
초청강연
자동차업계에 있어서의 단조기술 동향

日産自動車(株)

Nobuhirc Ozawa, Kohichi Mine

自動車業界における鍛造技術の動向

日産自動車(株) パワートレイン事業本部
成形技術部 塑性加工技術グループ
主担 小沢 伸宏
横浜工場 工務部 第二技術課
課長 峯 幸一

1. 自動車業界をとりまく環境変化^{1), 2)}

近年、自動車業界をとりまく環境変化は著しいものがあり私たちは大きな変革期の真只中にある。第一に、社会動向の変化である。地球環境にやさしくあるため、燃費の大幅向上はもとより、排気ガスを出さないもしくは害のない排気ガス化が急速に進められており、

①新機構

電気自動車、燃料電池自動車、ハイブリッド車、無段変速機、可変バルブタイミングコントロール、直噴エンジン等

②軽量化材料、軽量化技術

高張力鋼板、アルミニウム、樹脂、マグネシウム、中空成形部材（バルジ成形）や厚さ変化鋼板が採用されはじめている。

また、生産現場においては廃棄物ゼロ化の気運が高まり、使用原料の見直しやリサイクルに取り組んでいる。

第二に、お客様のニーズの変化である。お客様の嗜好は多様化が進み、安全性やお客様の用途と価格が見合うかどうか、より厳しい目で選択されるようになってきた。またお客様のニーズ変化に直ちに応えるため、新車開発期間短縮が行われている。従って図面を介さずにデーターを衝にした設計やバーチャルプロダクトが開始している。

第三に、産業構造の変化である。まず、海外自動車メーカーとのグローバルな提携や「系列」が崩壊し、グローバルな部品調達が行われはじめ、より厳しい品質、原価競争の嵐が訪れている。また、モジュール化が進み、塑性加工や鋳造といった素形材の専業だけでは生き延びていくのが難しい状況が訪れている。さらに、雇用機会均等法や今後の労働人口推移を考慮し、女子や高齢者が働き易い労働環境作りが課題となっている。

2. 鍛造技術に対する商品ニーズ（新機構化に伴う新たな鍛造部品）

2. 1 トランスミッション

オートマチックトランスミッション（以下A/T）は、北米、日本において搭載率が高く、今後、燃費向上に有効な無段変速機（Continuously Variable Transmission 以下CVT）が、増加してくると考えられる。ベルトドライブ式CVTはすでに軽自動車や一部の乗用車に搭載されている。構造を図1に示す。また、さらに大トルクを伝達する為、トロイダル式CVTの開発も進んでいる。構造を図2に示す。現在、マニュアルトランスミッション（以下M/T）搭載率の高い欧州も今後A/T化が進むと考えられ、M/Tの需要拡大はあまり期待できない。鍛造部品としては、A/T部品、CVT部品、へ需要が変化してくると思われる。従って、鍛造業界とし

