

릴레이 접점 열화에 따른 바운싱 현상 분석

류재만¹, 최순호¹, 박기훈¹, 허창수^{1,a}

¹ 인하대학교 전기공학과

Analysis of the Bouncing Phenomenon due to the Deterioration of the Relay Contact

Jae-Man Ryu¹, Sun-Ho Choi¹, Ki-Hoon Park¹, and Chang-Su Huh^{1,a}

¹ Department of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received March 6, 2014; Revised March 13, 2014; Accepted March 17, 2014)

Abstract: The relay used is gradually increased. Because it is possible to easily control the high voltage and current. Bounce phenomenon is generated in contact during operation relay. As the result, arc is generated at the contact, thereby shortening the contact lifetime. In this study, we analyzed the bouncing phenomenon due to deterioration. It can be seen from the experimental results, and it is minimized at about 100,000 times. Bouncing phenomenon to increase again after the minimization. Consequently, the bouncing related to contact weight and shape of contact surface.

Keywords: Latching relay, Bouncing, Contact deterioration

1. 서론

고전압, 대전류 제어에 있어 전력분야의 스마트 그리드 (smart grid), 전기자동차 (electric vehicle), LED 조명 제어장치의 수요가 높아지는 시점에서 릴레이의 중요도는 점차 높아지고 있다 [1]. 릴레이의 장점은 접점을 통한 제어의 편의성과 비용 측면에서도 많은 비용이 소요되지 않는다. 또한, 유지 보수 시 간단한 릴레이 교체로 신뢰성이 높고, 안정적인 시스템을 가지는 가진다는 것이다. 저항성 부하 (resistive load)에서 릴레이의 아크는 100~600 μ s 동안 지속하고 반면에 유도성 부하 (inductive load)에서는 거의

3 ~ 4 ms 동안에 아크가 발생한다 [2]. 결국 릴레이의 수 ms 이내에 작동 과정이 완료되고 접점이 사용되는 용도와 적용 전류 범위에 맞춰 금속소재를 달리 하여 제작한다. 릴레이의 작동 시 금속의 결합이라 말할 수 있는 접점의 충격으로 인해 소음과 바운싱 (bouncing) 현상이 발생한다. 접점에서 발생하는 바운싱 현상은 릴레이와 연동된 장치의 오동작과 접점의 연속적인 바운싱 과정에서 발생하는 아크 (arc)에 의해 접점의 표면을 변형시킨다.

또한, 고열에 의해서 접점에 용착 (welding) 현상이 발생한다 [3]. 이런 이유로 신뢰성을 높이기 위해서는 접점에서 발생하는 바운싱 현상을 최소화할 필요성이 존재한다. 본 연구에서는 접점의 작용하는 힘을 측정하기 위해 힘 센서를 적용하여 측정하고, 접점에 일정한 부하가 작용 시 변화하는 바운싱을 일정한 분류 기준에 맞춰 현상을 분석하였다.

a. Corresponding author; cshuh@inha.ac.kr

2. 실험 방법

2.1 접점의 접촉 힘 측정

릴레이 접점에 작용하는 힘을 측정하기 위해서는 별도의 실험 장비를 제작한 후 접점의 후면에 로드 셀을 (load cell) 장착하여 힘을 측정해야 한다. 하지만 본 연구와 같이 완성품 자체의 힘을 측정하기 위해서는 비교적 크기가 있는 로드 셀을 접점의 후면에 장착하는 것은 불가능하다. 이러한 문제점을 보완하여 두께가 얇은 필름 타입의 센서를 사용하여 접점에 작용하는 힘을 측정할 수 있다.

이번 연구에서는 접점에서 작용하는 힘을 측정 시 두께 문제를 최소화할 수 있는 압력센서인 Tekscan사의 FlexiForce A201 센서를 활용하여 접점에 작용하는 힘을 측정하였다. 센서의 두께는 0.203 mm이고 센서 범위는 9.53 mm의 지름을 가지고 있다. 사용한 센서의 경우에는 유연하여 사용의 편의성을 가지며, 도출되는 결과의 선형성과 ±3% 이내의 높은 정확도를 가지고 있어 비교적 높은 신뢰성을 가진다. 또한, 압력센서를 구동하기 위해서 아두이노 (Arduino)보드와 기준저항 (reference resistance, 1 kΩ~100 kΩ)을 사용하여 간단하게 회로를 구성하였다. 아두이노를 활용하였을 경우 입력되는 값을 Matlab과 연계하여 실시간으로 분석할 수 있으며, 컴퓨터를 통해 결과값을 저장하고 연속적으로 분석할 수 있다는 장점을 가진다. 사용한 센서를 더욱 신뢰성 있게 사용하기 위해서는 동적/정적 만능시험기 (universal testing machine)를 적용하여 보정 (calibration) 과정을 거쳐야 한다.

