

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ハイテン材に対応した次世代金型素材と成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社木村鋳造所

目 次

第 1 章 研究開発の概要

- 1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1 - 2 研究体制
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1 - 3 成果概要
- 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

第 2 章 本論

- 2 - 1 ひけ性抑制・焼き入れ性・耐摩耗性に優れた金型素材の開発
 - 2 - 1 - 1 ひけ性抑制
 - 2 - 1 - 2 焼き入れ性の改善
 - 2 - 1 - 3 耐摩耗性の改善
 - 2 - 1 - 4 溶接性の改善
 - 2 - 1 - 5 実機金型の製作とハイテン成形のトライ
 - 2 - 1 - 6 まとめ
- 2 - 2 焼入れ時に発生する反りの抑制
 - 2 - 2 - 1 ソリの抑制
 - 2 - 2 - 2 まとめ
- 2 - 3 商品化への最適成形技術の確立
 - 2 - 3 - 1 実機テストによるカジリ抑制
 - 2 - 3 - 2 サーボプレス機テストによるスプリングバック抑制
 - 2 - 3 - 3 まとめ
- 2 - 4 事業化等について

最終章 全体総括

- 1 研究発表成果
- 2 今後の課題及び事業化展開

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) 研究の背景

ハイテン化に見られるような川下産業である自動車への軽量化・高機能化・低コスト化の波は、石油の高値安定・地球温暖化などの環境配慮問題から急務な課題となっている。このため、我が国におけるハイテン材の製造及び使用比率は50%を越えるようになってきている。しかしながら、ハイテン材の金型素材には鍛造から造られる冷間工具鋼（主にSKD11）が使用されるため、従来の鋳鉄製の金型に較べて、納期及び型費が2~4倍となっている問題がある。また、ハイテン材特有のスプリングバック（バネのように成形した板が元に戻ろうとする現象）の問題もある。これらの課題のために、川下産業である自動車や情報家電業界においてハイテン化の進展が遅れているのが現状である。

一方、金型用素材として、合金系球状黒鉛鋳鉄、VC分散鋳鋼、溶浸型WC複合材、VC分散型球状黒鉛鋳鉄等が提案されているが、コスト・溶接性・耐摩耗性などで課題を掲げている。表面処理技術としては、表面焼入れ・窒化・浸硫窒化・金属浸透法・表面被膜法等が研究されているが、熱変形・表面の割れ・母材硬度の低下・耐摩耗性などが課題として残っている。加工性と成形性についても研究が行われているが、実用化までは至っていない。省エネ・環境保全のためには、車体の軽量化が不可欠である。そこで、軽量且つ高剛性のハイテンが使用されるようになった。しかしながら、高張力鋼板の使用に伴い、金型に与える負荷（摩耗・かじり）が増し、プレス技術が鋼板技術に追いついていないのが現状である。日本の車作りにおいて、低コスト・短納期・易切削性・熱処理時の変寸や変形が少ないような、ハイテン材に対応した金型素材が求められている。

2) 研究の目的及び目標

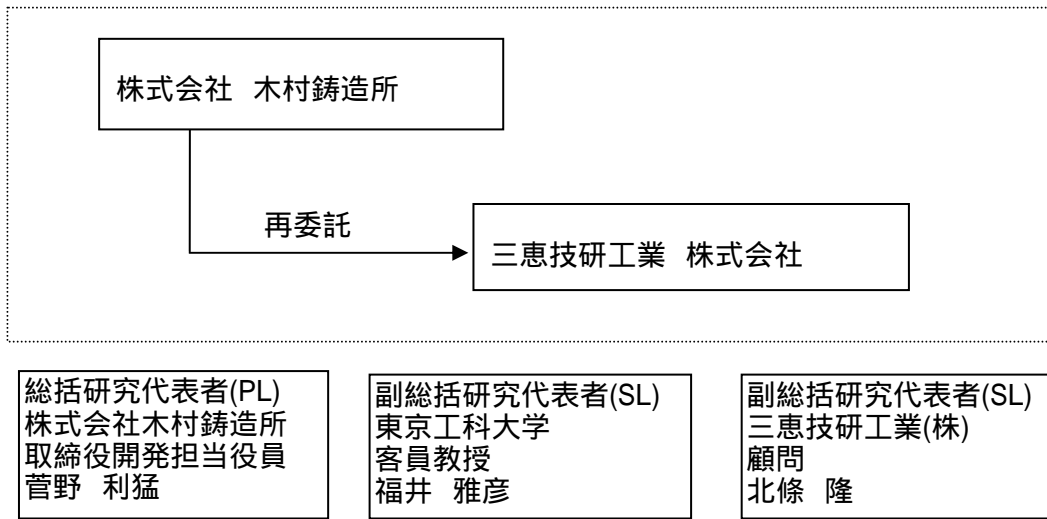
上記の理由により、川下産業である自動車や情報家電作業のハイテン化比率を高めるために、金型における低コスト化や短期間製造等を可能とする新素材によるハイテン成形技術を構築する。具体的に、780MPa級までのハイテン用金型を「鋳造による一体型」とすることにより、納期・品質・コストを革新的に改造する。また、「鋳造による新しい金型素材の開発と熱変形の起こらない表面処理方法」を組み合わせることにより、ハイテン用金型の納期・品質・コストを革新する。開発した新しいハイテン材用金型の加工条件と精度向上法及び成形方法を標準化し、中小企業でも横断的に本技術が使えるようにする。以下に、具体的目標と目標値を示す。

目標	目標値
ひけ性抑制・焼き入れ性・耐摩耗性に優れた金型素材の開発	ひけ性: 押し湯を施工せずに、ひけ巣が発生しない金型素材を開発する。 焼き入れ性: 中型実機金型においても HRC54~57 にすることにより、かじりにくくする。 耐摩耗性: TD 並の耐摩耗性を確保する。 溶接性: 11Cr 溶接で横割れしないようにする。 590MPa 級以下のハイテン材に対して、低コスト・高品質の合金球状黒鉛鋳鉄(合金 FCD 材)素材の開発を完成する。
焼入れ時に発生する反り発生の抑制	熱変形の少ない表面処理方法の開発 600mm の型に対して、反りを 0.6mm 以下に抑える。
商品化への最適成形技術の確立	! 実機テスト: 実機金型テストにおいて、カジリを抑制し、かつスプリングバックを抑制できる最適成形条件を見つける ! サーボプレス機でのテスト: スプリングバックを 0.5 以内に抑える成形技術を確立する。
特許の作成と出願	得られた成果を特許として出願し、著作権を確保する。

1 - 2 研究体制

1) 研究組織 (全体)

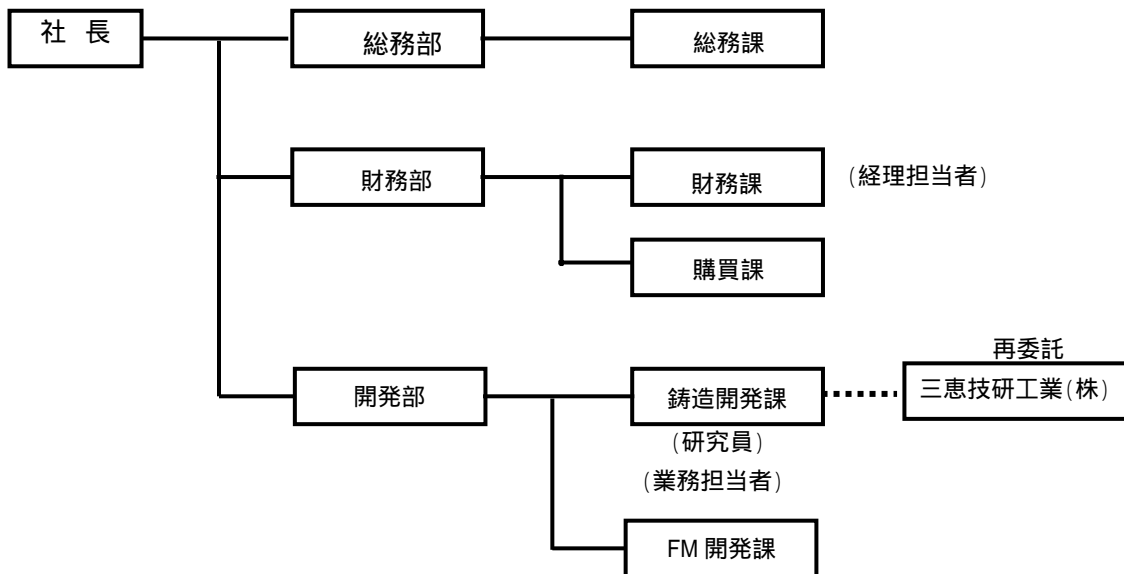
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

