

내부결함 검출 가능한 저주파 ECT 센서개발(Ⅱ)

- 결함을 가진 소형 용접시험편에 적용 -

박 정 응^{*,†} · 장 문 석^{**} · 김 국 주^{***} · 김 범 기^{***}

^{*}조선대학교 공과대학 토목공학과

^{**}조선대학교 공과대학 토목공학과 대학원

^{***}(주)라디안

Development of New Low Frequency ECT Sensor to Detect Inner Defects(II)

- Application to Welding Specimens Included Defects -

Jeong-Ung Park^{*,†}, Mun-Seok Jang^{**}, Guk-Ju Gim^{***} and Beom-Ki Kim^{***}

^{*}Dept. of Civil Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

^{**}Dept. of Civil Engineering, Graduate School, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

^{***}Randin Corporation, Seoul 34590, Korea

[†]Corresponding author : jupark@chosun.ac.kr

(Received August 17, 2015 ; Revised August 20, 2015 ; Accepted August 22, 2015)

Abstract

Non-destructive techniques are used widely in the metal industry in order to control the quality of materials. Eddy current testing(ECT) is one of the most extensively used non-destructive techniques for inspecting electrically conductive materials at very high speeds that does not require any contact between the test piece and the sensor. The New ECT sensor which can detect inner defects was developed regardless the condition of surface. This sensor is verified to do experiment which measure the loss of induced electromotive force. The loss of induced electromotive force was measured in 5.4% and this low frequency ECT device can detect internal defects at depth 20 mm.

Key Words : Non-destructive techniques, Eddy current testing, Artificial flaws, Low frequency ECT

1. 서 론

선박 및 해양구조물은 운항 중의 해양 환경과 그에 따라 구조물이 받는 불규칙한 하중의 영향으로 인하여 정확한 피로수명을 예측하는 것이 어렵다. 이로 인한 피로균열이 발생하여 선체 파손이 일어나면 막대한 인명 피해뿐만 아니라 사회적으로도 큰 손실을 가져오게 된다. 따라서 선박의 손상을 효율적이고 정확한 예측을 위한 손상 모니터링 기술이 필요하다. 현재 선박구조물의 유지관리 방법은 크게 2가지로 분류할 수 있는데 사후관리(Passive management)와 사전관리(Pro-active management)로 나누어진다. 사후관리는 구조물에 피로와 같은 문제가 발생하는 경우 보수 및 보강하

는 방법이고, 사전관리는 미리 균열이 발생할 것을 예측하여 사전에 방지하는 방법이다. 특히, 피로에 의한 구조물의 손상은 어느 정도 균열이 발생하지 않으면 표면으로 나타나지 않기 때문에 검출할 수 없어 문제는 더욱 심각하다. 따라서 선박 및 해양구조물이 균열이 발생하기 전에 이를 예측하고 보수 및 보강하는 기술^{1,2)}이 필요하다. 이러한 사전관리를 위해서는 보다 작은 균열을 검출할 수 있는 비파괴검사 기술이 필요하다. 본 연구에서는 표면균열의 검출에 사용했던 기존의 ECT^{3,4)} 비파괴검사 장비의 센서의 성능을 향상시켜 보다 미세한 균열과 내부균열을 검출할 수 있는 기술을 개발하고 이를 적용하고자 한다.

기존의 전자기 유도형 검출장치는 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 자기인덕턴스형, 상호인덕턴스형, 2개의