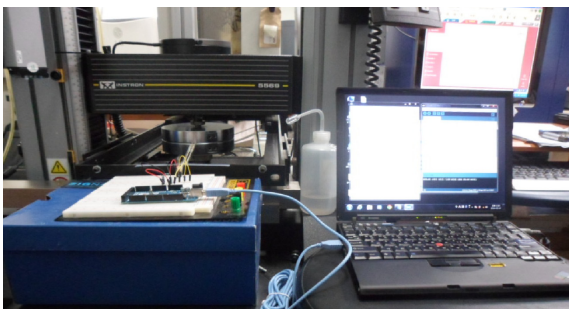


Fig. 1. Sensor calibration testing.

그림 1과 같이 만능시험기 (Instron 5569)를 사용하여 실험에서 사용할 센서에 작용하는 힘을 0.2 N씩

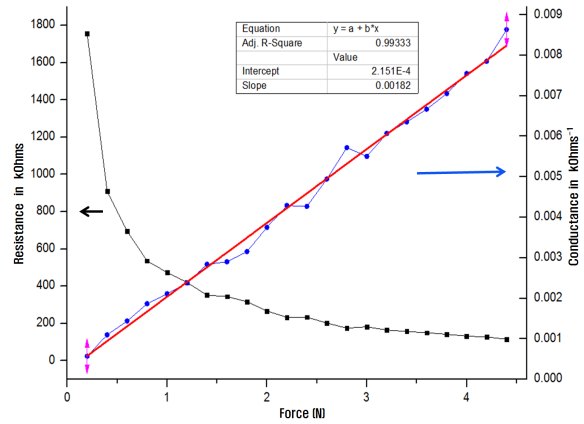


Fig. 2. Resistance and conductivity(1/R) of the sensor.

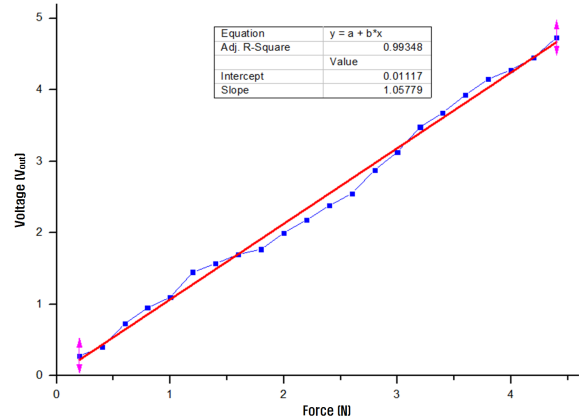


Fig. 3. Arduino measurement result (Vout).

증가시키며 변화 값을 측정하였다.

일차적으로 힘에 따른 저항의 변화는 멀티미터 (Tektronix TX3)를 통해 측정하였고 저항을 전기 전도도로 표현한 그래프는 그림 2와 같다. 그림 2에서 전기전도도 값을 최소 자승법 (method of least squares)을 사용하여 분석하면 높은 선형성을 가지고 최소자승직선이 실험결과 값에 어느 정도 적합한지 나타내는 척도인 결정계수 (R^2 , coefficient of determination)의 값은 0.998로 높은 상관관계를 이루고 있음을 알 수 있다. 아두이노와 기준저항 20kΩ을 사용하여 측정 한 값은 그림 3과 같고 결과가 선형성을 이루는 것을 알 수 있으며, 결정계수도 0.990으로 신뢰성 있는 상관관계를 가진다. 힘 센서를 활용하여 접점에 작용하는 힘을 측정한 결과값은 약 5.78 V가 측정되었다.

