

氏名(本籍)	渡邊吉弘(愛知県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第16号
学位授与年月日	平成7年3月24日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	ショットピーニングのピーニング効果に関する基礎的研究
学位論文審査委員	(主査)教授丸井悦男 (副査)教授後藤学教授戸梶恵郎 助教授長谷川典彦

論文内容の要旨

高強度化の手法の一つとしてショットピーニング(SP)処理は、材料依存性が少なく他の加工技術と比較して安価で疲労強度向上が図れる点でメリットが多く、古くからばねの強度向上の手段として用いられてきた技術である。SP処理により付与された圧縮残留応力が、外力である引張応力を相殺する形で作用し加工物の疲労強度を向上させる。この効果は応力勾配のある切欠き部材で顕著である。近年では、浸炭鋼へのSPが実用化され、種々の歯車へ適用されるようになってきている。

本論文は、高強度鋼に及ぼすSPの効果の実用上の問題点やその解決手法について提案し、SP加工が高強度鋼の機械構造部品への適用範囲拡大のための指標となることを目的とした。

序章では、ショットピーニング加工の現状と問題点を詳細に論ずるとともに、研究の目的と内容について述べている。

第1章では、高強度鋼においてSP条件と残留応力の関係を調べ、効率よく経済的に高い圧縮残留応力を付与する手法について検討している。一般に、SPにより付与される圧縮残留応力分布は、被加工材強度やショット粒硬度、粒径、投射速度、投射時間などの投射条件に依存する。圧縮残留応力の最大値は、ショット粒の硬度の影響を最も強く受ける。高強度鋼に作用する負荷応力が大きいことを考えれば、効率よく高い圧縮残留応力を付与する条件は、ショット粒の硬度を部材の表面硬度に近いものとする必要があると指摘した。

第2章では、高強度鋼へのハードSP加工におけるピーニング加工強さの管理手法として用いられているアークハイト値と残留応力の関係について検討している。高強度鋼へのハードSPにおいて、A片で測定されたアークハイト値が被加工材の最大圧縮残留応力の値に対応せず、疲労強度を推定するピーニング強度の尺度としては不適切であることを指摘し、ハードSPに適した表面硬度を浸炭鋼の表面硬度に近づけた高硬度基準片の提案をしている。

第3章では、SPによる圧縮残留応力分布をシミュレーションにより求めることを検討している。種々のピーニング条件と応力分布の関係を考慮した予測式を提案し、実験で得られた残留応力分布と比較した。実験による応力分布と計算値とはほぼ一致し、圧縮応力の最大値やSPによる有効効果層深さは提案した予測式よりほぼ計算できることを明らかにしている。

第4章では、ハードSP加工を施した浸炭鋼の疲労特性に及ぼすショット粒の影響について検討している。SP処理の条件によっては疲労寿命のばらつきが大きくなることが報告されている。このばらつきの要因の一つとして、処理中のショット粒の破碎が考えられる。そこで、処理中にショット粒が破碎することによるピーニング効果のばらつきを、疲労寿命のばらつきを尺度として確認している。ハードSPを行う場合に、安定したピーニング効果を与え疲労強度のばらつきを抑えるためには、破碎しにくいショット粒を使用するか、破碎したショット粒を速やかに機械外へ除去することが必要になることを明らかにしている。

第5章では、高強度鋼SCM435の遅れ破壊強度に及ぼすSPの効果を検討した。鋼を高強度化する際の問題として、いかに遅れ破壊を発生させないか、あるいは防止するかが重要な鍵となっている。SP試験片および未処理材を用いて0.1規定塩酸水溶液環境下で遅れ破壊試験を実施し、SP加工により、高強度鋼の遅れ破壊強度は大きく向上することよ示した。この理由は、モーメントアーム先端の変位量測定結果から、き裂の発生が遅れたことによることを確認している。これは、ピーニング処理材表面の高転位密度が水素のトラップとなり、侵入を防ぐことと、表面層の圧縮残留応力が3軸応力成分を減少させ、水素の拡散集積を遅延させたことであると結論づけている。

