の焼入装置を用いて、急熱オーステナイト化による焼入性¹⁾、焼割感度におよぼす材質 (γ 結晶粒度、

非金属介在物) の影響、焼入残留応力などに関して調査した。今回は 50mm ϕ の炭素鋼軸を高周波焼入した時の残留応力に対する加熱条件, Ar'' 変態などの影響について、純鉄、炭素鋼および純鉄—浸炭試料を用いて実験した。これらの結果について報告する。

II. 実 験 方 法

実験はつぎのごとく 4 通りについて行なった。

実験 1 純鉄および炭素鋼を心部まで完全焼入した場合。

実験 2 炭素鋼軸を各種加熱条件で、高周波一発焼入した場合。

実験 3 浸炭した純鉄軸を高周波一発焼入した場合。

実験 4 上記浸炭純鉄試料の表層に純鉄メッキを施した試料を高周波一発焼入した場合。

各実験に用いた試料、焼入装置および各種測定法を列記すればつぎの通りである。

(1) 試料の化学成分および前処理条件各実験に用いた試料は Table 1 のごとくである。

(2) 焼入装置 実験 2 以下の高周波焼入は 3kC, 300kW の日立製 (MG 式) を用い、誘導子は内径 55 mm ϕ 長さ 110mm の丸形 1 巻コイルを用いた。

(3) 温度分布の測定 焼入時の試料各部の温度分布の測定は、端面より軸方向にあけた 2.2mm ϕ の孔に 0.3 mm ϕ のアルメルクロメル熱電対を挿入し、電磁オシログラフで記録させた。熱接点には Cu 粉を用い、試料との接触を良くするよう留意した。

(4) 残留応力の測定 実験 1 の表面残留応力の測定は Heyn 法により軸方向のみを測定した。この場合は表面より 0.5 mm までの 1 層の平均応力を求めた。実験 2 は Sachs の旋孔法により、表層 1 mm までの軸、

Table 1. Used samples.

	Materials	Chemical compositions					Dimension of samples	Preliminary treatment
		C	Si	Mn	P	S		
Exp. 1	Pure iron	0.0026					10 ϕ $\times$ 100mm/ and 10 ϕ $\times$ 50mm/	850~950°C $\times$ 1 h F.C.
	S 20C	0.21	0.22	0.61	0.023	0.019		
	SK 7	0.63	0.33	0.44	0.017	0.014		
	SK 3	1.02	0.25	0.47	0.015	0.011		
Exp. 2	S 20C	0.17	0.30	0.48	0.010	0.014	50 ϕ $\times$ 100mm/ (Exp. 3 and 4) (are same)	850°C $\times$ 1 h O.Q. 650°C $\times$ 2 h O.Q.
	S 35C	0.35	0.23	0.70	0.017	0.027		
	S 45C	0.46	0.30	0.56	0.019	0.018		
	S 55C	0.51	0.23	0.67	0.015	0.019		
	Materials	Carburizing condition		C content of case (%)			Case depth (mm)	
Exp. 3 and 4	Pure iron	C.P. 0.9 gas 930°C $\times$ 5h		0.65			0.5	
	"	" 930°C $\times$ 11h		0.88			1.5	
	"	" 930°C $\times$ 29h		0.92			2.5	