

鋳鉄の延性を活用した自動車用鋳造部品の開発

鶴谷 知洋, 戸羽 篤也, 畑沢 賢一, 飯田 憲一, 三戸 正道

Development of Automotive Parts using a Cast Iron of Excellent Ductility

Tomohiro TSURUYA, Atsuya TOBA, Kenichi HATAZAWA, Kenichi IIDA, Masamichi MITO

抄 録

近年、環境意識の高まりから、燃費がよく排出ガス量の少ない小型車の需要が増加している。自動車部品には、小型化・軽量化、新たな製造法を導入した低コスト化、さらに短納期化が求められている。道内ものづくり産業においても、自動車産業への参入には従来技術と比較して低コスト及び短納期が可能な生産技術が求められている。本研究では、従来品に比べて部品点数、加工工程数が少なく、かつ軽量化を実現する自動車用部品の製造技術を確立するため、鋳鉄の延性を利用した塑性加工による「鋳造品と機械加工部品の複合化技術」を開発した。

キーワード：鋳鉄、延性、塑性加工、複合化

Abstract

In recent years demand for small cars that are fuel-efficient and less amount of exhaust gas is increasing, because environmental awareness is growing. Automotive parts are required miniaturization, weight saving, low cost by new manufacturing methods and shorter delivery times. In manufacturing industry in Hokkaido it is required production technology for lower cost and shorter delivery times than the conventional when to enter into automotive parts industry. Therefore, it is necessary to develop a new production technology. For establishing the automotive parts production technology for reducing the number of parts and processing steps and saving weight, we developed a production method for composite parts of cast member and machined member using a cast iron of excellent ductility.

KEY-WORDS : Cast iron, Ductility, Plastic working, Composite

1. はじめに

自動車業界では、消費者の環境意識の高まりから、燃費が良く排出ガス量の少ない小型車の需要が世界的に増加している。また、東日本大震災後の経済復興を目的として、東北地方を小型車の国内生産拠点とする計画が進められている。世界市場が拡大し国内生産が強化される小型車において、グローバルな競争力を失わないために、車の性能を高める軽量化、価格競争力を高める低コスト化、市場機会逸失を防ぐ短納期化が求められている。そのため、自動車搭載部品においても更なる小型化、軽量化、低コスト化、短納期化が求められており、それらを実現するための研究開発が必要となっている。

これらに関連する研究開発として、鋳造部品では完成寸法に近い中間製品を得ることで加工時間短縮を図るニアネット

シェイプ¹⁾、部品点数削減による組立時間短縮を図る複数部品の一体化²⁾、必要な場所のみ機能を高めることで低コスト化を図る鋳ぐるみ等による異種材の複合化³⁾などが行われている。プレス加工部品では、加工時間短縮と低コスト化を図る機械加工からプレス加工への工法転換⁴⁾、歩留まり向上や工数削減を図るテーラードブランク材の利用⁵⁾、板鍛造による複雑3次元形状の一体成形⁶⁾、トライ工数削減を図る成形シミュレーションの利用⁷⁾などが行われている。

本研究では、部品点数削減と工程数削減による軽量化、低コスト化、短納期化を目的とし、これまでボルト締結されていた鋳造部品と機械加工部品を接合する塑性加工技術を開発した。塑性加工を行うにあたり、鋳鉄の延性を高める材質制御技術と、割れやすい鋳鉄の加工を可能とし接合強度を高めるプレス加工技術を開発したので報告する。

事業名：公募型研究

課題名：鋳鉄の延性を活用した自動車用鋳造部品の複合化技術

2. 鑄鉄の材質制御技術

2.1 鑄鉄の材質と金属組織

鑄鉄は、鉄に2.0mass%以上の炭素を含む鉄鋼材料と定義される。一般的な鑄鉄の化学組成には、炭素のほか珪素を多く含むほか、マンガン、微量のリン、硫黄等を含む。また、金属組織中に析出する黒鉛の形態から、普通鑄鉄（「ねずみ鑄鉄」あるいは「片状黒鉛鑄鉄」）と、強靱鑄鉄（「ダクタイル鑄鉄」あるいは「球状黒鉛鑄鉄」）の2つに大きく分類される。鑄鉄の金属組織にみられる晶出黒鉛の形状は、その機械的性質に大きく影響する。普通鑄鉄の黒鉛形状は片状であり、その大きさや形態にもよるが、材質は一般に脆く強度が低い。これに対し、強靱鑄鉄（以下「球状黒鉛鑄鉄」という）は、黒鉛が球状に晶出し、その材質は延性を有するとともに強度も比較的高い。

球状黒鉛鑄鉄の機械的性質は、黒鉛の形状（球状化率）、平均粒径、晶出密度（単位面積あたりの個数）などの晶出形態に加えて、基地組織の影響を受ける。一般的な球状黒鉛鑄鉄の基地組織は、主に、フェライトとパーライトと呼ばれる組織から構成される。図1に典型的な球状黒鉛鑄鉄の金属組織写真を示す。散在する円形の黒色部は晶出黒鉛である。それ以外は鉄系基地組織で、白色の領域はフェライト、濃い色の領域はパーライトである。

フェライトは、炭素含有量が低く、延性に富む組織である。パーライトは、フェライトと鉄の炭化物（ Fe_3C 、「セメントタイト」と呼ばれる）との層状析出組織で、フェライトに比べて硬く、高強度の組織である。基地組織のみに注目すると、基地組織中のパーライト析出量が多くなるほど球状黒鉛鑄鉄の材質は硬くなり、強度も増大する傾向を示す。

