

渦電流探傷法(Ⅲ)

정 용 무

한국원자력연구소 증기발생기검사실

Eddy Current Testing(Ⅲ)

Yong Moo Cheong

Korea Atomic Energy Research Institute

머리말 지난 호에 이어 해설란을 통하여 非破壞檢査 技術에 대한 연재를 계속한다.

특정한 非破壞檢査의 전문가가 아니더라도 쉽게 이해할 수 있도록 가급적 수식은 배제하고 기초적인 이론을 소개할 것이며 특히 현장 적용에 중점을 두어 技術하고자 한다. 본 원고에서는 원거리 渦電流探傷法(remote field eddy current testing) 이나 펄스 渦電流探傷法(pulsed eddy current testing)과 같은 특수 渦電流 技術은 제외하였으며 본 연구실에서 내부 교육용으로 사용하는 “渦電流探傷法 Level I 과정” 과 미국금속학회에서 발행한 Metal Handbook, 9th ed., Vol. 17, “Nondestructive Evaluation and Quality Control” 및 기타 관련 기술 자료들을 참고하였으나 일일이 명기하지는 않는다.

9. 渦電流探傷의 응용

9.1. 蒸氣發生器 細管의 검사

渦電流探傷 기술이 적용되는 분야의 하나로 熱交換器의 건전성을 평가하는 분야가 있다. 특히 原子力發電所의 蒸氣發生器는 1기당 3,000-8,000여개의 細管으로 구성되며 이들이 모두 압력 경계에 속하므로 原子力發電所의 안전성과 직결되며 이에 따라 주기적으로 細管의 건전성을 渦電流探傷法으로 검사하여야 한다. 한편 검사 부위가 방사선 구역이므로 모든 探觸子의 삽입, 인출 작업은 원격조정되며 모든 조작을 자동화시켜서 검사자는 방사선 피폭이 없는 일반 구역에서 작업을 수행한다. 蒸氣發生器 細管에서 발생하는 缺陷의 양상은 管外面에서의 pitting, 입계간 침입(IGA, intergranular attack), 찌그

러짐(dent), 반진동봉(anti-vibration bar) 또는 지지판(support plate)에서 磨耗 缺陷, sludge 쌓인 정도, 管 内面에서의 應力 腐蝕 龜裂(stress corrosion crack), 疲勞 龜裂등 다양한데 대부분 渦電流探傷法에 의해 탐지하고 정량 평가까지 수행한다.

蒸氣發生器를 검사하는 장치는 渦電流를 이용하여 細管의 電氣傳導度의 변화를 측정하는 원리를 이용한다. 검사 코일에 교류가 흐르면 磁場이 형성되고 이에 의한 渦電流가 細管벽을 따라 흐르게 되는데 差動型의 경우 두 코일에 의한 渦電流는 서로 상반되는 방향으로 형성되므로 건전한 材料 부분에서는 서로 상쇄되거나 材料의 電氣傳導度나 磁氣透磁率의 변화가 발생하는 경우에는 신호가 발생하게 된다. 인코넬 600 합금이나 스테인레스강과 같이 非磁性 材料에서는 電氣傳導度가 渦電流신호 형성에

주된 역할을 하는데 管에 缺陷이 있을 경우 電氣傳導度는 감소하게 된다. 따라서 缺陷의 깊이와 크기에 따른 電氣傳導度의 변화가 직접 渦電流 신호의 크기 및 위상각의 변화로 나타나게 되므로 코일 전압과 위상각의 변화를 측정하면 缺陷의 크기를 알아낼 수 있다.

코일 전압은 사인파 형태이므로 크기와 방향을 갖는 단순 벡터로 표현이 가능한데 蒸氣發生器 渦電流探傷에서는 이러한 신호 벡터를 화면에 표현하도록 하고 있다. 差動型 검사에서는 두 검사 코일은 브리지 회로의 양편에서 균형을 유지하고 있으므로 探觸子 이동, 온도 변화 및 점진적인 형태의 변화 등에 의한 효과를 감소시킬 수 있다.

