

Developments of Quantitative Methods for
Materials Strength Characterization by
Small-Punch Testing Techniques (スモールパンチ
試験法による材料強度特性の定量的評価法開発に関
する研究)

著者	Maribel Leticia Saucedo-Munoz
号	53
学位授与番号	2202
URL	http://hdl.handle.net/10097/42597

		マリベル レティシア サウセド-ムニョス
氏名		Maribel Leticia Saucedo-Muñoz
授与学位		博士 (工学)
学位授与年月日		平成21年3月11日
学位授与の根拠法規		学位規則第4条第2項
最終学歴		1984年 7月
		メキシコ国立工科大学
学位論文題目		Developments of Quantitative Methods for Materials Strength Characterization by Small-Punch Testing Techniques (スモールパンチ試験法による材料強度特性の定量的評価法開発に 関する研究)
論文審査委員	主査 教授	庄子 哲雄 教授 坂 真澄
	教授	橋田 俊之 教授 渡 邊 豊
	准教授	駒崎 慎一 (室蘭工業大学)

論文内容要旨

This thesis describes the developments of quantitative methods for materials strength characterization by small-punch testing techniques. The materials covered in this study are: low-alloy ferritic steels used for components in refinery, chemical and power plants, newly-developed cryogenic austenitic stainless steels employed in superconducting magnets of fusion reactors, as well as SUS 316 HTB steel utilized in superheater tubes. This thesis is divided into six chapters. The introduction of this work is given in Chapter 1, which describes the theoretical background and the current state of the applications for the small-punch (SP) testing method to the characterization of mechanical behavior in materials and the scenario of this research. The objectives and approaches of this study are illustrated in the attached figure (Fig.1).

Chapter 2 deals with the determination of the ductile-brittle transition temperature (DBTT) of CVN impact test by means of the SP testing method in low-alloy ferritic steels, including chemical, physical and metallurgical factors. A new correlation between DBTTs determined by CVN impact testing method and the SP technique is established by employing a multiple linear regression analyses, taking into account the chemical composition and the grain size of the material. The correlation has been shown to be more accurate than the previous methods.

In chapter 3, the cryogenic austenitic stainless steels newly developed for fusion reactor component materials, JJ1, JN1 and JK2 were investigated in terms of their susceptibility to the grain boundary embrittlement. The materials were subjected to the heat treatments simulating a heat affected zone. The results showed that the JK2 steel is more resistant to the grain boundary embrittlement due to its high content of Mn. A new linear correlation between the CVN test energy and SP test energy at 77 K was also determined, which allows to assess the degree of grain boundary embrittlement in this type of steels.

Chapter 4 demonstrates a unique equivalence of the J-based fracture toughness, J_{IC} and the equivalent fracture strain, determined by the SP testing method, at cryogenic temperatures in austenitic stainless steels JN1, JJ1 and JK2. It was shown that there was a unique linear

correlation between the J-based fracture toughness and the equivalent fracture strain for the cryogenic materials with and without grain boundary embrittlement.

In chapter 5, the small-punch method testing method was applied to evaluate the creep properties for a SUS 316 HTB austenitic stainless steel. In the small-punch creep tests, punching load was held constant during the experiment. The deformation vs. time curve obtained by the SP creep tests showed clearly the steady state creep behavior similar to uniaxial tensile creep tests. Finite element analyses revealed that equivalent stress during the steady state creep stage was almost constant. The creep rupture curve obtained by the SP creep testing method was very close to that determined by uniaxial creep tests.

The main merit and contributions to the development of quantitative methods for materials strength characterization by small-punch testing techniques are summarized in the attached figure (Fig.2).

