小山田記念賞受賞講演

パワーステアリング用、耐圧、耐摩耗 アルミニウム鍛造部品の開発と実用化

小島 久義*・羽室 憲*・上野 完治*
神尾 一**・伊藤 忠直***

Development and application of aluminum alloy forgings
for power steering parts with improved pressure and wear resistance

Hisayoshi KOJIMA*, Ken HAMURO*, Kanji UENO*
Hajime KAMIO** and Tadanao ITOH***

1. はじめに

自動車業界においては、顧客のニーズに応えるため絶えず自動車の付加価値を高める必要があり、したがってユニットや部品の搭載重量は増加の一途である。一方、ガソリンの価格変動にかかわらず燃費を低くし、維持費を下げる必要がある。このため、自動車メーカーは常に軽量化の努力を行わなくてはならない。

今回、日産自動車で新しいパワーステアリングシステムを開発するに当たって、「最軽量、最高性能、高安全性」というコンセプトを満足するため、耐圧、耐摩耗性を有したアルミニウム鍛造部品を採用したので、その開発と実用化の内容について以下に述べる。

2. 技術開発の概要

図1のフローチャートに従い、開発の概要を説明する。

まず最初に、新しいパワーステアリングのコンセプトを満足するためには、どうしてもアルミニウム鍛造部品を採用する必要が生じ、本ユニット開発のキーポイントとなった。しかし、鍛造部品を採用するに当たり二つの課題があり、本件の技術開発を行い解決した。課題の一つ目は、いかに耐圧、耐摩耗性の高い要求を満足するかということだった。種々の材料を用いて耐久試験を行っ

た結果、高Siの材料を選択した。

課題の二つ目は、一般に製造原価が高いと言われてい

図1 技術開発のフローチャート

* 日産自動車(株) (横浜市)。Nissan Motor Co., Ltd. (Yokohama-shi, Kanagawa)。

** 日本軽金属(株) (東京都)。Nippon Light Metal Co., Ltd. (Minato-ku, Tokyo)。

*** 昭和電工(株) (東京都)。Showa Denko K.K. (Minato-ku, Tokyo)。

るアルミニウム鍛造部品をいかに安く造るかということだった。これについては、主に鍛造の生産性を向上することにより解決した。このためには、1 ヒート（加熱＋鍛造が1回）であることが必須であり、成形速度の速い鍛造を行うこととなった。アルミニウムの鍛造においては、一般に成形速度が速くなると成形性が悪くなるので、通常以上に成形性のよい材料が求められる。

ここで、先ほど一つ目の課題で述べた高 Si 材の使用は成形性を阻害し、二つ目の課題を満足することと相反することとなった。この矛盾を解決するため、日本軽金属と昭和電工と共同で材料開発を行った。あわせて、速い成形速度に適した鍛造技術を開発し、鍛造としてはきわめて複雑な形状の製品を安く造ることが可能になった。これにより、最軽量で信頼性のきわめて高い、高性能パワーステアリングの開発に成功した。

3. パワーステアリングの概要と要求特性

ここで、パワーステアリングの機構について説明しておく。

パワーステアリングは、油圧を利用した「動力舵取り

図2 ハンドルと前輪の動き

装置」であり、主として二つの役割を持つ。第一に、図2に示すようにハンドルの回転運動をラック & ピニオン方式にて直線運動に変換し、前輪を左右に動かすことにより舵をとることである。第二にハンドルの操作力を油圧でアシストし、その車の置かれている状況に応じて最適な操作力になるよう制御することである。

本ユニットは、搭乗者の生命を預かる重要な装置であり、きわめて高い特性が要求される。図3に断面図を示した。本件で開発したリアハウジングは、動力の伝達を行う部品と油圧切換弁を内蔵した心臓部ともいえるコントロールバルブハウジングである。動力伝達部品を支えるための諸強度はいうまでもなく、通常8 MPa 以上、

図3 ユニット断面図

(1) セドリック用

(2) サニー用

図4 リアハウジング

衝撃で14 MPa 以上もの高油圧を受けるため、優れた衝撃強度、耐圧性が要求される。また、後の材料選定でポイントとなる耐摩耗性は、パルプのシールリングの摺動部のシール性を確保するために必要になる。

図4にリアハウジングの写真を示した。

4. アルミニウム鍛造の選択

図5にパワーステアリングのコンセプトと鍛造部品選定の結び付きを示した。小型で安全率を高めるための「高強度」、万が一にも油もれ等の品質トラブルのない「健全性」、この二つを併せ持つのは鍛造部品しかなかったわけである。

具体的に、図6および図7に casting 部品と鍛造部品の強度比較を示した。代表特性である引張強さ、伸びにおいて、鍛造部品の優位は明らかであり、要求を満足するには鍛造部品を採用しなければならないことがわかる。