그림 3과 같이 도출된 최소 자승법 식 (2.1)에 결과

값을 대입하여 접점에 작용하는 힘을 구하면 약 5.45 N이 접점에 작용하는 것을 알 수 있다.

$$1.05779X + 0.01117 = Y \tag{2.1}$$

$$X = \frac{5.78 - 0.01117}{1.05779} = 5.453 \text{ N}$$

2.2 접점 소재의 분석

실험에 사용된 접점은 연구실에서 일정한 비율로 제작한 것이 아니므로 별도의 성분 분석 과정을 통해 접점 성분을 분석하여야 한다. 접점의 구성성분 분석은 EDS (energy dispersive X-ray spectroscopy) 원소분석기를 통해 분석할 수 있으며, 실험 진행에는 FE-SEM/EDS (S-4200/HITACHI)를 사용하여 접점 분석하였고, 그 결과는 그림 4와 같다.

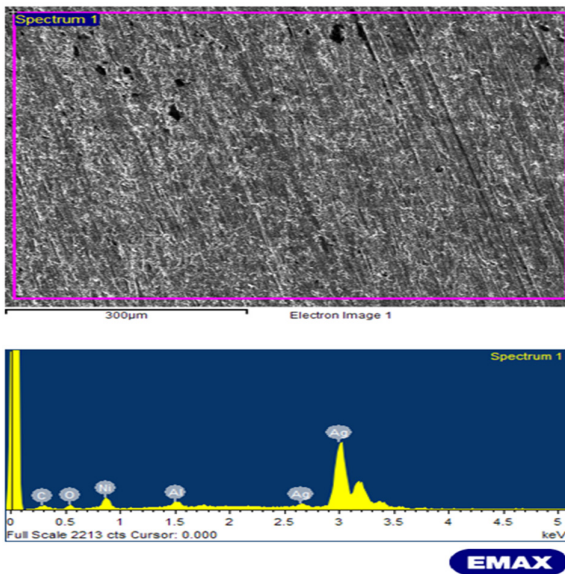


Fig. 4. Result of EDS.

분석 결과 소재는 Ag-Ni계 접점으로 접촉저항이 비교적 낮아 개폐 시에 안정적인 특성을 가지고 있다. 사용한 접점의 재질은 AgNi17으로 Ag100의 경우에는 경도 (hardness)가 낮으므로 접점의 장기적 신뢰성과 접점의 사용용도에 따라 은 합금을 통해 경도 특성을 변화시켜야 한다. Ag-Ni의 비율에 따른 접점 경도와 전도도의 변화는 표 1과 같다. 경도는 접점의 단단한 정도를 나타내는 것이기 때문에 일정한 압력이

Table 1. Common silver-nickel contact compositions in including hardness and electrical conductivity values [4].

Material	Hardness HV (kg·mm ⁻²)	Conductivity (mΩ·mm ⁻²)
Ag	30	62
AgNi10	50	54
AgNi15	55	50
AgNi20	60	47
AgNi30	65	42

접점에 가해지는 조건에서는 경도의 변화가 접점에서의 충격에 의한 진동이라 말할 수 있는 바운싱 현상에 크게 영향을 미칠 수 있다.

2.3 접점의 열화 및 바운싱 현상

릴레이의 접점 내마모 특성에 따른 바운싱 현상을 관찰하기 위해 접점에서의 아크 발생은 충분히 일어나고 용착이 일어나지 않는 범위에서 열화를 진행하였다. 인가전압은 단상 AC 347 V/30 A이고, 역률은 1.0 부하에서 On/Off = 1.5s/1.5s (Total 1cycle, 3s) 간격으로 동작횟수를 카운팅하며 실험을 진행하였다. 실험에 인가되는 전압의 변화를 최소화하기 위해 AVR (automatic voltage regulator)을 사용하여 일정한 전압을 유지하였고, 별도의 릴레이 카운팅 장치와 제어장치를 제작하여 실험을 진행하였다. 또한, 로드뱅크는 무유도 저항을 사용하여 제작하였으며 제작한 예시는 그림 5와 같다.



Fig. 5. Load bank.

접점에서 작용하는 바운싱 현상을 측정하기 위해 접점에 DC 6 V와 저항을 연결하여 회로를 구성하였다. 릴레이의 ON 시에 변화되는 전압 값을 오실로스코프 (500 MHz, 5 GS/s)를 사용하여 측정하고 GPIB를 통해 컴퓨터로 파형 그림과 데이터를 저장하였다.