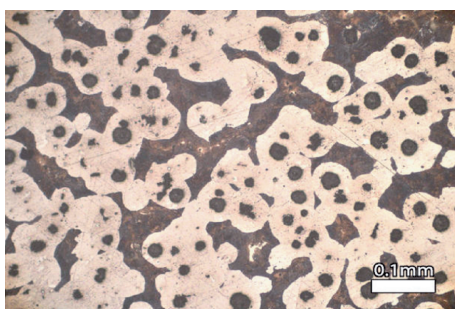


図1 典型的な球状黒鉛鑄鉄の金属組織

2.2 球状黒鉛鑄鉄材質の制御

鑄鉄の材質に影響を及ぼす晶出黒鉛や基地組織の状態は、主に、その化学組成と鑄造後の冷却条件によって変化する。このことは、鑄鉄溶湯の化学組成と鑄造条件を適切に選ぶことで、球状黒鉛鑄鉄の材質を制御できる可能性を示唆している。

鑄鉄中の化学組成及び冷却速度の違いによる鑄鉄の金属組織の影響については、図2に示す鉄-炭素二元系平衡状態図

から説明する報告もある⁸⁾。鑄造後の鑄鉄溶湯は、冷却されて初晶温度（液相線温度）に達すると、溶湯中に含まれていた炭素のうち固溶限界を超えたものは、黒鉛として晶出するか、鉄との化合物（以下「セメントタイト」という）を形成して基地組織中に析出する。図2において、黒鉛が晶出する安定系平衡状態図は破線で示され、セメントタイトを晶出する準安定系状態図は実線で示され、これら2つが併記されたものとなっている。

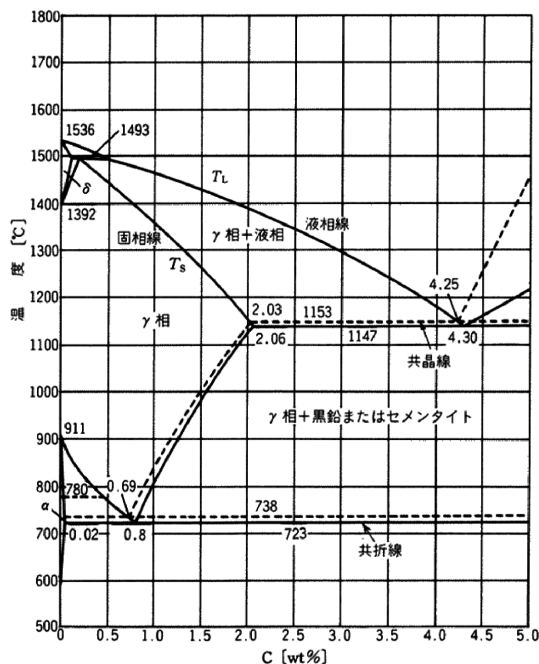


図2 鉄-炭素 二元系平衡状態図

ここで注目しなければならないのは、液相がすべて凝固する共晶線温度について、黒鉛を晶出する安定系の共晶温度の方がセメントタイトを晶出する準安定系の共晶温度よりわずかに高いことである。すなわち、冷却速度が十分に小さい凝固過程においては、鑄鉄溶湯中の過飽和炭素のほとんどは、黒鉛として晶出し、セメントタイトの晶出が抑えられることを示している。セメントタイトが生成されなければ、パーライトの析出も起こらないため、基地組織はほとんどがフェライトとなり、球状黒鉛鑄鉄の材質は延性に富んだものとなる。

しかしながら、実際の冷却過程では、有限の冷却速度で凝固が進み、共晶線温度を過ぎても凝固が終了しない「過冷」という現象が起こる。液相を残したまま、どの程度まで温度が下がるかを示す「過冷度」とよばれる指標がある。冷却速度が大きい場合や、黒鉛晶出の核となる物質が少ない場合は、安定系共晶温度に達しても黒鉛の晶出が進まず、準安定系共晶温度より溶湯温度が下がると、溶湯中からセメントタイトが晶出しやすくなり、基地組織中に単体でセメントタイトが生じたり、パーライトの面積率が高くなることで、鑄鉄の材質は硬く、脆いものとなる。また、溶湯中に黒鉛の晶出に必要な

核生成物質が多く懸濁していれば、同じ冷却速度であっても安定系共晶温度で黒鉛の晶出が進み、溶湯中の炭素濃度が低下するため、準安定系共晶温度に到達後のセメントタイトの生成量が減少し、結果として基地組織中のパーライト面積率を小さくすることができる。溶湯中に核生成物質を増大させる目的で行う溶湯処理を「接種」といい、一般の鑄鉄鑄物の製造プロセスの中で重要な工程に位置付けられている^{9,10)}。

また、鑄鉄溶湯の化学組成も、共晶温度の変化に影響を及ぼすことが知られている。その影響が特に顕著となる元素として珪素が挙げられる。溶湯中の珪素含有量が増大すると、安定系共晶温度が上昇し、準安定系温度が降下するため、基地組織中にセメントタイトが生成されにくくなることが知られている¹¹⁾。したがって、鑄鉄の化学組成として珪素含有量が少ないとパーライトの生成を促し、珪素含有量が多いと基地組織中のフェライト面積率の増大につながる。

球状黒鉛鑄鉄の材質に影響を与える因子として、冷却速度、化学組成、接種等の溶湯処理について述べた。以下、球状黒鉛鑄鉄の材質に及ぼす冷却速度および化学組成の影響について実験を行った。

2.3 鑄鉄材質の肉厚感受性

冷却速度が鑄鉄材質に及ぼす影響については前項で述べたが、鑄物の冷却速度に影響する因子として、鑄物の熱容量、鑄型材料の熱物性、注湯温度などが挙げられる。実際の鑄物工場において使用される鑄型は、造型コストや設備等によって決められることが多いので、冷却速度は、鑄物の熱容量、すなわち鑄物の肉厚と、鑄型への注湯温度によって決まる。