ところが、今までの鍛造部品は製造原価が高いという欠点があった。そこで、今回常識を打ち破った安い鍛造部品を量産するための技術開発に取り組み、成功したのである。

図5 アルミニウム鍛造の選択

図6 鋳造部品と鍛造部品の引張強さの比較

5. 厳しい要求特性を満足するための材料

まず、図1のフローチャートに示した課題1を解決するため、要求特性を満足する材料の検討を行った。引張強さ、伸びは2000系合金や6000系合金等いくつかの材料が満足し、候補として考えられた。そこで、種々の材料で造ったリアハウジングを実際にユニットに組み込んで耐久試験を行った結果、図8に示したように、耐摩耗性の目標値を満足するためには、Siが6 wt%以上必要であることをつきとめた。3章で述べたように、耐摩耗性は油圧回路を形成、維持していくためにはどうしても必要な特性であるため、すべての要求特性を満足する4000系合金の材料を選択したわけである。

6. 製造原価の削減

6.1 高生産性

次に、図1のフローチャートの課題2である鍛造部品の製造原価が高いことを解決したので以下に述べる。

我々は、まず製造原価の構成の約半分を占める加工費を低減することに着目し、その具体的方策として生産性

図7 鋳造部品と鍛造部品の伸びの比較

図8 アルミニウム合金のSi量と摩耗量

を高くすることにした。このためには1ヒート（1回の加熱＋鍛造）で成形を完了させることが必須である。

図9の上段に従来の3ヒート鍛造、下段に本件の1ヒート鍛造のヒートサイクルを示す。（今回開発したリアハウジングのように成形性が悪い材料を用いて複雑な形状の鍛造を行う場合、常識的には成形速度の遅い油圧プレス等を用いて3ヒートで生産する。）この図から1ヒート鍛造の方が生産リードタイムが著しく短いこと。加熱の回数が少ないためエネルギーが少なくすむことがわかる。また、工賃も半分以上に抑えることができる。加えて、溶体化処理をインラインで行うと鍛造の残熱を

図9 ヒートサイクルの比較

図10 鍛造プレスの比較

有効に利用できるとともに、熱処理の無人化が図れる。また、本処理では溶体化時間を短縮できるため一層の生産リードタイムの短縮が図れる。（これを簡易溶体化処理と称している。）

この1ヒート鍛造を行うには、製品の温度が冷えないうちに成形を終了してしまう必要があり、したがって、サイクルの速いクランクプレスが適している。しかし、クランクプレスには成形速度が速く成形しにくいという欠点があり材料と鍛造の技術開発により解決した（図10）。

以下に具体的な技術開発の事例を示す。

6.2 材料開発

まず、材料開発の流れを図11に示す。部品の要求特性と鍛造成形性の両立を図るため、材料メーカ2社と共同で新材料の開発を行った。

日本軽金属は、押出し材を用いた。Mg, Cu等の成分調整により材料の強度を高めるとともに、Sbを微量添加して共晶Siを微細化し、成形性を向上した。

図12の組織写真で共晶Siの大きさの違いが明らかにわかる。

一方、昭和電工は、細径鋳造棒を用いた。この製法では溶湯が急冷凝固するため、成分調整をしなくても共晶Siは微細化する。さらに、Ti, Bを微量添加して結晶粒

図11 材料開発の流れ

(1) Sb 添加なし

(2) Sb 添加

図12 共晶Siの大きさの比較

表 1 材料成分，機械的性質

	組 成 (%)										T6 材の機械的性質			
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	その他		Sb	引張強さ σ_B (N/mm ²)	耐 力 $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	伸び σ (%)	HB 硬度
								個々	合計					
AN4A32	10 ~11	0.11 ~0.25	2.5 ~3.5	0.4 ~0.6	0.4 ~0.6	<0.1	<0.25	<0.05	<0.15	微量	470	390	10	147
AN4B32	6~8	<0.3	2.5 ~4.0	<0.1	0.4 ~0.6	<0.1	<0.1	<0.05	<0.15	微量	440	345	16	131

図13 成形性の比較

を細かくすることにより一層成形性を高めることができた。

以上により，相反する特性を両立する材料を開発できたのである。

材料成分を表 1 に示す。ユニットの種類により，AN4A32 と AN4B32 の二種類の材料を設定した。図 13 に成形性の違いを示した。JIS の規格材料では割れが発生するが，本開発材料では割れがなく，成形性が良いことがわかる。

6.3 鍛造技術開発

次に，図 1 でいう高成形速度に適した鍛造技術の開発について述べる。鍛造技術として型設計，型，製造条件の種々の開発を行った。紙面の都合もあるので，ここでは型設計の中の「きず対策」と「取代削減」について述べる。

6.3.1 きず対策

図 14 に円柱状のサンプルを据え込んだ場合の模式図を示した。成形速度の遅いアルミニウムの成形の場合は鋼鍛造と似て，上の図のように樽状につぶれる。ところが，本件のように成形速度の速いアルミニウムの成形においては，型との接触部の肉が先に流れ，極端に言うと下の図のように鼓状になることが高速ビデオ撮影等により確認された。このため，鍛造品の表面の肉が行き場を失って，きずが入りやすくならないよう各工程の型形状