릴레이 접점의 열화에 따른 바운싱 측정 간격은 1만회 (1cycle= 3s)를 기준으로 측정을 진행하였고, 접점의 on/off 20만회 동작까지 실험을 진행하였다. 측정은 한 실험 당 5번 측정으로 바운싱의 횟수와 지속 시간을 평균값을 사용하여 분석하였다.

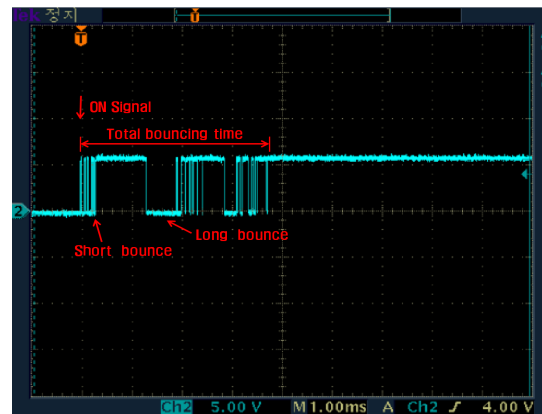


Fig. 6. Bouncing phenomenon of the initial contact.

3. 결과 및 고찰

3.1 바운싱의 횟수와 지속 시간

초기접점의 바운싱에 대한 실험 결과는 그림 6과 같다. 바운싱은 비교적 긴 시간 동안 지속하는 바운싱과 반대로 아주 짧은 시간에 걸쳐 나타나는 바운싱이 있다. 바운싱의 지속 시간이 짧을 경우에는 접점에 미치는 영향이 미미하다고 알려졌기 때문에 이를 구별해서 분석하였다 [5]. 바운싱의 구별 기준은 별도로 존재하지 않으므로 본 연구에서는 바운싱의 발생 시간이 0.2 ms 지속 시간을 기준으로 바운싱의 길이를 분류하였다. 엑셀로 저장된 파일을 사용하여 바운싱의 횟수, 지속 시간을 분석하였고 그 결과는 그림 7~9와 같다. 그림 7에서 초기에 바운싱의 평균값은 총 17.6회 (short: 15.8 times, long: 1.8 times)로 부하 실험 데이터보다 상대적으로 높은 평균값을 가졌다. 릴레이의 부하가 인가되기 전의 접점의 경우에는 접점 표면에 산화막이 있을 수 있어 충분히 제거되지 않은 상태에서 바운싱 측정 시 높은 바운싱의 결과가 나올 수 있다. 이런 이유로 그림 7에서 초기값을 배제한 후 결과를 그래프 상으로 분석하였다. 바운싱의 횟수는 약 6만회 이상부터 13회까지 초기에 비해 낮은 값을 유지하고 그 이후에는 다시 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 8은 0.2 ms 이상의 바운싱에서 0.5 ms 이상의 바운싱을 추가로 분류한 그래프이다. 0.5 ms 이상의 바운싱 역시 부하 실험이 진행됨에 따라서 감소하는 추세를 보이다 일정 수준의 열화 (약 14만회 이후)에서 바운싱이 증가하는 현상을 확인할 수 있다. 그림 8에서 바운싱 평균 지속 시간도 약 10만회에서 최소가 되고 그 이후에는 점차 증가하는 것을 알 수 있다.

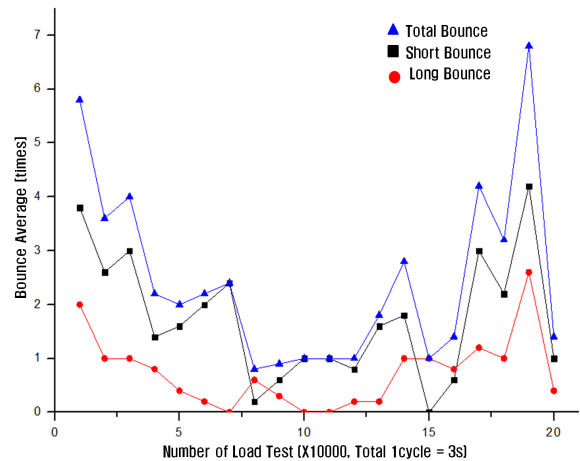


Fig. 7. Average that bouncing with the experiment.