肉厚の違いによる冷却速度の変化が材質（金属組織）に及ぼす影響を調べるため、肉厚を変化させた階段状試験片に鑄鉄溶湯を鑄込み、得られた鑄物の金属組織を観察した。試験片は、図3に示す80×60mmの矩形平板を肉厚3mm、6mm、9mmの3水準に変化させた形状で模型を製作し、これを用いて生型鑄型を用意して、球状黒鉛鑄鉄を鑄造した。材料調整後、80kW高周波誘導炉で材料を溶解し、1,450℃に昇温して取鍋にて球状化及び接種処理を行って、用意した鑄型に鑄込んだ。溶湯の化学組成は、表1に示すとおりである。

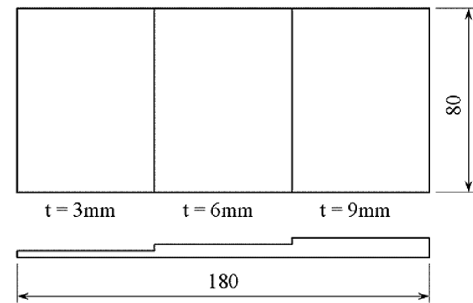


図3 肉厚感受性（階段状）試験片の形状と寸法

表1 鑄造実験供試材の化学組成

試料番号	化学組成[mass%]						CE値 (参考)
	C	Si	Mn	P	S	Mg	
TP①	3.37	2.73	0.189	0.027	0.005	0.029	4.28
TP②	3.42	3.07	0.152	0.027	0.005	0.035	4.44
TP③	3.71	3.00	0.191	0.028	0.005	0.029	4.71
TP④	3.74	2.79	0.194	0.026	0.005	0.027	4.73

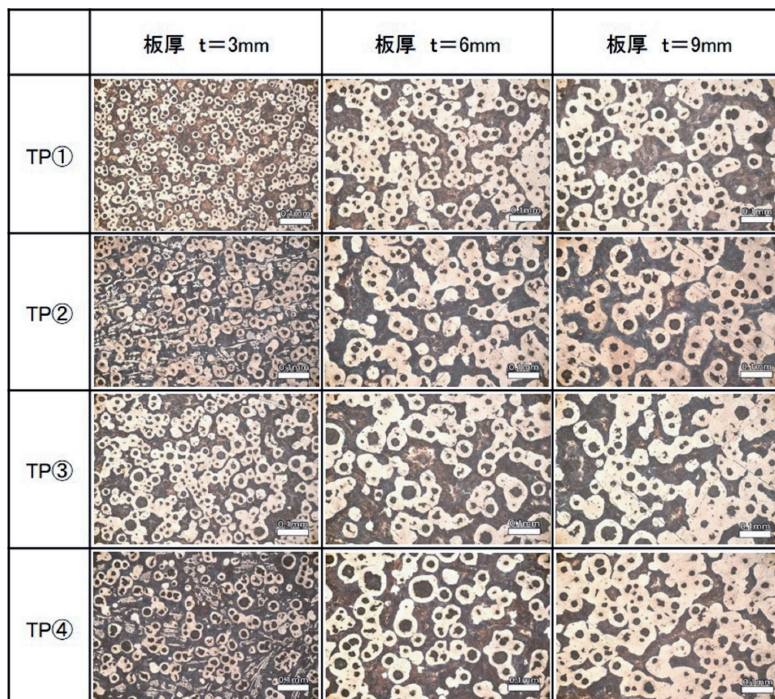


図4 試験試料の各肉厚部位のマイクロ組織写真

得られた試料のそれぞれの肉厚についてほぼ中央部を切り出して研磨し、エッチング後の金属組織を顕微鏡で観察した。図4にそれらの金属組織を示す。

$t=3\text{ mm}$ の組織の一部に急冷によりセメントタイトの晶出(レデブライト)が見られた。また、いずれの試料も肉厚が厚くなるにつれて黒鉛粒径が大きくなる傾向が認められるが、 $t=3\text{ mm}$ と $t=6\text{ mm}$ との間の変化が顕著なのに対して、 $t=6\text{ mm}$ と $t=9\text{ mm}$ との間の違いはわずかであった。このことから、鋳物の肉厚が6 mm以上あれば、延性を有する鋳鉄材質が得られることがわかった。

鋳物形状や寸法を決定したのちの冷却速度の条件変更は、鋳型骨材を変えるか、鋳型への注湯温度を変えて行うのが一般的である。また、注湯温度を上昇させるには、相当のエネルギーを要するので、量産を想定した場合は製造コストの面で現実的でない。したがって、鋳物形状や寸法を決定した後は、冷却速度によって材質を制御するのは困難である。

2.4 鋳鉄材質に及ぼす化学組成の影響

先に説明したように、鋳鉄の化学組成が材質に影響を及ぼす。基地組織に変化を与える効果が認められている金属元素はいくつか知られているが、ここでは、代表的な黒鉛化促進元素である珪素に着目して実施した検証実験について述べる。

鋳鉄の化学組成において、珪素は、炭素に並んで主要な成分である。一般に、球状黒鉛鋳鉄には、 $2\sim 3\text{ mass\%}$ の珪素を含有する。先述のとおり、鋳鉄溶湯中の珪素含有量は、安定系、準安定系の共晶温度に変化を与え、珪素含有量が増大するにしたがって安定系共晶温度と準安定系共晶温度との温度差が拡大することで、セメントタイトの生成を抑える。すなわち、鋳鉄溶湯中の珪素含有量が低いときは、鋳鉄基地組織中のパーライト率が大きく、溶湯中の珪素含有量が増えるに連れて、鋳鉄基地組織中のフェライト面積率が增大する傾向を示す。

