

Alloy718 마찰용접재의 비커스 경도의 통계적 성질에 관한 연구 (As-welded 재의 경우를 중심으로)

권혁용* · 최성웅* · 이상열** · 공유식* · 김선진*

*부경대학교 기계공학부 대학원

**포항대학 자동차계열

A Study on Statistical Properties of Vickers Hardness of Friction Welded Parts in Alloy718 Steel (Part 1. As-welded)

HYEOK-YONG KWON*, SUNG-YOONG CHOI*, SANG-YEAL LEE**, YU-SIK KONG* AND SEON-JIN KIM*

*Graduate Student, School of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

**Department of Automotive Engineering, Pohang College, Pohang, Korea

KEY WORDS: Friction welded part 마찰용접부품 Vickers hardness 비커스 경도 Base metal (BM) 모재 Heat affected zone (HAZ) 열영향부, Probability distribution 확률분포, Weibull distribution 와이블분포, Variation 변동

ABSTRACT: The objective of this paper is the investigation of the statistical properties of Vickers hardness (HV) of friction welded parts in nickel based super resisting steel, alloy 718 steel. First, we examine the statistical properties on the case of as-welded parts. Several Vickers indentations were made under same nominal conditions. This was repeated for three different applied loads, 100, 200 and 300g with a duration time, 10 second. The arithmetic mean of Vickers hardness in base metal (BM) materials is larger than that of HAZ in all applied loads. The measure of dispersion, that is, the coefficient of variation (COV) for BM and HAZ is decreased by increasing with the applied load. The distribution of Vickers hardness was not found to be symmetric type. The probability distribution of Vickers hardness was well followed Weibull distribution. The shape parameter and the scale parameter (characteristic hardness) are increased by increasing with the applied load, as both BM and HAZ.

1. 서 론

경도(Hardness)는 재료 표면의 부분적인 변형이나 마모에 대한 저항을 나타내는 특성치로 측정이 용이하고 또한 신속하게 데이터를 얻을 수 있을 뿐 아니라 인장강도 등과 같은 기계적 성질과도 강한 상관성이 존재하기 때문에 현장에서 많이 이용되고 있다. 특히, 비커스 경도 시험은 각종 고강도 재료의 경도를 특성화하는데 이용되는 일반적인 방법이다. 이러한 경도 시험법은 일반적으로 시험하기가 간편하고 측정에 이용되는 재료의 사용량이 적을 뿐 아니라, 비파괴적이며 또한 반복적으로 많은 양의 데이터를 짧은 시간에 얻을 수 있어 재료의 물성을 평가하기 위하여 많이 이용되고 있다. 특히 미소 비커스 경도 시험은 용접부의 미세 부위나 침탄재의 침탄깊이의 측정, 코팅층의 물성 파악 혹은 부재의 수명 평가 등에 널리 응용되고 있다.

그러나 경도도 인장강도, 항복강도 등과 같은 정적 재료 강도와 같이 통상의 적은 량의 시험편 또는 소수의 측정 데이터의

평균치가 사용되고 있다. 이러한 것으로부터 알 수 있듯이, 이들은 확정치가 아니고 변동(Variation)을 나타내는 하나의 확률변수(Random variable)임을 알 수 있다. 이러한 변동의 원인으로서는 하중을 포함한 시험조건, 시험편 및 시험기 등의 부정확성이나 시험기술의 숙련도 같은 것에도 기인하지만, 재료의 확률적 본성(Nature of the material), 그의 미시조직, 열처리 조건의 불균일, 시험편의 가공방법(Nature of the surface)이나 잔류응력 등의 변동, 기계적 성질 고유의 변동 등을 생각할 수 있다 (재료강도확률모델연구회편, 1992). 현실적으로는 이와 같은 요인들이 중복하고 있기 때문에 변동은 복잡한 양상을 나타내고 그 원인을 특정 짓는 것도 용이하다고는 할 수 없다. 그러므로 경도 등과 같은 기계적 성질의 평균치나 분산 등의 통계적 특성 뿐 아니라 그들의 정량적 확률 분포 특성을 파악하고 평가하는 것은 재료의 설계, 제조 및 개발이나 기계·구조물의 신뢰성 설계, 설계의 합리화 및 품질관리, 구조물의 손상 및 잔여 수명의 평가 등의 기초 데이터로 아주 중요하다.