ではA/T、デファレンシャル用ギアのコストパフォーマンス向上とA/T用の板成形部品の取込みやCVT部品（プーリー等）への展開が課題となってくる。

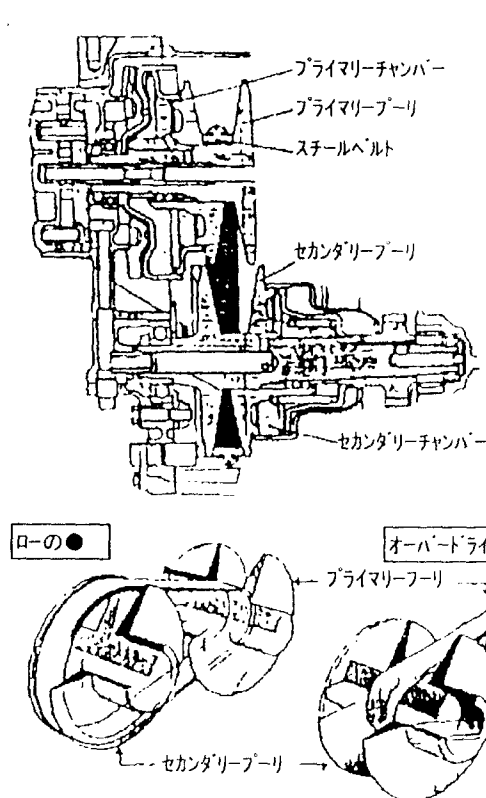


図1 ベルト式CVT変速機構

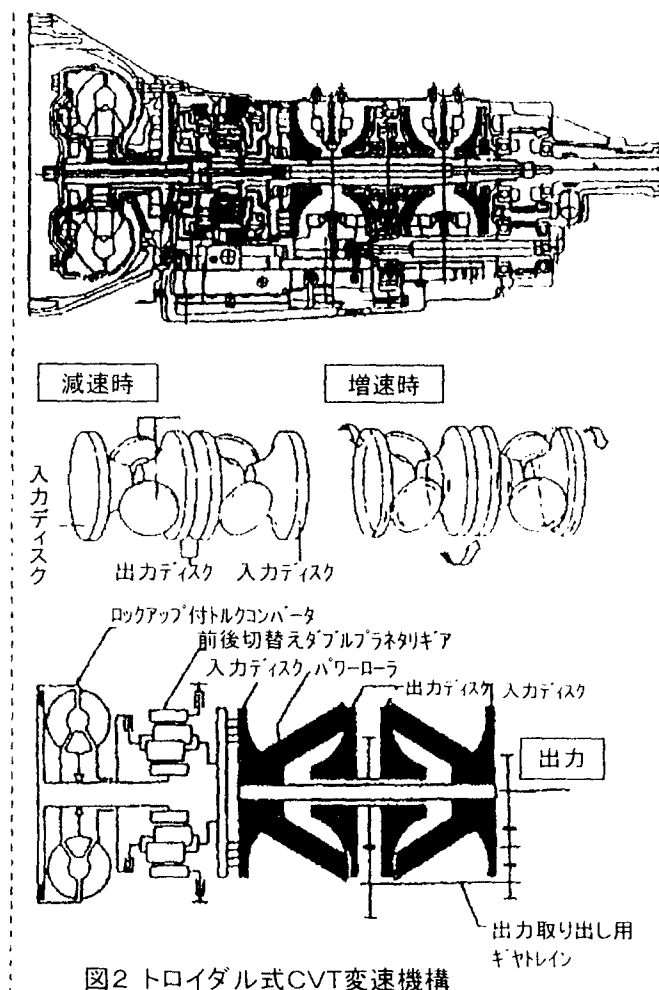


図2 トロイダル式CVT変速機構

2. 2 エンジン

環境対応型のエンジンもしくは新ユニット（電気自動車、燃料電池自動車、ハイブリッド車用）が続々と開発されている。当面は現行ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンの改良タイプが主流であると思われる。将来的には、各種新ユニットが増加すると思われるがその割合は未知数である。鍛造部品としては、現行エンジン燃費向上のための可変バルブタイミングコントロール用部品、コモンレールシステム用部品、直噴エンジン用燃料噴射ポンプ部品の需要拡大が予測される。現行部品では波及効果の大きい動弁系、主運動系部品（ピストン、コンロッド、バルブ、カムシャフト等）および重量比率の高いクランクシャフトの軽量化が課題となってくる。

2. 3 その他

シャーシ関連部品は中空品、アルミニウムを使った軽量化、アルミロードホイール、ABS部品の増加、ステアリングは電動パワーステアリング増加に伴う構成部品の変化対応が課題となってくる。

3. 鍛造技術に対する生産ニーズ

3. 1 品質

品質保証の客先ニーズは強まり、グローバルな競争に勝ち残っていくため、またPL法やISO9000の取得のためには全数品質保証が不可欠である。不良品の発生源対策を行うのは言うまでもないが、出荷時点で全数品質検査せざるを得ない部品が増えている。従って、①製品要求品質項目を保証する。②計数管理を行う。③精度の分類を行う。④検査結果を記録する。等を自動化する取組みが進んでいる。現在は、光電管、センサー、磁気特性、画像処理等を用い、数量、キズ、内部欠陥、硬さ、限定された場所の寸法の自動検査化が広く行われている。