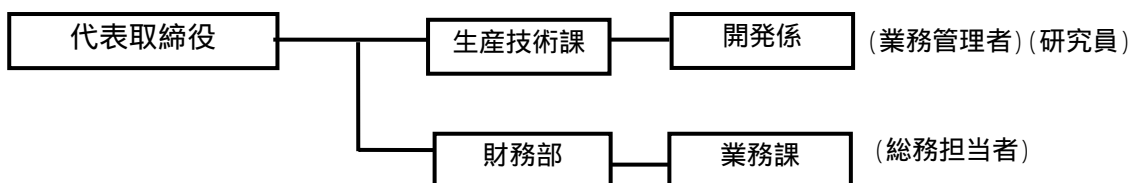
事業管理者

[株式会社木村鋳造所]



(再委託先)

三恵技研工業 株式会社



(1) 管理員及び研究員(氏名, 所属・役職, 実施内容)

[事業管理者] 株式会社木村鋳造所

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
菅野 利猛	取締役開発担当役員	プロジェクトの管理・運営
田辺 顕一	財務部財務課課長	プロジェクトの管理・運営

研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
菅野 利猛(再)	主任研究員(取締役開発担当役員)	!
福田 葉椰	副主任研究員(開発部部長)	!
姜 一求	研究員(開発部係長)	!
水木 徹	研究員(開発部主任)	!
岩見祐貴	研究員(開発部部員)	!

ひけ性抑制・焼き入れ性・耐摩耗性に優れた金型素材の開発
 焼入れ時に発生する反りの抑制
 商品化への最適成形技術の確立
 特許の作成と出願
 プロジェクトの管理・運営

[再委託先]

三恵技研工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
北條 隆	主任研究員(顧問)	
仲 正彦	副主任研究員(生産技術主任)	
中川 納	研究員	

(2) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者) 株式会社木村鋳造所

(経理担当者) 財務部財務課課長 田辺 顕一
 (業務管理者) 取締役開発担当役員 菅野 利猛

(再委託先) 三恵技研工業株式会社

(経理担当者) 財務部(部長兼任) 稲垣清治
 (業務管理者) 安濃工場工場長 五十嵐正巳

(3) 他からの指導・協力者

役割	氏名	所属・役職	備考
総括研究代表者(PL)	菅野利猛	取締役開発担当役員	
副総括研究代表者(SL)	福井雅彦	東京工科大学・客員教授	アドバイザー
委員	福田葉椰	(株)木村鋳造所・開発部長	
委員	姜一求	(株)木村鋳造所・開発部係長	
委員	水木徹	(株)木村鋳造所・開発部主任	
委員	岩見祐貴	(株)木村鋳造所・開発部部員	
副総括研究代表者(SL)	北條 隆	三恵技研工業(株)・顧問	
委員	仲正彦	三恵技研工業(株)・生産技術主任	
委員	中川納	三恵技研工業(株)	
委員	高橋百利	(株)クライムエシター・代表取締役社長	アドバイザー
委員	三田俊裕	東京工科大学・准教授	アドバイザー

(4) 知的財産権の帰属: 知的財産権は全て当方に帰属することを希望。

(5) その他 : なし

1 - 3 成果概要

1 - 3 - 1 ひけ性抑制・焼き入れ性・耐摩耗性に優れた金型素材の開発

- ア 目標： a. ひけ性:押し湯を施工せずに、ひけ巣が発生しない金型素材を開発する。
b. 焼き入れ性:中型実機金型においても HRC54～57 にすることにより、かじりにくくする。
c. 耐摩耗性:TD 並の耐摩耗性を確保する。
d. 溶接性:11Cr 溶接で横割れしないようにする。
e. 590MPa 級以下のハイテン材に対して、低コスト・高品質の合金球状黒鉛鑄鉄(合金 FC D 材)素材の開発を完成する。
- イ 達成状況：新素材の開発、PVD 表面処理、クリアランスの均一化、R の調整、ディスタンスの調整、等によって、590MPa のセンターピラー (1475x320xH77mm、板厚 2.3mm) の実機テストでもカジリなしで成形できた。この材質は、実機金型でも HRC54～HRC55(目標:HRC 55±2)の焼き入れ硬度を持ち、200 以下の低温 TiAlN-PVD 表面処理を行ったために母材の焼き入れ硬度が低下せず、SKD-11 の TD 処理と同等の耐摩耗性を持っている。更に、無押し湯でもひけ巣が発生しない、11Cr 溶接棒で肉盛 TIG 溶接しても横割れが発生しない、等の優れた特徴を持っている。よって、3 年間の目標は十分達成できたと言える。

1 - 3 - 2 焼入れの反り発生の抑制

- ア 目標：600mm の型に対して、焼き入れ時の反りを 0.6mm 以下に抑える。
- イ 達成状況：予算不足で、「焼入れ時に発生する反り解析用シミュレーションソフト」が購入できなくなった。よって、焼き入れ方法変更という方向に転換した。すなわち、従来の油焼き入れでは反り発生が大きかったために、反りの傾向が小さい窒素ガスによる焼き入れに方向転換した。その結果、「300mm 板で 0.2mm 以下」に反りを抑制することが出来た。また、従来の 1000 での TD 処理の代わりに、200 での TiAlN-PVD 表面処理を行うことにより、表面処理時の熱変形を抑制することができた。よって、3 年間の目標は十分達成できたと言える。

1 - 3 - 3 商品化への最適成形技術の確立

- ア 目標：実機金型テストにおいて、カジリを抑制し、かつスプリングバックを抑制できる最適成形条件を見つける。また、小型金型テストにおいて、スプリングバックを 0.5 以内に抑える成形技術を確立する。
- イ 達成状況：3 年間の目標であった 590MPa のハイテン鋼板のセンターピラー (1475x320xH77mm、板厚 t2.3mm) をカジリ無しで成形することができた。更に、圧縮効果と曲げ癖効果を利用した成形技術を開発し、ロッカー(780MPa ハイテン鋼板、165x260x40, t1.2mm)の製品に対して、スプリングバックを 0.5 度以下に抑えることができた。よって、3 年間の目標は十分達成できたと言える。
- ウ 今後の課題：成形したものを 1000 に加熱してから金型の間で急冷すると、引張強度が高くなり、スプリングバックがほとんどなくなることが分かった。今後 2 年間、(株)木村鑄造所を中心に基礎研究を行い、実製品に適用できる技術を開発する。
- エ 事業化の方向：中小企業 (株)木村鑄造所 がハイテン対応用金型素材を製作し、川下ユーザ (三恵技研工業(株)) に提供する。今回、センターピラー (1475x320xH77mm、590MPa、板厚 t2.3mm) の実機テストに使用した金型素材は川下ユーザのニーズを十分満足させており、実機製品用の金型製作の技術は十分確立されたと言える。さらに、この研究成果を「型技術」のジャーナルに掲載することにより、PR して行く。すでに、興味を示しているメーカーもあり、今後多くの受注が期待されている。

1 - 3 - 4 特許の作成と出願

- ア 目標：得られた成果を特許として出願し、著作権を確保する。
- イ 達成状況：特許に関しては、金型と熱処理に関しては、予備審査の結果通ることが難しいことが分かった。今後、調査と検討を続ける。

1 - 4 当該プロジェクト連絡窓口：株式会社木村鑄造所 (担当；姜)

連絡先 TEL：055-975-7053 FAX：055-975-9921 E-mail:kang@kimuragrp.co.jp

第2章 本論

2-1 ひけ性抑制・焼き入れ性・耐摩耗性に優れた金型素材の開発

2-1-1 ひけ性抑制

ハイテン化に見られるような川下産業である自動車への軽量化・高機能化・低コスト化の波は、石油の高値安定・地球温暖化などの環境配慮問題から急務な課題となっている。このため、我が国におけるハイテン材の製造及び使用比率は50%を越えるようになってきている（図1と図2）。

