

微小領域の強度試験のための超微小押し込み試験機の試作

Ultra-Micro-Indenter for Hardness Tests in Microregion

稲 村 元 則*・鈴 木 敬 愛*

Motonori INAMURA and Takayoshi SUZUKI

1. は じ め に

原子炉・核融合炉材料の機械的性質が照射効果により機能低下を生じることは知られており、照射損傷の研究においては、照射材の強度変化の測定が重要な課題となっている。しかし、重イオン照射によるシミュレーション試験では照射損傷領域が試験片表面層に限定され、試験片にも寸法制限が生じるため従来の試験法とは異なった微小試験片を用いた試験法の確立が必要とされている¹⁾。

照射材の表面層の強度変化の測定を可能にすることを目的とし、押し込み深さ 1 μm 以下で強度評価を行う超微小押し込み型強度試験機の試作を行った。本稿では、超微小押し込み試験機の概要と、それによる二、三の測定例を報告する。

2. 超微小押し込み型強度試験機概要

2.1 測定原理

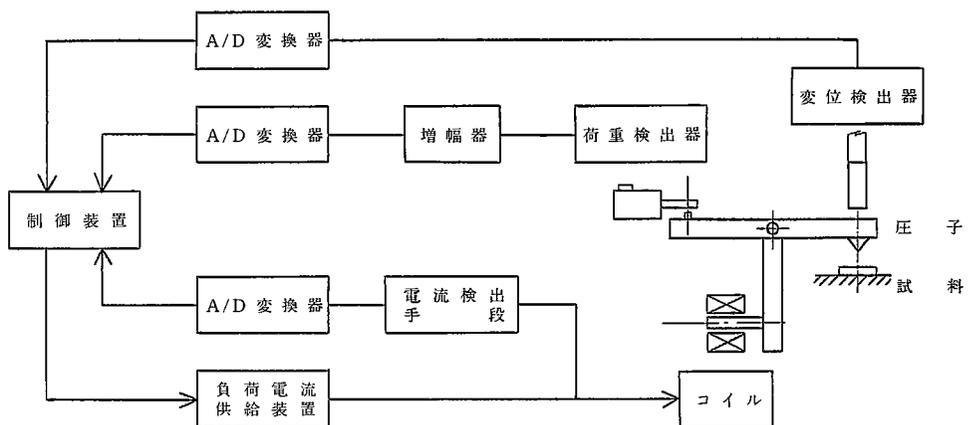
微小試験片を用いた材料強度試験法には微小引張り試験、微小曲げ試験、微小硬さ試験などが考案され、実

用化されつつある。なかでも、極めてローカルな領域の強度評価を行うためには、錐を圧子に用いた押し込み型強度試験（微小硬さ試験）が最適と考えられる。本強度試験機は錐の圧子を試料に押し込み、圧子の押し込み量と圧子を押し込むのに要した荷重より強度を評価する装置である。

また本強度試験機では、現在用いられている微小硬さ試験であるマイクロ・ビッカース硬度試験や微小スnoop硬度試験よりさらに微小領域、微小荷重での強度評価を行う。従来の微小硬さ試験では、圧痕の大きさを除荷後の圧痕の対角線の長さを光学顕微鏡により計測することにより求め硬度を算出している。しかし、押し込み深さ 1 μm 以下の強度の測定においては光学顕微鏡による対角線長さの正確な計測は不可能となる。そこで、圧子の押し込み量を微小変位計により計測することによって強度評価を行う。また、極低荷重での測定においては圧子先端の形状が強度評価に大きな影響を及ぼす。そこで、ビッカース硬度との比較を行わない限り、圧子先端を鋭利に加工できる三角錐圧子を用いることとする。

2.2 計測システム

図-1 に本システムのブロック図を示す。本押し込み試験



*東京大学生産技術研究所 第1部

図-1 システムブロック図

研究速報

機では制御装置(パーソナルコンピュータ)により押し込み試験の管理をおこなう。最大負荷荷重・最大負荷荷重までの到達時間・荷重保持時間・除荷時間を設定、設定値に従い制御装置より1サイクルの試験が行われる。試験中の電流の計測(荷重に対応)・押し込み量の計測は40msecごとに行われ、一対一に対応付けられメモリ上に記憶される。押し込み過程・除荷過程のデータを連続的に計測、メモリ上に記憶することにより、単に押し込み硬さHの算出のみでなく、変形の様子、深さ方向の強度の変化の情報も得られ、試験終了後のデータ解析も可能となる。