今後、

- ①人の外観目視検査代替（欠肉、打痕、肌荒れ等）
- ②任意の場所の寸法、曲りの自動検査で多品種少量生産向けかつ低コストなシステム
- ③鍛造工程での発生源対策

が強く望まれている。トランスミッション用クラッチギアの歯形の欠肉やファイナルギアのコーナー部欠肉などがレーザーを用いて計測できることが報告されており、実用化の検討が進んでいる。また、鋼材切断直後に重量を測定し切断条件にフィードバックするシステム、成形直後の鍛造品寸法をプレス成形条件にフィードバックし、不良品の発生を未然に防ぐシステム、金型の温度を制御するシステムの実用化が行われており今後の拡大が予測される。⁴⁾

また、新部品の生産開始時点での「生れの良さ」を確保し、品質不良の発生を防ぐ取組みが進んでいる。過去の品質不具合対策の履歴等のノウハウを電子情報として蓄積し活用するエキスパートシステムが実用化されはじめている。⁵⁾⁶⁾さらに、過去の知見がない部品については、シミュレーションを活用することが一般化しつつあり、今後は粘土（プラスチック）や2次元デジタルシミュレーションから3次元デジタルシミュレーションに変わりつつある。ここでは、いかに速く簡単にモデリング→演算できるかが課題となっている。また、部品形状のデータ情報が、各種シミュレーション、エキスパートシステム、CAD、CAMと一元化している。⁷⁾⁸⁾

3. 2 原価

3. 2. 1 固定費

近年の資金調達環境や顧客ニーズの変化による生産変動を考慮すると、設備投資金額を最小限にすることは不可欠である。鍛造プレスは、①投資額が高いこと、②作業者が定員配置となりやすいこと、③レイアウト変更等の小回りが利かないことなどにより、慎重な投資検討が必要である。従って、小さくて安く、小回りの利く設備が求められている。→小さくするには成形荷重を下げなくてはならない。→部分的な成形を連続して行う設備が有効である。ということで、揺動鍛造、スピニング、転造、リングローリングミル、回転鍛造等の回転塑性加工や逐次成形への志向が強まっている。さらに成形速度が遅いという短所を逆手にとり、機械加工ラインと直結する取組みが行われている。これにより、比較的資金力の弱い中小鍛造メーカーや機械加工メーカーが本領域に積極的に参入している。

また、ネットシェイプ成形や複数部品の一体化成形により、機械加工、組立て（接合）工程を省略し設備投資の削減を行っている。

3. 2. 2 比例費

直接材料費の低減は、以前より鍛造歩留りを向上することにより対応してきた。しかしながらその取組みもほぼ限界に近づきつつあり、シミュレーションを駆使しながら残されたわずかな領域を刈取りつつある。また今後は①ネットシェイプ成形により直接材料費の低減やチップレスによる機械加工設備投資の削減②合金鋼を炭素鋼に替えるなどの廉価材活用③部品の小型化④鍛造歩留りが向上する生産設計を精力的に進める必要がある。

金型費の削減は、鍛造歩留り向上が限界に近づきつつあることから注目を浴びている。金型の寿命を向上させるため、部位毎に「適材適所」の材料を適用する複合化の動きが進んでいる。また、PVD等の表面処理技術の適用も進んでいる。さらに、寿命に至った金型を溶接肉盛りして再生する取組みも盛んに行われている。

労務費の削減は、従来より鍛造機の自動化が進められているが、監視要員の撤廃を行い完全自動化を行うため、鍛造工程内での品質フィードバックシステムが一部で実施されており今後拡大すると思われる。また、①付加価値の少ない出荷前検査工程自動化や熱処理工程等の省略、②材料切断と鍛造工程、鍛造工程と熱処理工程、仕上複数工程の直結化が一層進んでいく。

3. 2. 3 納期

昨今、企業のキャッシュフローを考慮し在庫削減意識が高まっている。安全在庫削減のための設備信頼性向上、ロットサイズ縮小のための段取時間短縮が地道に行われている。加えて、部品種類を削減して型替え回数を減らす取組みが行われている。

