

ハイドロフォーミングによる小型バタフライ弁の成形 Forming of Small Butterfly Valve by Use of Hydroforming

中西信之* 完山成祥**

Nobuyuki Nakanishi, Nariyoshi Kanyama

当社のオールステンレス鋼製のバタフライ弁「白蝶」の弁箱は薄いステンレス鋼板製で、その塑性加工は従来板金プレスにて行っていたが、このほどハイドロフォーミングマシンを導入し、水圧による成形を始めた。継ぎ手類の成形方法としてのハイドロフォーミングは多くの事例があるが、バルブの成形にハイドロフォーミングを適用するのは極めて珍しいと思われるのでその内容を報告する。

The body of our butterfly valve “Hakucho” made of stainless steel sheet had been formed in the method of pressforming of sheet metal before, now we start forming by means of hydroforming machine. We know many examples making use of hydroforming for pipe fitting, but it is rare to make use of hydroforming for valve. In this paper we report the hydroforming machine for butterfly valve.

1. はじめに

当社が小型・軽量のオールステンレス鋼製バタフライ弁「白蝶」を発売してから10年以上経過したが、幸いにも市場から一定の評価をいただいている。しかし経済環境の悪化による建築単価の下落が著しいため、「白蝶」の主要なユーザである建築・設備業界からは、「白蝶」の価格にも厳しい要求が寄せられている。これらの要求に応えるために、「白蝶」の成形方法を根本的に見直し、製作工程の大幅な削減を図る必要に迫られた。そうした状況のなかで現状のプレス成形に代わる塑性加工方法として、ハイドロフォーミング(バルジ成形)に着目した。技術開発のパートナーとして株式会社山本水圧工業所の協力を得て、予備試験でも良好な結果を得ることができたため、「白蝶」成形専用のハイドロフォーミングマシンを製作完了し、このほど稼働状態に入ったのでその概要を紹介する。

2. ハイドロフォーミングとは

上下の分割金型内にセットされたパイプの内部に封入した液体に高圧力を作用させて、パイプを金型内面に沿うまで膨らませて所望の形状を得る加工方法である。なお、パイプ内面に高圧力をかける際にパイプを軸方向に押し込んで、張り出し部への材料の塑性流動を助成してやる(図1)ことでより大きな変形量が得られる。この際成形中の内圧と軸押しをうまく制御できないとパイプの破裂や座屈が生じることになる。

3. 白蝶の構造と適用部品

「白蝶」の構造図を図2に示す。「白蝶」は口径が50A~200Aの7種類あるが、いずれも弁箱は外筒と内筒の二重構造になっており、今回ハイドロフォーミングで成形するのはこの内筒である。内筒の材質はSUS304、板厚は2~3mmである。内筒の形状を図3に示すが、内

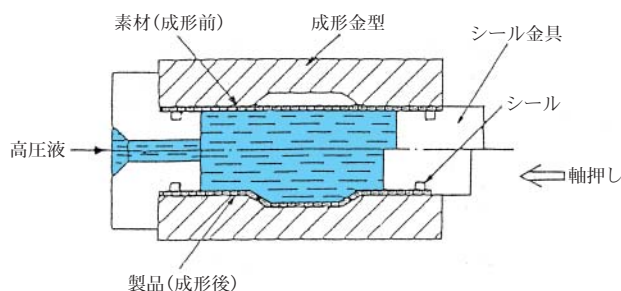


図1 ハイドロフォーミング(バルジ成形)
Fig. 1 Hydroforming (Bulge forming)

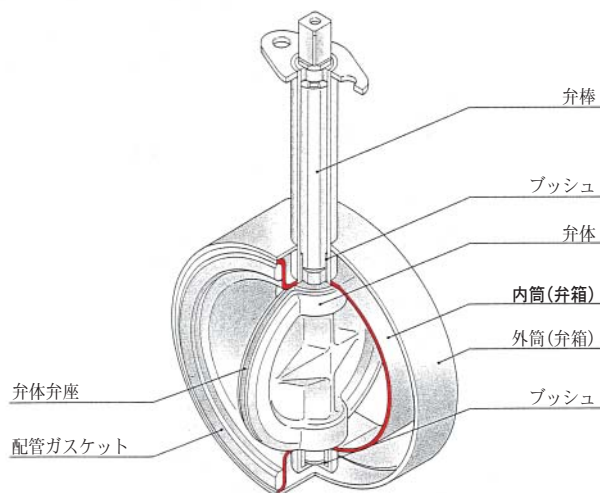


図2 「白蝶」構造図
Fig. 2 Construction of butterfly valve “HAKUCHO”