そこで、鋳鉄溶湯の珪素量を変化させて、その金属組織及び機械的性質への影響を調べた。実験は、溶湯の化学組成を、炭素量 $3.6\sim 3.8\text{ mass\%}$ 、珪素量 $1.8\sim 3.4\text{ mass\%}$ の範囲で調整し、 $1,450^\circ\text{C}$ で出湯、黒鉛球状化処理(KCアロイ 1.5 mass\% 添加)の後、図5に示すノックオフ試験片採取用の鋳型に鋳造した。鋳造後の試料は、JIS 4号試験片に加工し、引張強度、伸び、ブリネル硬さを計測し、同じ試料から切り出して研磨し、金属組織観察を行った。組織観察は、画像計測法により、黒鉛球状化率、黒鉛粒数、黒鉛粒径、基地組織フェライト面積率を計測した。

実験で得た試料の珪素量と機械的性質の関係を図6に示す。珪素量が増えると、引張強度が減少し、伸びが増大する傾向が認められた。また、図7に、珪素量と基地組織のフェライト面積率との関係を示す。珪素量の増加に伴い、基地組織中のフェライト面積率が增大する傾向が認められた。これは、珪

素量の増加に伴ってセメントタイトの生成が抑えられ、基地組織中のフェライト面積率が増え、これによって引張強度の減少、伸びの増大に影響することが確かめられた。一方、一般にブリネル硬さは引張強度との相関があるとされるが、今回の実験に関しては顕著な相関が認められなかった。

図8に、実験で得られた試料の金属組織写真を示す。また、表2に、各試料の化学組成と、画像計測法で計測した基地組織のフェライト面積率を示す。珪素量が増えるにしたがって、基地組織中のフェライト(写真の白色の領域)の量が増大する様子が確認できる。

塑性加工のしやすさは、延性のあるフェライト組織の多い方が有効だが、塑性変形による接合強度の面では、強度に寄与するパーライト組織が一定割合で存在しなければならず、その程度については、実験によって適切に定める必要がある。次章に詳述するが、塑性加工のしやすさを優先して考えた場合のパーライト面積率は3割程度であることから、塑性加工による複合化に適する鋳鉄の化学組成として、 2.6 mass\% 程度の珪素含有量が最適と推定される。