경도의 확률분포에 관해서는 데이터의 획득이 비교적 용이하여 광범위한 재료에 대해서 많은 결과가 보고되고 있다. Nishijima는 동일 룯드, 동일 잉곳에 속하는 20개의 S25C강 소

교신저자 김선진: 부산광역시 남구 용당동 산100

051-629-6163 sjkim@pknu.ac.kr

재 환봉에서 가공한 시험편에 대한 비커스 경도 분포를 조사하여 정규분포에 따른다고 보고하였다(재료강도확률모델연구회편, 1992). 또 그는 시험편을 채취한 소재의 봉 간에도 큰 변동이 있음을 보고하였으며, 시험편의 채취 위치, 열처리 등을 포함한 분산분석 결과 소재의 봉별만이 통계적으로 유의하다고 판단하고 있다. 또한, 그는 SCM3, SNCM8 및 SUS304강의 로크웰경도 시험결과를 비커스경도로 환산하여 그 분포가 정규확률분포에 따른다고 보고하고 있다. Schneider 등도 비커스 경도의 통계적 해석을 정규분포로 해석하고 있다(Schneider et al., 1999). 한편, Yanchev 등은 세라믹의 미소경도가 대수정규분포에 따른다고 보고 한바 있으며(Yanchev et al., 1995), Lin과 Berndt는 용사 코팅재의 미소경도의 통계적 해석을 통하여 그 경도치가 Weibull 분포에 따른다고 보고하고 있다(Lin and Berndt, 1995). 이상과 같이 미소 비커스 경도의 확률분포는 문헌에 의하면 열처리 조건이나 재료 등 여러 조건에 따라 분포의 형이 다르지만 정규분포, 대수정규분포, Weibull 분포에 따른다고 많이 보고되고 있다. 현재까지 어느 분포에 잘 따른다고 결론 짓기에는 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 니켈기 초내열합금인 Alloy718의 동종 금속간의 최적 마찰용접 조건에서 마찰용접한 부품을 이용하여, 모재(BM)와 열영향부(HAZ)에 대하여 미소 비커스 경도기를 이용하여 시험하중 100, 200 그리고 300g에서 각각 30회씩 경도를 측정하여 각각의 통계적 변동성과 확률분포를 특성화하고 미소 비커스 경도의 Weibull 통계 해석을 행하였다.

2. 실험방법 및 절차

2.1 재료 및 시험편

본 연구에 사용된 실험재료는 니켈기 초내열합금인 Alloy718이며, 내열성, 내마모성, 고온강도 등이 우수하다. 본 재료의 주요 용도는 일반기계, 자동차, 선박용, 항공기 등의 축류, 스텝벨브류, 볼트류 등에 많이 이용된다. Table 1과 Table 2는 본 연구에 사용된 재료의 화학적 성분과 기계적 성질을 각각 나타낸다. 최적 마찰용접 조건을 위한 시험편의 형상 및 치수, 시험기, 실험 방법 등은 참고문헌을 참조하기 바란다(권상우 등, 2008). 비커스 경도시험에 사용된 시험편의 일례를 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of materials (wt. %)

Material	Al	Si	Mn	Cr	Ti	Fe	Mo	Ni
Alloy718	0.62	0.1	0.06	19.2	1.1	17.7	2.8	Bal.

Table 2 Mechanical properties of materials

Material	Tensile strength σ_t (MPa)	Yield strength σ_y (MPa)	Reduction of area ψ (%)	Elongation ϵ (%)
Alloy718	988	600	61.6	48.5

2.2 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 미소 비커스 경도 시험기(Micro Vickers hardness tester)는 Mitutoyo사의 HM-124 모델로 하중제어를 자동으로 수행 할 수 있으며, 시험하중은 0.5g부터 2,000g까지 가능하고 가압시간(Duration time)도 5초에서 99초까지 조절 가능하도록 되어있으며, 자동과 수동으로 경도 측정이 가능하다. Fig. 2에 본 실험에 사용된 미소 경도시험기를 나타낸다.

비커스 경도시험은 ASTM E384-06 규격에 준하여 측정자의 오차를 감소하기 위하여 동일 시험자가 경도시험을 수행하였다. 시험하중의 조건은 0.981N(=100g), 1.96N(=200g) 그리고 2.94N(=300g)으로 하였다. 한편 가압시간은 모든 하중 조건에서 10초로 일정하게 하였다. 한편, 미소 경도치에 미치는 표면 조도의 영향을 최소화하기 위하여 중심선 평균거칠기 R_a 는 약 0.10 μ m로 연마하여 조건을 일정하게 하여 경도를 측정하였다. 그리고 측정시 시험편의 정확한 평면을 유지하기 위하여 수동으로 경도를 측정하였다. 본 연구에서 고찰한 마찰용접재의 모재부(BM) 및 열영향부(HAZ)에 대한 경도 측정 부위를 개념적으로 Fig. 3에 나타내었다. 참고로 열영향부의 경도는 접합부(세로선)를 제외한 HAZ부에 대하여 랜덤하게 측정하였다.