図14 アルミニウム鍛造の肉流れのイメージ

図15 内径取代削減

図16 金型構成図

指数

図17 素材製造原価低減

に留意した。

また、肉を盛り上げる部分では、型接触部の肉のみが盛り上がり凸部が生じ、打ちこみずが発生しやすいのでうまく肉を逃がして解決した。

6.3.2 取代削減

本部品は、内径部に穴が貫通しており、鍛造では深穴成形を行う。このとき、インサート（上型）は先端を鋭角にしないと成形できない。特に本件のように成形速度が速い場合は必須である。したがって図15の一点鎖線のようになり、内径取代は大きくなる。

今回、①インサートの温度上昇防止による内径きず対策、②インサートの面粗度向上、型の角Rの大きさ等の工夫による焼き付き防止対策、③型の材質変更、④プレス改造による成形速度減少を行った。これにより、実

図18 素材が原因の工場内不具合発生推移

表2 パワーステアリングユニットの履歴

略 号	PB56S	PR24, 25S	PR24, 25SA	PR24, 26, 30SC	PR26SE
コントロールバルブ形式	スプールバルブ	スプールバルブ	ロータリバルブ	ロータリバルブ	ロータリバルブ
かじ取り歯車形式	ウォームローラ	ラック&ピニオン	ラック&ピニオン	ラック&ピニオン	ラック&ピニオン
特徴	エンジン回転数感应型	エンジン回転数感应型 操作時の剛性感アップ	エンジン回転数感应型 操作性向上	エンジン回転数感应型 操作性向上 音対策 小型化 軽量化	車速感应型(電子制御) 操作性向上
リアハウジング	鉄鋳造品 (FCMB32)	アルミ G.D.C 品 (AC4A)	ハウジング一体	アルミ鍛造品 (AN4A32)	アルミ鍛造品 (AN4B32)
ハウジング	鉄鋳造品 (FCD55)	鉄鋳造品 (FCD55)	アルミ P.D.C 品 (ADC12)	アルミ P.D.C 品 (ADC12)	アルミ P.D.C 品 (ADC12)
立ち上げ時期	'75/6	'79/11	'81/6	'87/4	'89/3

鉄

アルミ→

図19 パワーステアリングの重量、アルミ化率推移

線で示すようにインサートの先端部を平面にでき、内径取代は著しく減少し、材料費の低減、機械加工時間の短縮が図れた。図16に型断面図を示す。

6.3.3 その他の技術

他に簡易溶体化処理の実施、スクラップの工場内（鋳造部門）の再利用などの開発や改善を行った。

以上によりきわめて信頼性の高い鍛造部品を鋳造部品並みの製造原価で造るという画期的な技術を完成した。

6.4 製造原価削減のまとめ

いままで述べてきた技術開発等の努力により、図17に示すように約20%の原価を削減できた。

ここで鋳造部品の「他」の項は機械加工工程での油もれテストや含浸による費用を示す。

図18に工場内での素材が原因の不具合発生率を示した。従来の鉄やアルミニウムの鋳造では機械加工工程内で不具合が発生しているが、本件アルミニウム鍛造では発生件数は「0」である。このように鍛造部品は信頼性がきわめて高く、したがって次工程でのテスト等も不要となり、製造原価も下がることとなった。

7. 成果、実績

表2に日産自動車製のパワーステアリングユニットの履歴を示す。左から右に移り変わっているが種々の機能の付与、改良が行われ最終的には本件ユニットに落ち着いた。ここで、リアハウジングとハウジングについてみると、鉄からアルミニウムに変わるという大きな流れがある。その中で、最高の特性を引き出すにはアルミニウム鍛造部品が不可欠だったわけである。図19に本ユニットの重量とアルミ化率の推移を示したが、付加価値が高まっているにもかかわらず、重量が減少しており、以上に述べてきたことが裏づけられている。

図20 生産台数推移

この最高のパワーステアリングは社内外で高く評価され、日産のすべての乗用車に搭載されるまでに至った。

図20に本ユニットの生産台数実績を示す。破線はサニー、ブルーバードに代表される「新ロータリーバルブ式」、一点鎖線はセドリック、シーマに代表される「新電子制御式」の推移を示す。

現在月産16万台。生産累計は400万台を超えている。

8. おわりに

今までの自動車のコンセプトは「走」「美」「快」であり、本ユニットに対しても、走りやすさの追求がなされてきた。しかし、将来を見据えると「人と地球にやさしい」自動車が求められるようになり、「安全性」「軽量化」に重点がおかれる。

例えば、「安全性」において、ABS（アンチロックブレーキシステム）、TCS（トラクションコントロールシステム）の搭載率が増加することが予測される。これらは油圧部品であるため、本技術を拡大利用できるはずである。

また「軽量化」においては、本件で示したような安いアルミニウム鍛造の生産技術を応用することで、足回り、エンジン部品等に拡大採用される可能性が開けると考える。

最後に、このたび第26回小山田記念賞の受賞に当たり、本技術の開発、実用化にご支援、ご協力をいただいた関係各位の皆様および選考委員の皆様には厚くお礼を申し上げます。