

自動車用圧入プラグ炭素鋼部品の内部応力測定

(株) 青山製作所茨城工場 執行役員 石井 尚憲

1. 概要

弊社は金属材料の冷間鍛造、切削加工、塑性結合、転造加工等によって自動車部品、家電製品、電動工具、OA機器等を生産している。これらの製造技術のうち、硬度の若干異なる炭素鋼プラグとリングに圧力を加えて局所的な塑性流動を起こして接合面を結合させる圧入技術（塑性結合技術）は、簡易な設備でプレス加工と一体で実施することが可能であるため省エネルギー・省資源・軽量化、コスト減となることから、弊社の独自技術として発展させている。圧入は基礎技術として古くから行われているにもかかわらず、圧入荷重と引抜き力に及ぼす様々な影響因子（圧入面の性状、材質、圧入速度、締め代など）について系統的に調査された報告は少ない。

以上の背景の下、本研究では締め代の異なるプラグをリングに圧入した2つの試料（締め代：0.06（a試料）、0.11 mm（b試料））とリングにプラグを手で押し入れた試料（締め代：-0.0（c試料））の合計3試料について、J-PARC MLF BL19に設置されている匠装置を用い、試料内部の複数個所における格子定数測定を高精度で行った。

2. 実験

図1に用いた試料の概要を示す。測定は上部、中間部、下部の3ブロックについて実施した。なお、プラグとリングの境界面近傍では0.5 mm 間隔で詳細に測定した。測定点は赤丸点で図1中に示す。入射中性子ビーム径は2 mm×2 mmを用い、ラジアルコリメータを2 mmとした。プラグのクーポンはプラグから方向を揃えて2 mm立方体8個切り出して組上げたものである。リングのクーポンも同様にして製作した。各点における測定時間は大凡20分間（出力500 kW）であった。

測定した回折パターンをZ-Rietveld解析した。なおその際に、321回折線より高次の回折線は強度も弱くバックグラウンドが高い回折パターンも存在するので、統一的なデータ処理のために110から321回折線までの7本の回折線を用いて解析した。

