

薄肉金属円管の液圧バルジ変形に及ぼす 材料特性値の影響

宇都宮大学 工学部 機械システム工学科

教授 淵沢定克

(昭和63年度研究開発助成 AF-88020)

1. 研究の背景

管材の二次加工であるチューブフォーミングは、機械構造部品の軽量化などの要求に対応することのできる加工技術の一つとして近年注目され、いろいろな分野で利用されるようになってきた。しかしながら、管はその形状から取り扱いが多少複雑になることなどもあって、板の加工に比べてあまり広くは行われておらず、加工における管材料の挙動も必ずしも明確にはなっていない。

本研究で取り上げる液圧バルジ加工もチューブフォーミングの重要な技術の一つであるが、管のもつ材料特性がバルジ加工を受ける管材の変形挙動にどのような影響を及ぼすかについては十分には把握されておらず、これらの関係を明らかにすることが要求されている。

ところで、一般に材料特性値は引張試験によって求められており、管材の場合もそれが普通である。しかしながら多くのバルジ加工においては、加工を受ける管材の応力状態は円周方向及び子午線方向の二軸引張り応力状態である。それゆえ、軸方向の一軸引張試験から求めた材料特性値をそのままバルジ加工を受ける管材のものであるとするのは果たして適切であるかどうか問題である。したがって、できれば管がバルジ変形する状態における応力とひずみの関係を求め、それから材料特性値を求めることが望ましい。

このように、バルジ加工を受ける管材の加工特性と材料特性値と加工特性の関係を明らかにすることが必要とされていることのほかに、管材の材料特性値の求め方の再検討も必要とされている。

2. 研究の目的

管の材料特性の違いによってバルジ加工を受ける管材の変形挙動がどのように異なるかを調べる目的のため、できるだけ材料特性の異なると思われる種々の管材を実験材料に選んで実験を行う。

まず、バルジ加工の応力状態に近い状態における材料特性値を求めることを試み、そのための液圧バルジ試験装置を製作する。これはWooら [J. Inst. Metals, 96 (1968), 357.] が内圧と軸荷重を受ける管材の応力ひずみ関係を求めるために提案したものであるが、本研究ではこれを改良し、超音波厚さ計を用いて変形中の管中央部の肉厚変化を連続的に測定できるようにし、さらに変形中の管中央部の子午線曲率、半径張出し量、内圧なども連続的に測定し、AD変換器を通してパソコンに取り込んで記録するようにする。これによって、内圧を受けて自由に張出し変形する管材の管中央部における相当応力-相当ひずみ曲線が求められる。これから、バルジ変形中の管材の材料特性値を得ることができる。

一方、通常の引張試験、すなわちJIS 11号試験片による軸方向一軸引張試験から材料特性値を求め、上述した液圧バルジ試験から求めたものと比較検討する。

次に、用意した各種管材に内圧を荷重し破裂に至るまで自由にバルジ変形させる実験を行い、破裂圧力や変形限界（破裂に至るまでの半径張出し量）を求める。

そしてバルジ加工における成形限界、すなわち

破裂圧力や限界張出し半径の値がさきに求めた材料特性値とどのような関係があるかを調べる。また、管材料がn乗加工硬化則に従う異方性材料であるとして、内圧による張出し変形を理論解析し、実験結果との比較を行う。このようにして、管材のバルジ変形に及ぼす材料特性値の影響を明らかにすることを目的とする。

3. 成果の概要

(1) 実験材料

広範囲の材料特性値をもつ管材について実験を行うため、アルミニウム継目無管 (A1100TDS)、りん脱酸銅継目無管 (C1220TS)、黄銅継目無管 (C2700TS)、熱交換器用チタン管 (TTH35D) の市販の管を用いた。管の外径はいずれも40mmで、肉厚はチタン管は2mm、それ以外の管は1mmである。チタン管については納入したままの状態を実験を行ったが、それ以外の管は焼なましを行ってから実験に供した。

(2) 引張試験

はじめに、各管材の軸方向引張試験から材料特

性値を求めた。ここではJIS 11号試験片を用いた引張試験を行って、応力 σ とひずみ ϵ の関係がn乗硬化則 $\sigma = F \epsilon^n$ で近似できるものとしたときのn値とF値を求めた。また、軸方向のr値 (r_0)、引張強さ σ_0 、一様伸び δ_0 、局部伸び δ_1 、全伸び $\delta_t = \delta_0 + \delta_1$ を求めた。

その結果、 r_0 値はアルミニウム管が最も小さく、約0.6であったが、他の管の値は約0.8から0.9で、あまり異方性は大きくなかった。チタンは一般に異方性が大きく、r値も大きいと言われているが、本実験に用いたチタン管は異方性が小さい。また、引張試験の結果によれば、チタン管の一様伸びは小さいが局部伸びが大きく、他の3種の材料とは性質が異なっている。