센서를 가지는 자기보상형로 나누어진다. 자기 인덕턴스형인 경우, 인덕턴스의 변화율이 매우 작아, 큰 유전율을 가지거나 강자성체 등과 같이 큰 자계변화를 가지고 있지 않으면 결함을 검출할 수 없다. 즉, 검출감도가 매우 낮아 대상구조물의 재질변화, 비철금속 등과 같은 인덕턴스변화율이 작은 구조물에는 사용할 수 없다. 상호 인덕턴스형인 경우, 검출코일에 검출대상 구조물이 있으면 검출코일에 유도자기에 의한 인덕턴스가 발생한다. 이때 기준 인덕턴스인 검출코일의 인덕턴스도 변화하는 문제가 발생한다. 즉, 검출대상에 의한 검출코일의 기전력을 동시에 변화하는 검출코일의 기전력을 상쇄시키는 문제점이 있다. 그러한 영향으로 검사체의 코일에 대한 상대위치에 의해 복잡하게 변화하여, 특정 위치의 기전력의 변화량을 무시할 수 없을 정도의 오차가 발생하는 문제가 있다. 2개의 센서를 갖는 자기보상형^{5,6)}은 2개의 센서를 가지는 것이 특징이나 위상차 출력 및 차동 출력신호를 얻는 모든 회로계에 위상조정에 관한 회로가 들어가 있다. 이것은 센서로부터의 진폭과 위상의 변화를 반영할 수 없게 한다. 또한, 자화코일로 부터 피검사체를 걸치지 않고 돌아오는 신호가 증폭되어 측정하고자 하는 위치의 신호를 고감도로 검출할 수 없다. 따라서 기존의 전자기 유도형 장치는 위에서 설명하는 것과 같은 이유로 검사대상물체의

크기의 제한, 금속의 조직변화 등의 미소한 변화를 검출할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 기존의 ECT장비의 단점과 UT단점을 보완한 표면과 내부균열을 검출할 수 있는 저주파ECT 센서를 개발하고 이를 검증하였다. 검증을 위해서는 회전체의 내부에 홀을 가공하여 회전에 의한 내부 홀을 검출 실험과 실제용접부에 3가지 인공 결함을 표면과 내부에 만들고 저주파 ECT를 이용하여 검출하였다.

2. 원형 회전체내부의 결함검출

2.1 저주파 ECT의 센서 및 장치

기존의 ECT 센서는 시료 표면의 와전류를 측정하여 표면의 결함을 측정하기 때문에 와전류의 특성상 시료 내부까지 관통할 수 없고, 표면의 상태에 따라 매우 민감하게 작용한다. 이러한 기존의 ECT 센서를 보완하기 위해 본 저주파 ECT 센서는 기존의 센서의 문제점을 보완하여 2개 이상의 쌍을 갖는 1차코일과 2차코일을 병렬로 연결시켜 동일한 교류자장을 형성시키고 그 교류 자장의 크기에 따라 변화하는 유도전류를 1센서부와 2센서부 [Fig. 1]에서 각각 고속으로 샘플링하여 증폭회로에서 증폭과 노이즈 필터링을 거쳐 제 1센서부의 데이터와 제 2센서부의 데이터의 각각의 위상의 변화와 진폭의 변화, 저항의 변화 등을 분석한다. 본 저주파 ECT 센서의 특징은 앞에서 설명한 것과 같이 제1센서부와 제 2센서부로 부터 기존의 자기 센서에서 출력시키지 못했던 진폭과 위상을 고감도로 도출할 수 있는 것이다. 이러한 원리에 의해 유도기전력으로부터 금속의 손상정도를 검출할 수 있을 뿐 아니라 저주파를 사용함으로써 내부의 결함도 동시에 검출할 수 있다.

저주파 ECT 장치는 크게 Fig. 2와 같이 3개 장치, 손상검출 센서부, 인터페이스부, 측정값분석부로 구성된다. 피로손상 검출센서부는 코일로 교류자계를 발생시키면, 구조체에 유도자기력이 발생되고, 금속손상이 있는 경우 변형된 유도기전력을 전자기 유도센서로 검출하는 장치이다. 인터페이스(파형검출 및 증폭, A/D 변환기)부는 센서부로부터 계측된 유도자기력을 증폭 및 A/D변환을 하는 장치로 구성되며, 또한 교류전류를 제어한다. 측정값 분석 및 GUI구성부는 A/D변환된 측정값으로부터 노이즈를 제거하고 계측된 유도자기력으로부터 위상의 변화, 진폭의 변화 그리고 저항의 변화로 분석하는 소프트웨어와 이를 쉽게 볼 수 있도록 GUI구성하는 소프트웨어 및 장치로 구성된다.