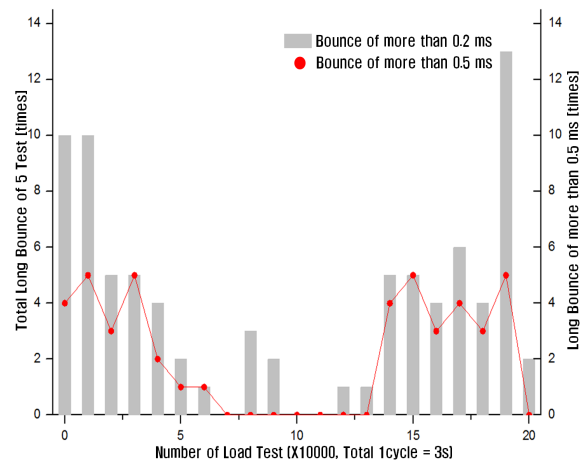


Fig. 8. Bouncing number of duration more than 0.2 ms and 0.5 ms.

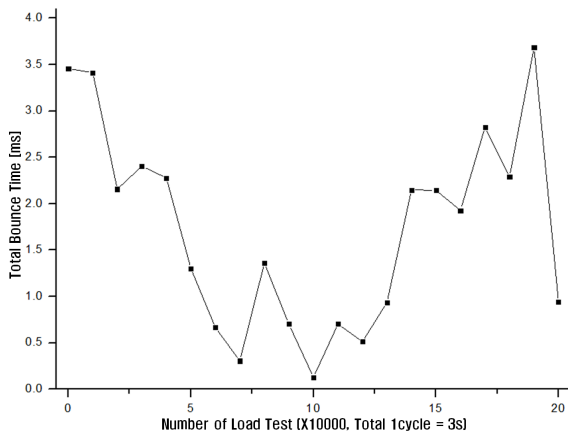


Fig. 9. Total bouncing duration time.

부하 실험을 통한 접점의 바운싱 현상은 열화가 진행됨에 따라 약 10만회까지는 초기에 비해 바운싱의 횟수와 지속 시간이 꾸준히 감소하는 것을 알 수 있다. 우리가 사용한 접점의 경우에 수직축으로 힘이 작용하기 때문에 바운싱 현상은 상·하 운동하는 진동(vibration)이라고 말할 수 있다. 이때, 가동접점에는 접점의 결합력을 높이기 위해 가동접점 장치 하부에 일정한 힘이 작동할 수 있도록 스프링이 사용되는데, 일차적으로 보빈이 가동접점을 밀어주면 스프링 힘의 작용 하에 접점이 결합한다. 이후 금속의 충격 때문에 리바운싱 현상이 발생하면 이때 스프링의 진동현상이 작용한다고 할 수 있다. 식 (3.1, 2)는 진동수(주파수)와 진동주기에 대한 식을 나타낸다.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}} \tag{3.1}$$

$$T = \frac{1}{f} \tag{3.2}$$

여기서, f : 진동수(주파수), c : 스프링 상수
 m : 질량, T : 진동주기

본 식에서 스프링 상수 (spring constant)는 스프링에 작용하는 힘과 스프링의 변형량에 대해서 구할 수 있는 값이고 본 실험에 사용된 스프링의 스프링 상수 값은 일정하다고 가정한다. 실험을 진행함에 따라 접점에서 발생하는 아크에 의해 접점의 총 질량이 감소하게 되면, 스프링 상수가 일정한 상태이므로 진동수

(주파수)가 커진다. 결과적으로 진동주기가 감소하게 되고 진폭 (amplitude) 또한 작아지게 된다. 이러한 이유 때문에 접점에서 발생하는 아크로 인해서 접점에서 미세한 질량 변화가 일어나면, 이 때문에 접점 자체에서 바운싱의 횟수와 지속 시간에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

3.2 접점 측면 분석

초기접점과 20만회 부하 실험을 진행한 접점에 대해서 10배로 확대하였을 때 그림 10과 같다. 초기 접점에서 열화가 진행됨에 따라 접점의 형상이 아크에 의해서 불규칙하게 변형된 것을 알 수 있다. 초기에는 접점의 상부에 힘이 작용하여 가동접점과 고정접점이 안정적인 접합이 이루어지다 열화가 진행함으로써 접점의 결합이 불균형을 이룰 것을 예상할 수 있다.