渦電流 신호의 위상각 해석에 대해 간단히 설명하면 다음과 같다. Fig. 15에서와 같이 4개의 꼭 끼는 관을 대상으로 공기에서부터 관속으로 코일을 밀어 넣을 때 가장 얇은 관부터 보아 신호 위상각은 수직에서 수평 방향으로 변화하며 신호 전압은 점차적으로 감소하는 패턴으로 4개의 신호가 나타난다. 이러한 과정을 계속적으로 거치면 특정한 경계에 대해서 특정한 위상각이 존재함을 알 수 있으며 이러한 위상각은 검사 주파수 및 電氣傳導度 등에 따라 변화한다.

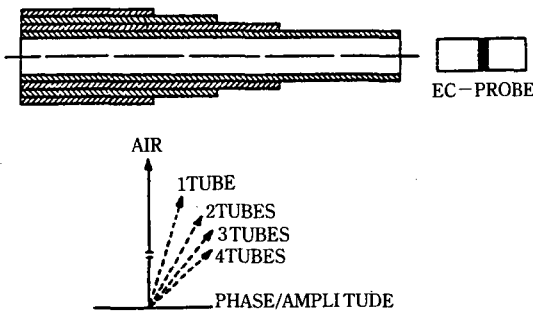


Fig. 15. Phase relationships of eddy current signal

差動型 探觸子가 缺陷을 통과할 때 신호의 형성 과정을 Fig. 16에 나타냈다. 그림에서 점1은 건전한 管으로부터의 渦電流 신호이며 점2에서 점5까지의 과정으로 缺陷신호의 모양은 “8자 도형”을 그리게 된다. 여기서 최종 결과로는 같은 도형이더라도 그려지는 순서가 다르면 缺陷이 아닐 경우가 대부분이므로 신호 도형이 그려지는 순서를 명심해야 한다.

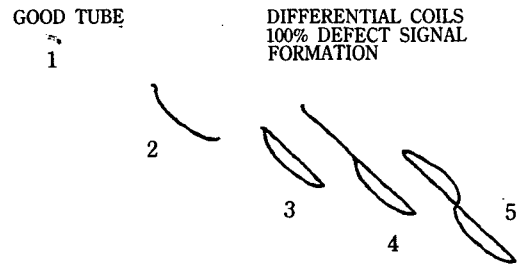
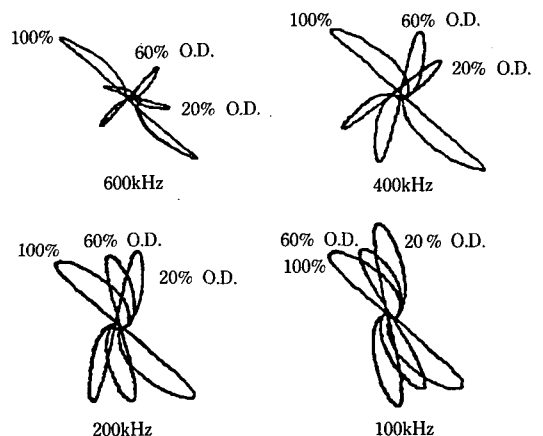


Fig. 16. Eddy current signal formation

Fig. 17에서는 서로 다른 주파수에서 3가지 缺陷으로부터의 신호 양상을 그렸다. 差動型 內插型(bobbin) 探觸子를 사용하였으며 그림에서 100%는 관통형 缺陷을 의미하며 60% O.D. 및 20% O.D.는 각각 관벽 두께비로 60%, 20%인 外面 缺陷으로부터의 신호를 의미한다. 外面 缺陷의 크기가 작아짐에 따라 신호전압이 감소하며 위상각은 시계방향으로 회전함을 알 수 있고 검사주파수가 높아질수록 100% 缺陷과 20% 缺陷의 위상각 차이가 커짐을 알아낼 수 있으며 이것은 缺陷 評價시에 중요한 사항이므로 특별히 주의하여 기억하여야 한다.

Fig. 18은 앞서 Fig. 17과 기본적으로 비슷한 그림이나 여기에는 10% I.D. 즉 10% 내면 缺陷의 신호를 추가하였으며 신호를 그리는 화살표 방향에 주



EC-INSPECTION OF STEAM GENERATOR TUBES SIGNAL PHASE ANGLE COMPARISONS AT FOUR FREQUENCIES (7/8"×0.050" INC. 600)

Fig. 17. Eddy current signal, phase angle comparisons at four frequencies

의하고 내면 缺陷의 위상각에 대해 주의하여 기억하여야 한다. 앞선 Fig. 17로부터의 데이터를 기초로 Fig. 19와 같은 보정곡선을 얻을 수 있으며 여기에는 횡축에 缺陷 깊이를 나타내는 %를, 종축에는 위상각을 나타내어 缺陷의 위상각을 측정하면 그에 따른 缺陷깊이를 연관지을 수 있게 만들었다.