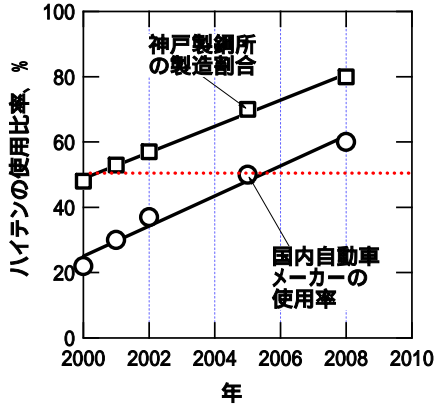


図1 神戸製鋼が予測するハイテン材の使用比率

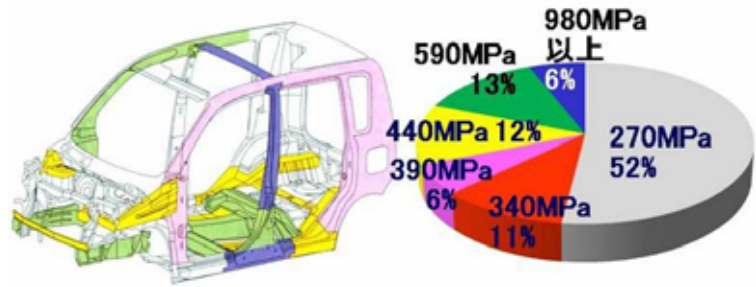


図2 ハイテン鋼板の使用状況

しかしながら、ハイテン材の金型素材には鍛造から造られる冷間工具鋼（主にSKD11）が使用されるため、従来の鋳鉄製の金型に較べて、納期及び型費が2~4倍となっている問題がある。また、ハイテン材特有のスプリングバック（バネのように成形した板が元に戻ろうとする現象）の問題もある（図3）。これらの課題のために、川下産業である自動車や情報家電業界においてハイテン化の進展が遅れているのが現状である。

一方、金型用素材として、合金系球状黒鉛鋳鉄、VC分散鋳鋼、溶浸型WC複合材、VC分散型球状黒鉛鋳鉄等が提案されているが、コスト・溶接性・耐摩耗性などで課題を掲げている。また、高張力鋼板の使用に伴い、金型に与える負荷（摩耗・かじり）が増し、プレス技術が鋼板技術に追いついていないのが現状である（図4）。日本の車作りにおいて、低コスト・短納期・易切削性・熱処理時の変寸や変形が少ないような、ハイテン材に対応した金型素材が求められている。

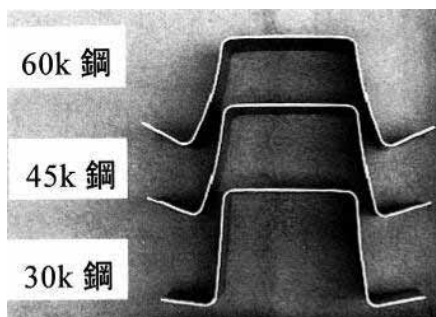


図3 スプリングバックの様子】



図4 カジリの様子】

H20年に開発した合金FCD材質は優れた焼き入れ性を持っている。ただし、0.7%のMo・0.15%Crを添加するために、製品の中心部にひけ巣が発生してしまう。図5に、ひけ巣の一例を示す。このようなひけ巣は、真空焼入れ時に爆発を起こすことがある(図6 真空焼入れ装置の外観)。

ひけ巣発生対策としては、押し湯を施工して、ひけ巣を押し湯部に追い出すようにしている。図7に、合金FCD-Iで金型鋳物を製作する際に施工した押し湯の様子を示す。絞りダイにおいては、製品70kgに対して、1.7倍重量(120kg)の押し湯を施工している。このような押し湯の施工により、製品内部にはひけ巣が発生していない。ただし、製品歩留まりが低いこと、押し湯施工や切断に時間がかかること、等の問題がある(図8)。そこで、H21年度には、押し湯無しでもひけ巣を抑制する技術、且つ焼き入れ性の優れた素材を開発することにした。

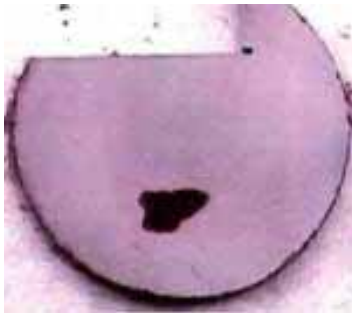


図5 ひけ巣の一例 200xH200mm (45kg)



図6 真空焼入れ装置の外観

押し湯：40kgx3個=120kg (200xH200mm)

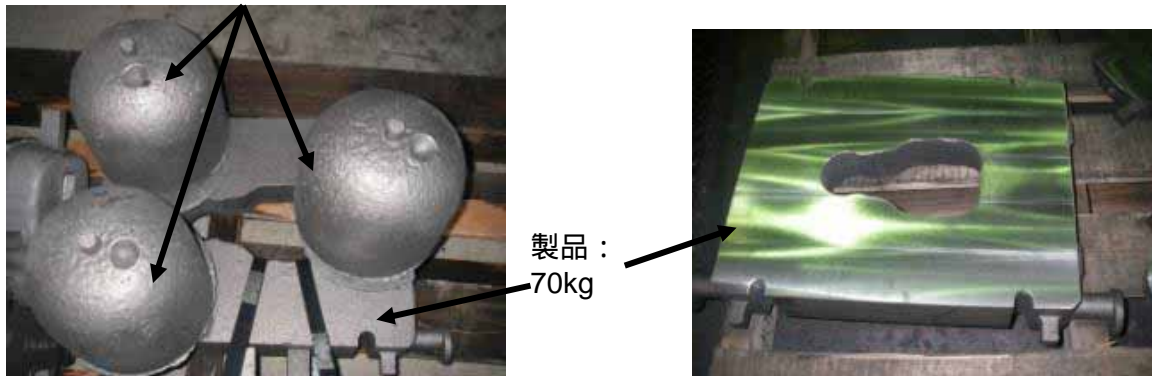
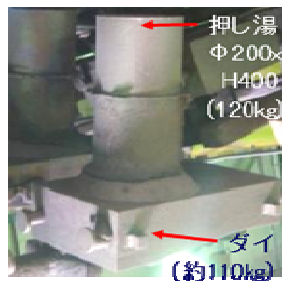


図7 絞りダイの製作における押し湯の施工(製品：70kg、押し湯：120kg)



(a) 造型の様子 (b) ショット後の様子 (c) 溶断作業

図8 金型鋳物の製作における押し湯施工と除去の様子(材質：合金FCD-I)

溶湯中の各種元素は、ひけ巣の発生に大きく影響していると知られている。ひけ巣を抑制するためには、ひけ巣を助長する元素を減らし、ひけ巣を抑制する元素を増やすことが望ましい。ただし、どの元素がどれほど影響しているか、という定量的なデータが報告されていない。そこで、溶湯中の各元素がひけ巣に及ぼす影響を調査し、定量化することにした。

基本成分は FCD-400 相当であり、各種元素の添加量を変化させた。高周波誘導炉を用いて 55kg 溶湯を作り、Fe-45%Si-4%Mg 合金を用いて、おきつぎにて球状化処理を行った。球状化処理後、酸硬化フェノールのシェル鑄型(内径 200mm、高さ 200mm)に鑄込んだ(図 9)。鑄込み温度は約 1450 であり、鑄型に入った時の温度は約 1350 である。試験片を切断し、超音波探傷によってひけ巣の面積を求めた。その測定誤差は 5%以内である。また、試験片の下部、中部、上部の組織観察を行った。

図 10 に、ひけ巣体積に及ぼす各種元素の影響を示す。

ひけ巣に及ぼす各種元素の影響をまとめると、以下ようになる。

ひけ巣を増加させる元素 $S > P > Mo > Sn > Al > Cr > Mn$

ひけ巣を減少させる元素 $C_{(垂共晶)} > Si_{(垂共晶)} > Ni$

ひけ巣の抑制を考えて、以下の成分にすることが望ましいことがわかった。

C3.7, Si2.1, Mn0.4, P0.02 以下, S0.02 以下, Mo は少なく、

Cr0.05 以下, Al0.02%以下, Sn0.01%以下, Ni は無関係

(ただし、焼き入れ硬度を高めるためには、Ni と Mo 量の調整が必要である。)

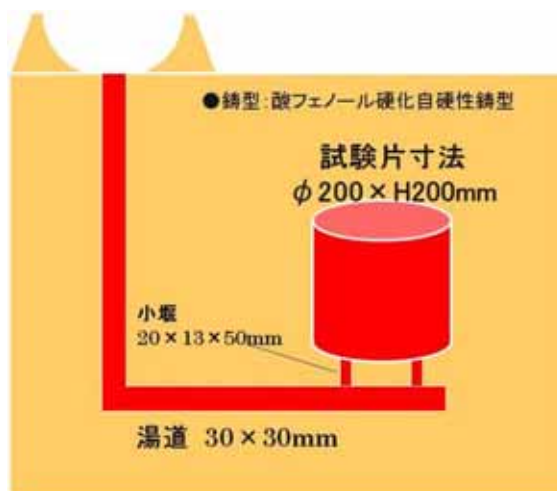


図 9 鑄型および試験片の形状 (45kg)

