

大型トラック用 アクスルハウジングのFCD化

- 強度部品への鋳造同時拡散接合技術の適用 -

日野自動車株式会社
代表取締役社長 近藤 詔治
福島製鋼株式会社
代表取締役社長 黒羽 惇

日野自動車(株) 技術研究所 材料研究室 グループ長	黒木 俊昭
日野自動車(株) 車両R&D部 走行設計室 グループ長	菅野 義久
日野自動車(株) 車両RE部 信頼性実験室	山口 栄二
日野自動車(株) 車両R&D部 走行設計室	都築 史和
福島製鋼(株) 技術部 鋳造設計・開発グループ長	佐藤 一広
福島製鋼(株) 技術部 鋳造設計・開発グループ	高橋 直人
福島製鋼(株) 技術部 鋳造設計・開発グループ	高橋 直之

はじめに

近年産業界では、企業の再編、中国やアジアへの生産シフトによる国内生産量減少、中国の急速な経済発展等、めまぐるしい変化が業界を取り巻いている。一方、地球規模でのCO₂排出量削減や環境負荷物質の低減等、環境に対する配慮も喫緊な課題であり、これらに対応するためには新技術開発を進めることが必須である。

これらに対する技術アプローチとして、鋳鋼から鋳鉄、鍛造から鋳鉄への材料置換、非調質化、1ヒート1プレス化等による製造環境改善や工程削減等が挙げられる。

現在、これに対応する注目材料として、高強度ダクタイル鋳鉄（以下FCDと記す）がある。自動車では、ブラケット材料として生産性に優れた鋳放しFCD500材が多く使われているが、近年、鋳放しで強度が鋳鋼や鍛造品に匹敵するFCD700、FCD800クラスの材料も提案されている。今後、鋳鋼や鍛造から生産性に優れた高強度FCDへの材料置換が有望視される。

今回、FCDの鋳造同時拡散接合技術を強度部品として初めて適用できたことで、アクスルハウジングの材料を従来の鋳鋼からFCDに材料置換することが可能となり、製造環境問題を解決することができた。

開発のねらい

リヤアクスルハウジングは車両の後軸重を支持する重要な部品であり、本体の材料としては高強度が要求される。またハブベアリング取付部には、強度と耐摩耗性を有する鍛鋼製アクスルチューブをアーク溶接することから、従来は溶接可能な高強度鋳鋼を採用していた。しかし鋳鋼は、強度、溶接性に優れる反面、製造段階でひけによる押湯の追加、堰や押湯の分離にはガス溶断や人手に頼らざるを得ないハウジング仕上げ（溶接修正）、また熱処理も要する等の多くの課題があり、製造LCAまたコストの観点からも画期的な新技術開発をおこなう必要があった。

これらの課題に対し、FCDへの材料置換がで

できれば製造環境の大幅改善が可能となるが、ここで新たなブレークスルーが必要となる。それは溶接時にFCDが高炭素低融点であることから脆いチル組織の生成や熱影響部の硬化等による割れの問題で、アクスルハウジングのように繰返し荷重に対して信頼性が要求される強度部品には溶接が適用できないというものである。すなわち本体をFCD化した上で、アクスルチューブとの溶接が可能になれば、これを実現することができる。

装置の概要

今回、図1に示す新しいハウジング構造を考案した。本体にはFCD700を採用、ハウジングの端部にS35C鋼リング材（以下リング材）を拡散接合し、拡散接合したリングとアクスルチューブを溶接接合する新構造である。ここで、鑄造時の熱で鋼を同時に拡散接合することができれば、接合工程が不要で更に局所的な相変態も回避でき、強度部材として優れた特性を持つと考えられる。このように強度、信頼性面で優れた複合一体化構造を得るという鑄造同時拡散接合のコンセプトをあげた。