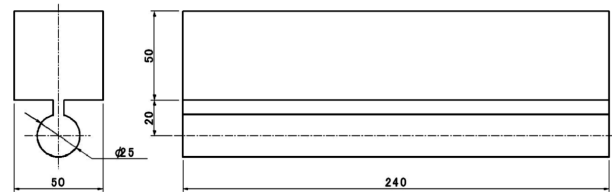


図5 鋳造実験で用いたノックオフ試験片の形状・寸法

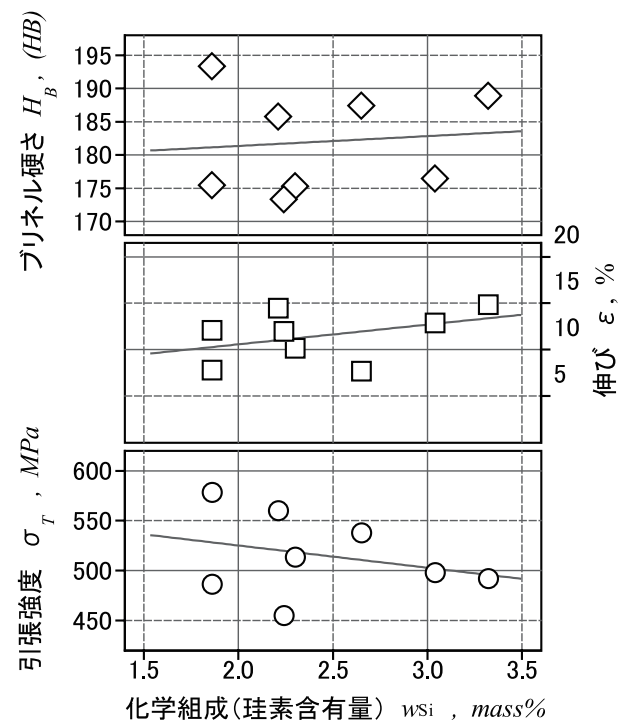


図6 鋳造試料の珪素量と機械的性質

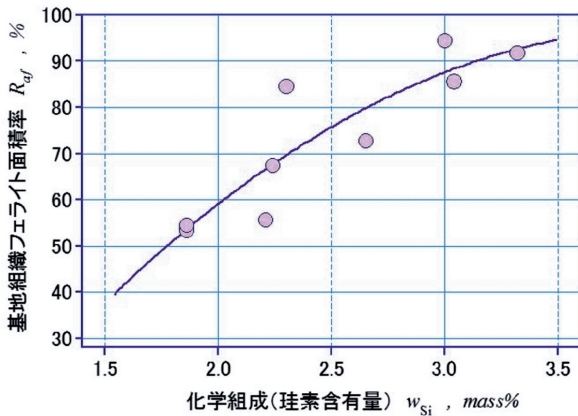


図7 供試材の珪素量と基地組織のフェライト面積率

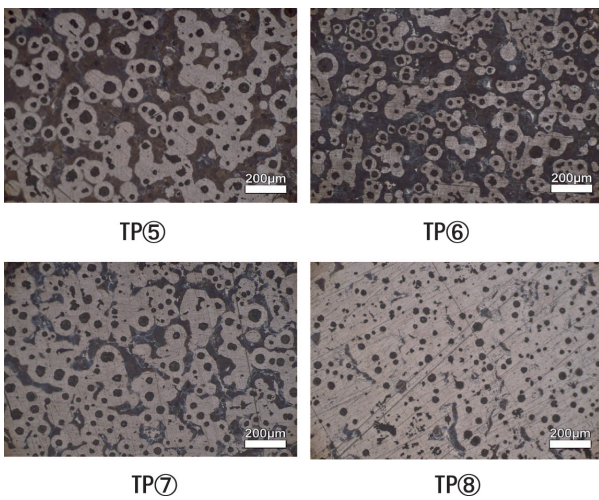


図8 ノックオフ供試材の金属組織

表2 ノックオフ供試材の化学組成

試料番号	化学組成[mass%]						フェライト面積率 [%]
	C	Si	Mn	P	S	Mg	
TP⑤	3.67	1.86	0.166	0.035	0.008	0.041	53.4
TP⑥	3.70	2.21	0.137	0.026	0.006	0.040	55.6
TP⑦	3.80	2.65	0.136	0.028	0.008	0.047	72.7
TP⑧	3.77	3.00	0.167	0.035	0.005	0.046	94.4

3. 塑性加工プロセスの最適化

鋳鉄の塑性加工技術を開発するためには、鋳鉄の材質と加工条件が加工品質に与える影響を把握する必要がある。そこで本章では、図9に示す階段状試験片を対象とした潰し加工実験を行い、加工条件と鋳鉄の材質が塑性変形量に与える影響について調べた。次に、簡易モデルを対象にした塑性加工による接合実験を行い、加工時の速度と加工品質、部品設計値と接合強度の関係について調べた。最後に実製品モデルを対象として、適切なプレス加工動作の導出、自動車部品としての性能向上策の検討を行った。

3.1 プレス加工条件と加工品質の関係

3.1.1 階段状試験片を用いた基礎実験

3種類の板厚を有する階段状試験片に潰し加工を行い、プレス加工動作と塑性変形量（加工前後の板厚の変化）の関係について調べた。

潰し加工は、材料を潰して流動させることで板厚を変化させ所定の形状を得る加工方法である。塑性加工技術を開発するにあたり、鋳鉄の流動性を把握するため潰し加工を行い、加工前後の板厚を測定した。

加工実験に使用した階段状試験片を図9に、潰し加工の模式図を図10に、プレス機を図11に、金型を図12に、プレス加工動作を図13に示す。使用したプレス機はアイダエンジニアリング㈱製のサーボプレス機で、加工速度や位置の指定などの加工動作を自由に設定することができる。

潰し加工のパンチのサイズは11×11mmで、材料表面から2mmを潰す設定とした。図13に示す加工動作のグラフは、横軸が時間、縦軸が金型の上型部分の位置を示しており、金型位置の0は、上型が下死点にあることを意味する。「クランク」は一定の速度で加工を行う動作、「2段階下降」は下死点まで2段階に分けて下降する動作、「3段階下降」は下死点まで3段階に分けて下降する動作、「3度打ち」は1度下死点に到達した後、わずかな上昇と下降を繰り返し、1サイクルの間に下死点に3回到達する動作である。潰し加工の実験結果を表3に示す。SPMは1分間あたりのショット数である。また、塑性変形量は、(加工前の板厚-加工後の板厚)/加工前の板厚を塑性変形割合として評価した。

「クランク」において加工速度が大きい30SPMの場合に板厚が3mm及び6mmで割れが発生した。これは、板厚3mmでの塑性変形割合は9.1%であり、他の加工条件と比較して材料の伸びが小さいことから、材料の伸びがパンチの移動速度に追従できていないことが原因と考えられる。また、板厚6mmでは塑性変形割合が20.2%と十分大きい上に割れが発生していることから、材料の伸びが許容値を超えたことが原因と考えられる。以上、板厚6mm以下では加工速度が大きい場合に割れが発生することがわかるなど、鋳鉄の塑性加工に関する基礎データを得ることができた。

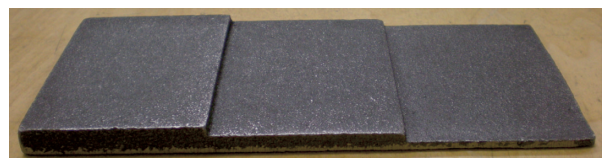


図9 階段状試験片

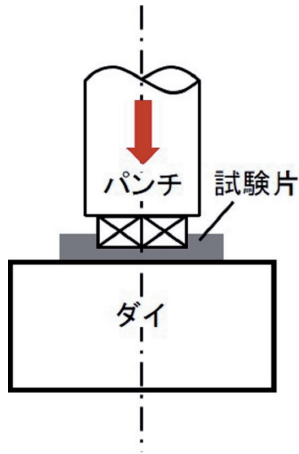


図10 潰し加工模式図

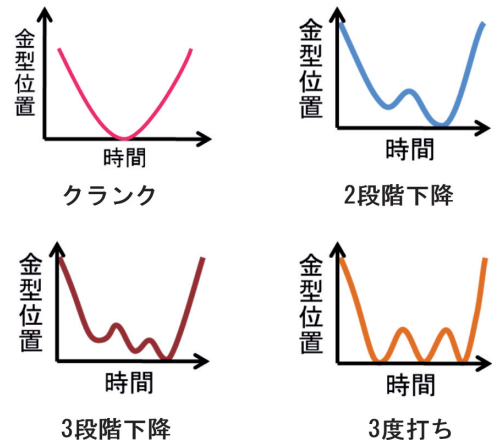


図13 加工動作模式図



図11 使用したプレス機

表3 階段状試験片の実験結果

板厚 [mm]	加工動作	塑性変形割合 [%]	その他
3	クランク(10SPM)	17.3	
	クランク(20SPM)	14.6	
	クランク(30SPM)	9.1	割れ
	2段階下降	10.8	
	3段階下降	3.7	
	3度打ち	13.9	
6	クランク(10SPM)	13.0	
	クランク(20SPM)	16.0	
	クランク(30SPM)	20.2	割れ
	2段階下降	8.9	
	3段階下降	3.1	
	3度打ち	8.5	
9	クランク(10SPM)	8.8	
	クランク(20SPM)	11.5	
	クランク(30SPM)	10.7	
	2段階下降	7.7	
	3段階下降	5.7	
	3度打ち	4.9	