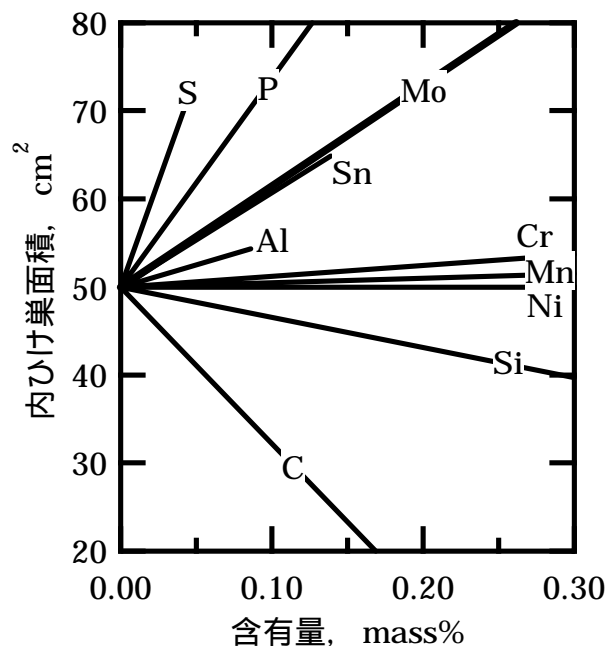


図 10 ひけ巣体積に及ぼす各種元素の影響

2 - 1 - 2 焼き入れ性の改善

Mo と Ni を変化させながら、焼き入れ性に及ぼす影響を調査した。その結果、目標としていた HRC55 を得るためには、Mo0.11%と Ni1.8%が望ましいことが分かった。そこで、この成分を用いて試験片を作成し、焼き入れ硬度を調査した。

図 11 に、焼き入れ方法を示す。焼き入れ性の調査では、簡易的な方法にての比較評価を行った。すなわち、200xH400mm の T.P より一辺が約 30 mm の立方体の試験片を作製し、これを加熱炉に入れて 930 で 1 時間保持した後、炉外に取り出して急冷した。冷却方法としては、耐火レンガ上に置く自然空冷（焼き入れが下手な場合）、エアーを吹きかける強制空冷（焼き入れ条件が普通の場合）、冷えた鉄板に接触させる鉄板空冷（焼き入れが上手な場合）、の 3 種類を行い、それぞれの硬度を測定して比較を行った。また、焼き入れ性を比較するために、FC300、FCD550、FCD700、合金 FCD-IS の 4 種類で行った。

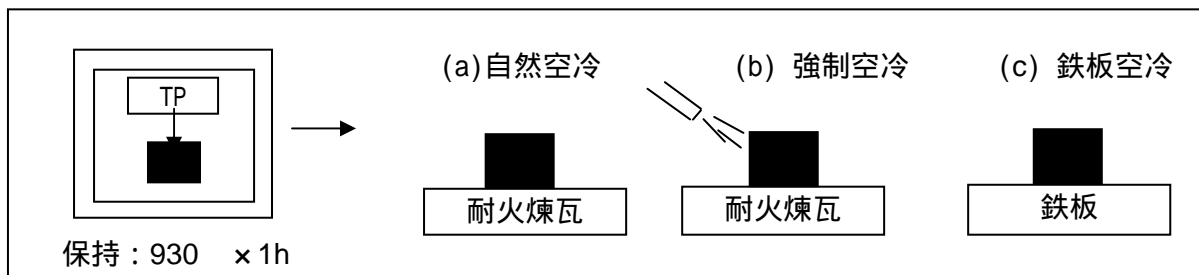


図 11 各焼き入れ方法

今回開発した材質と一般材質との比較を行った。図 12 に、各種材質の焼き入れ硬度を示す。ひけない合金 FCD-IS では、焼き入れ条件が悪くても（冷却速度が遅い自然空冷）、HRC50 以上の焼き入れ硬度が得られる。また、焼き入れ条件が良ければ（天板空冷）、HRC55 が得られる。よって、今回開発したひけない合金 FCD-IS は優れた焼き入れ性を持っていることが明確になった。

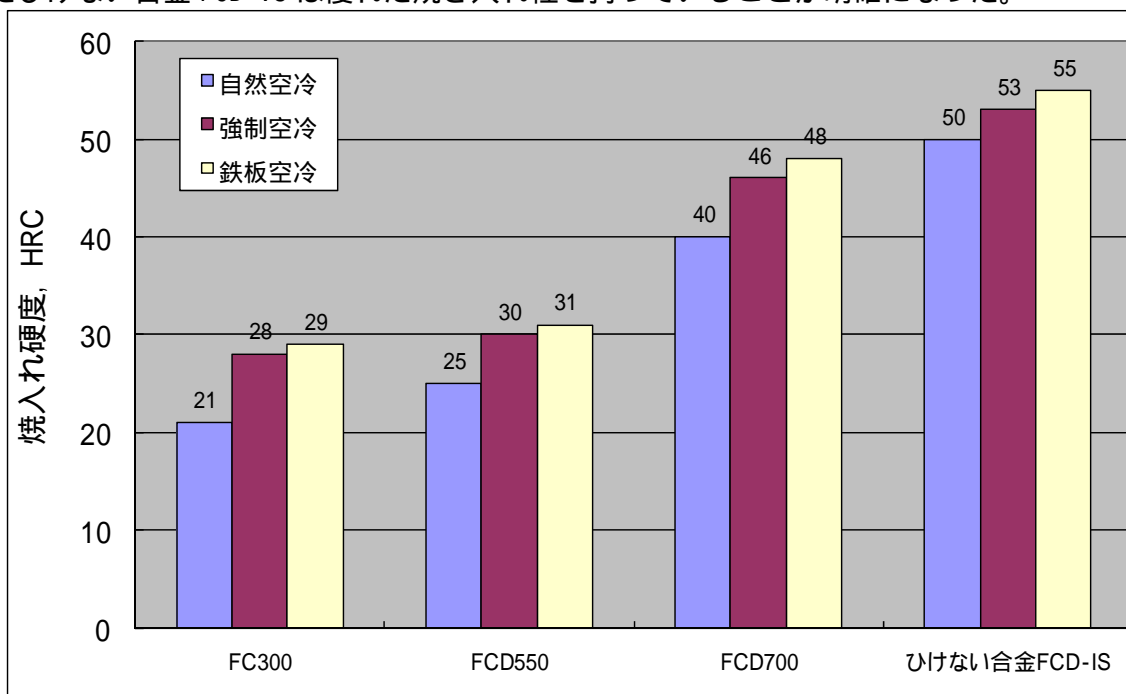


図 12 各種材質の焼き入れ硬度

2 - 1 - 3 耐摩耗性の改善

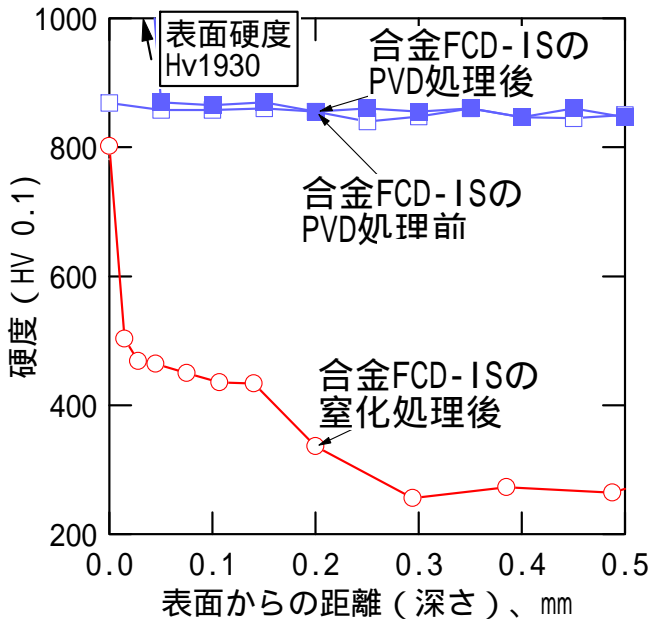


図 13 に、表面処理された表面から内部までの硬度変化を示す。従来のプラズマ窒化処理では、表面はHV800 であるが、0.01mm 内部に入ると、HV500 に落ちる。表面処理温度が 450 高いためにマルテンサイト組織が分解され、母材の硬度が落ちてしまったものと考えられる。

一方、PVD 表面処理では、表面は HV1930 であり、内部も HV870 と高い。PVD 表面処理しても、焼き入れ硬度がそのまま保たれていることが分かる。処理温度が 200 と低いために、マルテンサイト組織が分解されず、母材の焼き入れ硬度が落ちなかったものと考えられる。

図 13 表面から内部までの硬度変化の比較

図 14 に、各種素材における摩耗速度と比摩耗量の関係を示す。なお、試験片は前記したひけない合金 FCD-IS の成分及び SKD-11 の成分で製作した。試験片の寸法は 45x25x10mm にした。930 にて真空油焼き入れを行った。その後、表面処理を行った。耐摩耗試験は、理研大越式耐摩耗試験機を用いた。円板状相手材の材質は、SNCM440 クロムモリブデン鋼 (HRC 50) を使った。摩耗試験条件は、荷重と摩耗距離を一定として、回転速度を 10 段階に変えて行った。