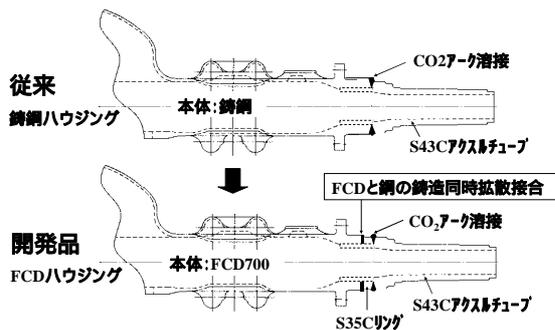


図1. アクスルハウジングの構造

技術上の特徴

1. 拡散接合のメカニズム

液相と固相間で拡散接合するには、被接合体の表面が清浄で、互いに濡れることが第一条件

となる。リング材は型内に配置するため、注湯時には酸化雰囲気となり、表面には酸化皮膜が形成され濡れが阻害される。今回リング表面の酸化防止のため、接合体としての特性や戻り材への影響を考慮しNi被覆を採用した。

また、もう一つのポイントとして熱量確保がある。界面の濡れは、熱的平衡状態になったときにはじめて得ることができる。今回のような大物部材においては拡散接合の実施例は無く技術的難易度も高くなるため、鑄造方案の最適化が大きなポイントとなる。

2. 接合条件

リング材には溶接性と強度を考慮してS35Cを、ハウジング本体には従来の鑄鋼と同等の耐力を得よう調整したCu添加の鑄放しFCD700材を用いた。

接合時のロー材としても働くNi被覆は有機物を含まず、更に薄膜化を狙いに無電解Ni-P-Bメッキとした。また、接合界面の熱的な平衡を得るためのリング体積を検討し、更にリング周囲からも熱量を供給する図2に示す「だかせ方案」を考案した。

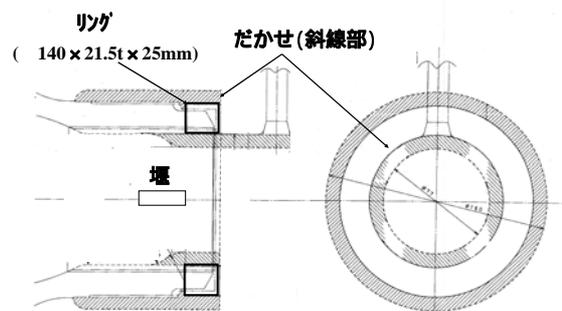
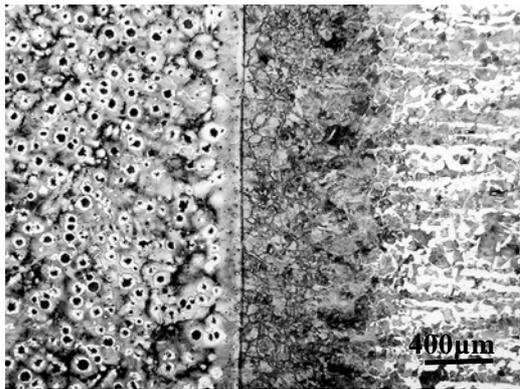


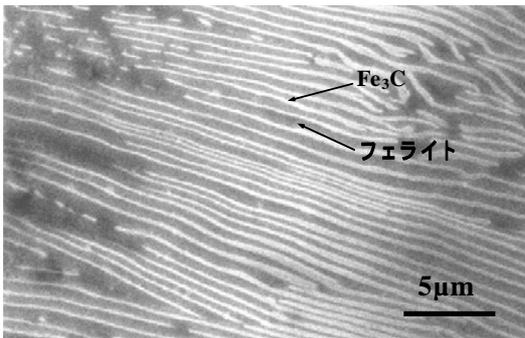
図2. ハウジングの拡散接合部方案

3. 接合部の組織及び材料特性

界面の組織は図3、4に示すように、リング側に向かって深さ0.8mmに及ぶ広く且つ均一な拡散によるパーライト組織が形成されており、境界ではパーライトが連続した良好な傾斜組織となる。接合界面のEPMA面分析結果を図5に示す。CがFCD側からリング側に大きく拡散し、リングのNi被膜は厚さが拡散領域に対して