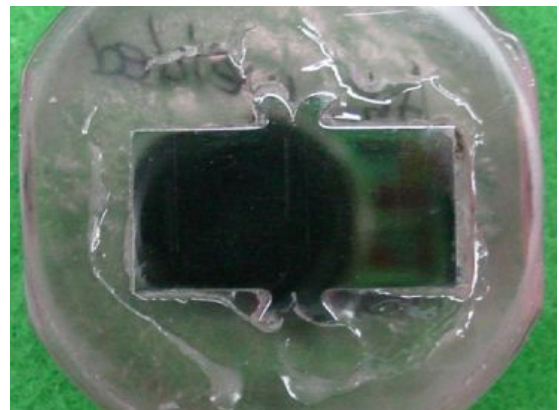


Fig. 1 An Example of the sample for the Vickers hardness measurement

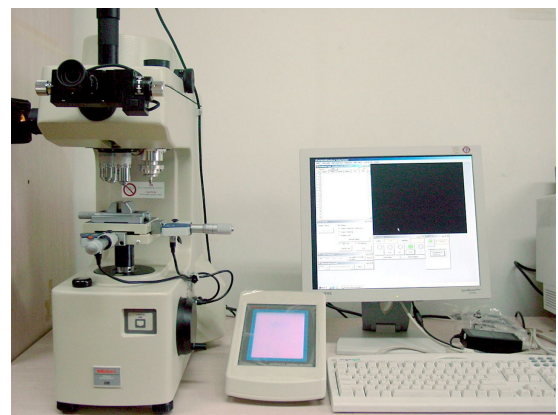


Fig. 2 Micro Vickers hardness tester (HM-124)

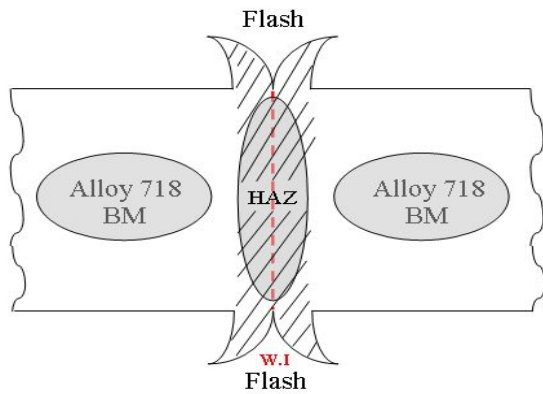


Fig. 3 Schematic diagram of the parts of measurement

3. 결과 및 고찰

3.1 경도치의 통계적 성질

3.1.1 비커스 경도의 대표치

Table 3은 As-welded 그대로의 마찰용접제의 모재부(BM) 및 열영향부(HAZ) 영역에 대한 비커스의 압입자의 압입에 대한 평균 대각선 길이(Diagonal length) 및 그 경도치(HV)의 통계적 성질을 나타낸다. 이 표에서 알 수 있듯이, 비커스 경도의 산술 평균(Arithmetic mean)은 하중에 관계없이 모재부(BM)가 열영향부(HAZ) 보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 Alloy718 재료의 동종 마찰용접의 특성으로 마찰 용접열과 단조 가열 압력의 영향으로 인하여 모재보다 열영향부가 연화되어 낮게 나타난 것으로 생각된다. Fig. 4는 각 부분에 대한 조직사진을 나타낸다. 모재부의 경우는 균일한 결정입도 분포를 보이고 있으나 열영향부는 마찰용접시 열과 가열압력으로 인하여 결정입도가 불균일하고 탄화물 등이 다소 존재함을 볼 수 있다.

Fig. 5는 하중에 대한 모재부(좌측그림)와 열영향부(우측그림)의 대각선 길이의 히스토그램과 누적도수를 나타낸다. 본 그림에서도 판단 할 수 있듯이, 각 영역에 관계없이 압입 대각선 길이(경도치)에는 변동성(Variability)이 존재함을 알 수 있다. 이러한 대각선 길이(혹은 경도치)의 변동성의 원인으로는 서론에서 언급하였듯이 많은 인자가 있지만, 비커스 작용 하중에 대한 불확실성(Uncertainty)을 포함하여, 초점 맞추기 등을 포함한 경도 시험시의 여러 가지 측정에 대한 실험 오차(Experimental error on the indentation print measurement), 측정시의 진동(Vibration), 표면 응력(Surface stresses), 시험체의 미소 영역(Small cell)에서의 석출물(Precipitates)이나 결정립계(Grain boundary) 등의 확률변수(Random variable)의 조합에 의한 것이라 생각할 수 있으며, 비커스 경도 또한 확률적 변동을 하는 본질적인 특성을 가지고 있다고 할 수 있다.

Fig. 6은 하중에 미치는 압입자의 대각선 평균길이의 영향을 나타낸 그림이다. 하중이 증가함에 따라 대각선 길이는 증가하는 경향을 나타내었고, 동일 하중에서는 열영향부의 경우가 모재부보다 다소 높게 나타났다. 이는 경도가 모재부보다 열영향부가 낮음을 의미한다.

Table 3 Statistical Properties of average diagonal length and Vickers hardness values for each loads

(In case of load 100g, duration time 10sec)

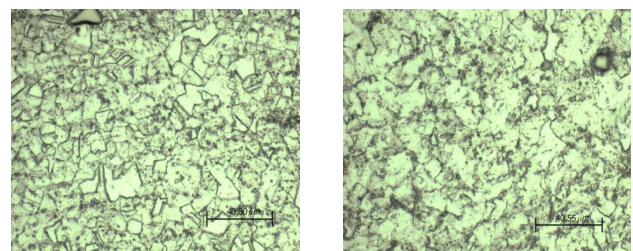
Region	Number of testing	Average diagonal length (μm)	Standard deviation of DL (μm)	Average Vickers hardness (kgf/mm^2)	Standard deviation of HV (kgf/mm^2)
BM	30	27.87	0.362	238.91	6.161
HAZ	30	29.00	0.460	220.66	6.996