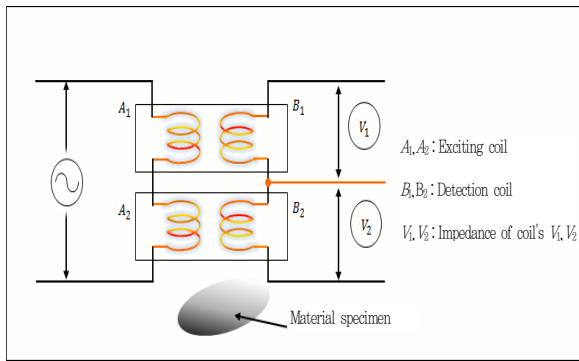


Fig. 1 Schematic diagram of electrical network of sensor

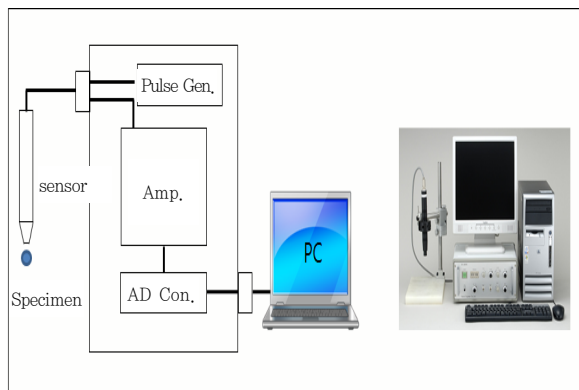


Fig. 2 Composition of low frequency ECT device

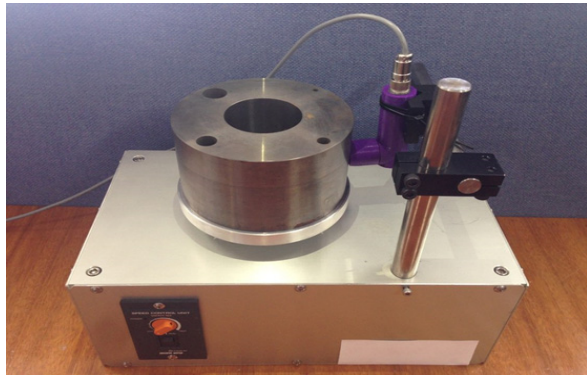


Fig. 3 Test device to detect a rotating flaw

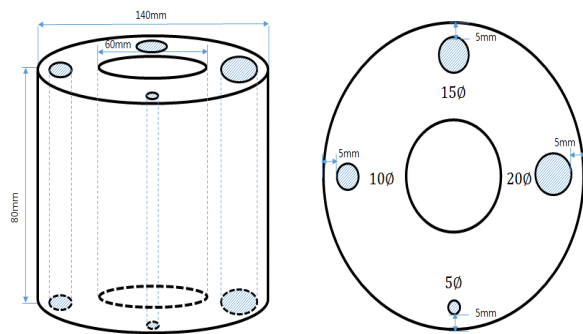


Fig. 4 Geometry of circular specimen with artificial holes

2.2 실험 및 고찰

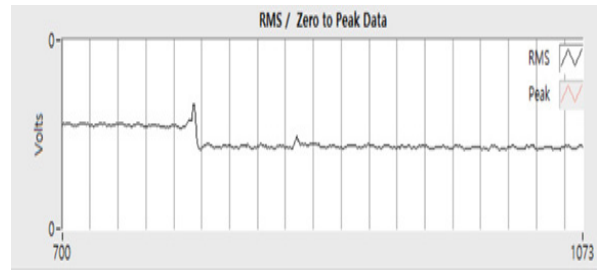
Fig.3과 같이 회전판 위에 내부에 Hole를 가진 시편을 올려놓고 회전시키면서 외부에서 측정하는 것으로 회전체의 내부결함을 측정하고자 한다. 이때 사용된 센서는 내부코일의 내경이 3mm 이고, 외부코일이 내경이 6mm 이다. 시험체는 Fig.4와 같이 외경이 140mm 이고, 내경은 60mm 이며, 내부결함은 표면으로부터 5mm 떨어진 위치에 직경 ϕ 5mm, ϕ 10mm, ϕ 15mm, ϕ 20mm 홀을 가지고 있다.

Fig.5 (a)-(d) 는 각 홀을 검출한 신호를 보여주고 있다. 검출신호는 유도기전력값으로 전자기 유도기전력이 홀과 만나면 기전력의 변화가 발생한다. Fig.6은 시험체가 회전시의 유도기전력의 변화를 보여주고 있다. 각 홀에 따른 기전력의 변화를 나타내고 있으면 이것으로부터 회전체의 내부결함을 검출할 수 있는 것을 보여주고 있다.