また、工程削減、工程の直結化により工程間在庫をいっきに無くしてしまう取組みが進んでいる。

3. 2. 4 環境

製造工程での環境対策として廃棄物のゼロ化が新たな課題となっている。鍛造工程においては、スケール、型潤滑剤、グリース、バリ及び鋼材端材の発生量削減やリサイクルが必要である。スケールについては、インダクションヒーターでの発生量を減らしたり、グリースと分離回収して専門業者を経て再利用化することが行われている。型潤滑剤については、白色系水溶性潤滑剤の循環再利用が行われている。冷間鍛造用のボンデライト処理は、装置に付着するカスを産業廃棄物として処理しており対応が遅れている。カスを発生しない代替潤滑剤も出てきているが、生産上の採用は一部にとどまっている。グリースは自社内で焼却したり廃棄物として処理しているが、オイル潤滑設備に改造する対応が取られている。

省エネルギーについては、従来より熱処理工程の廃止や加熱装置、熱処理炉の熱効率改善が行われているが、今後画期的な改善を生む対策案はなく課題として残されている。

一方、機械加工性を向上させるため鋼材に入れてきた鉛が使えなくなってきたため、硫黄やカルシウムなどを用いた新たな快削鋼の開発とともに、鍛造部品としてはネットシェイプ成形が重要になってくる。

4. 事例紹介

以上の様な自動車業界をとりまく環境変化に対し鍛造業界は、「高生産性」・「高強度、高靱性」といった鍛造本来の旨みを生かしつつ、「コスト削減」・「軽量化」と言ったニーズに対し

て、「ネットシェイプ化」・「一体化」・「高強度化」を重点課題として取り組む必要がある。

4. 1 歯車のネットシェイプ

歯車の精密鍛造は、すぐ歯については外歯、内歯共既に一般的になっている。一方、はず歯部品はステアリングピニオン、遊星歯車のインターナルリングギア、熱間+冷間鍛造によるメインギア等自動車に搭載された部品が出始めている。歯形成形には高価な金型が必要でありその寿命の善し悪しが成功の鍵になっている。一般に熱間成形では金型の摩耗が激しくコスト負担が大きい。ここでは、当社で開発した冷間閉塞によるピニオンプラネタリーギアの例を紹介する。10)

はず歯歯車の精密鍛造化としては以前から前方押し出し方式の開発を行っていたが

- ①両端面の削り代が多く材料費悪化
- ②両端面切削後のバリ除去工程が必要
- ③切削工程での基準面が少なく精度低下する。

の理由によりコスト低減効果が得られず採用を見送った。その後、'93年より複動成形方式を利用した冷間閉塞鍛造工法開発に着手し、'97年より生産を開始した。本件工法により

- ①歯部、両端面は完全チップレス
- ②基準面の確保が可能

となり、材料費・労務費・ランニング経費・設備投資費の削減ができた。図3に金型構成を写真1に部品外観を示す。

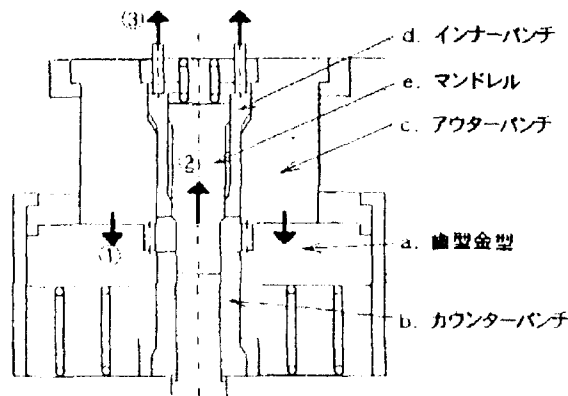


図3 金型構成図

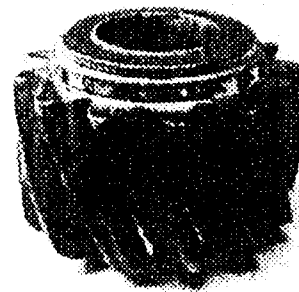


写真1 部品外観図

本工法の基本原理は、

- ①金型を閉塞状態とし被加工材を圧縮成形し
- ②金型強度限界より小さな加圧力まで加圧したところで、eのマンドレルを上昇させ「逃がし穴」部位をつくって加圧力を低下させ
- ③さらに成形を進めたところでdのインナーパンチを引き上げて「捨て軸」部位をつくって加圧力の増大なしに歯形の先まで材料を充満させるものである。