(In case of load 200g, duration time 10sec)

Region	Number of testing	Average diagonal length (μm)	Standard deviation of DL (μm)	Average Vickers hardness (kgf/mm^2)	Standard deviation of HV (kgf/mm^2)
BM	30	38.62	0.485	248.78	6.334
HAZ	30	40.14	0.612	230.27	7.069

(In case of load 300g, duration time 10sec)

Region	Number of testing	Average diagonal length (μm)	Standard deviation of DL (μm)	Average Vickers hardness (kgf/mm^2)	Standard deviation of HV (kgf/mm^2)
BM	30	46.08	0.496	262.03	5.654
HAZ	30	47.17	0.542	250.30	5.750



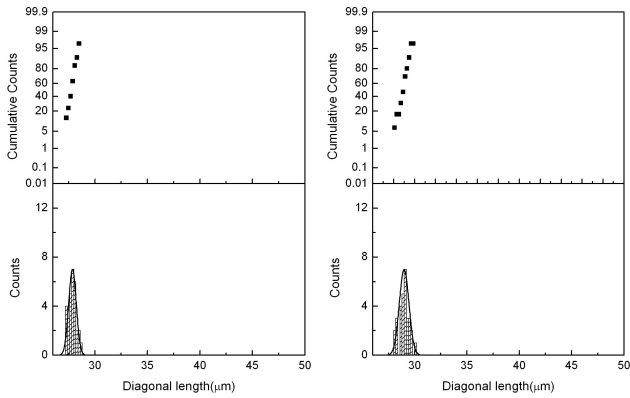
(a) BM (500X)

(b) HAZ (500X)

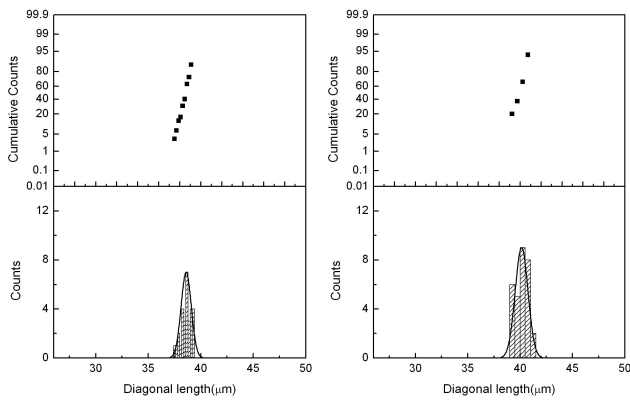
Fig. 4 Micro-structures of the each region

Fig. 7은 하중에 따른 경도치를 나타낸다. 본 실험의 범위에서 비커스 경도는 하중의 증가에 따라 모재부와 열영향부 모두 증가하는 결과를 보였다.

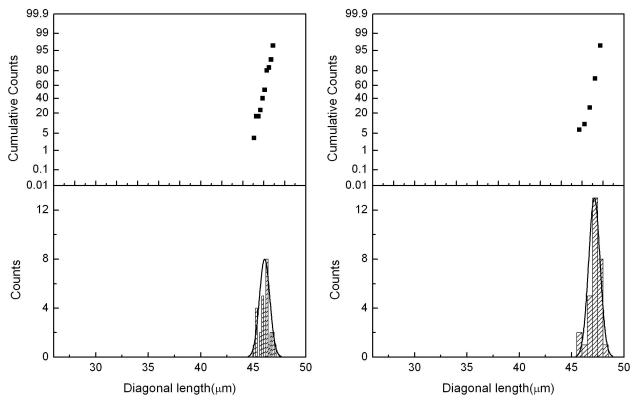
마찰용접제를 특성화하는데 단순 평균 경도치를 가지고 평가하기에는 부적절하다고 생각된다. 경도 측정치의 평균은 단지 마찰용접제의 평균 비커스 경도의 추정치이다. 따라서 평균에 대한 신뢰수준을 도입할 필요가 있다. Table 4는 30개의 모집단에 대한 95% 신뢰간격을 나타낸다. 이것은 적은 압입 경도 시험의 평균 비커스 경도치의 한계값을 나타낸다. 본 연구에서는 Fisher matrix법을 사용하여 계산하였다(Nelson, 1982).



(a) BM and HAZ for 100g



(b) BM and HAZ for 200g



(c) BM and HAZ for 300g

Fig. 5 Histograms of the diagonal lengths for each region

3.1.2 비커스 경도의 산포도(Measure of dispersion)

Fig. 8은 모재부와 열영향부에 대한 변동계수(COV)의 영향을 하중에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 모재부와 열영향부 모두 변동계수는 감소하는 결과를 보였다. 이는 하중의 증가에 의한 비커스 시험체의 압입에 의한 재질의 평균화(Averaging effect)의 영향이라 사료된다.