(合金 FCD-IS+焼き入れ+PVD)は(SKD11+TD 処理)と同等の耐摩耗性を持っていることが分かる。よって、(今回開発したひけない合金 FCD-IS + PVD 処理)は、(従来の SKD11 + TD 処理)に匹敵する方法であると考えられる。(合金 FCD+焼き入れ+プラズマ窒化)では、摩耗量が多い。450 で表面処理を行ったために、母材焼き入れ硬度が下がり、摩耗量が多くなったものと考えられる。TiAlN-PVD 処理方法は 200 という低温で行われるために、熱変形が起こらず、母材焼き入れ硬度が下がらないという、特徴を持っている。

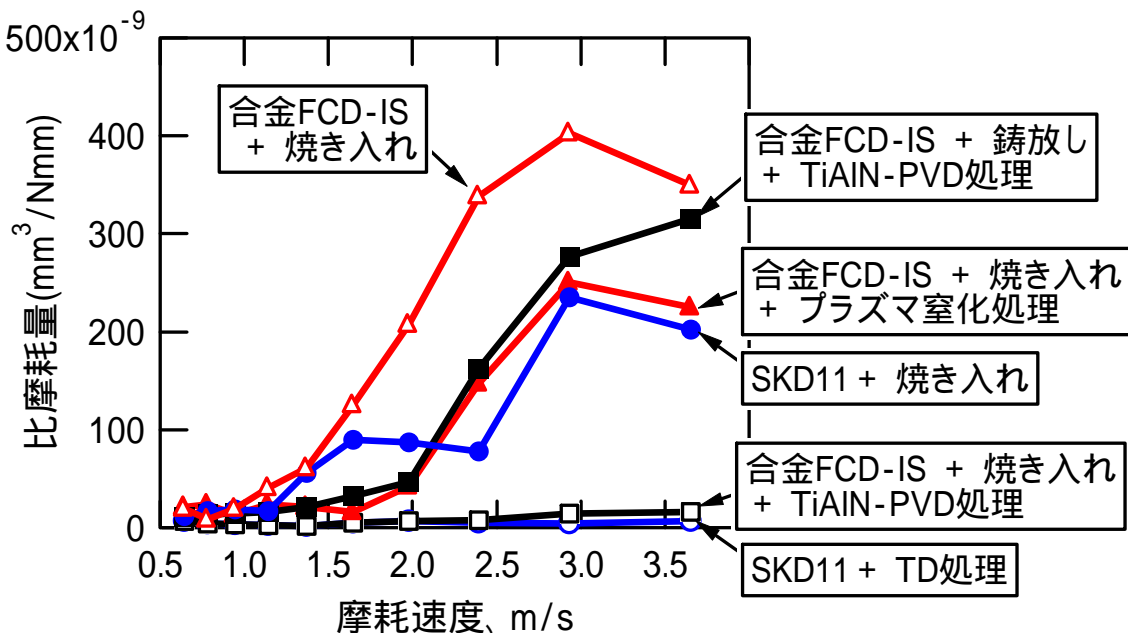


図 14 各種素材における摩耗速度と比摩耗量の関係 (表面処理後)

2 - 1 - 4 溶接性の改善

図 15 に、比較素材(FCD700)の溶接部写真を、図 16 に、本事業で開発した合金 FCD-IS の溶接部写真を示す。比較用の FCD-700 では、溶接界面の約半分に横割れが発生した。また、溶接部断面の組織でも割れが確認されており、横割れは溶接部の下側まで続いていることが分かる。これと比べて、合金 FCD-IS においては、11Cr 溶接棒で肉盛 TIG 溶接したとき、横割れが発生しなかった。よって、本事業で開発した合金 FCD-IS は優れた溶接性を持っていると考えられる。

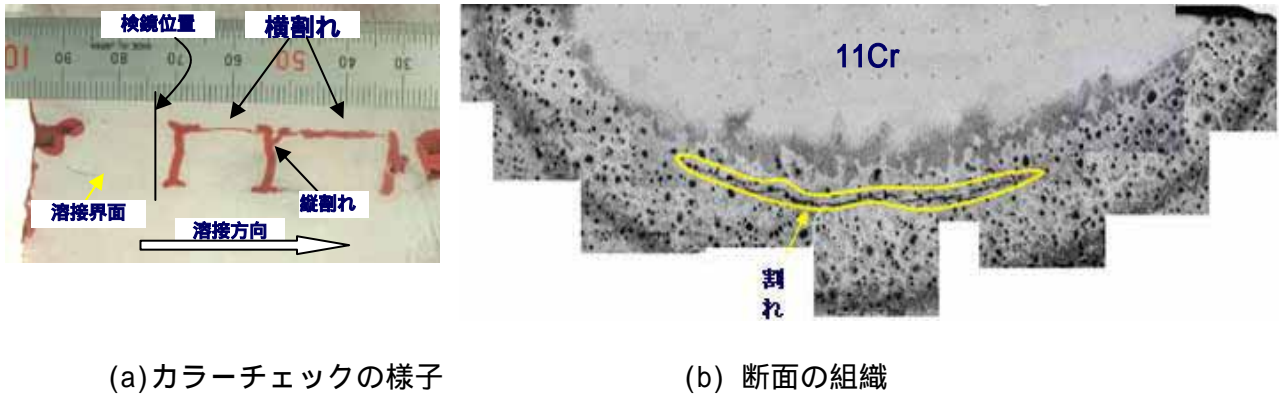


図 15 比較素材(FCD700)の溶接部写真

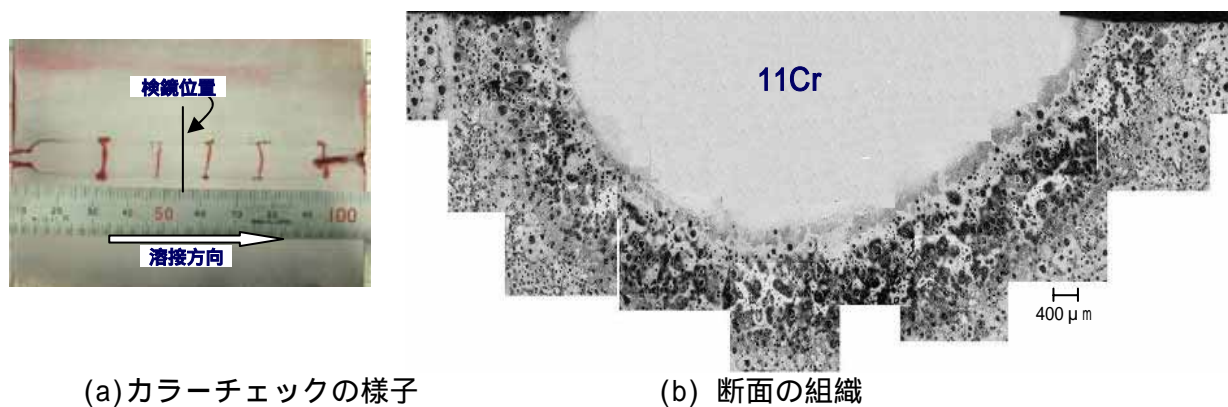


図 16 本事業で開発した合金 FCD-IS の溶接部写真

2 - 1 - 5 実機金型の製作とハイテン成形のトライ

図 17 に、完成されたセンターピラー成形用の金型を示す。超音波探傷の結果、ひけ巣が発生していないことが確認できた。成分調整と冷やし金施工等によって、ひけ巣なしの健全な鋳物を製作できたと言える。また、センターピラー成形用の金型では、焼き入れ硬度が HRC54 ~ 55 になっている。Mo を 0.11% に減らした分、Ni 1.8% 等の調整によって、高い焼き入れ硬度が得られたもの考えられる。



図 17 完成された金型(下型)(センターピラー成形用の金型)

図 18 に、成形された 50 枚のセンターピラー (1475x320xH76.8mm、板厚 2.3mm、590MPa) を示す。図 19 に、拡大を示す。50 枚を成形したが、カジリ無しで成形することができた。これによって、今年度目標であった、「590MPa 級以下のハイテン材に対して、低コスト・高品質の合金球状黒鉛鋳鉄(合金 FCD 材)素材の開発を完成する。」が達成できた。



図 18 成形された 50 枚のセンターピラー
(1475x320xH76.8mm、板厚 2.3mm、590MPa)



図 19 拡大(カジリ発生無し)