製造工程については、機械加工ラインの先頭に油圧プレスを設置しインライン化することで高付加価値部品の在庫削減によるコスト低減、梱包費低減と打痕撲滅による品質向上が可能となっている。

4. 2 パワートレイン部品の一体化とネットシェイプ

ネットシェイプ技術の進歩により部品の一体化成形もコスト低減を目的に盛んに行われる様になった。ここでは、当社で開発したA/T部品のスリーブキャリアとハブハイクラッチの一体化事例を紹介する。

図4に従来工法と一体化工法の比較を示す。一体化工法ではクラッチ歯と軸部スプラインがネットシェイプ成形されているのと、二部品の接合部の機械加工と電子ビーム溶接が廃止され、約40%と大幅なコスト低減が可能となった。

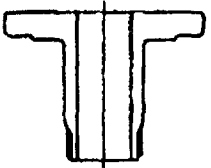
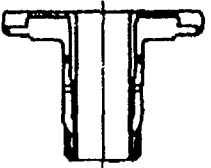
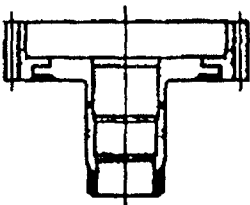


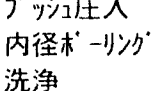
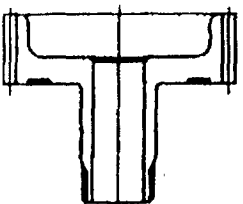
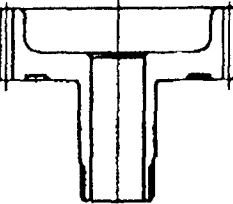
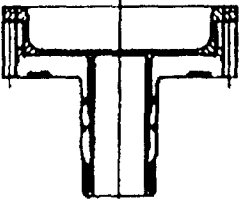
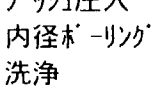
		鍛造	M/C加工	熱処理	Assy
従来工法	スリーブ	冷間鍛造 	ターニング, 穴開け 	浸炭, ショット	ハードターニング (溶接部) 電子ビーム溶接 
	ハブ	熱間鍛造 	ターニング, 歯切り バリ取り, 穴開け 		ブッシュ圧入 内径ホーリング 洗浄 
一体化工法		熱間鍛造 + 冷間サイジング 	高周波焼入 	ターニング, バリ取り, 穴開け 	ブッシュ圧入 内径ホーリング 洗浄 

図4 A/Tハブハイクラッチの従来工法と一体化工法の比較

本件開発のポイントは

- ①クラッチ歯と軸部スプラインの寸法出し
- ②ベアリングアタッチメント部の平行度出し
- ③軸部の硬度

であり、通常の熱間鍛造よりスケール発生の少ない亜熱間鍛造（1100℃）での予備成形で面粗度を確保し、その後、2工程での冷間サイジングにより軸部しごきの硬度出しとネットシェイプ部の寸法出しを行っている。