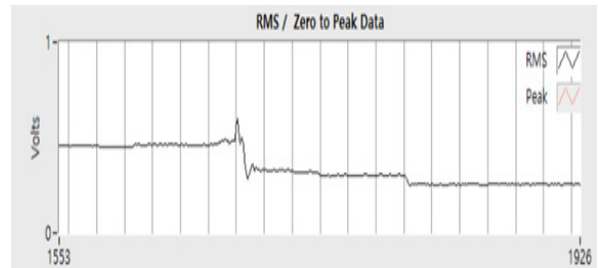
3. 용접시험편의 내부결함 검출

3.1 실험

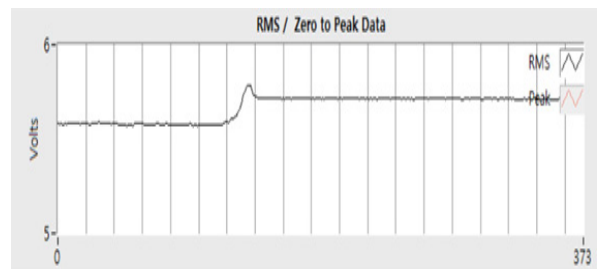
실제용접부에 발생하는 결함을 검출하기 위해 인공적으로 용접시험편에 인공 결함을 만들고 이곳을 검출하였