2 - 1 - 6 まとめ

3 年間の最終目標であった実機製品でのトライに成功した。すなわち、新素材の開発、PVD 表面処理、クリアランスの均一化、R の調整、ディスタンスの調整、等によって、590MPa のセンターピラー (1475x320xH77mm、板厚 2.3mm) の実機テストでもカジリなしで成形できた (図 1)。この材質は、実機金型でも HRC54 ~ HRC55 (目標: HRC55 ± 2) の焼き入れ硬度を持ち、200 以下の低温 TiAlN-PVD 表面処理を行ったために母材の焼き入れ硬度が低下せじ、SKD-11 の TD 処理と同等の耐摩耗性を持っている。更に、無押し湯でもひけ巣が発生しない、11Cr 溶接棒で肉盛 TIG 溶接しても横割れが発生しない、等の優れた特徴を持っている。よって、3 年間の目標は十分達成できたと言える。

2 - 2 焼入れ時に発生する反りの抑制

2 - 2 - 1 ソリの抑制

焼き入れ時に、型が反る問題がある。この反りによって、中型実機テストでかじりが発生したと考えられる。そこで、焼き入れ時に発生する反りを抑制するために、H20年度の取り組み課題の中に、変形シミュレーションを設定した。ただし、予算の問題でシミュレーションのソフトが購入することができなかった。そこで、焼き入れ方法の研究によって反りを抑制する方向に転換した。すなわち、焼き入れ方法と反りとの関係を調査し、焼き入れ時の反りを抑制することにした。具体的には、反りが発生しやすい従来の真空油焼き入れに対して、反りの発生度合いが小さいと言われている真空窒素ガス焼き入れを行った。

ただし、焼き入れ方法を変えると、焼き入れ硬度が下がる可能性がある。そこで、焼き入れ方法の調整と共に、素材の焼き入れ性を上げる開発も平行して行った。すなわち、Mo や Ni 含有量などを調整し、自然空冷でも HRC50 以上が得られるようにした。後記するが、この研究の結果、3年目の実機金型では、ソリも小さく、かつ焼き入れ硬度も HRC54 ~ HRC55 が得られた。

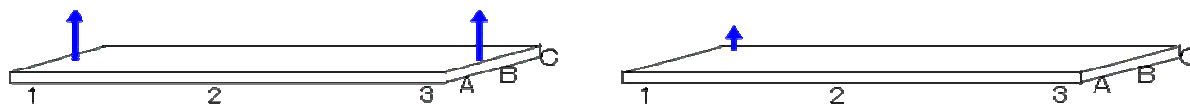
表 1 に、焼き入れ方法と反りの関係を示す。図 20 に、反り発生の様式図を示す。850 にて真空油焼き入れした合金 FCD-1S では、反りが大きく発生している。すなわち、平板 T.P では最大 0.35mm、凸 T.P では最大 1.3mm、階段 T.P では最大 0.13mm 反っている。一方、1020 にて真空窒素ガス焼き入れした SKD-11 では、反りがほとんど発生していない。この結果より、以下のことが考察できる。

反り抑制のためには、窒素ガス焼き入れが望ましい。

ただし、窒素ガス焼き入れの場合、FCD では焼き入れ硬度が低くなる心配がある。窒素ガスでも硬度が入るように、焼入れ性を一層高めた合金設計が必要である。(目標：HRC55)

表 1 焼き入れ方法と反りの関係

	(a) 850 にて、真空油焼き入れ (合金 FCD-1S)			(b) 1020 にて、真空窒素ガス焼入れ (SKD-11)		
	A	B	C	A	B	C
平板 T.P						
1	0.347	0.325	0.289	-0.093	-0.145	-0.142
2	0.025	0.017	0.026	0.033	0.018	-0.038
3	0.292	0.278	0.308	-0.045	-0.063	-0.083
凸型 T.P						
1	0.036	0.096	0.011	0.011	-0.013	0.008
2	1.33	0.68	0.557	0.092	0.064	0.093
3	0.049	0.11	0.037	0.022	0.003	-0.004
階段 T.P						
0	0.123	0.134	0.124	0.048	-0.052	-0.061
1	0.108	0.124	0.109	0.004	-0.025	-0.036
2	0.094	0.063	0.079	0.057	0.003	-0.006
3	0.069	0.084	-0.096	0.094	0.039	0.049
4	0.109	0.114	0.099	0.025	-0.029	-0.018



(a) 850 にて、真空油焼き入れ(合金 FCD-1S) (b) 1020 にて、窒素ガス焼入れ (SKD-11)

図 20 反り発生の様式図

2 - 2 - 2 まとめ

従来の 1000 での TD 処理の代わりに、200 での TiAlN-PVD 表面処理を行うことにより、表面処理時の熱変形を抑制することができた。さらに、従来の油焼き入れの代わりに、窒素焼き入れを行うことにより、焼き入れ時に発生するソリを「300mm 板で 0.2mm 以下」に抑えることができた。よって、3年間の目標は十分達成できた。

2 - 3 商品化への最適成形技術の確立

2 - 3 - 1 実機テストによるカジリ抑制

図 21 に、小型成形テスト結果を示す。合金 FCD-1S+200 TiAlN-PVD 表面処理 + サーボプレス機の活用などにより、パッチ(440MPa ハイテン鋼板)においては、1330 個をカジリ無しで成形することができた。ロッカー(780MPa ハイテン鋼板)においては、140 個をカジリ無しで成形することができた。

ただし、中型実機テスト(1475x320xH77mm, t2.3mm, 590MPa)ではカジリが発生してしまった。図 22 に、H19 年度に行ったトライで発生したカジリの様子を示す。初回に 6 枚を、2 回目に 6 枚をトライしたが、カジリが発生した。また、金型においても、R/L セット取りで双方に発生している。発生した場所は、2 ヶ所であり、ダイの成形力が大きくなっている部分である。

そこで、H21 年度には、新金型素材と成形技術の改善により、590MPa のセンターピラー実機製品を、カジリ無しで成形することを目標にし、研究を行った。



(a) パッチ (440MPa ハイテン鋼板)
(70x60x40, t2.3 mm)
1330 個をカジリ無しで成形



(b) ロッカー (780MPa ハイテン鋼板)
(165x260x40, t1.2mm)
140 個をカジリ無しで成形

図 21 小型成形テスト結果

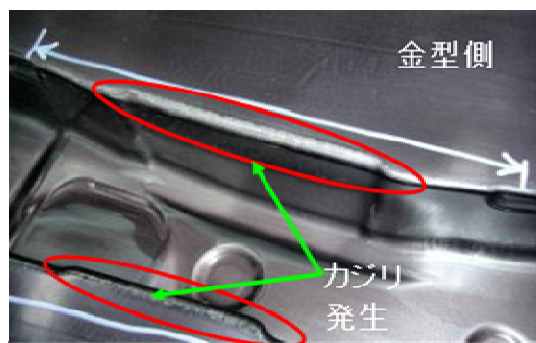
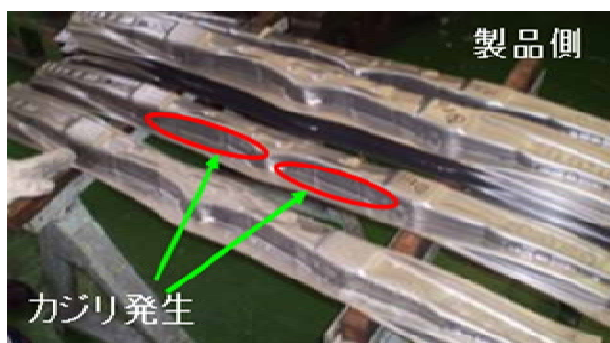


図 22 H19 年度に中型実機テストで発生したカジリの様子
(1475x320xH77mm, t2.3mm, 590MPa, 12 枚以内でカジリ発生)

カジリ対策：カジリ発生を抑制するために、以下の対策を行った。

クリアランスの調整：H21年度の金型ではクリアランスが不均一であった。今回は、全ての場所で1.2tになるようにした。これによって、強当て部が排除できるようになった。

各凸R部の拡大：各凸R部を大きくした。具体的には、前回と較べて、+1 R大きくした。

ディスタンス：ブランクホルダーに+0.1mmのディスタンスを与えた。

成形条件

- ・使用プレス 福井 8000 K N クランクプレス
- ・プレス条件 DH 844.5mm、SPM 20、ダイクッション圧 850kN
- ・金型： ひけない合金 FCD-1S、焼入れ硬度：HRC54～55
表面処理 200 TiAlN-PVD 表面処理(12時間)
- ・成形材質： SPC590 (引張強度 590MPa のハイテン)
サイズ 1475x320×H76.8mm (厚さ 2.3mm)、数量 50 枚



図 23 使用したプレス機(福井 8000kN クランクプレス) 図 24 使用した金型 (ひけない合金 FCD-1S)

