

表面処理膜の残留応力を測定する新技術とその応用事例 —2次元X線検出器による応力測定—

機械金属部 ○鷹合滋樹 安井治之

1. 目的

表面処理膜の密着力には、被膜に生じた残留応力が大きく影響していることが知られており、これを測定する手法に、X線をを用いた方法がある¹⁾。表面処理膜は特有の結晶配向性をもつことから、一般に使われるX線検出器(0 または 1 次元式)ではデータが得られる場所が限定され、測定が難しい²⁾。

本研究では、近年注目されてきた 2 次元 X 線検出器を、金型の表面処理に使われる炭化チタン(TiC)膜の残留応力測定に応用し、有効性を検討した。

2. 内容

2.1 2次元X線検出器による応力測定

本測定では、図 1 のように、試験片に X 線(Cu-K α 線)を照射し、結晶面で跳ね返ってくる X 線の位置を 2 次元検出器で測定した。X 線の照射径は 0.8mm である。試料に対する X 線の入射角度を変えながら複数回測定することにより、残留応力が算出できる³⁾。

図 2 に得られた X 線回折環像を示す。結晶配向性をもつ TiC 膜は、同一リング内の強度分布が不均一(場所によって明るさが異なる)となる。従来の 1 次元方式による測定では、図 2 の枠線の部分しか測定できず、その結果、図 3 に示した X 線回折強度波形のように TiC 膜のピーク強度が部分的に小さくなる。2 θ =42 度付近の TiC 膜のピークは理論上、最大強度が得られる。このような場合、結晶の歪み状態が決定できず、応力の計算が困難となる。一方、本研究の 2 次元検出器を用いる手法では、見えている場所の回折環のデータを用いることにより、応力計算に必要なピーク位置の測定精度を高めることができる。