3. 結果

内部応力を求めるために、①圧入の効果のみによる内部応力解析、②クーポンを基準にしたこれまで塑性加工等によるもの

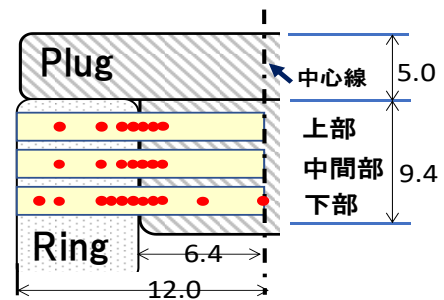


図1. プラグ、リングの形状及び測定場所（赤点）

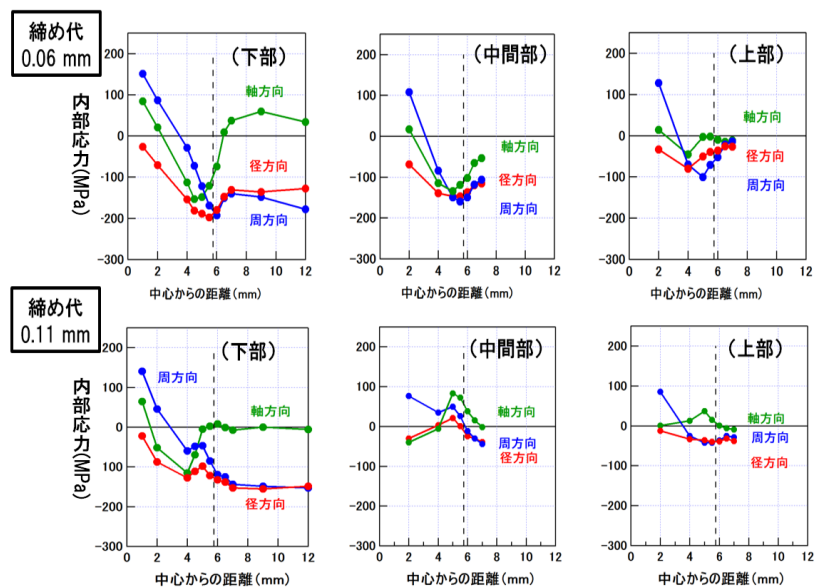


図2. a 試料（締め代：0.06 mm）及び b 試料（締め代 0.11 mm）

内部応力解析、の二通りで行った圧入の効果のみによる内部応力解析ではリングにプラグを手で押し入れた c 試料の各測定点の格子定数を d_0 とみなし a 試料及び b 試料についての内部応力を求めた。その結果を図 2 に示す。図の上段、下段にはそれぞれ a 試料、b 試料についての内部応力を示す。また、左側から順に下部、中間部、上部における内部応力を示す。この図から、a 試料の下部の接合部における径方向の内部応力の絶対値は約 200 MPa であり、中間部でのそれは 140 MPa 程度まで減少し、上部では 20 MPa となることが見て取れる。一方、b 試料では、下部における径方向応力の絶対値は 110 MPa であり a 試料のそれに比較して半分程度である。更に、中間部では 20 MPa であり零に近い値に、上部では少し回復して 40 MPa となっている。以上のことから a 試料ではプラグとリングが下部・中間部までの範囲において面接触していると考えられる。

また②クーポンを基準にした内部応力解析を行った。c 試料（プラグを手で押し込んだ試料）の解析では、これまで受けた塑性変形によると考えられる然程大きくない内部応力を観測した。同様に、a 試料および b 試料についての内部応力解析を行った。その結果、a 試料の内部応力値および分布は図 3 に示した a 試料の応力に c 試料の応力を加算したものとほぼ同じであった。また、b 試料についても同様であった。

プラグを引き抜くために必要な力 F を圧入効果のみを解析したデータを基に試算した。プラグが径方向に受ける単位面積当たりの抗力を N とすれば、 F は (1) 式で表される

$$F = \mu \int_{bottom}^{top} 2\pi r N dl \quad (1)$$

ここで、 μ は定数、 r はプラグの半径である。図 3 の横軸はプラグ先端からの距離を、左縦軸は抗力、右縦軸は左軸に $2\pi r$ を乗じたものである。試料

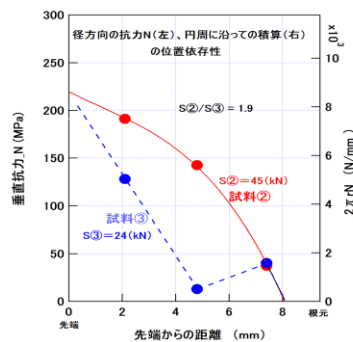


図 3. 引き抜く力の試算

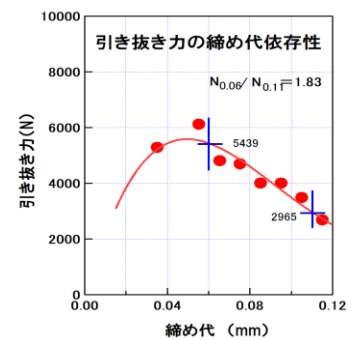


図 4. 引き抜き力の締め代

依存性実験結果

a についてはデータを滑らかな曲線で結び、この曲線と座標軸が囲む面積を求めた。また、b 試料についてはデータ点を直線で結び、これら直線と座標軸を囲む面積を求めた。a 試料、b 試料の値はそれぞれ 45 kN、24 kN であり、その比は 1.9 となった。一方、茨城大学との共同研究で得ている引き抜き力の締め代依存性実験結果図 4 から a 試料、b 試料に相当する力はそれぞれ 5.4 kN、3.0 kN であり、その比は 1.83 である。内部応力の測定結果から推定された引き抜きに要する力の比が一致していることが判った。なお、両者の引き抜く力の値が同じになるには、 $\mu = 0.12$ となる必要がある。

4. 結論

本実験から以下のことが明らかになった。

- ① プラグをリングに圧入した場合の内部応力の概要が明らかにできた。
- ② 中性子による内部応力測定から、プラグの引き抜きに必要な力を推測することが出来た。
- ③ 今回、プラグを手で押し込める c 試料も測定したので、塑性加工によって導入された内部応力の大きさが明らかにできた。