渦電流探傷 시스템을 실제 현장 조건에 적용하여 본 결과 50% 缺陷에 대해 약 $\pm 7\%$ 의 측정 오차 이내로 검사가 가능하였으며 이러한 측정오차에 대한

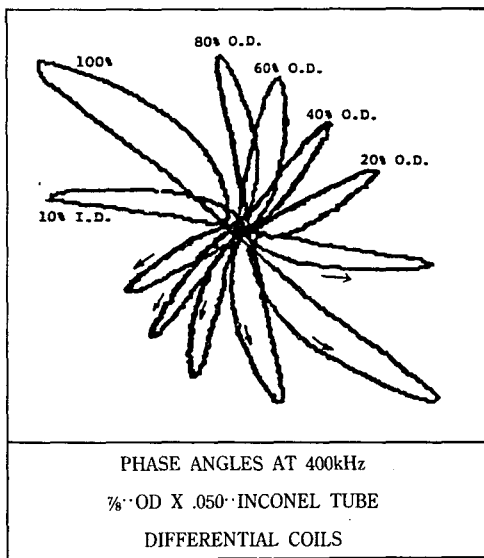


Fig. 18. Actual phase angles at the optimum test frequency

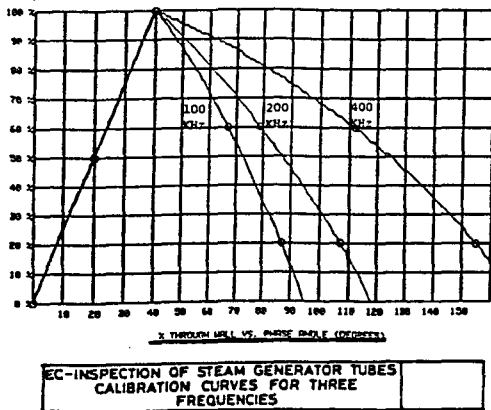


Fig. 19. Calibration curves for three frequencies

데이터들을 모든 缺陷들에 대해 적용한 도표를 Fig. 20에 보였다. 여기서 주목할 점은 400kHz보다 100 kHz에서 감도가 높은 반면에 측정 오차는 약 1/2정도로 감소함을 알 수 있다. 이러한 이유로 외경 0.875인치, 두께 0.050인치인 인코넬 600 합금 재료의 蒸氣發生器 細管의 渦電流 檢査에서 400kHz를 기본 주파수로 사용한다.

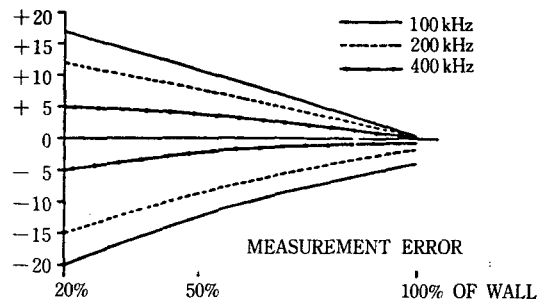


Fig. 20. Measurement error comparisons at three frequencies

9.1.1. 다중주파수기술(multi-frequency technique)

2개 이상의 주파수에서 동시에 작동되는 다중 주파수 渦電流探傷法은 다중 상수기법을 사용하여 신호를 조합함으로써 원하지 않는 신호를 제거하고 원하는 신호만을 화면에 나타나게 하는 기술이다. 이 기술은 주로 熱交換器 細管의 검사에 사용되고 있는데 특히 原子力發電所에 蒸氣發生器 細管으로 쓰이는 非磁性 인코넬 재료의 管을 검사하는데 많이 사용된다.

