

氏名	窪田 哲	
学位の種類	博士(工学)	
学位記番号	甲博理工第474号	
学位授与年月日	平成26年3月25日	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
学位論文題目	球状黒鉛鑄鉄の機械的性質と切削性に及ぼすマイクロ組織の影響	
審査会	主査 友田 陽	委員 高橋 東之
	委員 鈴木 徹也	委員 西野 創一郎
	委員 伊藤 吾朗	

## 論文内容の要旨

建設機械の主要部品の一つである油圧機器のケース類は、形状が複雑であることから鑄物が多く用いられており、高い圧力のかかる部材には球状黒鉛鑄鉄が多用されている。近年、エネルギー伝達効率向上の観点から、高圧化と油路拡大による圧力損失低減が求められており、油圧機器のさらなる耐久性向上が必要となっている。また、油圧機器の製作には多くの機械加工が必要であり、切削加工の能率を上げることは大きなコスト低減に繋がる。そこで、油圧機器に用いられる球状黒鉛鑄鉄は、信頼性向上とコスト削減の観点から、高い強度と良好な切削性の両方を合わせ持つことが望ましい。

鑄鉄は鋼とみなせる基地組織と黒鉛とからなる一種の複合材料である。基地組織や黒鉛の形態と分布を変化させることで、広範な材料特性をカバーすることが可能であるが、均質な材料と比べて破壊機構が複雑である。また、切削性と機械的性質との関係はあまり明らかにされていない。そこで本研究では、油圧機器に多く用いられているフェライト、パーライト基地の球状黒鉛鑄鉄について、マイクロ組織と機械的性質、切削性の関係を検討することにした。(第1章)

次に、第2章ではマイクロ組織を変化させた種々の球状黒鉛鑄鉄について各種の試験を行ない、機械的性質に及ぼすマイクロ組織の影響を調査した。その結果、(1)引張強さはパーライト(セメンタイト)体積率に大きく支配され、黒鉛粒の影響は小さい、(2)一方、疲労限は黒鉛粒数の影響を大きく受け、パーライト(セメンタイト)体積率との相関は小さい、(3)疲労き裂の発生や進展は、フェライトやパーライトの基地組織よりも黒鉛粒の影響と大きく受け、黒鉛粒を微細化して黒鉛球状化率を高くすることで、き裂の発生および進展を抑制することができることを明らかにした。

第3章では、変形中その場中性子回折実験により、球状黒鉛鑄鉄の各構成相の相ひずみとフェライト各粒群の格子面ひずみを測定して、第2章で示した結果の理由を明らかにした。引張応力の変化に伴う黒鉛の相ひずみの変化は極めて小さく、変形中の荷重をほとん

ど負担していないことがわかった。フェライトとセメンタイトの相ひずみは弾性域で直線的に増加し、巨視的な降伏応力付近でフェライトとセメンタイトの間で応力分配が生じ、フェライトだけが塑性変形することで加工硬化が大きくなる。基地組織がほとんどフェライトの場合、 $\langle hk1 \rangle$ 粒群間で応力分配が起こる、すなわち粒応力が生じる。基地組織がフェライトとパーライトの混合組織であれば、相応力にこの粒応力が重畳して発生する。このような内部応力が生じるため、パーライト（セメンタイト）体積率が大きくなるに従い加工硬化が大きくなり引張強さが増す。内部応力は特定方向の塑性変形を促進するため、引張圧縮繰り返し変形においては、内部応力が大きくなるとバウシinger効果が大きくなる。

第4章では、球状黒鉛鑄鉄のフライス切削における工具摩耗の特徴を把握し、種々の要因が工具寿命に及ぼす影響の度合いを品質工学の手法を用いて比較した。球状黒鉛鑄鉄の切削加工では、工具寿命がコストに大きく影響し、工具寿命は逃げ面最大摩耗幅で評価できる。工具摩耗に及ぼす影響が大きい要因は、球状黒鉛鑄鉄のマイクロ組織、軸方向切り込み量、切削速度であることがわかった。また、切削速度が大きくなるほど切削面粗さが向上することが明らかになった。さらに、黒鉛を微細に分散させた球状黒鉛鑄鉄を用いることで、工具摩耗の低減および切削能率の向上が可能であることを示した。

