

学位論文の要旨

ハーバート硬さ試験機の実用化に関する研究 (Study on practical use of Herbert hardness testing)

氏名 鏑木 哲志 印

ものづくりにおける製品開発プロセスでは、顧客要求に従い設計を行い製作し、製作した製品の特性を計測して評価し、その評価結果の顧客要求との適合性を判定し設計に反映する。一般に生産現場においては、このプロセスを繰り返すことにより、製品開発におけるものづくり技術の高度化が図られる。「測れないものは作れない」という言葉は、製品の特性を計測できる限界が品質の限界であることを意味している。新たな製品を開発する上で計測技術の向上は必要不可欠なものである。

工業的に有用な非破壊での硬さ測定を行うためには、押し込み硬さ試験のように強制的に形成する圧痕から硬さを評価しない試験であることが望ましい。それを実現する硬さ試験機としてハーバート硬さ試験機が挙げられる。ハーバート硬さ試験機は Herbert が考案した、ダイヤモンド球状圧子を支点とする倒立振り子型硬さ試験機である。試料表面上でこの試験機を揺動させた際の揺動挙動から硬さが評価される。

ハーバート硬さ試験機が工業的に実用化されている例は見当たらない。しかしながら、硬さ測定におけるニーズである強制的な圧痕を伴わない硬さ試験で物理的な負荷に対する応答を評価指標とした試験を実現するためには、本試験機を活用することが最も有効な手段であると考えられる。本研究では、強制的な圧痕を伴わないハーバート硬さ試験を工業的に実用化することを目的とする。試験機に現場での使用の簡便性と評価の高精度化の観点から改良を加え、従来のハーバート硬さよりもより合理的かつ実用的な硬さ指標の提案を行う。

本論文は以下の 6 章から成る。

第 1 章では、材料試験における硬さ試験の位置付けや、現在工業用途として一般的に使用される従来の硬さ試験方法とその特徴について示した。

第 2 章では、ハーバート硬さの定義とオリジナルの硬さ試験機から現在の試験機に至るまでの改良の変遷について示した。本試験機の測定原理を単純なモデルについて説明し、振り子の減衰から硬さを評価できる理由と試験機の問題点を整理した。

第 3 章では、従来のハーバート硬さ試験機の問題点を解決するための試験機の改良について述べた。測定精度および作業性の改善を目的として、揺動角度の測定をレーザ変位計により行い、重心調整作業を容易とする改良型ハーバート硬さ試験機を開発した。改良型の試験機にて、ブリネル硬さ基準片（金属材料）を参照値として、測定結果に影響を及ぼす因子である圧子半径、揺動周期および測定対象の表面粗さを変化させた実験により、各種因子の影響を明らかにした。圧子半径が大きくなると圧子の転がり距離が長くなるため減衰硬さは大きくなる。揺動周期が長くなると圧子の転がり速度の低下により摩擦抵抗が増加するため減衰硬さは大きくなる。表面粗さが大きくなると圧子と試

料の真実接触面積の増加により摩擦抵抗が増加するため減衰硬さは大きくなる。実験結果から、ブリネル硬さと減衰硬さの関係を明らかにし、減衰硬さから従来のブリネル硬さを推定しうることを示した。

第 4 章では、ハーバート硬さ試験機の工業用途としての有用性を実証することを目的として、ハーバート硬さと材料の機械的性質である引張特性の比較を行った。アルミニウム合金 A1050、A2024、A5052、マグネシウム合金 AZ31、真鍮、純銅、純チタンおよび SUS440 の 8 種類の材料について比較を行い、引張と圧縮で異なる機械的特性を示す AZ31 を除く金属において、減衰硬さは 0.2 %耐力、引張強さおよび加工硬化指数と良い相関を示すことを示した。

