

研究ノート

金属材料の加工条件と残留応力の相関性に関する検証

榊原啓介*1

Verification of Correlation between Processing Conditions and Residual Stress of Metal Materials

Keisuke SAKAKIBARA*1

Industrial Research Center*1

冷間圧延鋼板を引張試験機で破断寸前まで塑性変形させ、外力を保持したまま X 線残留応力測定を行ったのち、外力解放状態で再度 X 線残留応力を測定し、数値の比較を行った。その結果、真応力>外力保持状態の残留応力となることがわかった。また、塑性変形後、外力を保持した状態で残っている残留応力は、外力開放後も履歴として残ることが示唆された。

1. はじめに

近年、金属材料は素材需要増や環境意識の高まりから様々な業界で、より軽量化・肉薄化・高剛性化・精密加工化が進んでいる。鉄鋼材においても、従来材料の改良、高張力鋼板への置き換え等が進み、微細な歪や強加工による変形等が問題となっており、その原因としてしばしば残留応力が挙げられている。

残留応力について、過去様々な研究が施され、表面に圧縮の残留応力を付与することで、金属製品における高耐久化等の研究は行われてきたが、加工における残留応力発生、解放メカニズムについてはよくわかっていなかった。

そこで、本研究では引張試験機を用いて冷間圧延鋼板を塑性変形させ、外力を保持した状態及び外力開放状態における残留応力を比較し、その挙動に相関があるか検証した。

2. 実験方法

2.1 試験片

試験片には冷間圧延鋼板(孟鋼鉄(株)製)を使用した。引張試験により算出される応力値は断面積に依存するため、厚さの異なる試験片(W×H×T=30mm×300mm×3.2mm 及び 30mm×300mm×2.6mm)を用いた。

圧延により発生した内部応力を除去し、結晶粒を均一化するため、試験片には測定前に完全焼きなましを実施した。完全焼きなましには、電気置換炉((株)ミワテック製雰囲気制御管状電気炉)を使用した。その条件を表 1 に示す。

表 1 完全焼きなまし条件

設定温度	930℃
温度上昇時間	4h
温度保持時間	2h
冷却方法	炉冷
炉内雰囲気	窒素
気体流量	1L/min

2.2 使用機器

本試験を実施するにあたり、引張試験機((株)島津製作所製 AUTOGRAPH AGX-V)を用いて試験片を塑性変形させ、2 方向観察カメラ(GOM 製 ARAMIS Adjustable)を使用し、デジタル画像相関法(DIC)による測定も同時に行い、画像による伸び率を算出した。残留応力測定には X 線残留応力測定器(パルステック工業(株)製 μ -x360s)を用いた。

2.3 実験方法

調製した試験片の両端を 50mm ずつつかみ具に固定し、チャック間距離を 200mm とした。この状態で X 線残留応力測定を行い、試験片の残留応力値を測定した。試験風景を図 1(a)に示す。X 線の照射径は ϕ 2mm とした。その後、100mm/min の速度で引張試験を行い、破断寸前で外力を保持した状態で試験機を停止させた。DIC により最も伸び率が高かった部分(以下、破断点という)を確認し、外力を保持した状態で X 線残留応力測定を行った。測定位置を長さ方向に 6~8mm ずつ移動し、計 5 か所測定を行った(図 1(b))。その後、引張試験機から試験片を外し、同様に 5 か所の残留応力を再度測定した。真応力は次式により算出した。使用した試験力 P は、

*1 産業技術センター 金属材料室 (現共同研究支援部 シンクロトロン光活用推進室)

引張試験終了時における試験力とし、断面積Aは残留応力を測定した箇所の幅と厚さをマイクロメーターで測定し、算出した。

$$\text{真応力}\sigma(\text{MPa}) = \text{試験力 } P(\text{N}) / \text{断面積 } A(\text{mm}^2) \quad (1)$$