FCD700側 界面 S35C側
図3. 接合界面の組織



FCD700側 界面 S35C側
図4. 接合界面の拡大

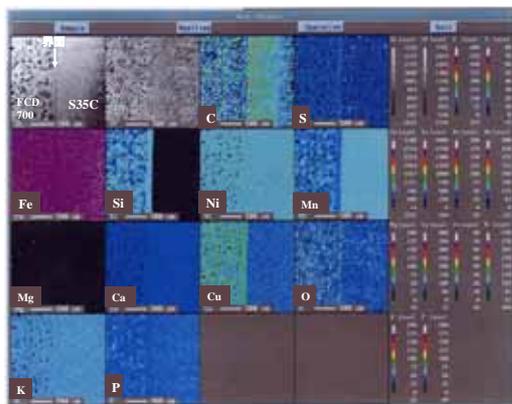


図5. 拡散接合界面のEPMA面分析結果

十分に薄いことから、特に認められないほど広く拡散されている。

図6に鑄造同時拡散接合部の硬さ分布を示す。界面からリング側にある硬さの山は接合部のパーライト化によるもので、最高でも280HV程度と顕著な硬化は認められない。

図7に引張試験結果を示す。界面の強度はS35Cと同等で、伸びは10%以上とFCDの異種材接合部として従来に無い高い値が得られる。

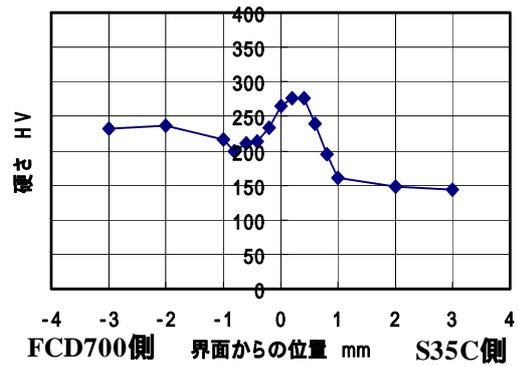


図6. 拡散接合界面の硬さ分布

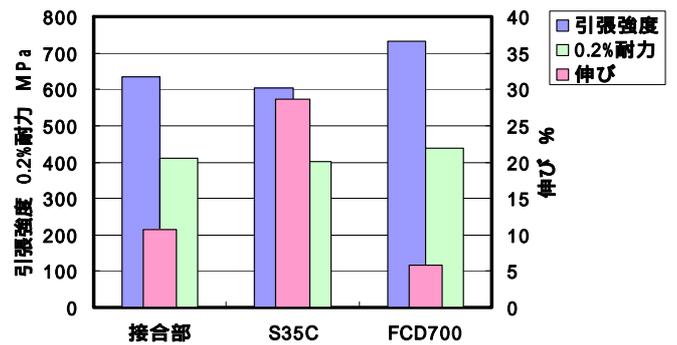


図7. 拡散接合部の引張試験結果

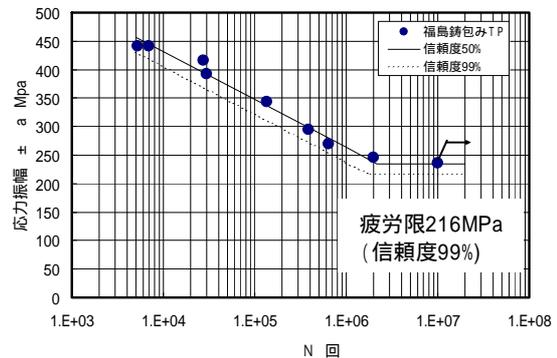


図8. 拡散接合部の疲労試験結果

優れた引張特性は、S35C側の拡散層内で母材破断することによる。

図8に界面の疲労試験結果を示す。疲労限は従来の鑄鋼と同等で、特徴として有限寿命域の寿命バラツキが非常に小さい。これも引張試験と同様、全ての試験片においてS35C側で母材破断することによる。