第6章では、浸炭鋼の遅れ破壊に及ぼすSPの影響について検討している。遅れ破壊特性の評価に際し、塩酸浸漬した鋼から放出される微量の水素をガスクロマトグラフィーで測定し、第5章で仮定したピーニングによる拡散性水素の侵入量が低減できるかどうかを調査した。また、鋼中の拡散性水素量と破断時間の関係から、ある時間経過後遅れ破壊が発生するかどうかの限界拡散性水素量を求めている。水素放出挙動では、浸炭材特有の挙動が確認されたものの、SP処理材の拡散性水素量は、未処理材のそれと比較すると少なくなっており、SPは鋼中への拡散性水素の侵入を抑えることを明らかにしている。また、同一負荷応力レベルで比較すると、SP処理材は、未処理材に比べて限界水素量が向上を確認している。以上のことから、SPは高強度鋼の焼入れ焼戻し材ならびに浸炭材の遅れ破壊強度向上の有効な手段であり、今後ますます期待される加工技術になり得ることを示している。

結論は、第1章から第6章までの結果を総括して、要約をしたものである。

論文審査の結果の要旨

本論文は、主にショットピーニング加工を施された高強度鋼の圧縮残留応力分布と強度特性に関する問題点を明らかにするとともに、その成果をもとにピーニング加工の機械構成部品への適用範囲拡大の指標を作成することを目的としており、得られた成果は次の通りである。

- ① 高強度鋼においてショットピーニング条件と残留応力の関係を調べ、効率よくかつ経済的に高い圧縮残留応力を付与する手法について検討している。一般に、ショットピーニングにより付与される圧縮残留応力分布は、被加工材強度やショット粒硬度、粒径、投射速度、投射時間などの投射条件に依存することから、これらの関係を調査している。圧縮残留応力の最大値は、ショット粒の硬度の影響を最も強く受ける。高強度鋼に作用する負荷応力が大きいことを考えれば、効率よく高い圧縮残留応力を付与する条件はショット粒の硬度を部材の表面硬度に近いものとする必要があることを明らかにしている。
- ② 高強度鋼へのハードショットピーニング加工におけるピーニング加工強さの管理手法として用いられているアークハイト値と残留応力の関係について検討している。高強度鋼へのハードショットピーニングにおいて、A片で測定されたアークハイト値が被加工材の最大圧縮残留応力の値に対応せず、疲労強度を推定するピーニング強度の尺度としては不適切であることを確認している。ハードショットピーニングに適した浸炭鋼の表面硬度に近づけた高硬度基準片を提案し、この基準片により測定されたアークハイト値と、被加工材の最大圧縮残留応力値および分布の大きさには、よい相関関係があることを確認している。
- ③ ショットピーニングによる圧縮残留応力分布を、シミュレーションにより求める方法を提案し、実験で得られた残留応力分布と比較している。実験による応力分布と計算値とはほぼ一致し、圧縮応力の最大値やショットピーニングによる有効効果層深さは、提案した予測式よりほぼ計算できることを明らかにしている。
- ④ ハードショットピーニング加工を施した浸炭鋼の疲労特性に及ぼすショット粒の影響について検討し、疲労寿命のばらつきが、処理中のショット粒の破碎によることを明らかにしている。ハードショットピーニングを行う場合に、安定したピーニング効果を与え疲労強度のばらつきを抑えるためには、破碎しにくいショット粒を使用するか、破碎したショット粒を速やかに機械外へ除去することが必要であることを明らかにした。
- ⑤ 高強度鋼SCM435の遅れ破壊強度に及ぼすショットピーニングの効果を検討し、0.1規定塩酸水溶液環境下で遅れ破壊試験を実施している。ショットピーニング加工により、高強度鋼の遅れ破壊強度は大きく向上することを示した。これは、

モーメントアーム先端の変位量の測定結果から、き裂の発生が遅れたことによるものであることを確認している。

⑥ 浸炭鋼の遅れ破壊に及ぼすショットピーニングの影響について検討している。また、遅れ破壊特性の評価に際し、塩酸浸漬した鋼から放出される微量の水素をガスクロマトグラフィーで測定し、ピーニング処理により拡散性水素の侵入量が低減できるかどうかを調査している。鋼中の拡散性水素量と破断時間の関係から、ある時間経過後に遅れ破壊が発生するかどうかの限界拡散性水素量を求めている。ショットピーニングは鋼中への拡散性水素の侵入を抑えること、同一負荷応力レベルで比較すると、ショットピーニング処理材では、未処理材に比べて限界水素量が向上していることを明らかにしている。

以上要するに、本論文は、高強度鋼に及ぼすショットピーニングの効果の問題点やその解決手法ならびに効果の応用例について多くの知見を得たものであり、学術上、実際上寄与することが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学術論文として価値あるものと認める。