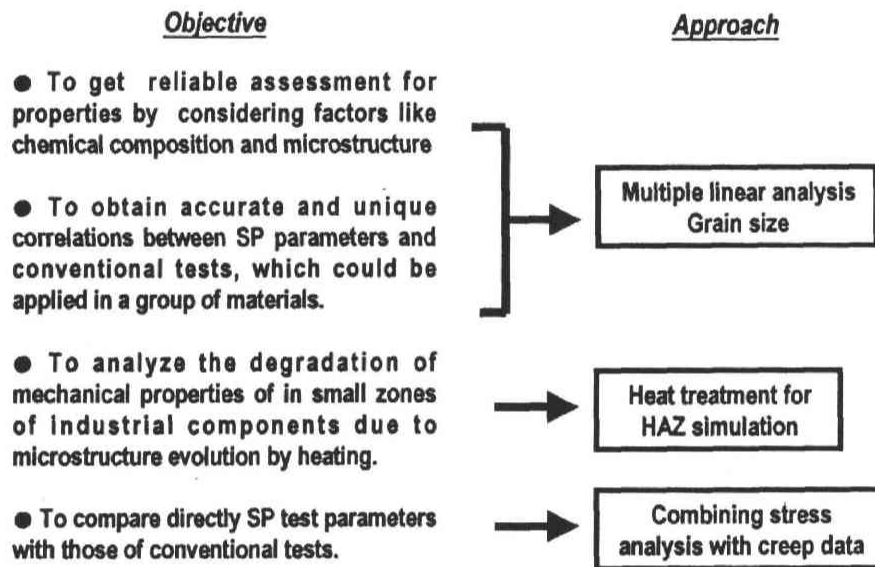


Figure 1. Objectives and approaches of this study

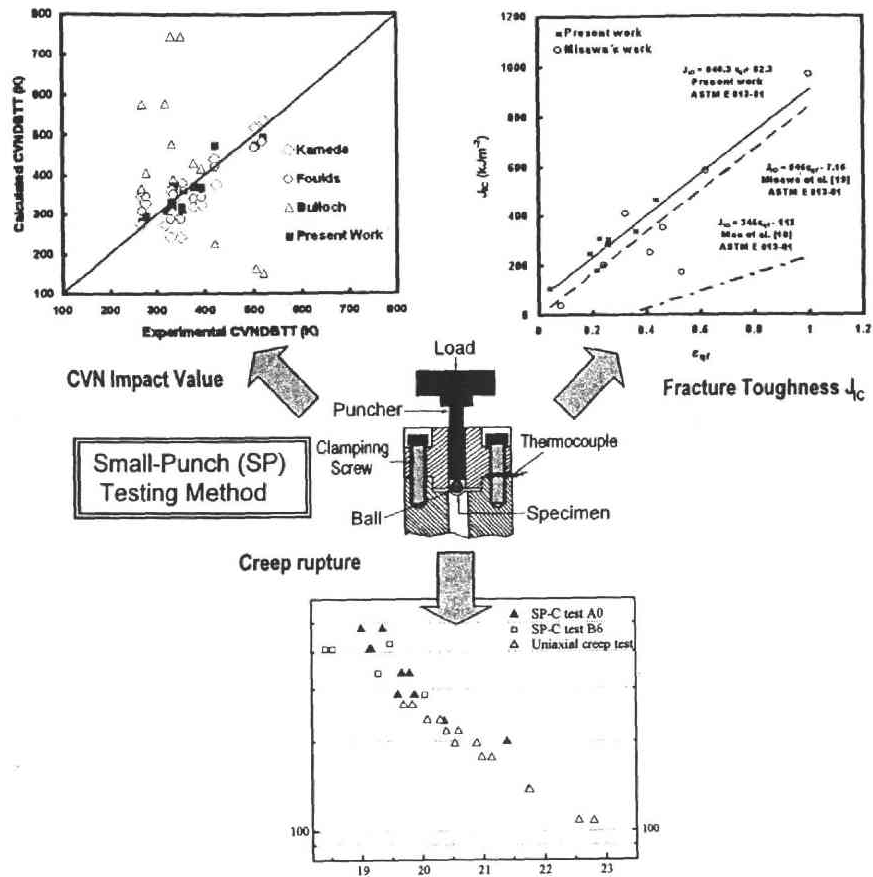


Figure 2. Illustration of the small-punch (SP) testing methods developed in this study

論文審査結果の要旨

エネルギー機器・構造物の余寿命を予測するためには、構成材料の経年劣化度を評価することが必要不可欠となる。スモールパンチ（SP）試験法は、実機部材から直接抽出する小型試験片を活用することにより、局所領域における材料劣化評価を目的とする方法であり、SP試験により評価したパラメータに基づき、実用上重要な破壊特性等を推定する方法である。

本論文は、エネルギー機器・構造物の寿命延伸が図られ、より精度良い余寿命評価法が求められている現状を踏まえ、SP試験法による定量的な破壊特性推定法の開発に関する検討を行い、それらの結果をまとめたもので全編6章よりなる。

第1章は緒論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、広範な低合金フェライト鋼に対して系統的な特性評価と微視組織解析を行い、SP試験に基づき、シャルピー衝撃試験による延性-脆性遷移温度を推定するための新しい相関関係式を提案している。実験結果の多変量解析により、材料の結晶粒径が重要な因子であることを見出し、従来法より格段に精度良い相関関係式を導出している。これは、SP試験法における影響因子を初めて明らかにしたもので有益な知見である。

第3章では、核融合炉超伝導マグネット構造材料として開発されたオーステナイト系ステンレス鋼（JJ1、JN1 および JK2 材）に対して、溶接再現熱処理を施した材料を対象に SP 試験を行い、溶接条件によっては粒界脆化割れ発生の可能性があることを初めて示している。さらに、熱処理による粒界脆化は Mn の添加により低減できることを明らかにしている。これは、重要な知見である。

第4章では、第3章で対象としたオーステナイト系ステンレス鋼の極低温かつ局所領域の破壊特性評価を目的とした試験を実施し、破壊力学的な検討を行っている。その結果、SP試験で得られる等価破壊ひずみに基づき、粒界脆化の有無によらず、同一の相関式を用いて限界 J 積分値を推定できることを示しており、SP試験法の実用上の有用性を示している。

第5章では、SP試験法の高温強度評価への拡張を目的として、火力発電ボイラー用オーステナイト系ステンレス鋼（SUS 316 HTB）を対象とした SP クリープ試験を行うとともに、数値応力解析と組み合わせたクリープ特性評価に関する検討を行っている。SP クリープ試験により得られた応力とラーソンミラーパラメータの関係は一軸クリープ試験によるものとほぼ同一であることを初めて見出し、SP試験により高温クリープ劣化特性を定量的に評価できることを示している。これは、貴重な知見である。

第6章は結論であり、成果を総括している。

以上要するに本論文は、SP試験に基づく延性-脆性遷移温度、極低温破壊靱性ならびに高温クリープ特性の推定において、従来の研究と比較して飛躍的に予測性を向上させることに成功し、局所領域における経年劣化を検出するための革新的な微小試験法ならびに評価法を提案したものであり、機械システムデザイン工学ならびに材料強度学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。