圧子の押し込み量の計測には光ファイバー方式の微小変

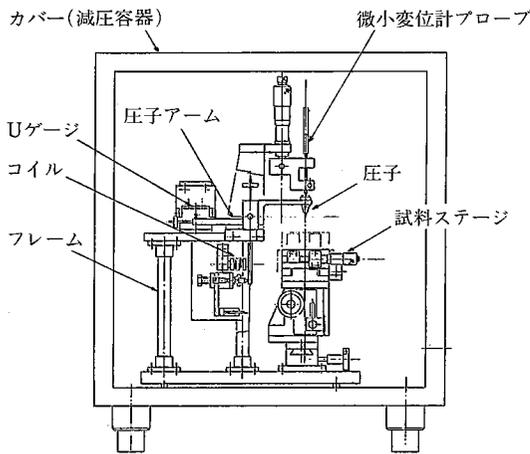


図-2 超微小押し込み試験機本体概観図

位計を用いている。12bitのA/D変換ボードとの組み合わせで、約4nmの分解能で圧子の押し込み深さを測定する。圧子への荷重の負荷は圧子アームを介し電磁力により行われる。最大荷重は10mgf~1500mgfを任意に、かつ荷重速度も最大荷重到達時間を変えることにより自由に設定することができる。また、アームの支点に対し圧子と対称の位置に取り付けられたU-ゲージを用いることにより随時荷重の校正をすることが可能である。

図-2に試験機本体の概観図を示す。圧子を保持する系(圧子アーム)は、一点を支点に持つ天秤の構造とし、ねじりコイルばねとダンパーを設けて振動対策をしている。微小試験においては測定環境が非常に重要な問題となるため、試験機本体は空気の揺らぎの影響を考慮しカバーの中に納められ、除振台の上に置かれている。

3. 押し込み試験の結果

本押し込み試験機による測定の一例を以下に示す。

図-3は最大荷重1000mgf、最大荷重までの到達時間15sec、荷重保持時間5sec、除荷時間15secで押し込み試験を行った結果を示したもので、押し込み試験終了時のCRT表示画面である。試料はSUS 304で、試験片はバフ研磨処理を行い作製した。圧子には対稜角115°の三角錐圧子を用いた。横軸は押し込み深さ、縦軸は荷重であり、最大荷重を保持した状態でのクリープ変形による押し込みの様子がわかるように、手前方向に時間軸を設けてある。押し込み深さ0の点は試料表面である。

圧子が試料表面に接触した後、設定に従い荷重が徐々に増していき、荷重の増加に従って押し込み深さも徐々に

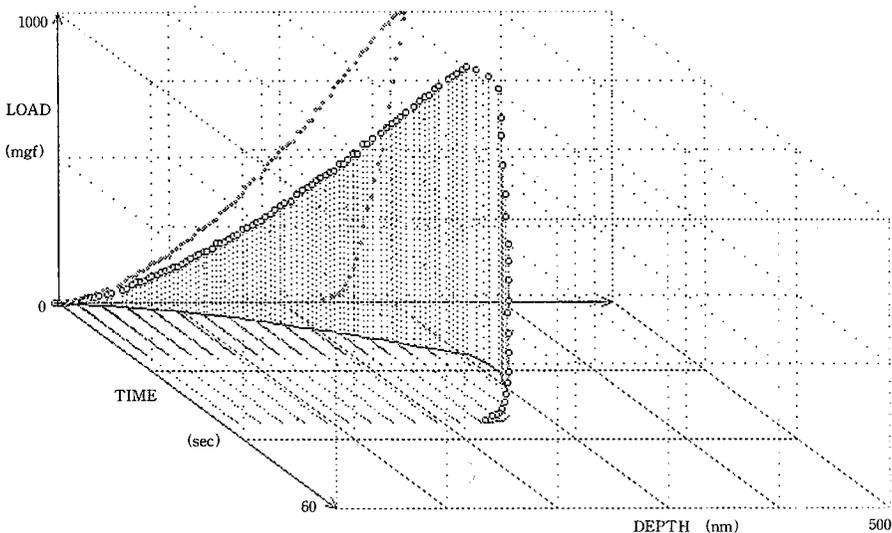


図-3 荷重、押し込み深さと時間の関係 (SUS 304)