* パルプ事業部 泉北工場 品質保証部

** 株式会社山本水圧工業所 技術部

筒は「白蝶」に軽量・高い断熱性などの優れた特質を与える上で最重要な部材であり、弁箱のシート部とそれより大きく外に張り出した配管ガスケット接着部から成り立っている。シート部はほぼ円筒状であるが、径方向に対向する円周2箇所には平面部分があり、この部分には弁軸が通る孔が加工される。従来の内筒は、あらかじめ切断されたSUS304のパイプの両端を数工程かけてプレスで徐々に拡管した後平面部を形成し、弁軸が通る孔をやはりプレスで開口していた。拡管率が大きいためプレス工程だけで5～7工程を要した。

この形状を得るための hidroforming は、切断されたパイプより内筒を1個ずつ成形するのではなく、長尺のパイプ(4 m)に連続的に1山ずつ成形することとした。成形されたパイプは図4に示すようなフレキシブルパイプに似た形状であるが、これらの山の頂点を円周切断し、孔の開口をレーザー切断機で切断することにより、わずか2工程で内筒を得ることができることとなった。

なお、複数の山を一気に成形しないで、1山成形にしたのは金型が複雑・巨大なものになるのを避けたためである。1山成形のサイクルタイムを60秒以内とすることで1山成形の欠点を補うこととした。