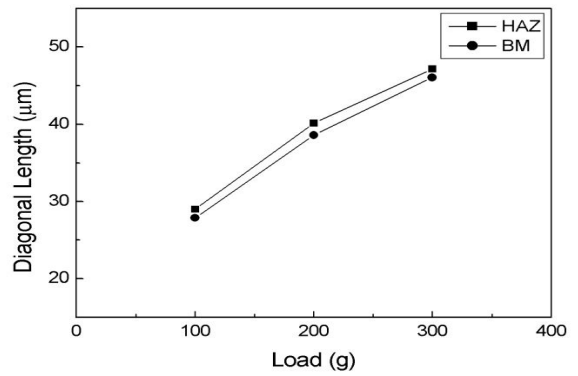


Fig. 6 Effect of diagonal length on load

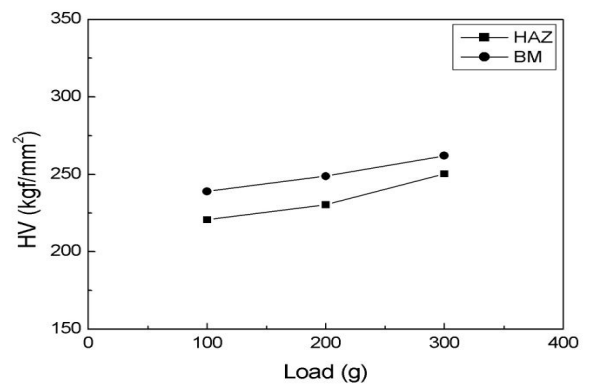


Fig. 7 Effect of Vickers hardness on load

Table 4 95% Confidence interval for arithmetic mean

Region	Load (g)	Number of data	Mean of HV	Lower of mean	Upper of mean
BM	100	30	238.91	236.61	241.21
	200	30	248.78	246.49	251.49
	300	30	262.03	259.95	264.11
HAZ	100	30	220.66	218.07	223.24
	200	30	230.27	227.69	232.85
	300	30	250.30	248.20	252.39

동일 하중에서의 변동계수는 열영향부가 모재보다 높게 나타났다. 이는 마찰용접에 의한 열영향부는 모재부와 다르게 시험체의 미소영역에서의 미소조직의 불균일 등을 포함한 확률적 변동의 본질적인 특성이 모재부 보다 증가하였기 때문이라 사료된다. 한편, Table 5에 하중에 대한 비커스 경도의 산포도의 정밀도를 나타내는 변동계수(COV)와 중심극한 정리를 가정하여 구한 왜도(Skewness) 및 최빈치(Mode) 값을 구하여 나타내었다. 왜도(*Sk*) 및 최빈치(*Mm*)의 값은 아래의 Pearson's 실험식을 사용하였다(안근탁량, 1969).

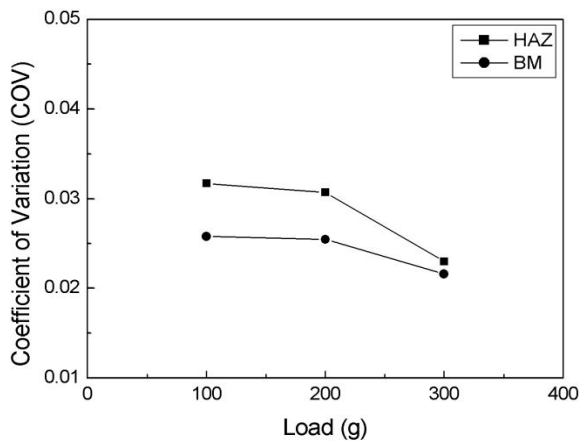


Fig. 8 Effect of COV on load

Table 5 Statistical dispersions of Vickers hardness values

Region	Load (g)	Number of data	Coefficient of variation (COV)	Skewness (Sk)	Mode (Mm)
BM	100	30	0.02579	-0.28729	240.68
	200	30	0.02546	0.27471	247.04
	300	30	0.02158	0.14857	261.19
HAZ	100	30	0.03171	0.06432	220.21
	200	30	0.03070	0.83628	224.36
	300	30	0.02297	0.31304	248.50

$$Sk = \frac{\mu - Mm}{\sigma} \quad (1)$$

$$Mm = \mu - 3(\mu - Median) \quad (2)$$

여기서, μ 는 평균, σ 는 표준편차 그리고 *Median*은 중앙치를 나타낸다.

왜도(Skewness)는 확률변수의 평균치 주위의 도수분포의 비대칭성(Asymmetry) 정도와 방향을 나타내는 척도이다. 양의 왜도(Positive skewness)는 큰 확률변수의 방향으로 넓게 꼬리 부분이 치우친 분포를 나타내고, 음의 왜도(Negative skewness)는 작은 확률변수의 방향으로 넓게 꼬리 부분이 치우친 분포를 의미한다. 완전한 대칭성을 나타내는 정규분포인 경우에는 이 값이 영(Zero)이 된다. Table 5에서 알 수 있듯이, 모재부 100g의 경우에만 음의 왜도 값을 보이고 있지만, 그 외의 경우는 모두 양의 값을 보였다. 즉, 경도의 확률분포는 완전한 대칭성을 나타낸다고 보기에는 어렵다. 이것으로부터 경도의 분포는 정규분포 보다는 Weibull 분포가 더 적합할 것으로 사료된다.