원래 渦電流 信號는 진폭과 위상각으로 표현되는데 이를 CRT나 컴퓨터 화면에 나타내는데 신호의 x성분과 y성분을 분리하여 코일의 위치가 이동함에 따른 신호 성분을 연결하여 2차원 화면에 표현하게 되며 이를 보통 lissajous신호라고 한다. 다중주파수 기법은 2개 이상의 주파수에서 원하지 않는 특정 신호를 컴퓨터 신호처리를 통하여 그 위상과 진폭을 조절하여 상쇄시킴으로서 새로운 혼합 채널을 생성하여 원하지 않는 신호가 화면에 나타나지 않는 방식이며 이렇게 주파수 혼합에 의해 없앨 수 있는 변수들은

- 探觸子 이동 중에 진동(probe wobble)에 의한 探觸子 떠오름 현상

- 관 내면이 매끄럽지 못함(pilgering), 찌그러짐(denting), 또는 확관 등에 의한 신호
- 관 외면에 지지판이나 부착물질 등에 의한 신호
- 기타 원하지 않는 신호들이 있다.

검사 코일은 연속적(continuous) 또는 순서적(sequential)으로 여러 주파수 신호를 발진함으로써 다중주파수를 코일에 인가한다. 연속적인 방법은 각각의 다른 주파수를 연속적으로 코일에 인가하며 코일의 출력은 각각 해당 주파수 신호를 추출하기 위한 bandpass filter를 통과함으로써 얻어지며, 순서적인 방법은 일종의 변조장치를 통하여 각 주파수들간에 스위칭이 일어나도록 하여 코일에 전류를 인가하며 이를 다시 복조시킴으로써 각 주파수에 해당하는 신호를 얻어내는 방법이다.

주파수 혼합은 아날로그 방식과 디지털 방식이 있는데 아날로그 방식은 2차 주파수 신호 도형을 회전 및 진폭 조절을 통해 1차 주파수 신호 도형에 맞춘 뒤 이를 빼는 방법이다. 여기서 회전각도 및 진폭 조절을 다른 신호에 대해서도 똑같이 시행한 뒤 이를 1차 주파수 신호와 혼합하면 주파수 혼합이 이루어진 것이다. 디지털 방식은 수학적 신호 처리 기법을 적용하여 컴퓨터가 소거하고자 하는 신호를 정확히 분석하여 신호 혼합을 시행함으로써 보다 정확한 주파수 혼합이 될 수 있다.

보통 낮은 주파수는 관 外面 現象에 대해 민감하며 높은 주파수는 관 内面에서 발생하는 現象에 대해 민감하다. 예를 들어 지지판 신호를 제거하기 위해서는 기본주파수의 지지판 신호에서 낮은 주파수의 지지판 신호를 혼합하여 아무런 신호도 나타나지 않도록 하는 새로운 채널(mixing channel)을 구성하면 渦電流探傷시에 커다란 방해 신호의 하나인 지지판 신호가 없는 상태에서 缺陷을 평가할 수 있다. 같은 방법으로 관 내면에 불균일성(예 : pilgering)을 제거하기 위해서는 기본 주파수 신호에서 높은 주파수 신호를 합성함으로써 제거된다.

9.1.2. 龜裂 缺陷 검출을 위한 RPC(rotating pancake coil) 검사

原子力發電所 蒸氣發生器 細管의 건전성을 유지하는 것은 原子力發電所의 가동 안전성과 직결된

사항으로서 최근 발생하고 있는 細管의 龜裂 또는 파단에 기인한 냉각수 누설 사고가 발생하여(예 : North Anna 1호기, Mihama 2호기 등) 세계적인 관심사가 되고 있다. 그러나 細管의 건전성을 검사하기 위한 일반적인 非破壞檢査 방법인 bobbin coil에 의한 渦電流探傷은 Fig. 21에 보인 바와 같이 渦電流의 흐름이 원주 방향이므로 이에 평행한 원주 방향 龜裂 缺陷을 탐지하는데 한계점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 RPC(rotating pancake coil)라고 불리는 새로운 코일 방식이 사용되는데 Fig. 22에 나타낸 것과 같이 소형 평면형 코일을 管 内面에서 나선형 회전 운동을 하면서 渦電流 신호를 수집한다. 이 코일의 구조상 검사체에 어떠한 방향의 龜裂 缺陷이라도 생성되는 渦電流 分布의 변화를 초래할 것이므로 龜裂 缺陷의 탐지가 가능하다.