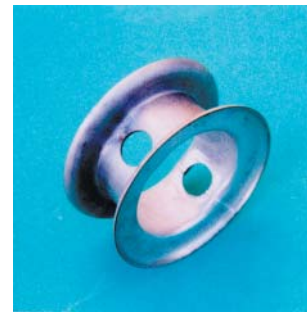


図3 内筒
Fig. 3 Inside body



図4 成形完成後のパイプの写真
Fig. 4 Appearance of pipe after hydroforming

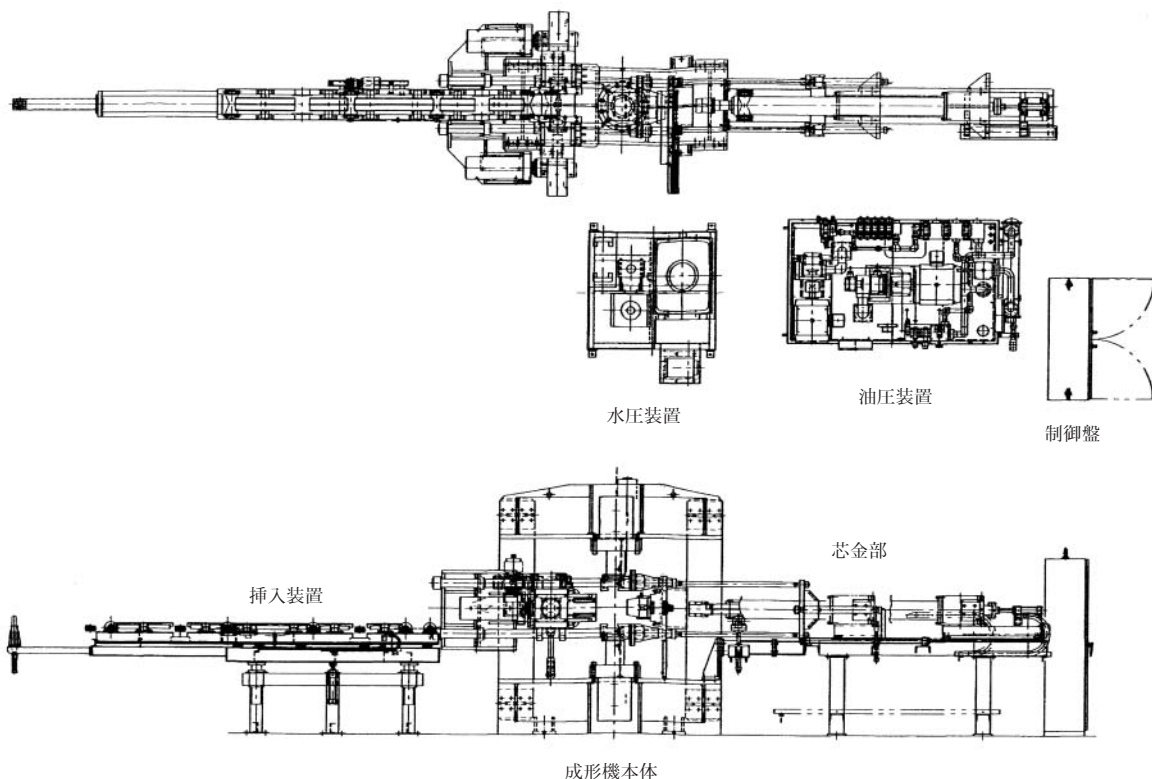


図5 成形機全体図
Fig. 5 Arrangement of hydroforming machine

4. ハイドロフォーミング機の特徴と機能

4.1 概要

今回製作したハイドロフォーミング機は白蝶専用機として製作したもので、定尺のステンレス鋼管を水圧にて1山ずつ連続成形する加工装置である。パイプが挿入装置に入った後、最初のシール部形状を得るため自動運転にてパイプ先端をポンチ成形後、①1ピッチ送り、②成形加圧、③成形軸押しを繰り返し行い、パイプ定尺分連続的に成形を行う。成形完了後の成形パイプは挿入装置後方の払い出し位置にセットされ、次工程のレーザー切断機に取り込まれる。

本装置は成形機本体、芯金部、挿入装置、水圧装置、油圧装置、電気制御装置および成形金型、押し込み金型より構成される。

全体図を図5に、成形機本体の外観を図6に示す。



図6 成形機本体外観
Fig. 6 Appearance of main body

4.2 シール機構

シール部位を図7に示す。素管内径部①と拡管されたシート部内径部②の2箇所ウレタンゴム製のシールが装着されている。シール外径はシール部位に合った形状になっている。初期シール時には、芯金に組み込まれたチェック弁③によりパイプ内面に水が入る前にシール内面が加圧される機構となっており、シールが張り出して

パイプ内面に押しつけられ成形水をシールする。初期シール後はシール圧と成形圧は同一になる。

4.3 成形

成形時の手順を図8に示す。

初期シール後パイプ内に充水された成形水を加圧して(初期加圧)パイプを少し膨らませた時点で、押し込み金型を移動させ、内圧をかけながら、さらにパイプを軸方向に送り込んで金型の内面に沿うまで成形する。