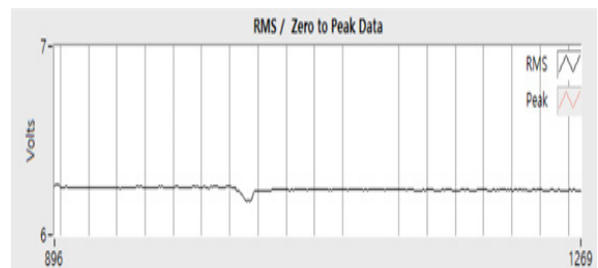
(a) Hole diameter = ϕ 5mm



(b) Hole diameter = ϕ 10mm



(c) Hole diameter = ϕ 15mm



(d) Hole diameter = ϕ 20mm

Fig. 5 Detection signal of each flaw

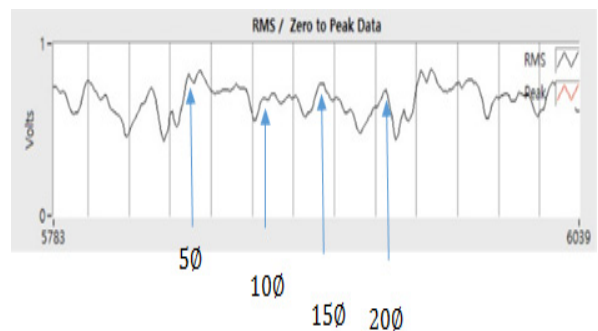


Fig. 6 Detection signal of a rotating flaw

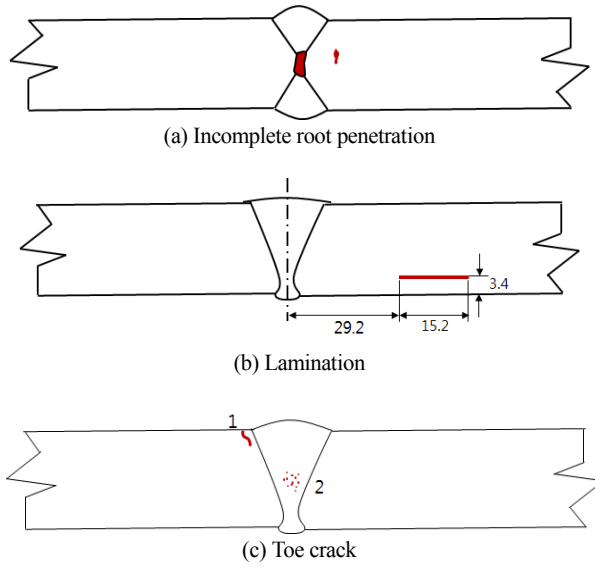


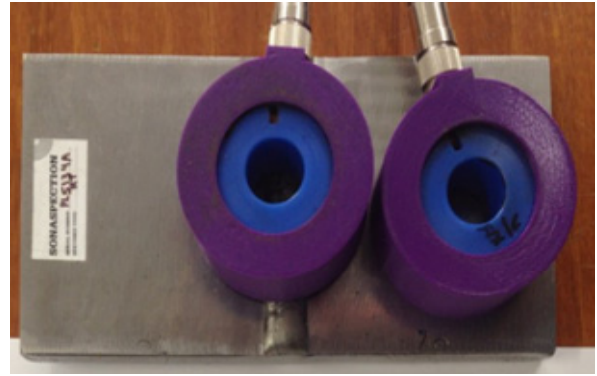
Fig. 7 Flaw type

다. Fig.7은 인공결합 3가지를 보여주고 있다. Fig.7(a)는 양면 V groove 용접시 불안정한 penetration에 의한 내부 flaw이고, (b)는 모재에 가지고 있는 lamination이고, (c)는 용접부 근방에 발생하는 표면 crack을 인공적으로 만들었다. 측정에 사용된 sensor는 2가지 종류로 Incomplete root penetration에 대해서는 내부 코일의 내경이 20mm이고 외부파일의 내경은 23mm인 센서를 사용했고, lamination과 toe crack 검출에는 회전체 내부결합 검출에 사용한 내부코일의 내경이 3mm 이고, 외부코일이 내경이 6mm인 센서를 사용하였다. Fig.8은 각 결함에 대해 검출하는 사진을 보여주고 있다.

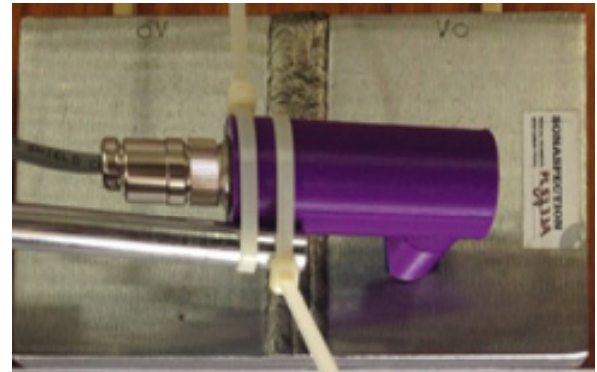
3.2 실험결과 및 고찰

Fig. 9 (a)-(c)는 각 결함에 대한 유도기전력을 보여주고 있다. Fig. 9에서 검정색실선이 유도 기전력(RMS) 값으로 결함이 검출되면 그 값이 변화하는 것을 알 수 있다. 내부결합이 Incomplete root penetration인 경우 Fig. 9 (a)와 같이 단일 피크를 나타내고 있으나, Fig. 9 (b)와 같이 Lamination과 같이 평면형태의 결함은 결함 전후에 유도기전력이 변화하다가 Lamination 결함 위에서는 일정한 값을 보여주는 것을 알 수 있다. 토우부 crack의 기전력의 변화는 2개 파형을 나타내고 있으면 이것은 크랙의 크기가 변화가 있을 것으로 판단된다.

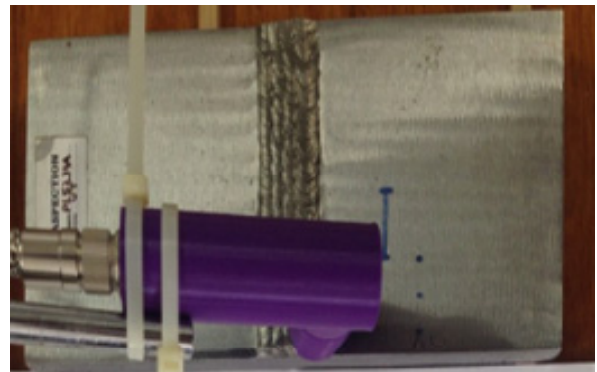
이상으로부터 저주파 ECT 센서를 이용하여 용접부 인공결합, incomplete root penetration, lamination,