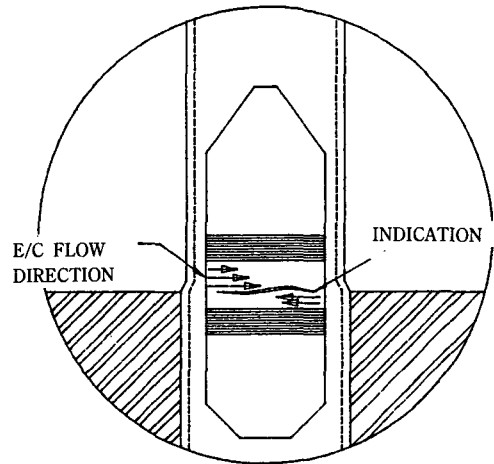


Fig. 21. Conventional differential bobbin coil winding. The direction of eddy current flow is parallel to the circumferential crack

Fig. 23에 표시된 바와 같이 細管을 擴管한 위치에 존재하는 원주 방향 龜裂을 RPC방법으로 검사하였을 때 渦電流 신호의 예를 Fig. 24에 보았다. Fig. 24(a)에는 스트립 차트 형식과 임피던스 평면 형식으로 신호를 보였는데 여기서 缺陷이 있다는 것을 우선 알 수 있으며, Fig. 29(b)에서와 같이 modified C-scan display 형식으로 처리하면 이 缺陷이 상당히 큰 원주 방향의 단일 龜裂임을 알 수 있다. 이와같이 RPC방법을 사용하면 缺陷의 크기, 형상을 비교적

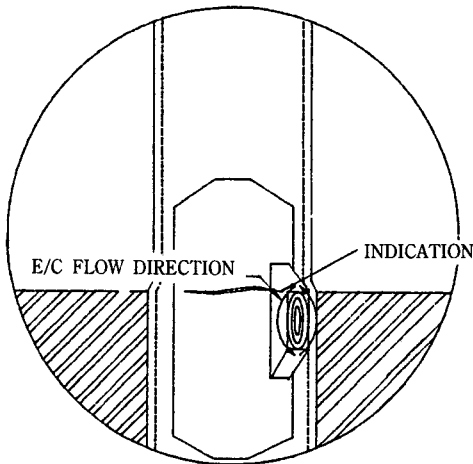


Fig. 22. (RPC) Rotating pancake coil winding. The direction of eddy current flow could be modified by the circumferential crack

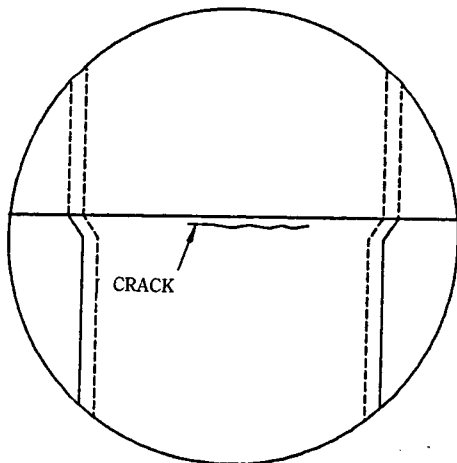
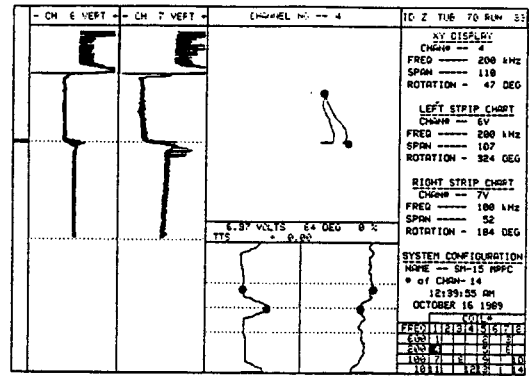