(3) 液圧バルジ試験

次に、管がバルジ変形する状態における応力とひずみの関係を求めるため、図1に示すような試験装置を製作した。

管中央部の3本の変位計の測定値から求めた子午線曲率の値と、超音波厚さ計による管中央部の肉厚の測定値とから、力のつりあい方程式により、

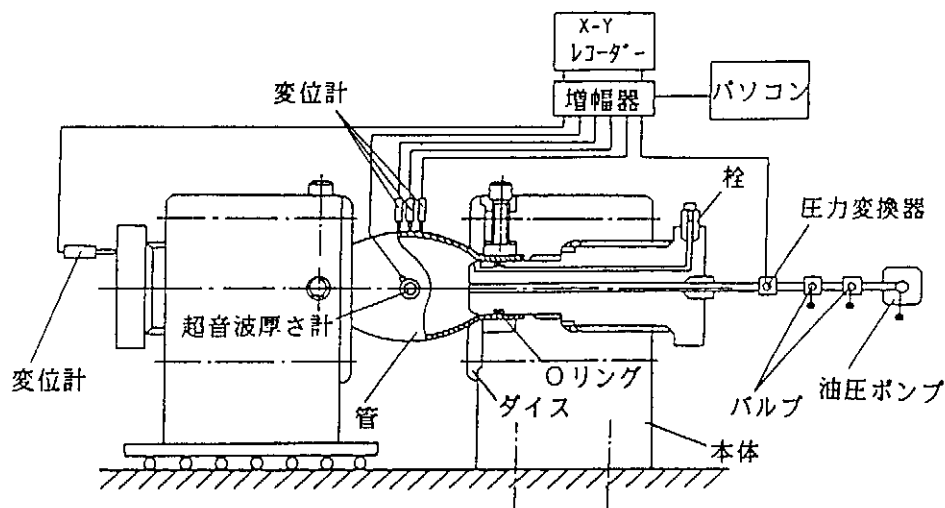


図1 液圧バルジ試験装置

管中央部の子午線方向および円周方向の応力が求められる。したがって相当応力が求められる。一方、同じ測定値から管中央部の円周方向ひずみと板厚方向ひずみが求められ、現在のひずみと一段階前の変形段階におけるひずみとの差から相当ひずみ増分が、したがって相当ひずみが求められる。このようにして得られた各変形段階の相当応力と相当ひずみの関係を n 乗加工硬化則にあてはめ、加工硬化指数 n 値と強度係数 F 値を求めた。なお、本実験では管の変形部長さ $L = 80\text{mm}$ (管外径に対する比 $L/D_0 = 2$) とした。

以上の方法により得られた液圧バルジ試験による材料特性値と、引張試験による値とを比較すると、アルミニウム管、銅管、黄銅管では、バルジ試験による n 値、 F 値の方が引張試験によるものよりも多少小さな値を示した。これに対してチタン管ではバルジ試験による n 値は引張試験によるものに比べるとかなり大きかった。このことより、バルジ加工の際にはバルジ試験から求めた材料特性値を用いて評価する方が適切であると思われる。また、 r_p の値は 1 に近く異方性は小さいため、 n 値、 F 値は異方性を考慮してもあまり変りはなかった。

(4) 張出し実験

次に、各種管材の内圧による張出し実験を行って破裂圧力及び破裂時の管中央部の張出し量(限界張出し半径)を求め、それらに及ぼす材料特性値の影響を調べた。張出し実験の管の長さは $L = 80\text{mm}$ ($L/D_0 = 2$ 、外径 $D_0 = 40\text{mm}$) とした。

(4) - 1 破裂圧力 実験に用いた管材の肉厚はチタン管のみが 2mm で他の 3 種の管の 2 倍であるので、破裂圧力 p^* に外半径と肉厚の比 R_0/T をかけた値で比較したところ、 $p^* R_0/T$ と強度係数 F 値及び引張強さ σ_s との間にはほぼ比例関係が認められた。また、無次元破裂圧力 $p^* R_0/F T$ と n 値との関係を調べたところ、理論解析から得られる関係と傾向がほぼ同一であることが確かめられた。

(4) - 2 限界張出し半径 チタン管を除くと、 n 値の大きいものほど限界張出し半径が大きく、理論解析結果の傾向と一致している。チタン管は n 値が小さいにもかかわらず大きな限界張出し半径を示しており、理論計算値とはかなり異なっている。なお、チタン管は一般に異方性が強いといわれているが、ここで用いたものは r 値が小さく、張出し量が大きい理由を異方性に求めることはできない。そこで限界張出し半径と伸びとの関係を調べてみた。チタン管を除く 3 種の管では一様伸びが大きいものほど限界張出し量が大きい。これに対してチタン管は全く傾向が異なり、一様伸びが小さいにもかかわらず大きな張出しを示している。チタン管は局部伸びが大きいのが特徴で、これによって大きな張出しを得ていると考えられる。このことは、引張試験では一様伸び (n 値) が小さくても局部伸び(全伸び) が大きい管材は、バルジ加工では大きな張出しを得ることが可能であることを示唆しているものと思われる。

4. おわりに

異方性が大きいと一般に言われているチタン管を用いて異方性の影響についても調べることを計画したが、本研究で用いたチタン管は残念ながら異方性が小さかったため、異方性の及ぼす影響については十分に検討することができなかった。これについては今後の研究課題としたい。

本研究は(財)天田金属加工機械技術振興財団の研究助成のもとに行われたものであり、謝意を表す。

5. 発表論文

本研究の一部を下記の学会講演会で発表した。

淵沢定克・結城広昭・奈良崎道治：バルジ試験による管材の応力ひずみ特性の決定法について、第 41 回塑性加工連合講演会講演論文集、(1990 - 10)、231