(a) Incomplete root penetration



(b) Lamination



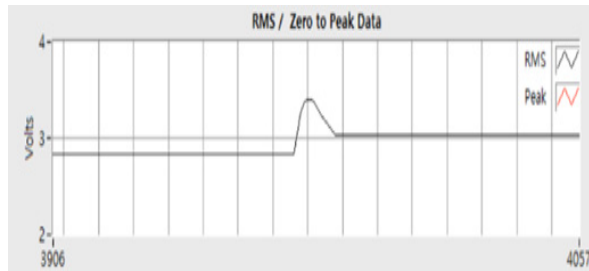
(c) Toe crack

Fig. 8 Low ECT device to detect a flaw

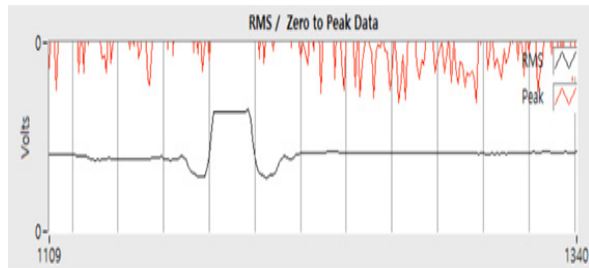
toe crack를 검출할 수 있었다. 3가지 인공결합의 형상에 따라 유도기전력의 파형은 각기 다르게 나타났다.

4. 결 론

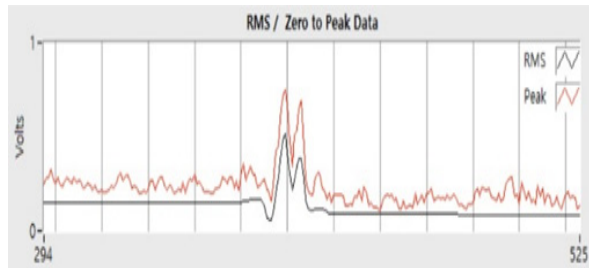
기존의 ECT장비의 단점과 UT단점을 보완한 표면과 내부균열을 검출할 수 있는 저주파ECT 센서를 개발하고 이를 검증하였다. 검증을 위해서는 회전체의 내부에 홀을 가공하여 회전에 의한 내부 홀을 검출 실험과 실제용접부에 3가지 인공 결함을 표면과 내부에 만들고



(a) Incomplete root penetration



(b) Lamination



(c) Toe crack

Fig. 9 Detection signal according to flaw type

저주파 ECT를 이용하여 검출한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

회전체의 표면으로부터 5mm 떨어진 위치에 직경 ϕ 5mm, ϕ 10mm, ϕ 15mm, ϕ 20mm 홀을 가공하고 저주파 ECT센서를 이용하여 모두 검출할 수 있었다.

또한 용접부에 3가지 인공결함(incomplete root penetration, lamination, toe crack)를 만들고 이를 저주파 ECT센서로 검출하였으며, 인공결함의 형상에 따라 유도기전력의 파형은 각기 다르게 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 해양수산부 미래해양산업기술개발사업(20130158)과 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업지원(No. 2014-044260)의 결과로 수행되었음.

References

1. Ik Gun Park : Nondestructive evaluation of spot weld quality using by ultrasonic measurement, *Journal of KWS*, 12 (3) (1994), 402-410 (In Korean)
2. G. P. Singh, R. A. Cervantes and R. L. Spinks, Ultrasonic Nondestructive Testing Technique for the Examination of Low-Pressure Turbine discs Rims, *SWRI*, (1985), 398-401.
3. ASTM B637, Standard Specification for Precipitation-Hardening Nickel Alloy Bars, *Forgings, and Forging Stock for High-Temperature Service*, (1993), 276-278.
4. Donald J, Hangemaier: Fundamentals of Eddy Current Testing, *ASNT*, (1990),43.
5. ASNT, Nondestructive Testing Handbook 2nd. Edition . *Electromagnetic Testing*, 4 (1986), 382
6. ASM, Metal Handbook, 8th ed., Vol 2 (1964), 398-405.
7. Ahn, Y. S., Geong, G. J.: New Eddy Current Technology Development in Power Plant, (2004), 110-122.
8. Ahn, Y. S., Gil, D. S.: Nondestructive Technology Development in 7FA Type Gas Turbine, (2008), 214-228.
9. Ahn, Y. S., Park, S. G., Nondestructive Technology Development in Westing House Gas Turbine Rotor, (2010), 210-213.