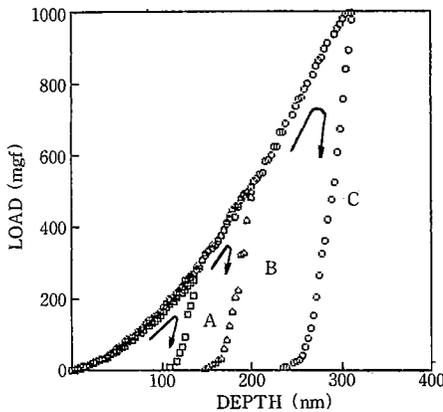


図-4 押し込み深さと荷重の関係 (SUS 304)
 最大荷重に達した後矢印のように除荷
 A : 最大荷重 250mgf
 B : 最大荷重 500mgf
 C : 最大荷重 1000mgf

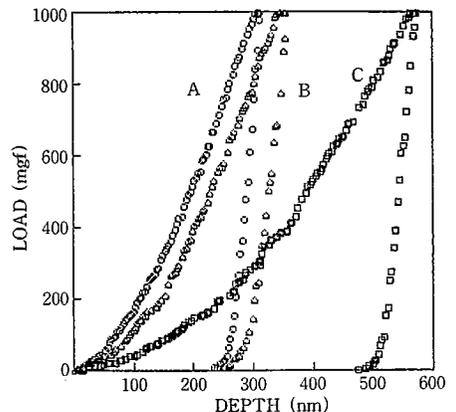


図-5 押し込み深さと荷重の関係
 最大荷重1000mgfに達した後除荷
 A : SUS 304
 B : HT9
 C : A2017

増していく。そして最大荷重到達、荷重保持後除荷を行う。除荷が進むに従って弾性回復により圧子が押し戻されてくる様子がよくわかる。結果は、最大荷重保持後の押し込み深さは309nmであった。また、除荷時のデータより約100nmの弾性回復が認められた。

図-4は同一の試料を最大荷重の設定を変えて押し込み試験を行った結果で、押し込み深さと荷重の関係を示したものである。横軸は押し込み深さ、縦軸は荷重である。おのおのの試験は負荷速度を一定(65mgf/sec)として行った。各試験での押し込みの過程は同じ曲線上を通り、再現性のよい結果が得られている。

図-5はSUS 304, HT9, A2017(アルミ合金)の三種類の試料の押し込み試験の結果である。最大荷重1000mgf、荷重速度65mgf/secで試験を行った。最大押し込み深さはSUS 304, HT9でほぼ300nm, A2017では550nmであった。試料の強度の違いにより圧子の押し込み量が大きく異なっている。また、最大押し込み深さに対する弾性回復の割合がSUS 304, HT9では3割程度あるのに対しA2017では2割に満たない。

パーソナルコンピュータによる制御により負荷-除荷繰り返し試験も可能である。図-6はその一例である。最終到達荷重は1000mgfに設定し、250, 500, 750mgf到達後に0mgfまで除荷を行い再び負荷を続けた。負荷-除荷の繰り返しにより塑性変形、弾性回復、弾性変形の繰り返しの様子が確認できる。

4. おわりに

試作した超微小押し込み試験機により、最大荷重100

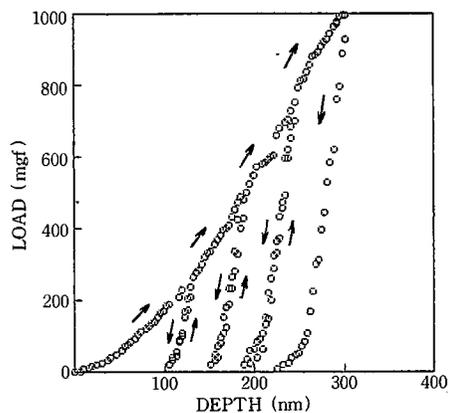


図-6 負荷-除荷繰り返し試験 (SUS 304)

mgf、押し込み深さ0.1μm程度の押し込み試験においても安定な計測が可能であることが確認された。今後、さらに微小荷重、微小領域での押し込み試験の安定化を進めつつ、本来の目的である照射材の押し込み試験を進めていく予定である。また、超微小押し込み試験のデータから試験片の巨視的な強度を評価する方法について検討する必要がある。

なお、超微小押し込み試験機の試作に際しては、本所の試作工場の協力をいただいた。(1989年10月24日受理)

参考文献

1) 亀田 純:日本金属学会会報 25 (1986), 520.