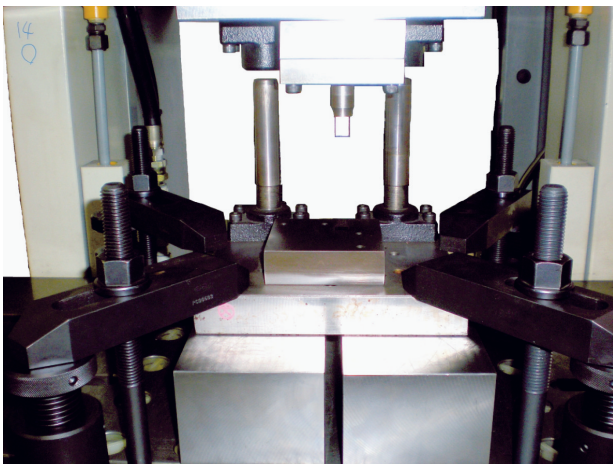


図12 使用した金型

3.1.2 簡易モデルを用いた塑性加工による接合

自動車用部品の簡易モデルを対象とした塑性加工による接合を行い、材料組織と加工速度が加工品質に与える影響、部品設計値である締め代と接合強度の関係について調べた。加工実験に使用した鋳造部品を図14に、機械加工部品を図15に、塑性加工による接合の概要を図16に示す。プレス機及び加工動作は前節と同じものを使用した。

加工後の直径増加割合の測定結果を表4に、機械加工部品と鋳鉄部品間のスリップトルク測定結果を図17に示す。直径増加割合は、(加工後の直径-加工前の直径)/加工前の直径として評価した。前章で記述したように、フェライトは鋳鉄の組織の一つであり延性に寄与する。鋳鉄組織に対するフェライト面積率が25.6%で加工速度が20SPMでは割れが発生した。潰し加工と同様に、材料の伸びがパンチの移動速度に追

従えていないこと、材料接触時の衝撃が大きいことなどが原因と考えられる。フェライト面積率が53.7%までは加工後の直径増加割合は変わらないが、62.8%では大きくなっている。これは、フェライト面積率が大きいことで材料の延性が高くなり、金型の押し込みに対して鋳鉄の流動が追従しているためと考えられる。したがって、鋳造時のフェライト面積率の目標値は、鋳造が材質のばらつきの大きな加工方法であることを考慮し、70%程度が妥当と言える。また、締め代が大きくなるとスリップトルクも大きくなっており、比例関係にあることが確認できた。このことから、本加工においても、一般的な圧入と同様に締め代と接合強度は相関関係にあることが明らかとなった。以上から、フェライト面積率が低い場合に加工速度が大きいと割れが発生すること、締め代が大きいとスリップトルクが大きくなることなどがわかるなど、材料組織と加工速度が加工品質に与える影響と、部品設計値である締め代と接合強度の関係について明らかにすることができた。

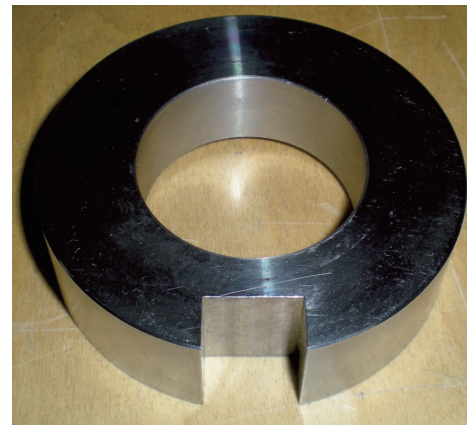
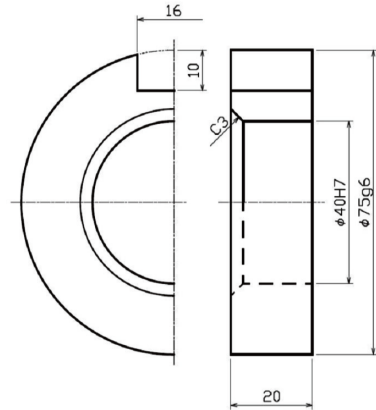


