

工業用鑄造製品の残留応力測定法の開発

(粗大結晶粒組織 A 1 合金鍛造部品 T 6 処理材の中性子残留応力測定法の検討)

利用者 今瀬 肇¹、寺門一佳²、友田 陽³

所属 ¹茨城県企画部、²(株)日立製作所、³茨城大学

背景

結晶粒の粗大な組織を有する鑄造製品や熱処理製品の残留応力を測定したいという要求が産業界には多いが、通常の方法では精確な測定が困難である。応力主軸が予想できる場合には、3つの主軸方向の線ひずみを測定し、巨視的応力に換算する適当な弾性係数(回折弾性係数)が与えられれば、次の式より応力状態を同定することができる。

$$\sigma_{xx} = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \left\{ (1-\nu)\varepsilon_{xx} + \nu(\varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}) \right\}$$

しかし、測定空間(ゲージ体積)内に十分な数の結晶粒が存在しないと、希望する方向の回折強度がえられないことが起こる。このような場合の対応策として、測定方向からある角度範囲で試料を傾けること(揺動法)が考えられる。揺動角度を大きくするほど回折の対象となる結晶粒が増えるのでプロファイルの統計精度が上がる反面、線ひずみが真の主ひずみの値から変化する(揺動角度が小さければ変化は無視できる程度であり、またある程度補正することも可能である)。揺動角度と結晶粒の大きさおよびゲージ体積の間には相互関係があると予想されるので、結晶粒径が数100 μmのT6処理自動車用Al-Si合金部品を用実験を行って検討した。

実験試料および方法

先の報告⁽¹⁾では420~430の温間鍛造で製造したAHS2材エンジン用小型部品中心部の近くの残留応力を中性子回折法で測定し、引張静水圧が存在することを示した、この試料を495で2時間保持後60温水中焼入れの溶体化処理後、180で8時間時効後空冷(T6処理)した。中性子残留応力測定方法も先の報告とほぼ同じである。熱間鍛造状態の測定では問題は生じなかったが、T6処理材の場合は通常法では測定できなかった。これは溶体化処理によって結晶粒が成長したためと予想された。そこで本来の測定方向(主軸と推定される3方向)から最大5.0度まで両方向に試料を揺動し0.5度おきに4つの回折面について測定した。

実験結果および考察

最大回折強度の揺動角依存性を図1に示す。図から明らかなように回折の得られる方向が不規則に現れ、4つの面でも異なる角度依存性が見られる。顕微鏡観察の結果から測定体積内に存在する結晶粒は数10個に過ぎないと推定されるので、測定する方向によってはゲージ体積内に結晶粒が存在しないと考えられる。

そこで、±0.5度から±5.0度まで順次、回折プロファイルを重ねて集めたプロファイルの中心角度を求めると図2のようになった。図をみると±3.0度以降で一定値に収束する傾向がみられた。

図2でみられる傾向は3つの測定方向の4種類の測定面でほぼ同じ傾向がみられた。径方向に関する例を図4に示す。線ひずみの測定方向に伴う変化を考えると揺動角度はできるだけ小さいほうが好ましいので、全体を眺めて本実験試料の粒径の場合には±3.0度でほぼ安定した値が得られ、適当と思われる。

揺動なしで回折強度が低い状態のプロファイルから面間隔を求めると当然ながらバラツキが大きい。図4は揺動法で収束した(hkl)面間隔から形式的な格子定数に換算して測定方向および測定面の影響を比べた図である。3つの測定方向に関してKronerモデルから予想される回折ヤング率の大きい順番に並べてあるので、理想的には右上がりの傾向が期待される。図をみるとaxial方向を除いてそのような傾向がみられる。格子面間隔の変化から線ひずみを求め、前出のフックの式に代入すると図5の結果が得られた。この結果は、先の報告のような熱応力状態を示しているので妥当な結果と考えられる。試みに揺動法なしの場合の結果から応力を計算すると図6のようになり、測定方法に問題があることがわかる。

結論

粗大結晶粒を有する部品の残留応力測定には揺動法が有用であった。

必要な揺動角度はゲージ(照射)体積内の結晶粒数のある値以上にすることがある。

文献：(1) 寺門一佳ほか：材料学会第54期学術講演会論文集(仙台)2005年, pp.165-166

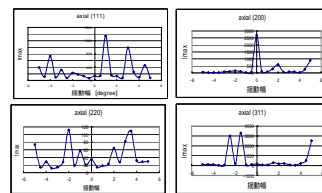


図1 回折強度の揺動角による変化

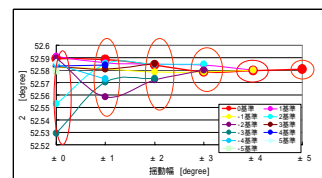


図2 回折プロファイルを重ねあわせた後に求めた回折角度の変化(軸方向(111))

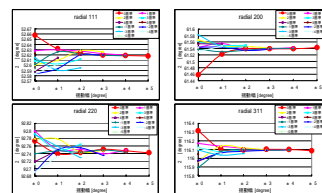


図3 軸方向における3種類の回折面における揺動角増加に伴う収束状況

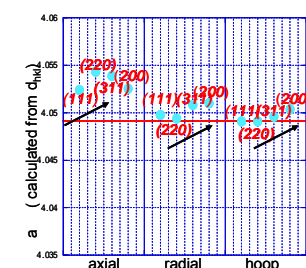


図4 格子面間隔から換算した格子定数の測定方向と格子面依存性

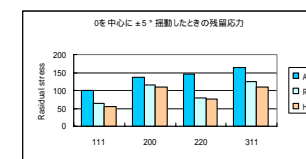


図5 揺動法を用いた場合の残留応力の結果

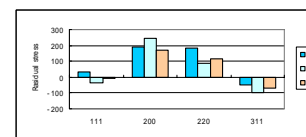


図6 従来法で測定した残留応力の結果