また、エンジン部品においてもネットシェイプによる一体化成形が実現している。図5にはエンジンのリングギヤフライホイールの工法を示す。

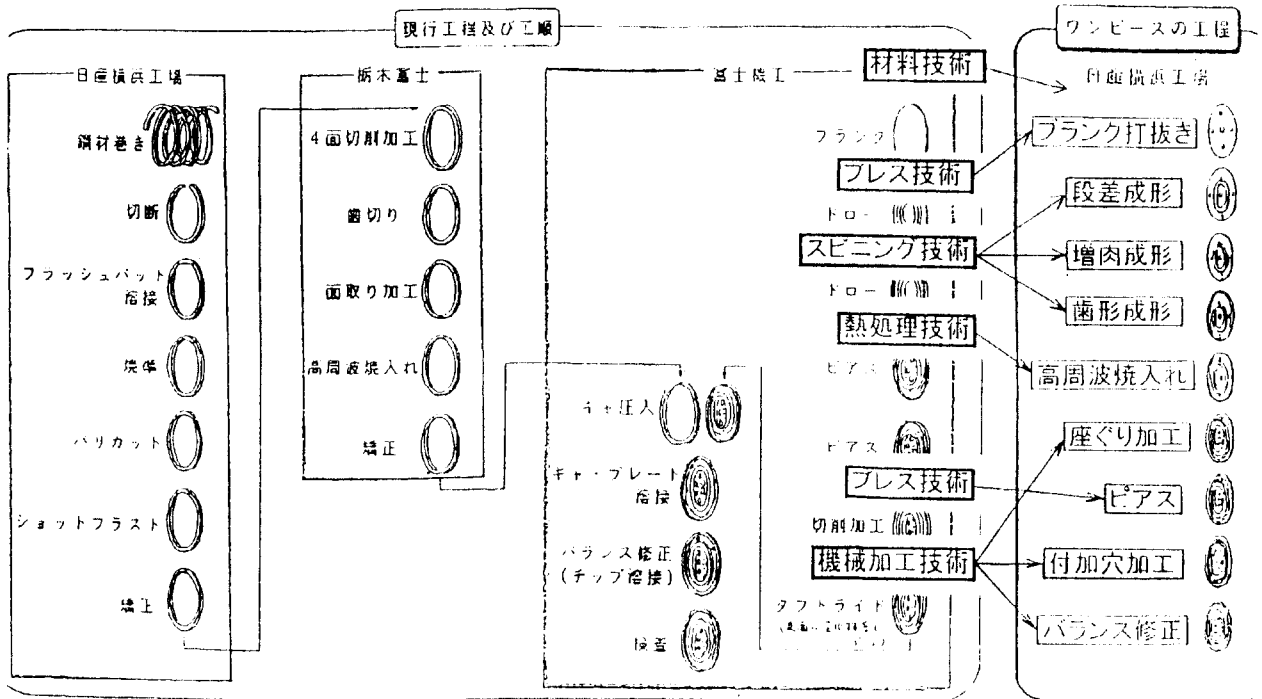


図5 エンジン リングギヤフライホイールの工法比較

従来工法はリングギヤ粗材を巻き・切断・溶接で造り、リングギヤ粗材を総削りで歯切り加工まで行っていた。一方、内側のプレート部はプレスで成形され、リングギヤとプレートを溶接により組立て部品を完成させていた。今回、当社が開発した新工法では一枚の板からスピニング成形により、プレートの段差付け・外周部の増肉・ギヤ部の転造加工と一貫ラインでの1ピース加工を実現させた。これによって従来の23工程を9工程に改善することができ、約30%のコスト低減と約80%の在庫削減が可能となった。

4. 3 鍛造と回転成形の複合化

自動車のA/T搭載率の向上と共にA/T部品の製造方法も変化してきている。板金プレス成形に代わり鍛造やスピニングといった工法の適用が拡大してきている。スピニング工法は、プレスに比べ金型費が大幅に低減でき且つ設備費も低減できる。生産性としてはプレスには及ばないものの小ロット生産部品を低コストで供給可能な工法として注目を浴びている。更にスピニング工法の応用として熱間鍛造粗材をスピニング成形する事例が発表されてきた。11) カップ製品を熱間鍛造しておき、円筒部をスピニングしごきすることで、内径にスプライン成形し一体化・コスト低減に効果をあげている。

4. 4 加工熱処理

鍛造加工時の熱を利用して熱処理を施すことにより強度を向上させ、部品軽量化を達成できた事例報告もされている。まず当社コネクティングロッドの開発事例を紹介する。12) コネクティングロッドの材料は熱処理費低減、工程内在庫ゼロ化、軽量化の面でバナジウム系非調質鋼が主流である。しかし疲労強度、座屈強度共に限界に近く新たな技術が必要としていた。本件は低炭素マルテンサイト鋼とショットピーニング処理によって焼き戻し処理を行わず、焼き入れ・焼き戻し並の材料特性を得られた事例である。技術のポイントは

