ショットピーニング加工を施したステンレス鋼の加工硬化に及ぼす影響因子に関する基礎的研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/16495

氏　　名	高　橋　茂　信
生　年　月　日	
本　　籍	新潟県
学 位 の 種 類	博士(工学)
学 位 記 番 号	博甲第516号
学位授与の日付	平成14年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	ショットピーニング加工を施したステンレス鋼の加工硬化に及ぼす影響因子に関する基礎的研究
論文審査委員(主査)	廣瀬　幸雄(理学部・教授)
論文審査委員(副査)	小村　照寿(工学部・教授)　黒堀　利夫(教育学部・教授) 安達　正明(工学部・教授)　佐々木敏彦(教育学部・助教授)

学 位 論 文 要 旨

ABSTRACT

A shot peening process has been generally utilized as one of the surface processing method to improve the fatigue life and the fatigue strength of cyclically loaded components. This improvement is mainly achieved by inducing the compressive residual stress and the work hardening effects in the surface layer. But the latter effect of a shot peening process on the fatigue strength is not clarified enough. It is significant technologically and industrially to clarify the influential factor of shot peening on the fatigue strength. In this study, the stainless steel with austenite, ferrite and martensite phase was investigated from the viewpoint of work hardening especially. Because it is found that the surface residual stress during cyclic fatigue process is released to some elements at early stage of cyclic loading and gradually decreased and finally come to nearly zero. As a result, we found that the main effects of the increments of fatigue strength depend on the work hardening, which was composed of refining of austenite, ferrite and martensite phase itself, and phase transformation which is called strain-induced martensitic transformation of the SUS 304 and SUS 329 J1 stainless steels by shot peening.

学位論文要旨

ショットピーニング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かつ容易に疲労強度向上が図れる点などから，古くはばねの強度向上の手段として用いられてきた冷間加工技術である．また最近では環境問題への配慮，機器の軽量化やコンパクト化の要求，厳しい使用不可条件下で使用される金属材料の疲労強度向上の手段として用いられてきている．ショットピーニング加工による作用についてまとめると主に，（1）表面改質，（2）圧縮残留応力付与，（3）加工硬化が挙げられる．またこれらの作用に対して（1）疲労強度向上，（2）耐摩耗性向上，（3）耐応力腐食割れ特性向上，（4）放熱性の向上，（5）流体抵抗の減少，（6）成形の効果が考えられている．ショットピーニング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となどから，ショットピーニング加工条件からの残留応力の予測も提案されつつある．しかしショットピーニング加工により発生する加工硬化現象について，その詳細を論じた報告はほとんど見あたらない．加工硬化は金属の塑性加工において回復もしくは再結晶温度以下では加工度の増加に伴って，加工のための力も急速に増加し，硬さや強さが高くなる現象であり，結晶中の転位の数が増加し，複雑に絡み合って運動しにくくなることが原因であるとされているが，ショットピーニング加工

を行った鋼に対する加工硬化現象についての挙動や主要因，割合についてはほとんど論じられておらず，体系的な整理も行われていない．また加工硬化と疲労強度に関する詳細な研究の報告はほとんど見あたらず，特に疲労強度に影響を及ぼす硬さ，つまり加工硬化に関し，例えば組織変態の組織的な影響が強いのか，組織そのものの効果が強いのか，あるいは組織の微細化による強化が行われているのか等々明確になっていない点が多い．加えて加工誘起変態を起こさない組織で構成されている材料や複数の組織で構成されている材料の加工硬化現象の解明は，ショットピーニング加工の更なる発展のため明らかにしておくべき点が多いと考えられる．そこで本研究では，市販の単相組織を持つステンレス鋼（オーステナイト系，フェライト系，マルテンサイト系ステンレス鋼）にショットピーニング処理を行い，生成される硬化層を構成する支配因子を詳細に調査し，各組織ごとのショットピーニング処理による加工硬化の挙動や影響因子の解明を行った．次にこれら単相ステンレス鋼の結果を基にし，ショットピーニング加工を施した二相ステンレス鋼に形成される加工硬化層の組織挙動やこれらを構成する要因，およびその割合を詳細に検討した．本論文における各章での実施事項と得られた結果についてまとめると以下のようになる．

第１章では，本論文の研究背景を説明し，研究の位置づけおよび目的について示した．

第２章では，オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）に対してショットピーニング処理を施し，表面近傍に生成される加工硬化と圧縮残留応力を調査し，特にオーステナイト系ステンレス鋼表面に生成される加工硬化層の構成および要因割合を明らかにし，また硬度上昇から疲労限度の推定を行った．この結果，ショットピーニング加工を施したオーステナイト系ステンレス鋼の加工硬化の要因は，$\gamma \rightarrow \alpha'$ へと組織変化する加工誘起マルテンサイト変態による硬度上昇と，オーステナイト相および生成されるマルテンサイト相自体の硬化が大きく影響を及ぼしていた．また塑性ひずみ負荷試験によりこれらの支配因子を定量的に明らかにした．各相自体の硬化は組織の微細化が影響しているものと考え，これを SEM による詳細な観察により明らかにした．さらにショットピーニング加工により疲労強度は向上していたが，付与される圧縮残留応力は疲労試験開始後の初期負荷回数（数十回）で応力解放を起こしており，残留応力の影響は少ないものと考えた．よってショットピーニング加工による疲労強度向上には硬さの上昇が大きく影響を及ぼしており，今回の実験材料での表面硬さの上昇から推測される疲労限度（σ_w）は，過去の報告の傾向とよく一致していた．