第5章では、本研究の総括として球状黒鉛鑄鉄のマイクロ組織と機械的性質、切削性の関係をまとめた。パーライト（セメンタイト）体積率が増加し、引張強さが増加すると、伸びと切削性は低減する。多くの実用部品は弾性域で使用することが多く、降伏強さ、疲労限、切削性が重要である。疲労強度と切削性を併せ持つためには、パーライト率を低くして黒鉛粒数を増加させることが有効であることを示した。

## 論文審査の結果の要旨

建設機械の主要部品は形状が複雑であることから鋳物が用いられ、高い圧力のかかる部材には球状黒鉛鋳鉄が多用されている。近年、エネルギー伝達効率向上の観点から、高圧化と油路拡大による圧力損失低減が求められており、油圧機器のさらなる耐久性向上が必要となっている。また、油圧機器の製作には多くの機械加工が必要であり、切削加工の能率を上げることは大きなコスト低減に繋がる。そこで、油圧機器に用いられる球状黒鉛鋳鉄は、信頼性向上とコスト削減の観点から、高い強度と良好な切削性の両方を合わせ持つことが望ましい。このような背景から、本研究では球状黒鉛鋳鉄の組織と機械的特性の関係を研究した。まず、マイクロ組織を変化させた種々の球状黒鉛鋳鉄について各種の試験を行ない、機械的性質に及ぼすマイクロ組織の影響を検討した。その結果、①引張強さはパーライト（セメンタイト）体積率に大きく支配され、黒鉛粒の影響は小さい、②一方、疲労限は黒鉛粒数の影響を大きく受け、パーライト（セメンタイト）体積率との相関は小さい、③疲労き裂の発生や進展は、フェライトやパーライトの基地組織よりも黒鉛粒の影響を大きく受け、黒鉛粒を微細化して黒鉛球状化率を高くすることで、き裂の発生および進展を抑制できることを明らかにした。続いて、変形中その場中性子回折実験により、球状黒鉛鋳鉄の各構成相の相ひずみとフェライト各粒群の格子面ひずみを測定して変形機構を明らかにした。すなわち、引張応力の変化に伴う黒鉛の相ひずみの変化は極めて小さく荷重をほとんど負担していない。基地組織がフェライトとパーライトの混合組織である場合は、フェライトとセメンタイト間で応力分配が起こり、セメンタイトの荷重負担が増すことにより、加工硬化が大きくなる。したがって、セメンタイト体積率が大きくなるほど加工硬化が大きくなり引張強さが増す。基地組織がほとんどフェライト単相の場合、巨視的な降伏以前に<110>粒群が優先的に塑性変形を始め、巨視的降伏後に<200>粒群が降伏する。基地組織がフェライトとパーライトの混合組織であれば、相応力に粒応力が重畳して発生する。粒応力に比べて相応力は大きく、引張圧縮変形ではパーライト（セメンタイト）体積率が大きくなると応力分配が大きくなり、バウシinger効果が大きくなることを示した。最後に、球状黒鉛鋳鉄のフライス切削における工具摩耗の特徴を把握し、種々の要因が工具寿命に及ぼす影響の度合いを品質工学の手法を用いて比較した。球状黒鉛鋳鉄の切削加工では、工具寿命がコストに大きく影響し、工具寿命は逃げ面最大摩耗幅で評価できる。工具摩耗に及ぼす影響が大きい要因は、球状黒鉛鋳鉄のマイクロ組織、軸方向切り込み量、切削速度であることがわかった。また、切削速度が大きくなるほど切削面粗さが向上することが明らかになった。さらに、黒鉛を微細に分散させた球状黒鉛鋳鉄を用いることで、工具摩耗の低減および切削能率の向上が可能であることを示した。

以上のように本研究は、油圧機器に多く用いられているフェライト、パーライト基地の球状黒鉛鋳鉄について、マイクロ組織と機械的性質、切削性の関係を、中性子回折等の新しい手法を用いて明らかにした点が独創的であり学術的にも実用的にも価値がある。博士（工学）の学位論文として質量ともに十分であると判断されるので合格と判定した。