Table 6 The estimated distribution parameters for BM-100g

PDF	Scale parameter mean(μ) or β	Shape parameter STD(σ) or a	Coefficient of correlation
Normal	238.9067	6.3234	0.9881
Log-normal	5.4757	0.0266	0.9870
2-p Weibull	241.6702	46.8568	0.9887

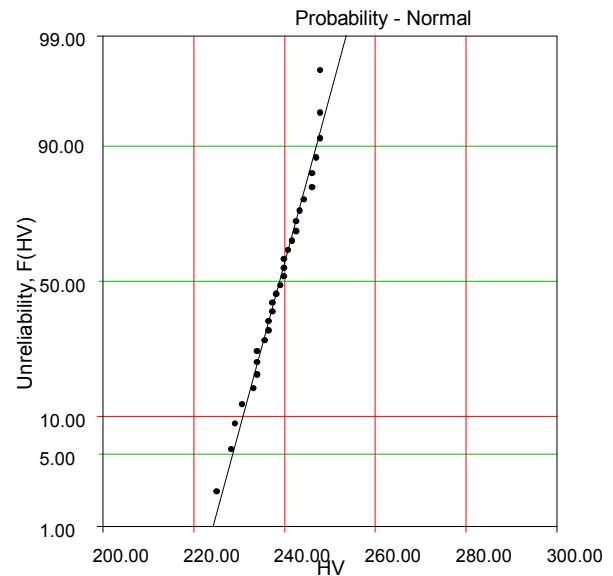


Fig. 9 Plot of normal probability paper of HV

3.2 경도치의 확률 분포 추정

3.2.1 비커스 경도의 확률 분포

미소 비커스 경도에 대한 확률분포의 적합성을 평가하기 위하여 상기의 통계적 성질에 근거한 여러 가지 확률분포에 적합성 검토를 행하였다. 한 일례로, Fig. 9, Fig. 10 및 Fig. 11은 하중 100g에 대한 모재부에 대한 미소 비커스 경도치(HV)를 각각 정규확률지, 대수정규확률지 그리고 2-parameter Weibull 확률지에 플롯트 한 것이다. 실선은 최소자승법(Least squared method)에 의해 구한 파라메터(Parameter) 값을 가지고 그린 확률분포함수(PDF)를 나타낸다. 또한, Table 6에 각각의 확률분포에 대하여 추정된 파라메터 값을 정리하여 나타낸 것이다.

3.1절의 왜도의 해석과 확률지상의 상관계수 등의 관계로부터 비교적 Weibull분포에 적합함을 알 수 있다. 모든 경우의 실험 조건에 대하여 검정한 결과는 Weibull분포의 경우가 비교적 적합함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 본 시험 조건에서 얻은 미소 비커스 경도의 확률분포는 정규분포보다는 Weibull 분포에 더 잘 따른다고 할 수 있다. 이하에서는 마찰용접재 경도의 Weibull 분포의 통계해석에 대하여 논한다.

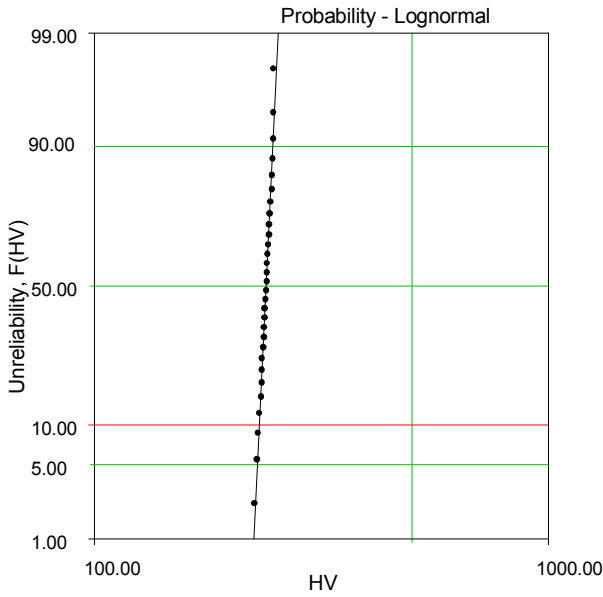


Fig. 10 Plot of log-normal probability paper of HV

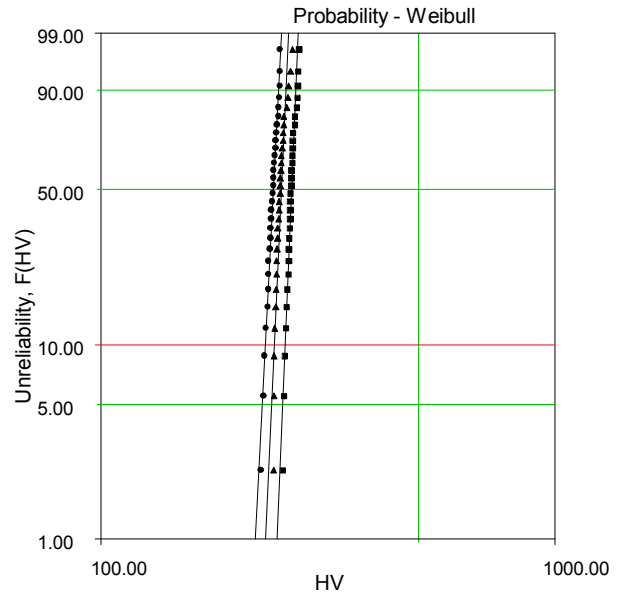


Fig. 12 Plots of 2-parameter Weibull probability paper of Vickers hardness values for BM