第３章では，フェライト系ステンレス鋼（SUS430）に対してショットピーニング処理を施し，表面近傍に生成される加工硬化層と表面圧縮残留応力を詳細に調査検討を行った．この結果，ショットピーニング加工を施したフェライト系ステンレス鋼の加工硬化の要因はフェライト相自体の硬化が主要因であり，その硬化の原因は SEM 観察の結果から，加工表面近傍での組織が内部の組織に比べて微細化しており，この粒径の変化が加工硬化に大きく影響を及ぼしているものと考えた．また本材料に付与される圧縮残留応力は疲労強度向上に対して大きく影響を及ぼしていないと結論つけた．

第４章では，マルテンサイト系ステンレス鋼（SUS403）に対してショットピーニング処理を施し，表面近傍に生成される加工硬化層と表面圧縮残留応力を詳細に調査検討を行った．この結果，ショットピーニング加工を施したマルテンサイト系ステンレス鋼の加工硬化の要因はマルテンサイト相自体の硬化が主要因であり，その硬化の原因は組織の詳細な SEM 観察と微小硬度測定による動的硬さ（DH）の結果を基に判断すると，ショットピーニング加工表面近傍での組織の微細化が，硬度上昇に大きく影響を及ぼしているものと考えた．また本材料に付与される圧縮残留応力は疲労強度向上に対して大きく影響を及ぼしていないと結論つけた．

第５章では，オーステナイトーフェライト系二相ステンレス鋼（SUS329J1）に対してショットピーニング処理を施し，加工表面近傍に生成される加工硬化層および圧縮残留応力について詳細に検討を加え，これらの因子が疲労強度にどのように影響を及ぼしているのかを詳細に調査した．また各相のショットピーニングにより上昇した表面硬さの判別には，超微少硬度計による各相の動的硬さ（DH）を測定することによって行った．この結果，二相ステンレス鋼の加工硬化の主要因は，二相ステンレスを構成するオーステナイト相が加工誘起によりマルテンサイトに変態する際の硬度上昇と，オーステナイト，フェライトおよび加工誘起により生成されるマルテンサイト自体の硬度上昇が大きく影響を及ぼしていることが微小硬度測定の結果から分かった．また別途実施した塑性ひずみ負荷試験により各相の硬度上昇の形態を明らかにすることが可能となった．二相ステンレス鋼において，ショットピーニング加工により付与される圧縮残留応力は疲労過程

初期にて解放していることが実験的に明らかにすることができた．この結果，本材料の疲労強度向上にはショットピーニング加工による硬度上昇のみが関与しているものと結論つけた．

第６章では，本研究で明らかとなった一連のステンレス鋼の加工硬化に寄与する因子について総括し，また今回得られた硬度上昇が疲労強度に対してどのように影響を及ぼしているのかを論述し，ショットピーニング加工を行ったステンレス鋼の疲労強度への影響因子について述べた．

第７章では，第２章から第６章までの主要な結論をまとめ今後の検討課題について列挙した．

ショットピーニング処理により生成される加工硬化層は，ステンレス鋼を構成する組織に大きく起因しており，またその硬度上昇も，各相自体の硬さや，組織変態および組織の微細化によって強く影響されていることを提示した本研究は，実験報告例のほとんどない加工硬化の構成およびその割合を明らかにし，加工硬化の理解を一層深めたものと考えられる．

学位論文審査結果の要旨

平成 14 年 2 月 1 日の口頭発表結果を踏まえ論文審査会を開催し，提出された学位論文並びに資料を討議した結果以下の通り判定した。

本論文は表面改質法の一手法であるショットピーニング（以下 SP と記する）加工を単相ステンレス鋼（オーステナイト系，フェライト系，マルテンサイト系）及び二相ステンレス鋼に施し，SP 加工の主な作用の一つである加工硬化現象について，そのメカニズムと構成要因の分離・解明を行ったものである。本研究では，SP 材に対する評価に加え，超微小硬度測定と影響因子分離のために別途，ひずみ試験を実施することによってステンレス鋼 SP 材の加工硬化現象の解明を行い，各組織を有するステンレス鋼の加工硬化への影響因子並びに強化機構を体系的に明らかにした。

以上の内容は，ステンレス鋼 SP 加工材にて発生する加工硬化の影響因子分離の提案とその適用例であり，工学的にも有益な結果が得られている。これら一連の研究で得られた知見は冷間加工ステンレス材の評価につながり，更には他材料への適用も十分考えられることから，今後の表面改質処理材並びにステンレス鋼の適用範囲拡大にとって非常に有益であると確信できる。

以上，本論文は十分に博士の学位論文に値するものと考え審査員一致で合格と判定する。