Fig. 23. Schematics of real crack sample

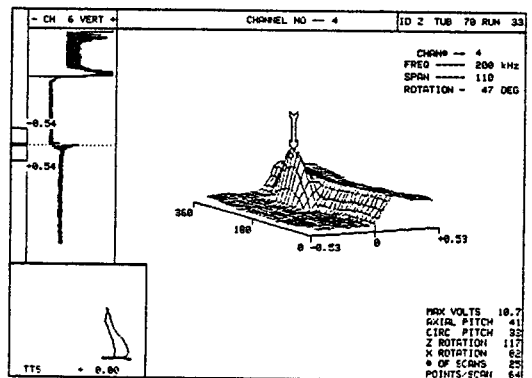
정확히 판정할 수 있으며 특히龜裂 缺陷을 검출하기 위해서 현재까지로는 가장 우수한 방법이다. 그러나 이 방법은 나선형 走査로 인해 검사 속도가 느리므로 보통 다른 방식에 의해 缺陷이 존재한다고 의심되는 부분에 한해 국부적으로 검사하는 것이 보통이며 검사 범위에 비해 비교적 다량의 데이터가 발생하므로 대용량 정보 처리 능력을 갖춘 컴퓨터(work station급 이상)가 필요하다는 단점도 있다.

9.2. 磁性 材料 熱交換器 튜브의 검사

強磁性 材料에 대해 渦電流探傷할 경우 정상적인



(a)



(b)

Fig. 24. The eddy current signal from circumferential crack using RPC probe. (a) conventional strip chart and impedance plane display (b) modified C-scan display

磁氣透磁率 변화에 의한 신호와 실제 缺陷에 의한 신호를 구별하기 어려운 점이 있다. 탄소강과 같은 磁性 材料의 相對 磁氣透磁率은 대체로 20에서 수 백 정도이며 합금의 조성, 냉간 가공 상태, 熱處理 상태에 따라 일정치 않다.

따라서 磁性 材料를 검사할 때 磁氣透磁率 효과를 제거하기 위한 최선의 방법은 渦電流 探觸子 자체를 磁化시켜서 磁氣透磁率로 인한 渦電流 信號 형성을 상쇄시키는 방법이다. 일반적으로 영구자석 또는 직류에 의한 전자석을 探觸子 코일 내부에 설치하여 材料를 磁氣 飽和시키는데 100% 飽和시키면 缺陷으로부터의 신호는 非磁性 材料에서의 신호와 동일하게 나타난다. 그러나 材料에 따라서 100% 磁氣 飽和시키기가 곤란한 경우도 있으며 어떤 경우

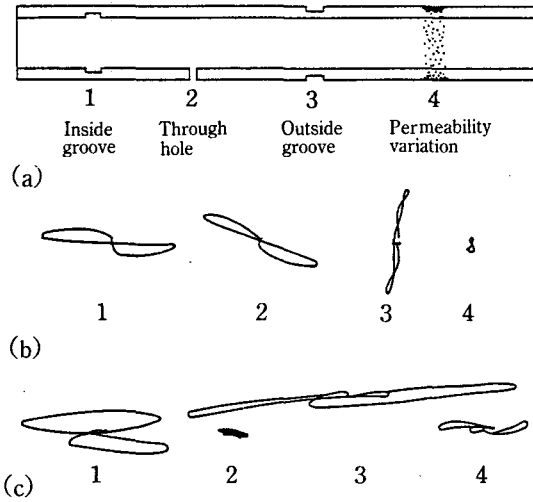


Fig. 25. Signals obtained from type 439 stainless steel calibration tube when using saturation probe. (a) Cross-sectional view of calibration tube showing location of discontinuities. (b) Signals obtained at each discontinuity shown in (a) using a probe with 98% saturation. (c) Signals obtained at each discontinuity shown in (a) using a probe with 89% saturation

에는渦電流信號가磁氣分散을 나타내기도 하고磁束의 영향에 의해缺陷信號가찌그러지는 현상이 발생하기도 한다.

Fig. 25에서磁氣飽和 효과를 알 수 있는데 439 스테인레스강 재질인熱交換器細管에(외경 15.9mm, 두께 1.2mm) 내면, 외면, shot-peening 등의缺陷을 가공하고磁氣飽和探觸子로 검사한 결과를 보았다. Fig. 25(b)에 98%磁氣飽和시킨 경우를 보면缺陷의 깊이에 따른 위상각의 변화가非磁性材料에 대한 것과 유사하므로缺陷을 평가하는데 어려움이 없으나 Fig. 25(c)에 89%磁氣飽和시킨 경우에는 신호가 왜곡되어磁氣透磁率 변화에 의한 신호 성분을 분리해내기 어렵다. 이와같이磁性材料를 검사할 경우磁氣飽和를 너무 적게 하면磁氣透磁率의 효과를 제거하지 못하므로 코일 설계 과정에서磁氣飽和의 크기를 최적화하여야 한다.磁性材料細管의磨耗缺陷을 검사할 경우에는 대개磨耗缺陷이細管과 지지판의磨耗에 의한缺陷이므로 지