第 5 章では、ハーバート硬さ試験の最大の特徴である材料への強制的な圧痕を伴わない非破壊での評価が可能であるという点に着目し、炭素繊維強化樹脂 (CFRTP) の成形性の評価へのハーバート硬さ試験を適用した。ハーバート硬さは従来の硬さであるビッカース硬さと負の相関となることから、減衰硬さの逆数を新たな硬さ指標 *HDH* として提案した。成形温度の異なる CFRTP について曲げ試験およびハーバート硬さ試験を行い、曲げ特性と *HDH* の関係を明らかにした。*HDH* は、曲げ強さおよび曲げ弾性率と良い相関を示した。ハーバート硬さの測定位置を移動することにより、*HDH* の値の大きさとばらつきから CFRTP の繊維束内部の接着強度不足を評価できることを示した。

第 6 章では、本論文の成果を総括した。

Study on practical use of Herbert hardness testing

Tetsushi Kaburagi

Product development process in manufacturing is as follows, first, design and manufacture to satisfy customer requirement, secondly, measurement and evaluation the characteristics of the manufactured products, finally, conformity assessment for required specifications and review of design. Generally, in production sites product development technology and manufacturing techniques are improved by repeating this process. The limit of the ability to measure the characteristics of a product is the limit of product quality. Therefore, improvement of measurement technology is indispensable for developing new products.

Useful non-destructive hardness measurements in industry should not be evaluated from impression formed forcibly by indenter. The hardness tester that does not evaluate from impression formed forcibly is Herbert hardness tester. This hardness tester was proposed by Herbert in England. Herbert hardness tester is a pendulum tester with a diamond indenter. The hardness is evaluated from the oscillation behavior of pendulum tester on the specimen.

There are no examples of industrial use of Herbert hardness tester. However, in order to evaluate the hardness from physical load without impression formed forcibly, it is the most effective way to utilize this tester. The purpose of this study is practical use of Herbert hardness tester in industry. To be more convenient and higher accuracy of evaluation, we propose a more rational and practical index of hardness than the conventional Herbert hardness.

This paper consists of the following 6 chapters.

Chapter 1, positioning of hardness test in material test, and testing method and characteristics of conventional hardness test used for industrial use commonly now are described.

Chapter 2, the definition of Herbert hardness and the evolution of improvement from the original hardness tester to the current tester are explained. The measurement principle of this tester is shown with a simple model. The reasons why hardness can be evaluated from the attenuation of the pendulum tester is described.

Chapter 3, improvements of the tester to solve the problems of the conventional Herbert hardness tester are described. Several different Brinell hardness standard blocks which are the standard of hardness of metals are measured by using improved Herbert hardness tester. The effect of indenter radius, the oscillation period and the surface roughness of specimen on measurement result is investigated by experiments. As the indenter radius increases, the damping hardness increases because the rolling distance of the indenter becomes longer. As the oscillation cycle becomes longer, the

damping hardness increases because the frictional resistance increases due to the decrease in the rolling speed of the indenter. As the surface roughness increases, the friction resistance increases due to an increase in the real contact area between the indenter and the sample, so the damping hardness increases. Experimental results explained the correlative relationship between Brinell hardness and damping hardness and conventional Brinell hardness can be estimated from Herbert hardness.

Chapter 4, in order to demonstrate the practicality of Herbert hardness tester in industry Herbert hardness and tensile properties, which are the mechanical properties of the material, were compared. Eight kinds of materials of aluminum alloy A1050, A2024, A5052, magnesium alloy AZ31, brass, pure copper, pure titanium and SUS440 were examined. The damping hardness showed a good correlation with 0.2% proof stress, ultimate tensile strength and work hardening exponent excluding AZ 31 showing different mechanical properties in tension and compression.

Chapter 5, in order to evaluate formability assessment of CFRTP without impression formed forcibly Herbert hardness test was applied. Since damping hardness is a negative correlation with Vickers hardness, its reciprocal number was proposed as a new damping hardness *HDH*. The relationship between the flexural strength and *HDH* was investigated in the CFRTP laminated sheets molded at some different temperatures. *HDH* showed a good correlation with the flexural strength and the modulus of elasticity in flexure. Difference of *HDH* measured at some different position of a same specimen shows a variation in adhesive strength of fiber bundles. Therefore the homogeneity and the mechanical properties of CFRTP can be estimated in a non-destructive testing by *HDH* measured at a number of positions.

Chapter 6, results of this paper is summarized.