図 25 に、成形された 50 枚のセンターピラーの様子を示す。図 26 に、成形後の様子とその拡大（1 番目と 50 番目）を示す。図 27 に、成形後の上型の様子を示す。H19 年度には、初回に 6 枚を、2 回目に 6 枚をトライしたが、カジリが発生した。また、金型においても、R/L セット取りで双方に発生している。しかし、今回は、50 枚を成形したが、製品側でも及び金型側でも、カジリは発生しなかった。金型の改善、成形方法の改善などによって、カジリが抑制されたものと考えられる。よって、目標値である「実機成形テストでのカジリの抑制」を達成することが出来た。



図 25 成形された 50 枚のセンターピラー
(1475x320xH76.8mm、板厚 2.3mm、590MPa)



図 26 拡大(カジリ発生無し)

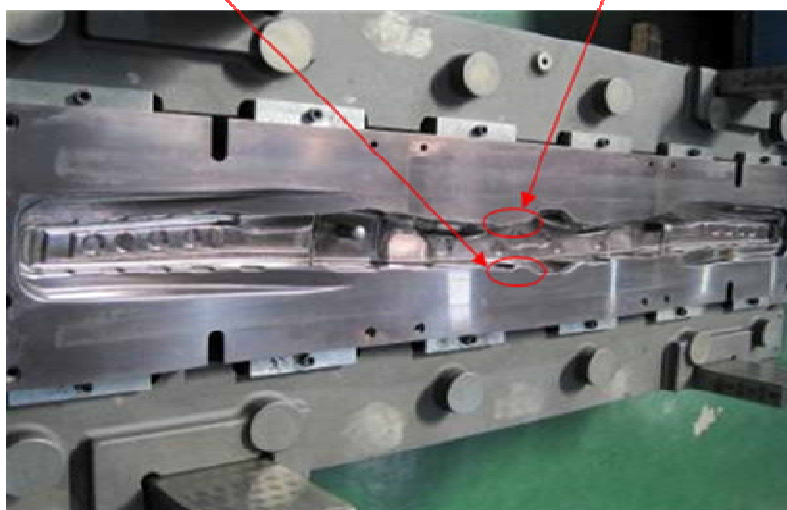
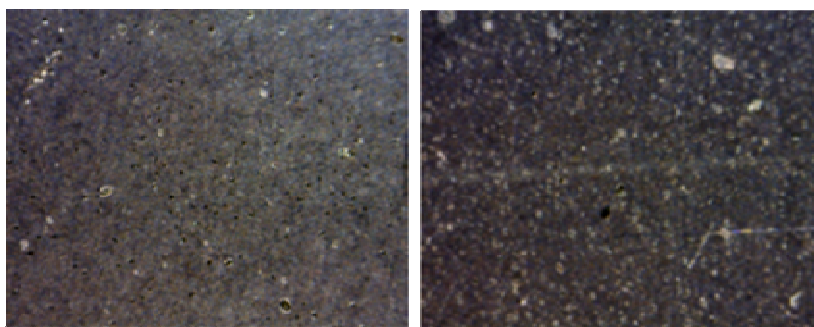


図 27 成形後の上型の様子（他の部分でもが`り無し）

2 - 3 - 2 サーボプレス機によるスプリングバック抑制

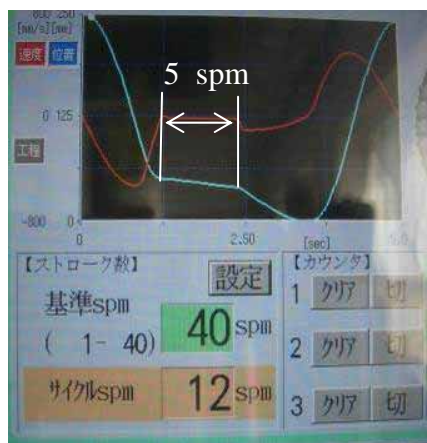
成形においては、H19年度に購入したサーボプレス機を用いた（図28）。サーボプレス機は成形加圧中に、ストローク・速度・加圧パターンを全て任意で調整できる特徴がある。本実験では、サーボプレス機特有のリンクモーションと従来のクランクモーションで成形を行い、かじりとスプリングバックについて調査した。

加圧能力：	2000 (kN)	ストローク長さ：	250mm
ダイハイト：	450mm	スライド寸法：	880x650mm
ボルスタ寸法：	1470x840mm	ボルスタ厚さ：	180mm
供給空気圧力：	0.5MPa	最大寸法：	1930x2965mm
スライド調整量：	110mm	無負荷連続ストローク数	~ 40spm

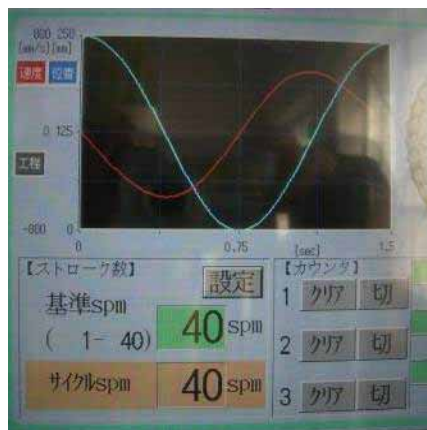
なお、スプリングバックの抑制のためには、圧縮による残留応力の変換と曲げ癖の利用という二つの原理を用いた。



(a) サーボプレス機の様子



(b) リンクモーション (5~40spm)



(c) クランクモーション (40spm)

図28 サーボプレス機と各種モーションの様子

図 29 に、780MPa ハイテン鋼板におけるスプリングバックの測定結果(角度 A 部分)を示す。スプリングバックの大きさは以下の通りである。

・スプリングバックの大きさ：両断カット > DR > 圧縮 > 曲げ癖の利用

圧縮だけでは±1度以内から大きく外れたが、圧縮・曲げ癖の利用では±0.5度以内と非常に良くなった。角度 A/B 共に良くなっている。よって、目標値である「スプリングバックを 0.5 以内に抑える成形技術を確立する。」を達成することが出来た。

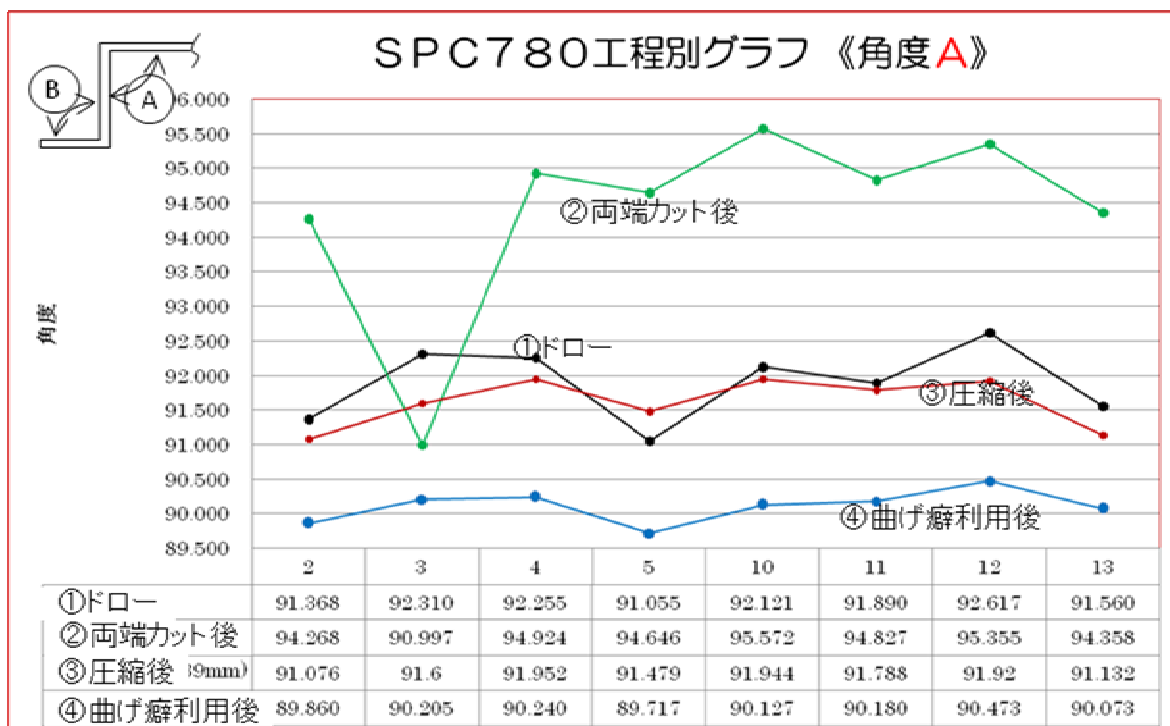
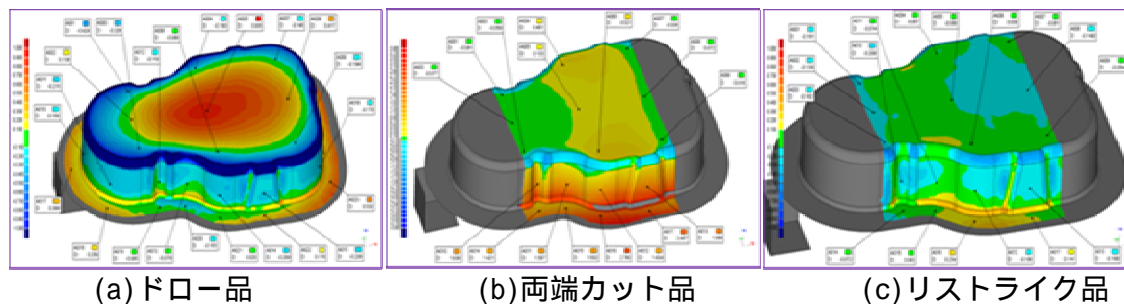