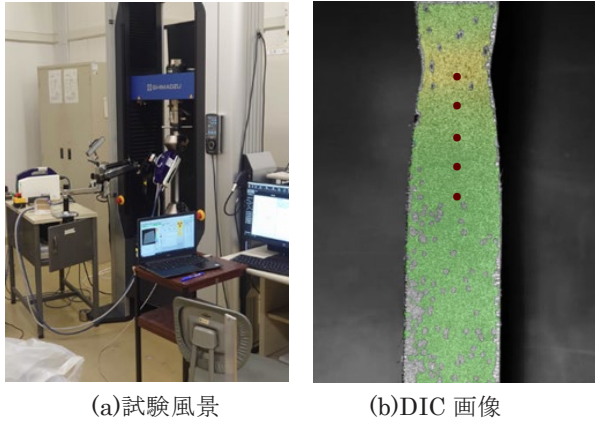


図1 試験風景及び DIC 測定と残留応力測定

3. 実験結果及び考察

板厚 3.2mm および 2.6mm における応力測定試験結果をそれぞれ図 2、3 に示す。

表 2 より、引張試験前の試験片については、残留応力が解放されていることを確認した。

真応力は、式(1)のとおり断面積に依存するため、破断点近傍で最も高い数値を示し、破断点から離れるにつれて低下した。また、図 2、3 より、伸び率はネッキングが生じた部分で高い値を示し、局所伸びとなっていることがわかった。一方、外力保持状態における残留応力については、真応力値に関係なく、規則性がないことがわかった。また、外力を解放した後に残留応力を測定した結果、外力解放の前後で各測定点の残留応力が圧縮方向にシフトした。このことから、塑性変形における残留応力発生メカニズムは、表面のひずみ分布では確認できない試験片内部で発生しており、塑性変形時の残留応力は、外力開放後も履歴として残ることが示唆された。

また、破断点からの各距離における残留応力は破断点から離れるに従い減少することなく、ばらついた数値を示した。これは、試験機による外力が DIC で観察した際には均一に付与されているように見えるが、実際は外力が局所的にかかっており、一様ではないことを示唆している。

表 2 引張試験前残留応力測定結果

冷間圧延鋼板試験片厚さ	残留応力 (MPa)
3.2mm	36
2.6mm	26

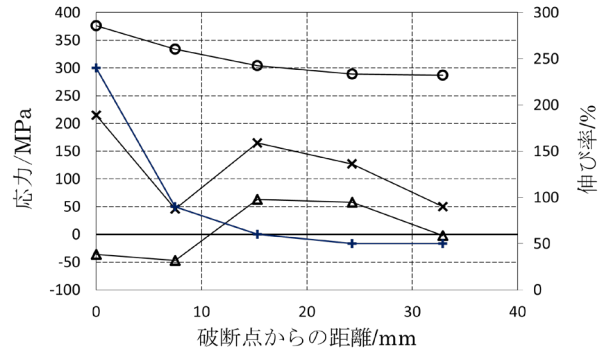


図 2 板厚 3.2mm における応力測定結果

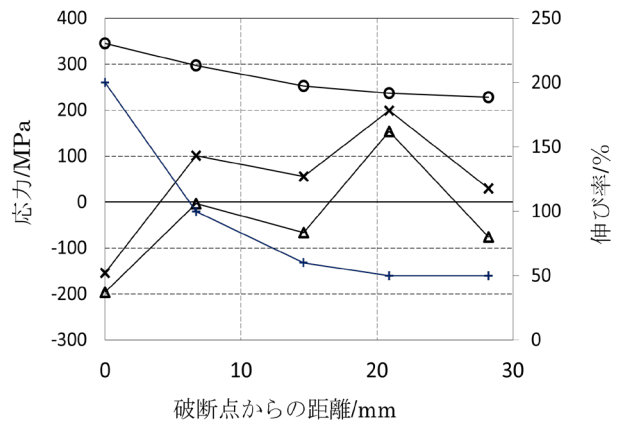


図 3 板厚 2.6mm における応力測定結果

4. 結び

本研究の結果は、以下のとおりである。

- (1) 塑性変形について、外力保持状態における真応力と残留応力を比較した結果、真応力>残留応力となることがわかった。
- (2) 塑性変形後、外力を保持した状態で残っている残留応力は、外力開放後も履歴として残ることが示唆された。

今回の試験では冷間圧延鋼板を使用した。ほかの鋼種でも比較検討が必要である。

謝辞

本研究は公益財団法人内藤科学技術振興財団の令和 4 年度研究助成により実施した。ここに記して謝意を表す。