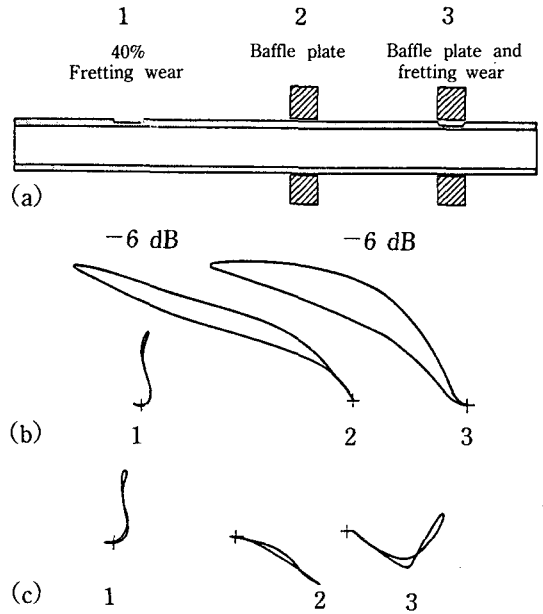


Fig. 26. Signals obtained from Monel 400 calibration tube with simulated fretting wear. (a) Cross-sectional view of calibration tube illustrating location of fretting wear and carbon steel baffles. (b) Signals obtained using an axial saturation probe at three locations shown in (a). The gain of the signals shown in center and right in (b) has been decreased by a factor of two, as designated by -6 dB above each curve, to reduce the amplitude at the traces in both x and y directions. The remaining four traces are drawn to scale.

지판을 고려하지 않고細管만을 완전飽和시키도록 설계한 경우에 코일이 탄소강 지지판 및 마모缺陷부분을 통과할 때 완전磁化가 일어나지 않으므로 문제가 발생한다. 이것은磁束이細管 부분보다는 통과하기 쉬운 경로, 즉 지지판 부분을 지나가기 때문이다. Fig. 26에 배플이 있는細管의渦電流信號의 예를 보였다. Fig. 26(b)에서 보통 코일이나 축방향磁氣飽和 코일로 검사할 경우에 관벽 두께비 40%의磨耗缺陷 신호와 배플 신호가 동시에 나타나므로缺陷 여부를 판정하기 곤란하나 원주 방향으로磁氣飽和시킨 코일로 검사하면缺陷 신호(수직

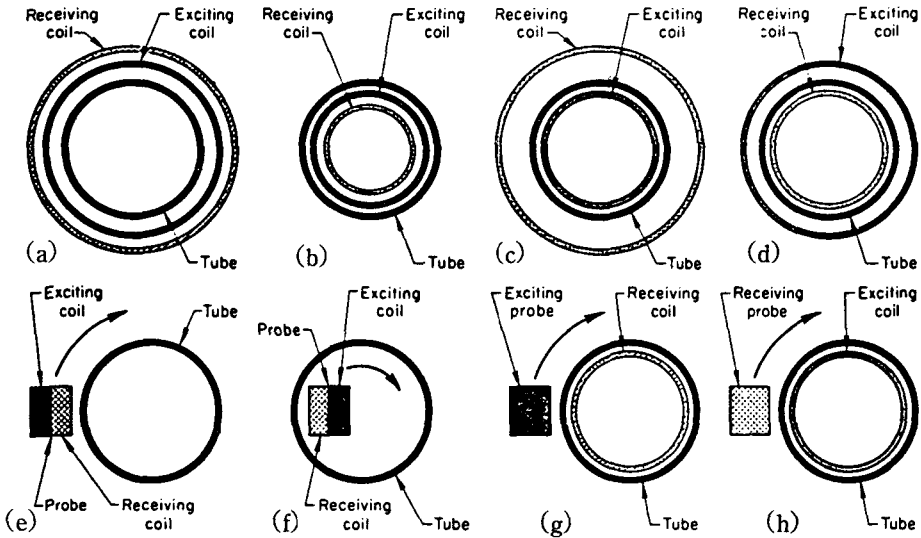


Fig. 27. Eight possible coil combinations employed in the eddy current reflection and transmission methods of inspecting nonmagnetic tubes

성분)와 배플 번호(수평 성분)의 구별이 가능하다.