- ①オーステナイト域からの連続冷却における冷却速度と組織の関係
- ②コイニング量のコントロール
- ③ショットピーニングと疲労強度との関係

である。低炭素マルテンサイト鋼は1,523°Kから連続冷却することで必要な硬度が得られる。そこで、プレス内トリム化と焼入れ冷却水槽を近接設置して鍛造焼入れすることで必要特性が確保でき、熱処理費の増加せずにコンロッドの軽量化が実現できた。本件技術は足回り部品等にも応用されている。材料成分を表1に示す。

表1 開発材料成分

	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	V	Pb
開発材料	.046	.25	1.43	.014	.029	.20	.0025		.07
従来材料	.40	.25	.75	—	—	—	—	.09	.07

4. 5 環境保護と廃棄物のゼロ化

鍛造の生産廃棄物として、廃グリス・廃スケール等が挙げられるが冷間鍛造の潤滑剤として用いられている化成処理において発生する廃棄物についても今後の大きな課題といえる。冷間鍛造用の表面潤滑処理は一般にボンデ処理とか燐酸処理等と呼ばれている。実際には潤滑剤の下地として燐酸塩皮膜を被加工材表面に形成し金属石鹼層・湯溶石鹼層の3層で使用される。¹³⁾この潤滑処理工程は一般に長く代表的工程としては

[脱脂] → [水洗] → [酸洗] → [水洗] → [化成処理] → [水洗] → [中和] → [潤滑処理] → [乾燥]

となっている。これに対し廃棄物としては、無機アルカリ・界面活性剤・水洗廃液・廃塩酸・廃硫酸・化成処理スラッジ・廃石鹼等がある。これに対し潤滑処理の開発が行われ、[低温化成][工程統合][脱脂化成同時処理]によって廃スラッジ・廃棄物の低減が期待でき実用化が広がると考えられる。将来的には塑性加工においてもドライ加工可能な被加工材・金型材料・金型表面処理が実現することが理想的である。しかしながら、全ての冷間鍛造で成立できる技術確立には時間を要すると思われる。但し、成形度の低い単工程加工であれば加工油のみで成形でき、最近では少量で成形可能な潤滑油もでてきており、潤滑技術の革新に注目して行きたい。

5. まとめ

自動車業界は、大きな変革期にある。従って、鍛造においても従来と異なる取組みを行っていないと生残れない状況にある。そのための鍵は、環境をベースに

- ①現有設備を徹底的に使い倒すこと。
- ②鍛造工法の枠を飛出すこと。
- ③部品機能に立入ること。

これらによって、速く、安く、良い機能の部品を作ることであると思われる。さらに、自動車の新機構化の流れに乗ってビジネスチャンスを逃さないことが大事であると思われる。将来とも鍛造を主とする塑性加工が活躍できるよう、今後の技術革新を期待したい。

参考文献

- 1) 日経メカニカル別冊 21世紀のクルマはこうなる P10~36 (1998)
- 2) 斉藤、長瀬：自動車技術 Vol. 53, NO. 8 P10~14 (1999)
- 3) 田辺、黒沢、小林：日産技報 No. 44 P22~25 (1999)
- 4) 財)鍛造技術研究所、財)素形材センター：鍛造品の自動検査の現状と今後の方向に関する調査研究報告書 (1998, 1999)
- 5) 藤川、石原：自動車技術 Vol. 49, No. 11 P62~67 (1995)
- 6) 小豆島、藤川、上野ら：第48回塑性加工連合講演会論文集 P213~214 (1997)
- 7) 日経メカニカル別冊 21世紀のクルマはこうなる P90~95 (1998)
- 8) 藤川：NIKKEI COMPUTER GRAPHICS 2月号 (1998)
- 9) 三田村、浜崎：塑性と加工 VOL. 40, NO. 462 P7~12 (1999)
- 10) 廣田ほか：素形材 '99. 6 P11
- 11) 護法：鍛造実務講座 第24回 平成9年2月 P76
- 12) 倉富ほか：自動車技術会学術講演会前刷集 946 '94. 10 P185
- 13) 松村ほか：鍛造実務講座 第25回平成9年10月 P57