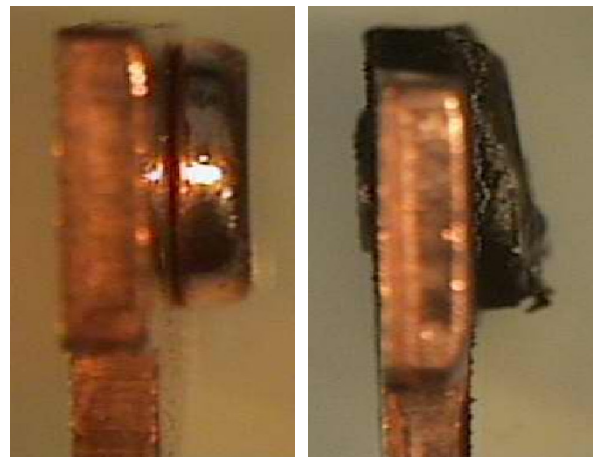


Fig. 10. Comparison of change in the contact surface.

초기에 접점에서 발생하는 바운싱 현상이 열화가 진행됨에 따라 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 바운싱 현상이 최소화된 이후에 다시 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 부하 실험에 따라 접점의 형상이 최적화된 이후에 연속되는 부하의 영향에 의하여 나타나는 접촉면의 변화로, 이로 인하여 바운싱의 변화가 관찰되는 것을 알 수 있으며, 바운싱 현상은 접점의 무게, 접촉 표면 형상의 변화 등과 같은 다양한 인자에 따라서 그 특성이 변화한다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

릴레이의 일정한 부하가 작용하고 3초 동안 진행되는 반복 실험을 약 20만회 진행하였을 경우 접점에서 발생하는 바운싱 횟수와 지속 시간이 꾸준히 감소하여 최소화된 이후에 재증가하는 것을 알 수 있었다. 약 10만회 실험이 진행되었을 경우에 바운싱이 최소화되고 그 이후 20만회까지 갈수록 초기와 비슷한 수준의 바운싱 현상이 나타난다.

1. 릴레이의 접점에 지속해서 높은 부하가 작용할 경우 초기의 바운싱 상태를 변화시킬 정도로 변화하는 것을 알 수 있다. 하지만 반응이 진행될수록 접점의 무게, 접촉면의 안정화 등으로 바운싱 현상이 안정화될 수 있지만 이런 결과는 신뢰성 확보 측면에서 대안이라 할 수 없다. 이런 이유로 초기에 낮은 바운싱 현상이 나타나도록 접점 구조를 제작하고 장기적으로 유지될 수 있도록 아크의 최소화 방안 등에 대해 연구를 진행하여야 한다.

2. 릴레이의 바운싱 현상의 접점 무게 변화와 접촉면의 변화 때문에 바운싱의 횟수와 지속 시간이 초기 불안정에서 안정, 다시 불안정 상태로 진행된다. 열화가 진행됨에 따라 접점의 바운싱 현상이 최소화되는 것으로 보아 초기에는 접점의 열화에 따른 무게 변화에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다. 최소화 이후에 접점의 접촉면 형상변화와 같은 이유로 다시 불안정한 바운싱 현상이 나타나며 바운싱 횟수와 지속 시간이 증가한다.

3. 바운싱 현상은 기계적인 영향을 배제할 수 없으므로 현상 자체를 없애는 것은 불가능하다. 그러므로 바운싱 현상을 최소화할 수 있는 방안을 지속해서 연구하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 인하대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

REFERENCES

- [1] J. M. Ryu, S. H. Choi, and C. S. Huh, *KIEE*, **27**, 41 (2013).
- [2] L. Morin, N. B. Jemaa, and D. Jeannot, *IEEE T. Compon. Pack. T.*, **23**, 240 (2000).
- [3] Y. K. Ko, S. S. Cho, H. Huh, S. Y. Lee, H. T. Park, and I. S. Oh, *ISIE*, 189 (2009).
- [4] P. G. Slade, *Electrical Contacts: Principles and Applications* (Marcel Dekker, 1999) p. 735.
- [5] C. Schrank, A. R. Neuhaus, and M. Reichart, *Electrical Contact*, 130 (2007).
- [6] R. Holm, *Electric Contacts Theory and Application* (Springer, 1999)
- [7] M. Braunovic, N. K. Myshkin, and V. V. Konchits, *Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Technology* (CRC Press, 2007)