

123

塑性変形した炭素鋼に生ずる残留応力の磁氣的測定

船舶技術研究所

安福精一, 滝沢千嘉子

1 まえがき

残留応力の非破壊測定法の1つに、X線を利用したものがあり、1軸の塑性変形を受けた材料では、巨視的な意味での平衡条件を満足しない残留応力が測定されることが知られている。今回、被測定物の磁気ひずみ効果を利用して、それに作用している応力を非破壊的に測定する磁氣的応力測定法を、1軸引張塑性変形をした鋼材に適用して、X線の場合と同様に除荷後の全断面にわたって大きな圧縮応力が測定された。

2 残留応力の磁氣的測定法

応力が作用している鋼板は、磁気ひずみ効果のために、磁氣的な異方性を示す。磁界の小さい場合、引張応力方向に磁化しやすく、垂直方向には磁化しにくくなる。この磁氣的異方性を検出して応力を測定する装置を試作した。プローブは4本足を有し、対角に向い合う対に、それぞれ励磁および検出コイルを巻いてある。励磁コイルに交流(1 kHz)を流し、検出コイルに誘起される電圧を励磁電圧に同期させて整流し、出力電圧を得る。応力が作用している鋼板上で、このプローブをゆっくり回転させると、出力は180度を周期とするsin曲線となる。出力が最大、最小の方向が主応力方向に、その値は主応力差に対応する。

3 実験方法および結果

市販の鋼板 SS-41, S45C, および純鉄を平行部 5 × 25 × 70 の引張試験片に機械加工し、真空炉で 600°C の時間の焼鈍をおこない炉冷した。試験片中央部に塑性ひずみゲージを貼り、その表面に上記の応力測定用プローブを取りつけて、オルセン式引張試験機で塑性域まで変形させながら、ひずみ、応力、プローブ出力の関係をレコーダに書かせた。変形過程の途中で荷重を零まで降ろし、残留応力の推移を調べた。S45C についての例を図-3 に示す。これを応力とプローブ出力との関係に書きなおしたのが図-4 である。

塑性変形の初期、リューダス帯がプローブの足の下に達した時、出力が異常になるが、加工硬化が始まると、出力はほぼ一定となる。荷重を下げるとプローブ出力は零を通過し、負の値を示すようになる。これは圧縮の残留応力が生じた事を示している。ひずみが大きく



図-1 応力測定用プローブ

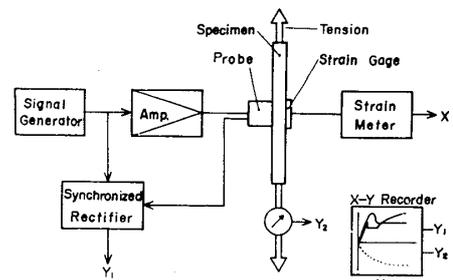


図-2 測定装置のブロック図

表-1 試験片の化学成分(%)

	C	Si	Mn	P	S
純鉄	0.01	0.07	0.12	0.016	0.014
SS41	0.12	0.29	0.46	0.010	0.026
S45C	0.49	0.32	0.76	0.076	0.025

なるにしたがって、この圧縮の残留応力に飽和の傾向がみられるようになる。

引張試験後、試験片内部の応力を測定するために、電解研磨で表面層を取り除きながら、磁気およびX線による応力測定をおこなった結果が図-5 に示してある。表面除去による応力解放の補正はほどきしていない。板厚が $\frac{1}{2}$ の面で試験片を縦断して、その面について残留応力を測定したが、磁気的にもX線的にも表面で得られた値とほぼ同じであった。X線応力測定は $G_{K\alpha}$ 線の鉄 $\{211\}$ 面からの回折をカウンタ法で記録紙に書かせ、入射角4種の $\sin^2\psi$ 法によった。弾性定数は $E = 21,000 \text{ kg/mm}^2$ 、 $\nu = 0.28$ を用いた。

純鉄、SS41 および S45C について、 ψ が約10%における残留応力を磁気的およびX線的(表面下約 100μ の面上の応力)に求めた結果を表-2 に示す。これらの応力は、 600°C 2時間の焼鈍で消失する(図-6)。

4 考察

塑性変形後、磁気的に観測される残留応力は試験片の表面から内部にわたりほぼ一定であり、断面上では巨視的意味での応力の平衡条件を満足していないように見える。この残留応力は、試験片の炭素含有量が増えると急激に増加することなどから、応力が磁性的異なるフェライト相や、セマンタイト相等の異相間でミクロ的に平衡を保っており、磁気 ψ が感度が高く降伏点の低いフェライト相の情報のみが強く検出されるために、応力の平衡条件を満足していない様に観測されるものと思われる。同じフェライト相の情報を得ている磁気的およびX線的測定値間の大きな差異の原因は今のところ不明である。

参考文献

J. IWAYANAGI and S. ABUKU and C. TAKIZAWA : sixth International conference on nondestructive Testing (1970)(Report No. 64) 39.
 S. ABUKU and B.D. CULLITY : Experimental Mechanics (May 1971) 271.
 吉永 他 : 機械学会 229 回 講演論文集 (1972-11) 28.

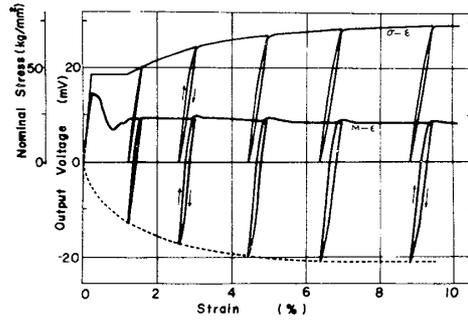


図-3 応力およびプローブ出力とひずみとの関係

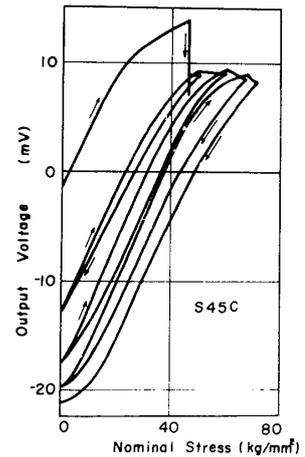


図-4 応力とプローブ出力との関係

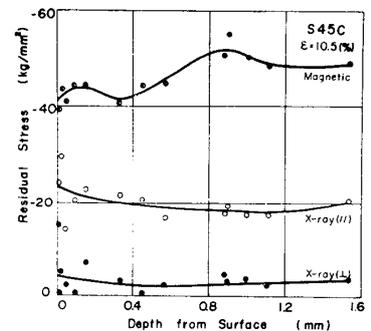


図-5 厚さ方向の残留応力分布

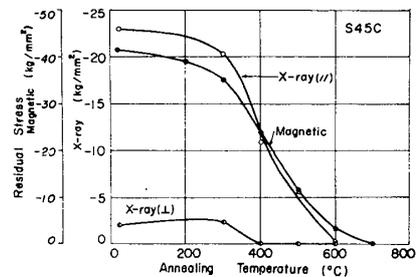


図-6 残留応力の焼鈍による変化

表-2 残留応力 (kg/mm²)

	磁気的測定		X線の測定	
	$\sigma_{\parallel} - \sigma_{\perp}$	σ_{\parallel}	σ_{\perp}	$\sigma_{\parallel} - \sigma_{\perp}$
純鉄	-4.0	-2.4	1.7	-4.1
SS41	-13.8	-4.9	-2.0	-2.9
S45C	-45.6	-22.8	-7.3	-15.5

σ_{\parallel} : 引張変形方向に平行な応力
 σ_{\perp} : 引張変形方向に垂直な応力