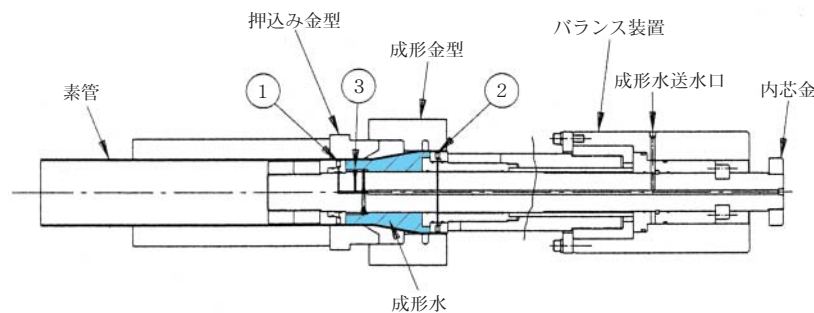


図7 シール機構図
Fig. 7 Schematic drawing of seal part

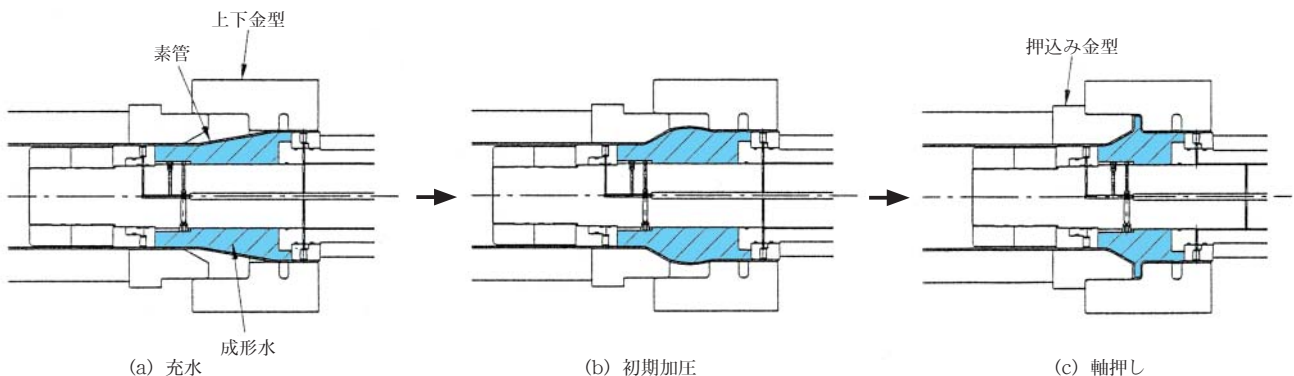


図8 成形手順
Fig. 8 Forming process

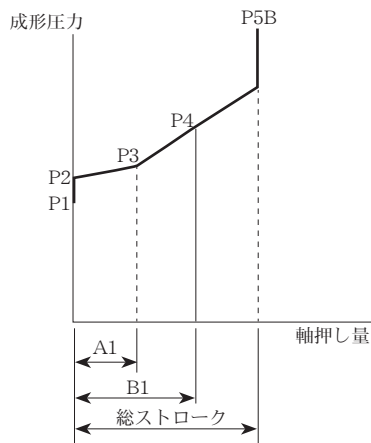


図9 制御方式
Fig. 9 Control system

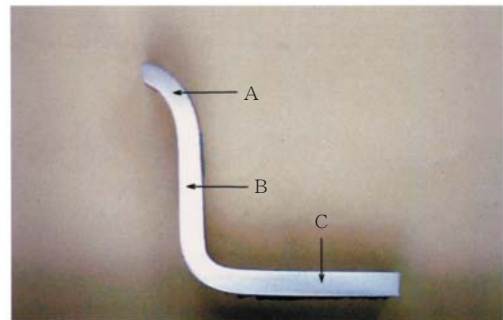


図11 塑性加工調査部位
Fig. 11 Location of microstructure and hardness observation

加工データ 1

項目	単位	設定値	項目	単位	設定値
1 成形回数	回	***	7 成形POS1 (P3)	MPa	***
2 1ピッチ長さ	mm	***	8 成形POS2 (初) (B0)	mm	***
3 成形速度	%	***	8 成形POS2 (B1)	mm	***
4 成形押付け圧	MPa	***	8 成形POS2 (P4)	MPa	***
5 成形初圧 (P1)	MPa	***	9 成形仕上圧力 (P5A)	MPa	***
6 成形開始圧 (P2)	MPa	***	9 成形仕上圧力 (P5B)	MPa	***
7 成形POS1 (初) (A0)	mm	***	9 成形仕上保持時間	sec	***
7 成形POS1 (A1)	mm	***	10 成形準備位置	mm	***

素管径 (mm)	***	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
登録	解除	次頁	-	▲	▼	DEL	CLR	ENT			
メニュー画面	手動運転画面	自動運転画面	加工データ設定画面	パラメータ設定画面	タイマー設定画面	加工データ一覧	I/Oモニター画面	プログラム画面			

図10 操作盤データ画面
Fig. 10 Example of control panel display

4.4 成形水圧と軸力の制御

先に述べたように、成形中の水圧と軸力がうまく制御できないとパイプの破裂や座屈、形状不良などの問題が生じる。そのため制御は軸押し量とパイプ内の圧力をコントロールすることで実施している。

制御方式を図9に、操作盤データ画面を図10に示す。もちろん加工設定条件は加工品の口径ごとに異なり、加工データは操作盤より直接データ入力できるようになっている。

ちなみに100Aの場合、最終仕上げ圧力 (P5B) で40MPaに設定している。

5. 材質調査

塑性加工による材料の材質変化を調査した。調査は図11に示すA部(強加工部)、B部(中加工部)、C部(軽加工部)の3箇所について組織観察と硬度測定を行った。3カ所のうち直接流体と接液する部分はC部のみでA、B部は接液しない部分である。

表1に硬度測定結果を、図12に顕微鏡組織を示す。いずれも加工度に応じて硬化やすべり線が認められる。A、B部には加工誘起マルテンサイトらしきものが認められるが、C部は顕著なものではない。

なお、組織の変化は従来のプレス成形品との比較でもほとんど差は見られなかった。こうしたことより、接液部はSUS304としての優れた耐食性などの特性に大きな影響はないと判断している。

