

学位論文の要旨

氏名

村上 幸太郎

学位論文題目

微小ディスク試験片を用いた新しい強度評価技術の開発

本論文は、微小ディスク試験片を用いた強度特性評価への新規発展についてまとめたものである。高温水素雰囲気中の強度特性評価と、微小ディスク試験片を用いた高温疲労特性評価を行うために新たに試験装置を設計・製作と製作し、試験装置を用いた材料特性評価の調査検討を行った。加えて、従来のスモールパンチ（SP）試験法を用いた高分子材料の強度特性評価について調査検討を行った。これらについてまとめたものであり、本論文は6章で構成され、その概要を以下に記す。

第1章は序論であり、微小サンプル試験の必要性についてまとめている。

第2章は微小サンプル試験片を用いた材料評価技術について整理し、各微小サンプル試験方法の現状と課題についてまとめている。

第3章では、エポキシ樹脂の変形・強度・破壊特性評価へのSP試験法の適用性に関する基礎的検討を行った。エポキシ樹脂を対象に異なる押し込み速度でSP試験を実施し、計測された荷重-変位曲線から降伏強さ、引張強さ、伸びを推定するとともに、試験後の破壊形態を観察し、SP変形・強度・破壊特性に及ぼす負荷速度の影響について調査した。その結果、押し込み速度が比較的小さい場合は大きく変形し、一文字状き裂が試験片中央部から発生するのに対して、押し込み速度が大きくなると変形を伴わずにクランプ部近傍で円周状に脆性的に破壊することがわかった。また、押し込み速度の増加とともに強度レベル（降伏強さ、引張強さ）が上昇し、延性（伸び）が低下した。このような押し込み速度増加に伴

う変形・強度・破壊特性の変化は高分子材料特有の粘弾性特性を反映した結果であると考えられる。

第4章は先進高温水素機器の余寿命評価へのSP試験法の適用性を検討するため、温度600°C、圧力0.98 MPaの高温水素ガス雰囲気中でSP試験が可能な試験装置を新たに設計・製作した。その後、オーステナイト系ステンレス鋼SUS304を対象に、温度600°C、圧力0.12 MPaにてSP試験とSPクリープ試験を実施し、変形・破壊特性に及ぼす高温水素ガス雰囲気の影響に関する基礎的検討を行った。SP試験の結果、室温においてはアルゴンガス雰囲気中に比べ水素ガス雰囲気中のほうが最大荷重とそのときの変位は幾分小さかった。反対に、600°Cでは水素ガス雰囲気中の最大荷重とそのときの変位はアルゴンガス雰囲気中に比べわずかに大きくなった。また、その結果を用いて強度の推定を行うと引張試験で得られたものとよく一致した。SPクリープ試験の結果、水素ガス雰囲気中のほうがアルゴンガス雰囲気中に比べ変形が助長されクリープ破断時間が幾分短くなった。また、相当破壊ひずみ（破断延性）は試験荷重の低下とともに減少する傾向にあり、相当破壊ひずみはアルゴンガス雰囲気中に比べ水素ガス雰囲気中のほうがわずかに高かった。

第5章は新たに開発した試験装置を用いて微小ディスク曲げ疲労試験を行い、疲労寿命に及ぼす最大圧力やひずみゲージ貼付の影響について調査した。開発した試験装置はひずみゲージの出力が圧力の変化に追従していることが確認出来、また、最大圧力とサイクル数の関係から試験中安定して圧力負荷が行われことを確認された。試験結果より、試験圧力の増加とともに疲労寿命が単調に減少するという良好な試験結果が得られ、疲労特性評価が行える可能性が得られた。ただし、ひずみゲージを貼付すると接着部端部からき裂が発生し、疲労破壊が早期に生じてしまうため、ひずみ測定はデジタル画像相関法を用いた方法が有用であると考えられる。

第6章では、本研究の結論を総括した。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Development of New Strength Evaluation Technique Using Small Disk Specimen

Name: MURAKAMI Kotaro

The objective of the thesis is that development of new strength evaluation technique using small disk specimen. the new testing apparatus was designed and fabricated to conduct strength property evaluation in a high-temperature hydrogen atmosphere and high-temperature fatigue property evaluation using small disk specimens. Additionally, an investigation into the evaluation of strength characteristics of polymeric materials using the conventional Small Punch (SP) test method was carried out. The thesis comprises of 5 chapters, The contents of each chapter are outline below.

Chapter 1 is Introduction and presents the small size sample testing technique

Chapter 2 consists of literature survey on the problems associated with the present small size specimen testing technique.

In Chapter 3, a study was conducted on the applicability of the SP test method to the evaluation of deformation, strength, and fracture characteristics of epoxy resin. SP tests were performed on epoxy resin at different indentation speeds. From the measured load-displacement curves, yield strength, tensile strength, and elongation were estimated. Additionally, the post-test fracture morphology was observed. The investigation aimed to explore the impact of loading speed on SP deformation, strength, and fracture characteristics. The results showed that at relatively low indentation speeds, significant deformation occurred, and a single-letter-shaped crack initiated from the center of the specimen. Conversely, at higher indentation speeds, brittle fracture occurred without significant deformation near the clamping area. Furthermore, an increase in indentation speed led to an increase in strength levels (yield strength, tensile strength) and a decrease in ductility (elongation). These changes in deformation, strength, and fracture characteristics with increasing indentation speed were considered to reflect the viscoelastic properties inherent to polymer materials.

In Chapter 4, a testing apparatus capable of conducting SP tests in a high-temperature hydrogen gas atmosphere at 600°C and 0.98 MPa pressure was newly designed and fabricated to assess the applicability of the SP test method for residual life evaluation of advanced high-temperature hydrogen equipment. Subsequently, SP tests and SP creep tests were performed on austenitic stainless steel SUS304 at a temperature of 600°C and a pressure of 0.12 MPa. Fundamental investigations were conducted on the influence of the high-temperature hydrogen gas atmosphere on deformation and fracture characteristics. The results of the SP test indicated that at room temperature, the maximum load and displacement in the hydrogen gas atmosphere were somewhat smaller compared to the argon gas atmosphere. In contrast, at 600°C, the maximum load and displacement in the hydrogen gas atmosphere were slightly larger than those in the argon gas atmosphere. Furthermore, the estimated strength based on these results closely matched that obtained from tensile tests. In the results of the SP creep test, deformation was more pronounced in the hydrogen gas atmosphere compared to the argon gas atmosphere, leading to a slightly shorter creep rupture time. Additionally, the equivalent fracture strain (fracture ductility)

showed a decreasing trend with a decrease in test load, and the strain was slightly higher in the hydrogen gas atmosphere compared to the argon gas atmosphere

In Chapter 5, new small-disk bending fatigue technique capable of testing at around 180°C was developed. The diameter of the test specimen is the same as the SP test specimen, at 8 mm. Finite element analysis revealed that the most suitable plate thickness is approximately 0.3 to 0.4 mm when the test material is epoxy resin. An actual test specimen (diameter 8 mm, plate thickness 0.3 mm) was fabricated using epoxy resin, and tests were conducted at room temperature using the developed testing apparatus. The results confirmed that the output of the strain gauge follows changes in pressure. The air pressure was abruptly dropped due to fracture, and the number of cycles to the sudden drop in pressure increased with decreasing applied maximum pressure. The fatigue cracks initiated at center of specimen, however, when strain gauges were attached, cracks initiated at the adhesive bond edge, leading to premature fatigue failure. Therefore, strain measurement using digital image correlation (DIC) method is considered useful.

Chapter 6 presents the conclusions of the study.