このように拡散接合部は良好な機械的特性を有し、強度部材であるアクスルハウジングにも適用可能であることを確認した。

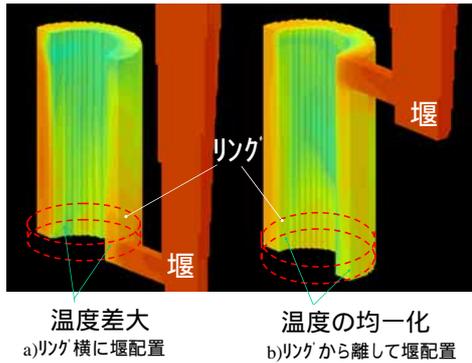


図9. リング周囲温度への堰配置の影響

4. 実体リヤアクスルハウジングの鋳造方案

図9に、リング周囲の温度に対する堰配置の影響を示す。堰をリングから離れた方が、リング全体で温度が均一になり、実体の方案として適していることがわかる。

図10には、「だかせ方案」と合わせて新考案した「はかせ方案」を示す。リングの後方に溶湯をはかせることにより接合界面に対して連続的な熱量供給が可能となった。

図11にFCDアクスルハウジングの外観を示す。リング材の全周に渡って均一な拡散接合形態が得られ、アクスルチューブとの溶接も良好で、狙い通りの複合構造が得られた。

実用上の効果

今回FCDの鋳造同時拡散接合技術を世界で初めて強度部材として適用することが可能となった。これによりリヤアクスルハウジングを鋳鋼

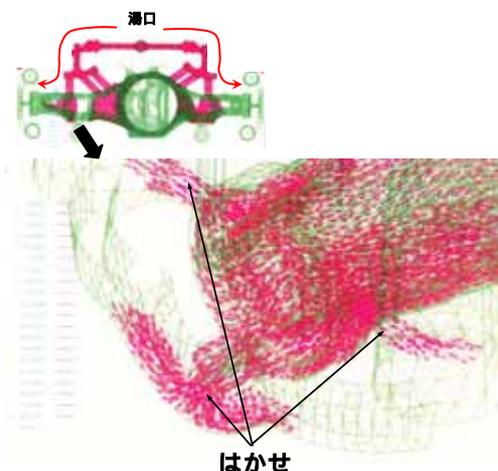


図10. 湯流れシミュレーション結果



図11. FCDアクスルハウジング

からFCD材に材料置換することが可能となり、人手にたよった生産形態を払拭、大幅な製造環境改善をおこなうことができた。製造LCAとしては、工程を10-6工程に削減できたことで、CO₂排出量として25%もの大幅削減を達成、地球環境対策として大きな成果を得ることができた。また肉厚自由度の向上による軽量化と同時に、20%もの大幅なコストダウンを達成した。

工業所有権の状況

本開発に関し出願された特許は1件である。

むすび

今回、FCDと鋼材との鋳造同時拡散接合技術を確立したことで、従来困難とされていたFCD部材の溶接が可能となった。

均一な拡散接合を得るためのキーテクノロジーは、鋼材側へのNi薄膜被覆と接合面の湯流れを最適に制御した新鋳造方案である。これによりFCDから鋼材への連続した傾斜組織が得られ、FCDの異種材接合において、伸びが10%を越える画期的な接合部材を得ることができ、疲労負荷時においても接合界面を最弱とせず、信頼性の高い複合部材を得ることができた。

本技術によるアクスルハウジングは2003年11月より当社で生産する大型トラック全車に採用し、現在生産数は20,000本を越え、環境、軽量化、コスト面で成果を上げている。

今後本技術により従来不可能とされていた部材の接合できれば、機械構造物として画期的な発展があるものと考えます。本技術が広く展開され、様々な面で効果が得られることを期待する。