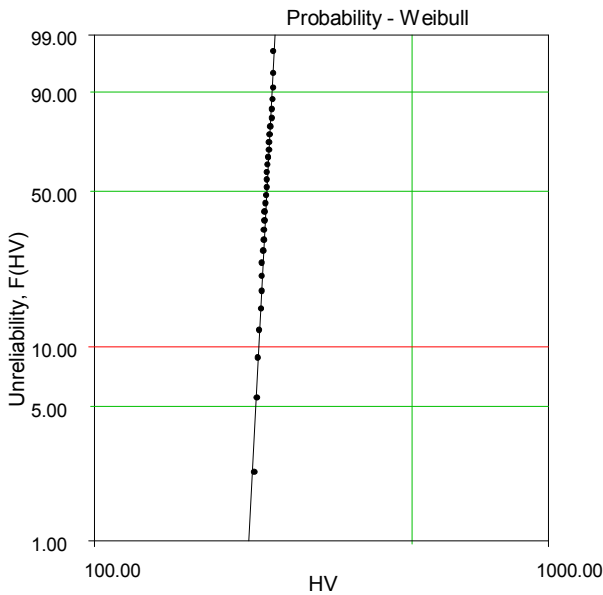


Fig. 11 Plot of 2-parameter Weibull probability paper of HV

3.2.2 마찰용접재의 비커스 경도의 Weibull 통계 해석

일반적으로 Weibull 확률분포함수(PDF)는 다음과 같이 표현할 수 있다 (Weibull, 1951).

$$F(HV) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{HV - \gamma}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (3)$$

여기서, α 는 형상계수(Shape parameter), β 는 척도계수(Scale parameter), γ 는 위치계수(Location parameter)이다. Weibull 분포함수는 초기 강구 재료의 파괴 연구에 대해서 스웨덴의 W. Weibull이 고안한 분포로 오늘날 신뢰성공학에 있어서 그

간편성으로 인해 가장 많이 사용되고 있는 확률분포 중의 하나이며, 최근 용사 코팅재 등의 통계적 경도 해석에도 많이 응용되고 있다(Factor and Roman, 2000). 식 (4)의 Weibull 분포에서 형상 파라미터 α 는 분포의 형상을 특정 짓는 값이며, $\beta + \gamma$ 값은 63.2%의 특수한 수명을 나타내는 척도를 의미하고 또한 위치 파라미터 γ 는 확률변수의 최소 위치를 나타낸다. 그리고 여기서 α 는 무차원의 량이고 β, γ 는 각각 확률변수와 동일한 차원의 량이다. 식 (3)에서 $\gamma=0$ 의 경우를 특히 2-parameter Weibull이라 부른다. 본 연구에서는 $\gamma=0$ 의 2-parameter Weibull 분포로 취급한다.

Weibull 확률지에 적합한 모재부와 열영향부에 대한 결과를 Fig. 12 및 Fig. 13에 나타낸다 (그림중의 \blacksquare : 300g, \blacktriangle : 200g, \bullet : 100g). 하중이 증가할수록 경도가 증가함을 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 본 실험에서 얻은 미소 비커스 경도의 확률분포는 2-parameter Weibull분포로 잘 설명 할 수 있음을 알 수 있다. 또한 Table 7에 모든 하중에 대한 2-parameter Weibull 분포에 적합하여 최소자승법에 의해서 구한 형상 및 척도 파라미터와 특성 경도를 나타내었다.

먼저, 식 (3)의 Weibull 분포에 대하여 다음과 같은 고찰을 행하였다. 형상 파라미터 α 에 의존하여 Weibull 분포는 다음의 확률분포와 일치 혹은 개략적으로 따르는 것으로 알려져 있다. $\alpha=1$ 의 경우 Weibull 분포는 지수분포와 동일하며, $\alpha=2$ 의 경우는 Rayleigh 분포와 일치하며, $\alpha=2.5$ 의 경우는 개략적으로 대수정규분포에 따르며 그리고 $\alpha=3.6$ 의 경우는 개략적으로 정규분포에 따른다고 할 수 있다. 따라서 모재부 열영향부 모두 어떤 특성의 확률분포와 일치하지 않으며 비교적 Weibull 분포에 잘 따른다고 할 수 있다. 또한, 특성 경도(β)를 나타내는 척도 파라미터는 하중의 증가와 더불어 증가하는 결과를 보였고, 형상파라미터(α)의 경우도 모재 및 열영향부 모두 하중의 증가에 따라 증