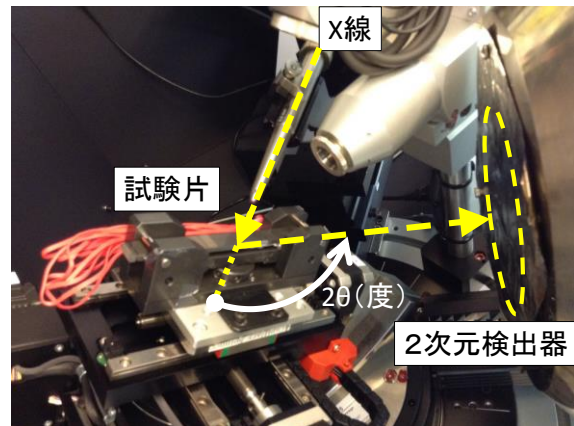


図 1 X線法による応力測定の外観

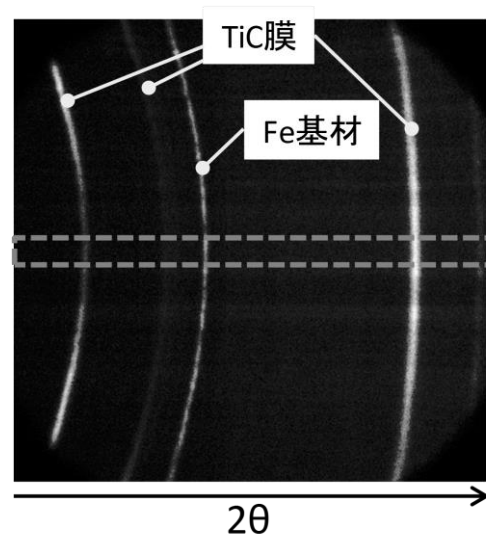


図 2 2次元検出器で撮影した回折環像

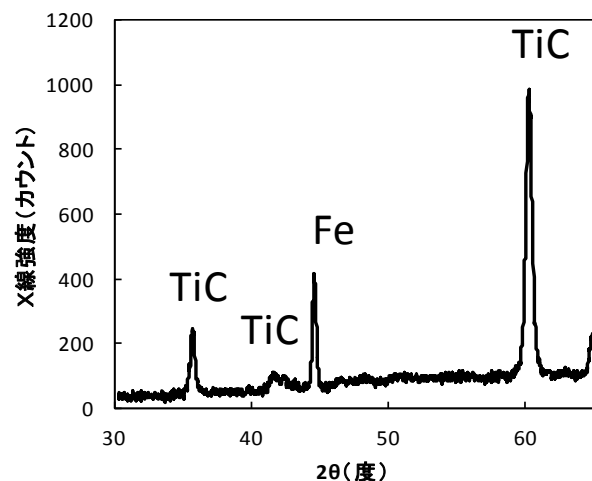


図 3 1次元方式で表した X 線強度波形

2. 2 測定手法の検証

2. 2. 1 実験方法

試料は、ドライプロセス(乾式めっき)の一つである CVD(化学的蒸着)法により成膜した TiC 膜(膜厚 3 μ m)であり、基材は鉄鋼材料である。本膜は冷間鍛造金型やプレス金型のかじり防止のためによく用いられている。試験片は、図 4 に示すように、10 \times 140 \times t3mm の板材の表裏にコーティングした。検証では、残留応力および引張負荷を与えた場合の応力を測定した。なお、負荷応力を測定するために、X 線照射面の裏側には、ひずみゲージを貼り付けた。



図 4 試験片の外観

2. 2. 2 測定応力の検証結果

図 5 は X 線で測定された応力と負荷応力の関係を示している。ここでは比較として、従来の 1 次元法で測定したデータも併記した。2 次元法(本法)の場合、負荷応力に対して測定応力も安定して増加しており、その変化量は与えた負荷応力とほぼ等しく、本手法の妥当性を示している。これに対して、1 次元法の場合、測定値のバラツキが大きく、信頼性が不十分であることがわかる。

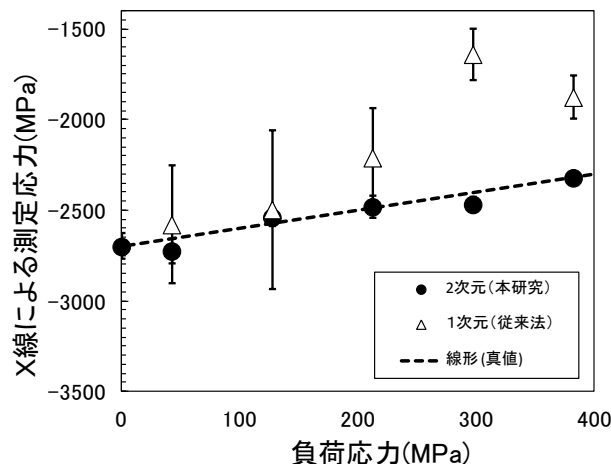


図 5 X 線による測定応力と負荷応力

また、図中の負荷応力 0 の測定値は TiC 膜の残留応力を示している。これは成膜時に膜-基材間の機械的性質および熱膨張係数の差異によって発生しているものと考えられる。一般に、CVD 法で製造した膜は圧縮の残留応力が発生し、これがはく離しにくくしていると言われている。本試験片の場合、約 2700MPa の比較的大きな値であることが確認された。このように 2 次元検出器を用いることにより、従来測定が難しかった配向性の強い表面処理膜の X 線回折像が広域で得られ、さらに残留応力も信頼性の高いデータが得られることがわかった。

3. 結果

- (1) 鋼材表面の TiC 膜に対して、引張負荷を与えた際に、2 次元 X 線検出器を使って求めた応力と負荷応力の変化量では、良い一致が得られた。
 - (2) 2 次元検出器を使用することで、従来の 1 次元法よりも高精度に膜の残留応力を求めることができた。また、CVD 処理した鋼材表面に生じた TiC 膜の残留応力は圧縮であり、密着力を高める上での指標として今後の活用が期待できる。
- 最後に試験片のご提供をいただいたフジタ技研株式会社様に感謝します。

参考文献

- 1) JIS B2711 : 2013 「ばねのショットピーニング」
- 2) 「残留応力の X 線評価」田中啓介, 鈴木健二, 秋庭義明, 養賢堂, p. 217, 2006.
- 3) DIN EN(ドイツ工業規格英訳) 15305:2009 「非破壊検査方法-X 線による残留応力解析方法」