図15 簡易モデルの機械加工部品

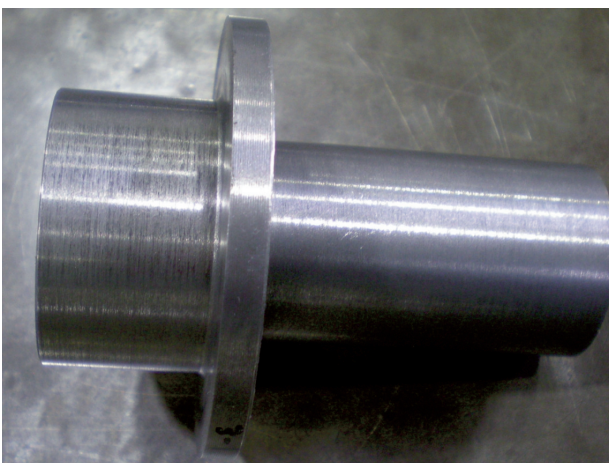
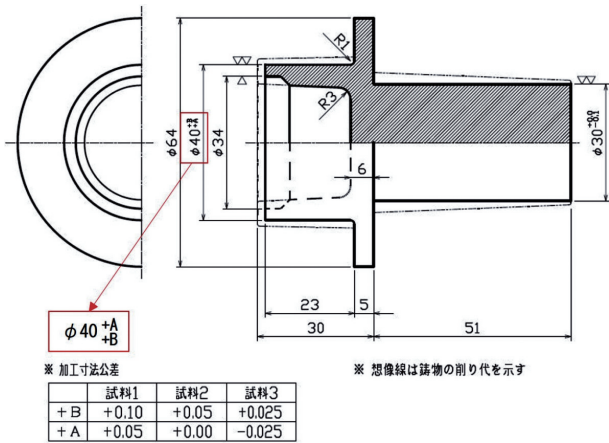


図14 簡易モデルの鋳鉄部品

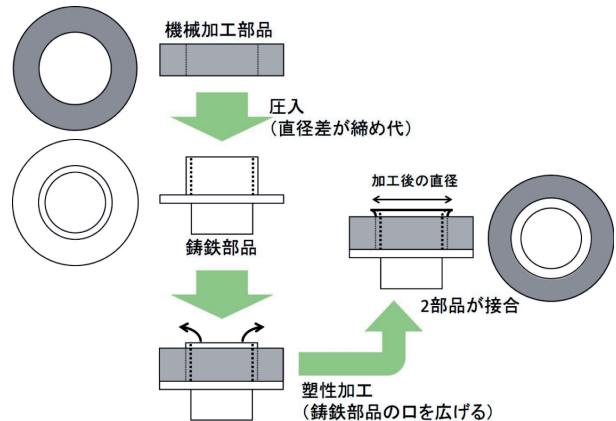


図16 簡易モデルの塑性加工による接合の概要

表4 簡易モデルの直径増加割合定結果

組織のフェライト面積率[%]	加工動作	直径増加割合 [%]
25.6	クランク(10SPM)	6.7
	クランク(20SPM)	割れ
53.7	クランク(20SPM)	6.7
62.8	クランク(20SPM)	7.3

フェライト：延性に寄与する組織

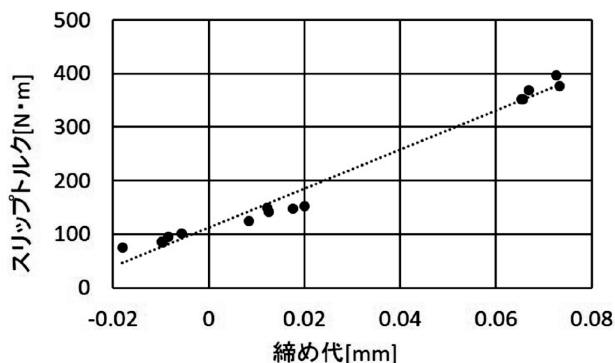


図17 簡易モデルのスリップトルク測定結果

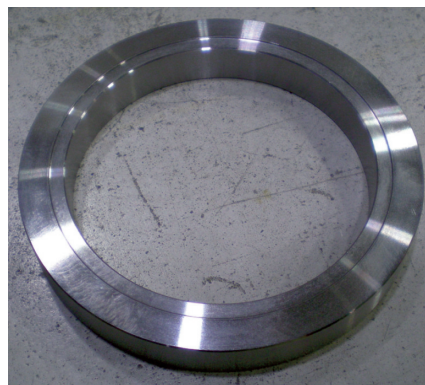


図19 実製品モデルの機械加工部品

3.2 プレス加工動作の最適化

自動車用部品の実製品モデルを対象として、スリップトルクの評価から適切なプレス加工動作を導出した。加工実験に使用した鋳造部品を図18に、機械加工部品を図19に示す。プレス機及び加工動作は前節と同じものを使用した。実験結果を表5に示す。直径増加割合は、(加工後の直径-加工前の直径)/加工前の直径として評価した。

加工後の直径増加量割合「3度打ち」が最も大きな値となったが、スリップトルクは、「3段階下降」が最も大きな値となった。

「3度打ち」は、下死点で繰り返し押すため直径増加割合が大きくなるが、圧入部の変形により鋳鉄部品と機械加工部品の一部が緩むため、「3段階下降」と比較してスリップトルクが小さくなると考えられる。

「3段階下降」は、下降途中に上昇動作を挟むため、常に鋳造部品への力が開放された状態からの加工となり、加工後に元の形状に戻ろうとするスプリングバックが抑制されることで圧入と塑性加工による接合強度が高くなっていると考えられる。

以上から、部品の性能を考慮するとスリップトルクが最も大きくなる「3段階下降」が適切な加工動作であることが明らかとなった。

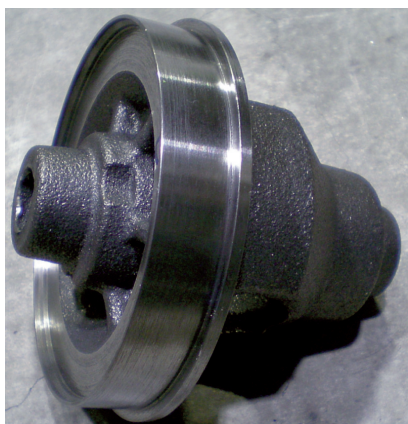


図18 実製品モデルの鋳造部品

表5 実製品モデルの実験結果

加工動作	加工後の直径増加割合[%]	スリップトルク [N・m]
クランク	6.7	1854
3段階下降	7.0	2366
3度打ち	7.3	1724

3.3 性能向上策の検討

前節では「3段階下降」で2,366 [N・m] のスリップトルクが得られることがわかった。しかし、自動車部品として使用するには2,500 [N・m] 以上が必要である。そこで締め代を大きくし、さらに機械加工部品に溝切することにより、塑性加工時に鋳鉄を溝に流入させスリップトルクの更なる増加を目指した。