図 29 780MPa ハイテン鋼板におけるスプリングバックの測定結果(角度 A 部分)
(赤色：+凸(寸法よりもふくらむ)，青色：-凹(寸法よりもへこむ))

2 - 3 - 3 まとめ

まとめ：3年間の目標であった 590MPa のハイテン鋼板のセンターピラー(1475x320xH77mm、板厚 t2.3mm)をカジリ無しで成形することができた。更に、圧縮効果と曲げ癖効果を利用した成形技術を開発し、ロッカー(780MPa ハイテン鋼板、165x260x40, t1.2mm)の製品に対して、スプリングバックを 0.5 度以下に抑えることができた。よって、3年間の目標は十分達成できた。

補完研究：成形したものを 1000 に加熱してから金型の間で急冷すると、引張強度が高くなり、スプリングバックがほとんどなくなることが分かった。今後 2 年間、(株)木村鋳造所を中心に基礎研究を行い、実製品に適用できる技術を開発する。

2 - 4 事業化等について

中小企業（㈱木村鋳造所）がハイテン対応用金型素材を製作し、川下ユーザ（三恵技研工業（株））に提供する。今回、センターピラー（1475x320xH77mm、板厚 t2.3mm）の実機テストに使用した金型素材は川下ユーザのニーズを十分満足させており、実機製品用の金型製作の技術は十分確立されたと言える。さらに、この研究成果を「型技術」のジャーナルに掲載することにより、PRして行く。すでに、興味を示しているメーカーもあり、今後多くの受注が期待されている。

最終章 全体総括

1. 研究発表成果

1.1 ひけ性抑制・焼き入れ性・耐摩耗性に優れた金型素材の開発

- 目標：
- a. ひけ性:押し湯を施工せずに、ひけ巣が発生しない金型素材を開発する。
 - b. 焼き入れ性:中型実機金型においても HRC54 ~ 57 にすることにより、かじりにくくする。
 - c. 耐摩耗性:TD 並の耐摩耗性を確保する。
 - d. 溶接性:11Cr 溶接で横割れしないようにする。
 - e. 590MPa 級以下のハイテン材に対して、低コスト・高品質の合金球状黒鉛鋳鉄(合金 FC D 材)素材の開発を完成する。

達成状況：3年間の最終目標であった実機製品でのトライに成功した。すなわち、新素材の開発、PVD 表面処理、クリアランスの均一化、R の調整、ディスタンスの調整、等によって、590MPa のセンターピラー（1475x320xH77mm、板厚 2.3mm）の実機テストでもカジリなしで成形できた（図 1）。この材質は、実機金型でも HRC54 ~ HRC55(目標:HRC55 ± 2)の焼き入れ硬度を持ち、200 以下の低温 TiAlN-PVD 表面処理を行ったために母材の焼き入れ硬度が低下せず、SKD-11 の TD 処理と同等の耐摩耗性を持っている。更に、無押し湯でもひけ巣が発生しない、11Cr 溶接棒で肉盛 TIG 溶接しても横割れが発生しない、等の優れた特徴を持っている。よって、3年間の目標は十分達成できたと言える。

1.2 焼入れ時の反り発生抑制

目標：600mm の型に対して、焼き入れ時の反りを 0.6mm 以下に抑える。

達成状況：予算不足で、「反り解析用シミュレーションソフト」が購入できなくなった。

よって、焼き入れ方法変更という方向に転換した。すなわち、従来の油焼き入れでは反り発生が大きかったために、反りの傾向が小さい窒素ガスによる焼き入れに方向転換した。ただし、窒素ガス焼き入れでは焼き入れ硬度が入りにくいという問題があったために、焼き入れに優れた材質を開発して対応した。油焼き入れから窒素焼き入れに方向転換したことにより、反りがある程度抑制することができた。すなわち、目標である「600mm 金型で 0.6mm 以下」に対して、「300mm 板で 0.2mm 以下」に反りを抑制することが出来た。また、従来の 1000 での TD 処理の代わりに、200 での TiAlN-PVD 表面処理を行うことにより、表面処理時の熱変形を抑制することができた。よって、3年間の目標は十分達成できたと言える。

1.3 商品化への最適成形技術の確立

目標：実機金型テストにおいて、カジリを抑制し、かつスプリングバックを抑制できる最適成形条件を見つける。また、小型金型テストにおいて、スプリングバックを 0.5 以内に抑える成形技術を確立する。

達成状況：3年間の目標であった 590MPa のハイテン鋼板のセンターピラー（1475x320xH77mm、板厚 t2.3mm）をカジリ無しで成形することができた。更に、圧縮効果と曲げ癖効果を利用した成形技術を開発し、ロッカー(780MPa ハイテン鋼板、165x260x40, t1.2mm)の製品に対して、スプリングバックを 0.5 度以下に抑えることができた。よって、3年間の目標は十分達成できたと言える。

1.4 特許の作成と出願

目標：得られた成果を特許として出願し、著作権を確保する。

達成状況：特許に関しては、金型と熱処理に関しては、予備審査の結果通ることが難しいことが分かった。

2. 今後の課題及び事業化展開

1. 今後の課題

- 1.1 ひげ性抑制・焼き入れ性・耐摩耗性に優れた金型素材の開発：別に課題はない。
- 1.2 焼入れ時の反り発生抑制：別に課題はない。
- 1.3 商品化への最適成形技術の確立：

成形したものを 1000 に加熱してから金型の間で急冷すると、引張強度が高くなり、スプリングバックがほとんどなくなることが分かった。今後 2 年間、(株)木村鑄造所を中心に基礎研究を行い、実製品に適応できる技術を開発する。
- 1.4 特許の作成と出願：

今後、調査と検討を続ける。

2. 事業化計画

中小企業（(株)木村鑄造所）がハイテン対応用金型素材を製作し、川下ユーザ（三恵技研工業(株)）に提供する。今回、センターピラー（1475x320xH77mm、590MPa、板厚 t2.3mm）の実機テストに使用した金型素材は川下ユーザのニーズを十分満足させており、実機製品用の金型製作の技術は十分確立されたと言える。さらに、この研究成果を「型技術」のジャーナルに掲載することにより、PR して行く。すでに、興味を示しているメーカーもあり、今後多くの受注が期待されている。特許に関しては、金型と熱処理に関しては、予備審査の結果通ることが難しいことが分かった。今後、調査と検討を続ける。

付録(専門用語の解説)

専門用語	解説
ハイテン	引張強さ 270MPa 級の鋼材に対して、引張強さ 440MPa 級以上の鋼板をハイテン材と呼ぶ。また 490MPa 級以上を高張力鋼板と呼ぶ。引張強さが増すに従って Mn 量が増加すると共に、各鋼板メーカー独自のノウハウで B、P、Ti、V、Nb などの元素が添加される割合が増す。
スプリングバック	強度の高い鋼板において、成形した板がバネのように元に戻ろうとする現象。スプリングバックを見込んで成形するが、数段階に分けてプレスする対策がとられている。
デジタルサーボプレス	従来の油圧プレスとは異なり、成形時のスピード・ストローク等を任意の場所で任意に変えられるプレス機
焼入れ変形	鋼材の焼入れを行う時に、オーステナイトからマルテンサイトの変態が起こるために生じる変形
TD 処理	トヨタが開発した表面処理技術。VC 炭化物層を表面に形成させる技術。オーステナイト領域からの急冷を伴うために変形が起こる欠点がある。
プラズマ窒化	変態点温度以下(500～550)で表面層に窒化物の層をつくる表面処理技術。変態を伴わないため変形が少ない特徴がある。
形状凍結	強度の高い鋼板において、成形した板がバネのように元に戻ろうとする現象（スプリングバック）を起こさせない工法。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。