

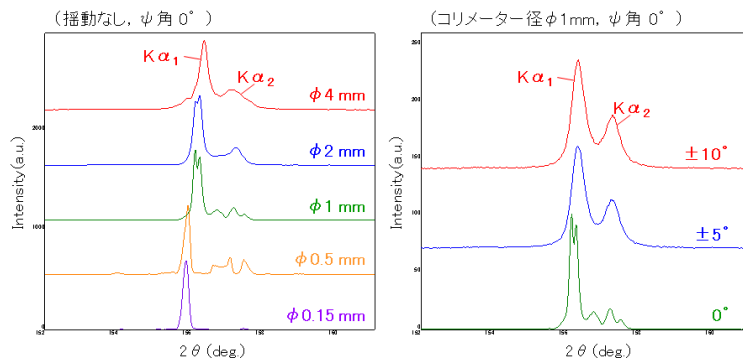
粗大結晶粒を有する電磁鋼板の残留応力の評価

はじめに

電磁鋼板、アルミ合金、ステンレス鋼、溶接部材、鋳造材など、多くの金属材料において数10 μm を超える大きな結晶粒(粗大粒)が形成されることがあります。一般に、これらの材料の残留応力をX線で評価することは難しいと言われてきました。その理由は、単結晶化した粗大粒では連続的なデバイ環が形成されず、回折線がスポット状になるためです。従って、多結晶体としての滑らかな回折プロファイルを観測するためには、X線回折に寄与する結晶子の数を増やしてプロファイルを平滑化する必要があります。この回折に寄与する結晶子の数を増やす方法として次の2つの測定方法が知られており、1つはコリメーター径を大きくして試料に対するX線照射面積を大きくする方法、もう1つは試料に対するX線の入射角度をある角度範囲で変化させる「揺動」という方法です。ここでは、粗大結晶粒を有する電磁鋼板を用いて、これら2つの方法の応力測定に対する効果について評価しました。

測定・解析例

図1-(a)に示すように、結晶粒径が約20 μm の電磁鋼板に対して、揺動せずにコリメーター径を $\phi 0.15\text{ mm}$ から $\phi 4\text{ mm}$ まで5段階で変化させて測定した結果、 $\phi 1\text{ mm}$ 以下では回折プロファイルが凹凸に分裂し、 $\phi 2, \phi 4\text{ mm}$ でも $K\alpha_1$ 線と $K\alpha_2$ 線による2つのピークの強度比が理論値の2:1から大きく乖離して、いずれのコリメーター径でも正確な応力値を求めることができませんでした。一方、図1-(b)に示すように、コリメーター径を $\phi 1\text{ mm}$ に固定して揺動幅だけを変えると、 $\pm 5, \pm 10^\circ$ では $K\alpha_1$ 線と $K\alpha_2$ 線によるピーク強度比も理論値と良く一致し、滑らかなプロファイルが観測されました。従って、これら2つの効果を比較すると、X線の照射面積よりも揺動幅を拡げた方が、より効率的に回折に寄与する結晶子が増えてプロファイルを平滑化できることが分かりました。



(a) コリメーター径を変えたとき (b) 揺動幅を変えたとき

図1 コリメーター径と揺動幅を変えたときの回折プロファイルの比較

表1 結晶粒径が約20 μm の電磁鋼板に関する残留応力測定結果

コリメーター径	揺動幅	応力値 \pm 信頼限界値 (MPa)		判定	コリメーター径	揺動幅	応力値 \pm 信頼限界値 (MPa)		判定
		長手方向	短手方向				長手方向	短手方向	
$\phi 0.15\text{ mm}$	$\pm 0^\circ$	—	—	×	$\phi 2\text{ mm}$	$\pm 0^\circ$	260.00 ± 218.38	-82.99 ± 57.06	Δ
	$\pm 5^\circ$	217.54 ± 21.33	-67.50 ± 26.39	○		$\pm 5^\circ$	240.02 ± 16.22	-35.20 ± 24.09	○
	$\pm 10^\circ$	211.45 ± 19.92	-62.53 ± 25.21	○		$\pm 10^\circ$	241.24 ± 13.22	-32.61 ± 23.86	○
$\phi 0.5\text{ mm}$	$\pm 0^\circ$	—	—	×	$\phi 4\text{ mm}$	$\pm 0^\circ$	203.51 ± 77.50	-14.39 ± 65.35	Δ
	$\pm 5^\circ$	273.00 ± 18.41	-59.58 ± 36.45	○		$\pm 5^\circ$	234.05 ± 21.03	-42.02 ± 20.24	○
	$\pm 10^\circ$	246.87 ± 17.72	-44.65 ± 28.30	○		$\pm 10^\circ$	230.03 ± 11.62	-36.77 ± 22.25	○
$\phi 1\text{ mm}$	$\pm 0^\circ$	—	—	×					
	$\pm 5^\circ$	248.35 ± 15.11	-41.12 ± 31.73	○					
	$\pm 10^\circ$	247.44 ± 9.91	-33.68 ± 28.40	○					

試料ご提供 : JFEスチール株式会社 様

推奨装置

▶ 微小部X線応力測定装置 AutoMATE II

測定条件 : X線源:Cr管球, 測定法: $\psi 0$ 一定法, 測定反射: $\alpha\text{Fe}(211)$, 無歪回折角: 156.40° , ψ 角: $0 \sim 45^\circ$, 計数時間: $10 \sim 200\text{ sec}$.

ヤング率: 223300 MPa , ボアソン比: 0.28 , 応力定数: -318 MPa/deg