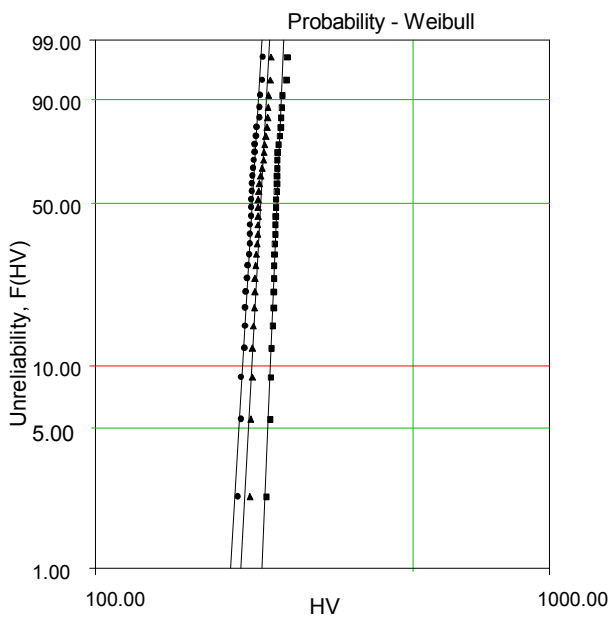


Fig. 13 Plots of 2-parameter Weibull probability paper of Vickers hardness values for HAZ

Table 7 The estimated parameters for 2-parameter Weibull distribution for BM and HAZ

Region	Load (g)	Shape parameter a	Scale parameter β	Location parameter γ	mean $\beta \cdot \Gamma(1+1/a)$
BM	100	46.97	241.67	0	238.99
	200	51.97	251.37	0	248.56
	300	57.69	264.50	0	261.54
HAZ	100	38.66	223.73	0	220.05
	200	41.66	233.25	0	230.65
	300	55.40	252.75	0	249.93

가하는 결과를 보이고 있다. 즉, 하중이 증가함에 따라 형상 및 척도 파라미터가 증가함을 알 수 있다. 이상의 고찰은 Weibull 분포를 적용할 때 확률변수의 물리적 의미를 파악할 때 매우 유용할 것으로 사료된다.

4. 결 론

니켈기 초내열합금인 Alloy718의 동중재 마찰용접제의 비커스 경도의 통계적 성질에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 비커스 경도의 산술 평균(Arithmetic mean)은 모재부(BM)가 열영향부(HAZ) 보다 높게 나타났으며, 각 영역에서 통계적 변동성이 존재함을 알 수 있었다.

(2) 하중이 증가함에 따라 대각선 압입길이(Diagonal length)는 증가하는 경향을 나타내었고, 동일 하중에서는 열영향부(HAZ)의 경우가 모재부(BM)보다 높게 나타났다.

(3) 비커스 경도의 변동계수(COV)는 하중이 증가함에 따라 모재부(BM)와 열영향부(HAZ) 모두 감소하는 결과를 보였다.

(4) 본 실험의 조건에서 구한 미소 비커스 정도치의 확률분포는 Weibull분포에 잘 따름을 알 수 있었다. 2-parameter Weibull 분포에 적합한 경우의 특성 정도값(척도 파라미터)과 형상 파라미터는 하중의 증가와 더불어 모재 및 열영향부 모두 증가하는 결과를 보였다. 즉, 형상 및 척도 파라미터의 하중 의존성을 구별할 수 있었다.

후 기

본 논문은 2008년 제주도에서 개최된 한국해양과학기술협의회의 공동학술대회에 발표된 논문을 근간으로 하고 있음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- 권상우, 공유식, 김선진 (2008). "Alloy718 마찰접합조건의 최적화와 비파괴평가", 한국해양공학회지, 제22권, 제1호, pp 53-57.
- 재료강도확률모델연구회편 (1992). 재료강도의 통계적 성질, 양현당(일서).
- 안근탁량(1969). 이론·응용 통계학, 양현당(일서).
- Factor, M. and Roman, I. (2000). "Vickers Microindentation of WC-12%Co Thermal Spray Coatings", Surface and Coating Technology, Vol 132, pp 181-193.
- Lin, C.K. and Berned, C.C. (1995). "Statistical Analysis of Microhardness Variations in Thermal Spray Coatings", J. Material Science, Vol 30, pp 111-117.
- Nelson, W. (1982). Applied Life Data Analysis, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Schneider, J.M., Bigerelle, M. and Iost, A. (1999), "Statistical Analysis of the Vickers Hardness", Material Science and Engineering A262, pp 256-263.
- Yanchev, I.Y., Trifonova, E.P., Karakotsou, Ch. Anagnostopoulos, A.N. and Bleris G.L. (1995). "Analysis of Microhardness Data in TiIn1-xSe", J. Material Science, Vol 30, pp 5576-5580.
- Weibull, W. (1951). "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability", Journal of Applied Mechanics, Vol 18, pp 293-297.

2008년 7월 17일 원고 접수

2008년 8월 11일 최종 수정본 채택