接合方法は、はじめに機械加工部品に溝切し、圧入・塑性加工の順で行った。溝切は量産性が高いプレス加工で行い、図20の金型を用いて内径に96ヶ所を加工した。なお、圧入は前節よりも大きな締め代とした。

試験体のスリップトルクを測定した結果、目標値2,500 [N・m] を上回る3,846 [N・m] を達成することができた。適切な締め代と溝切の複合効果により、十分なスリップトルクを得られることがわかった。量産工程を想定した場合、圧入部を変形させない程度の複数打ちなど、スリップトルクのばらつきをさらに抑える必要があると考えられる。

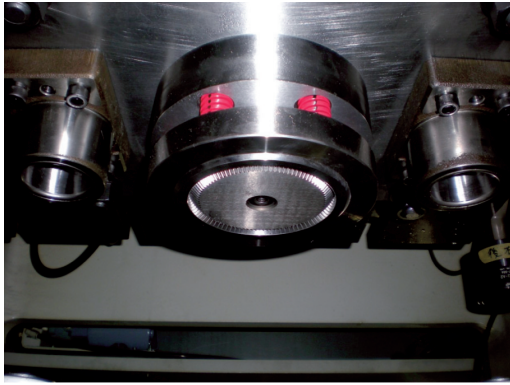


図20 溝切金型

4. まとめ

自動車メーカーが求める部品の小型・軽量化，低コスト，短納期化への要望に対応するため，鑄鉄の延性を利用した塑性加工による複合化技術を研究し，以下の成果を得た。

- ・ 鑄物試験片の肉厚を変えることで冷却速度を変化させた鑄造試験により，特に薄肉部では硬くて脆い組織が生じやすく，塑性加工が難しくなることが想定されることがわかった。併せて，肉厚が6 mm程度以上では，肉厚感受性の影響が小さくなり，塑性加工に十分な延性を有する材料が得られる見通しが得られた。

- ・ 球状黒鉛鑄鉄の化学組成による材質制御法に関して，特に珪素の含有量の変化に対して，黒鉛形状や晶出形態及び基地組織に与える影響を調べる実験を行った結果，珪素量が増えるにしたがって基地組織中のフェライト面積率が増大する傾向が認められた。これに伴って，珪素量が増えるにしたがって引張強度が減少し，伸びが増大する傾向が確認できた。

- ・ 本実験で得た球状黒鉛鑄鉄の材質制御技法により，複合化加工に適した材質を得るための実用的な手法を確認した。

- ・ 階段状試験片を対象とした潰し加工実験を行い，プレス加工条件，塑性変形量，材料強度の関係を明らかにした。その結果，板厚が6 mm以下で加工速度が大きい場合に割れが発生することなどがわかった。

- ・ 簡易モデルを対象に接合実験を行い，プレス加工時の速度と材料強度，部品設計値と接合強度の関係を明らかにした。その結果，フェライト率が低いと加工速度が大きい場合に割れが発生するがフェライト率が高いと塑性変形量が大きくなることなどがわかった。

- ・ 実製品モデルを対象として，接合品の評価による最適なプ

レス加工動作の導出を行った。その結果，「3段階下降」の加工動作で最も大きなスリップトルクが得られた。

- ・ 実製品モデルを対象として，性能向上策の検討を行った。その結果，機械加工部品に溝切を施し，締め代を大きくすることでスリップトルクは目標値2,500 [N・m] を達成することができ，最大で3,846 [N・m] となった。

実用化に向けてさらなる高強度化が必要なため，今後は材質の異なる鑄鉄について開発を進める予定である。

引用文献

- 1) 松田謙治ほか：タービン部品用TiAlの精密鑄造，軽金属，Vol.44 No.11，pp.601-603，(1994)
- 2) 藤塚健二ほか：排気系鑄造部品の一体化，鑄造工学会第134回全国講演大会講演 概要集，P.109.，(1994)
- 3) 山縣裕：高出力エンジンシリンダーにおける素材の複合化，まてりあ，Vol.35 No.12，pp.1325-1332，(1996)
- 4) 平林健吾：不可能を可能にする超精密冷間鍛造順送工法，塑性と加工，Vol.51 No.599，pp.1161-1165，(2010)
- 5) 橋本浩二：テーラードブランクのプレス成形性，塑性と加工，Vol.54 No.627，pp.314-319，(2013)
- 6) 西野創一郎ほか：プレス加工による板鍛造成形技術，塑性と加工，Vol.51 No.594，pp.642-646，(2010)
- 7) 小川孝行：プレス成形シミュレーションを用いた自動車用プレス金型の最適化，塑性と加工，Vol.53 No.615，pp.321-325，(2012)
- 8) 井形直弘・本橋嘉信・浅沼 博：金属材料基礎工学，日刊工業新聞社，(2003)
- 9) 張 博・明智清明・埴 健三ほか：球状黒鉛鑄鉄 —基礎・理論・応用—，アグネ，(1983)
- 10) 井川勝也ほか：球状黒鉛鑄鉄の基礎と応用，丸善，(1992)
- 11) 菅野利猛・葉 椰・森中真行・中江秀雄：鑄鉄の共晶温度に対する各種合金元素の影響，鑄造工学Vol.70，No.7，pp.465-470，(1998)