908 機械構造用鋼の磁歪特性の応力依存性

Stress Effect of Magnetostriction on Structural Steel

○ 永山 宗俊 (法政大院) 正 崎野 清憲 (法政大)

Munetoshi Nagayama, Hosei University, Kajino-3, Koganei, Tokyo

Kiyotaka Sakino, Hosei University, Kajino-3, Koganei, Tokyo

Key Words : Magnetoelastic Interaction, Magnetostriction, Stress Dependence of Magnetostriction

1. はじめに

強磁性体に見られる磁気弾性効果いわゆる磁歪を利用した構造部材の非破壊検査法が研究されている⁽¹⁾⁽²⁾。これは外部応力によってその磁気弾性効果が変化する原理を利用し、構造部材に発生している残留応力や、組織の劣化を予測しようとするものである。ここでは強磁性材料である一般構造用圧延鋼材のSS400と機械構造部品として用いられるマルエージングスチールを対象に、その磁歪特性の応力依存性を材質の違いだけでなく、内部組織の違いとともに、比較、検討した。

2. 磁歪

Fig.1 に示すように磁性材料に外部磁場 (H) を与えると、磁区と磁区との境界である 90° 磁壁が移動し、Fig.1 (b), (c) に示すように外部磁場に垂直な方向の磁場は平行な方向への磁場へと変化する。その結果、全体の磁化が進行し磁歪と呼ばれる機械的なひずみが生じる。さらに強い磁場を作用させると、Fig.1 (d) に示すように外部磁場方向に磁区磁化の回転が生じ、磁歪は減少する。

Fig.1 Domain reorientation and rotation of domain magnetization⁽³⁾

3. 実験

3-1. 試験片

試料はSS400 およびマルエージングスチールを用いた。両者とも丸棒から切り出し、標点間の平行部長さ74mm、幅12mm、厚さ6mmの形状に仕上げた。SS400は 900°C 、1時間の焼きなまし処理を行ったものと行わないものをそれぞれ用意した。また、マルエージングスチールは 400°C 、3時間で時効処理を行ったものと時効処理を行っていない溶体化処理のものをそれぞれ用意した。

3-2. 実験装置

荷重負荷装置は50kNの万能型引張り試験機(島津製作所製)を用い、試験片の磁化は電磁石(巻き数:2200×2、銅線直径:0.75mm、磁極間距離:62mm)を用いた。電磁石は東邦電気株

式会社製で最大1.8T(テスラ)の磁束密度を発生することができ、磁束密度の測定にはテスラー計を、磁歪の測定には2枚の半導体ひずみゲージ(ゲージ率約120)を用いた。Fig.2に実験装置の概略図を示す。

3-3. 実験方法

引張り試験機により試験片に単軸応力を負荷し、各負荷状態で交流消磁を行った後に磁場の強度を増加させ、磁歪曲線を測定した。交流消磁を行うのは残留磁場を取り除くためである。外部磁場は電磁石で与え、磁場の強度は電磁石に流す直流電流を制御することで変化した。磁束密度はテスラー計を用い、電磁石と試験片の間にテスラー計のプロブをはさみ測定した。微小な磁歪を精度よく測定するため、半導体ひずみゲージを用い、磁化方向の磁歪を測定した。その際、曲げの影響を避けるため、ゲージは試験片中央部の表裏両面に貼り付けた。

試験片へのそれぞれの負荷応力は5, 10, 20, 50, 100, 200MPaであり、磁束密度は電磁石に流す直流電流を0~2.8Aに変化させることで約0~1.5Tに制御した。

Fig.2 Schematic diagram of the Experimental equipment

4. 実験結果および考察

Fig.3に、焼きなまし処理を行っていないSS400のそれぞれの負荷応力に対する磁束密度-磁歪曲線を示す。負荷応力200MPaの場合を除けばおおむね磁束密度の増加とともに磁歪は増加し、約0.3Tで極大値を示した後、単調に減少している。また、負荷応力が大きいほど磁歪ならびにその極大値は小さく、負荷応力200MPaではほとんど極大値を示さず減少している。磁歪が極大値を示すのは低磁場領域における 90° 磁壁の移動による正の磁歪から磁区磁化の回転による負の磁歪へ移行したためと考えられる。また、負荷応力の増加に伴い磁歪ならびにその極大値が減少するのは、応力の増加により 90° 磁壁の移動量が減少し、

その結果負の磁歪を生じる磁区磁化の回転が支配的になったものと考えられる。

Fig.4 に溶体化処理後のマルエージングスチールのそれぞれの応力に対する磁束密度-磁歪曲線を示す。SS400 と比べ、同一磁束密度に対する磁歪はかなり大きい。また、磁歪は磁束密度とともに増大するが、磁束密度約 1T 付近からほぼ水平となる。SS400 のように負の磁歪への移行がないのは、マルエージングスチールは磁壁移動による磁歪は発生するが、磁区磁化の回転による磁歪はほとんど発生しないためと考えられる。

Fig.5 に焼きなまし処理を行った SS400 の磁束密度-磁歪曲線を示す。曲線の形は焼きなましを行っていない場合とほぼ同じ傾向を示すが、磁歪の極大値は小さくなっている。これは焼きなまし処理によって転位密度が減少し、負荷応力による 90° 磁壁の移動が容易になったためと考えられる。また、Fig.3 における負の磁歪曲線と比べた場合、その磁束密度依存性にほとんど違いがないことから、焼きなましによる内部組織の違い、例えば転位密度の違いは磁区磁化の回転には影響を与えないと思われる。

Fig.6 に時効処理したマルエージングスチールの磁束密度-磁歪曲線を示す。Fig.4 の曲線の形と比べ、時効処理による影響は顕著に現れないが、磁歪は時効処理した方が大きく現れている。これは、時効処理により合金元素が金属間化合物として析出したために、外部負荷応力が 90° 磁壁の移動に対し、有効に作用していないためと考えられる。

5. 結論

SS400 ならびにマルエージングスチールにおける磁歪の応力依存性は顕著に現れた。また、同一磁束密度に対する磁歪はマルエージングスチールの方が大きい。

SS400 の磁歪は磁束密度の増加に伴い正から負へ移行することにより極大値を示したが、マルエージングスチールには正の磁歪のみが現れた。転位や析出粒子による内部組織の変化は磁区磁化の回転よりも 90° 磁壁の移動に影響を与えると思われる。

Fig.3 Relation between magnetostriction and flux density in magnetization direction for SS400 (no annealing)

Fig.4 Relation between magnetostriction and flux density in magnetization direction for Maraging Steel (no aging)

Fig.5 Relation between magnetostriction and flux density in magnetization direction for SS400 (annealing)

Fig.6 Relation between magnetostriction and flux density in magnetization direction for Maraging Steel (aging)

参考文献

- (1) Jiles, D.C., NDT Intl., 21-5(1988), 311
- (2) 山崎友裕・他 3 名, 機論, 62-594 A(1996), 408
- (3) 近角聡信, 強磁性体の物理(下), (1984), 1