また、加工寸法は素材のパイプの材力のバラツキの影響を若干受けるものの、その寸法安定性は十分満足できるものである。

6. 残された課題

今後の課題としては以下のことが残っている。

- 1) シール受け具の改善でシール寿命の更なる延長を図る。
- 2) 加工口径変更時の段取り替え時間の短縮。

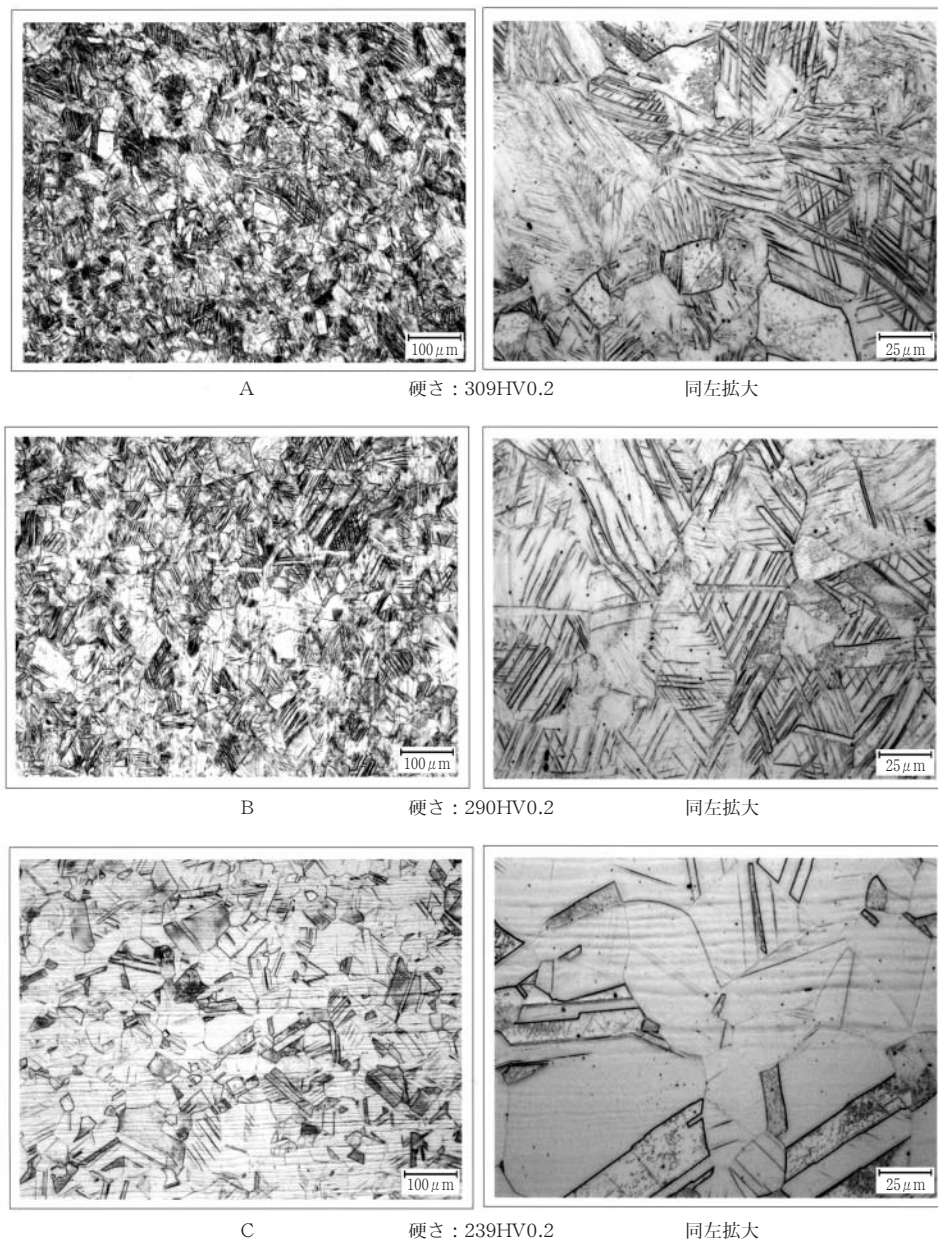


図12 ミクロ組織観察結果
Fig. 12 Result of observation of microstructure

表1 硬度測定結果
Table 1 Result of hardness test

位置	HV 0.2			
	1	2	3	平均
A	309	311	307	309
B	275	291	305	290
C	240	228	248	239

7. おわりに

ハイドロフォーミング機は現在順調に稼働を続けており、今後大きな成果が出てくるものと確信する。極めて短い開発期間で実用化にこぎつけた関係者の努力と協力に感謝の意を表します。

執筆者

中西信之

Nobuyuki Nakanishi

昭和48年入社

バルブの製造・品質管理に従事



完山成祥

Nariyoshi Kanyama

株式会社山本水圧工業所 技術部

高圧応用機械の設計に従事