磁氣 飽和를 위해서는 영구자석을 사용하여 높은 磁氣 飽和를 얻을 수도 있으며 깨끗하고 왜곡되지 않은 신호를 얻을 수 있으므로 거짓 신호에 의한 판정 오류가 적어진다. 이 방식으로 磁性을 띠는 스테인레스강(400계열), Monel 등으로 제작된 細管을 검사할 수 있는데 검사표면에 다른 특별한 조치는 필요하지 않으며 다만 細管 내면에 두터운 침적물이 부착되어 있는 경우에는 이를 제거하고 검사한다. 磁性 材料를 검사하는 경우에도 다중주파수 기술을 사용하면 원치않는 신호들을 제거하는데 유용하므로 磁氣 飽和코일과 병행해서 사용하면 우수한 검사 결과를 얻을 수 있다.

9.3. 渦電流 반사법 또는 투과법

구리(Cu), brass, 알루미늄(Al)과 같은 非磁性 材料에 불균일성 또는 缺陷을 탐지하기 위해서 위치, 형상, 크기에 따라 渦電流 반사법 또는 투과법을 사용할 수도 있다. 渦電流 반사법 또는 투과법은 1차 코일에서 渦電流를 발진하고 2차 코일에서 材料와 반응한 결과 신호를 수신하는 방식인데 1차 코일과 2차 코일이 같은 면에 있으면 반사법이 되고 서로 반대면에 있으면 투과법이 된다. 渦電流는 원리적으로 材料 내면으로 깊이 침투하지 못하며 磁氣透磁

率이나 電氣傳導度 값이 큰 材料는 더욱이 깊이 침투하지 못한다. 따라서 투과법은 非磁性 材料에 적합하며 검사품의 형태에 따라 Fig. 27에 보인 바와 같이 8가지 방법이 가능하다.

9.4. 板型 구조물의 渦電流 探傷

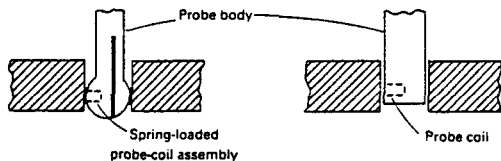
일반적으로 板型 검사체를 검사하기 위해서는 평판형 探觸子를 사용하여 손으로 또는 기계장치를 이동하면서 검사체 표면을 주사하면서 渦電流 신호를 수집한다. 알루미늄 리벳 부분에 龜裂을 검사하거나 금속 접합부의 접합 상태를 검사한다. 渦電流 探傷法도 다른 非破壞檢査法과 마찬가지로 人工 缺陷이 가공된 보정시험편으로 장비를 보정하며 대체로 임피던스 평면 상에서 缺陷 신호는 수직방향, lift-off나 探觸子 흔들림 신호 등은 수평 방향으로 장비를 보정한 뒤에 실제 검사에 들어간다.

9.5. 항공기 부품의 渦電流探傷

항공기 부품의 품질 검사를 위해서는 오래전부터 渦電流探傷法이 사용되어 왔으며 최근에는 소형 探觸子, 소형 디지털 渦電流探傷 裝備등과 같은 기술 개발이 이루어짐에 따라 보다 많은 항공기 부품을 해체하지 않고 非破壞檢査하는 것이 가능하게 되었는데 그 중의 몇가지 예를 다음에 보였다.

9.5.1. Fastener hole의 渦電流探傷

원래 fastener hole내에 龜裂을 검사하기 위해서는 絶對法 渦電流 探觸子를 사용하였으나 후에 차폐형 差動法 探觸子를 사용하여 높은 신호대 잡음비를 얻을 수 있었다. 보통 드릴 형태의 회전 장치로 探觸子를 구멍 안에서 회전시키면서 인출하는 방식으로 검사하며 Fig. 28에 보인 바와 같이 내부에 스프링을 장착한 접촉식이나 구멍의 중심에서 회전하도록 설계된 非接觸式이 가능한데 회전축이 정확히 구멍 중심을 유지하기가 어려운 경우가 많으므로 일반적으로 일정한 감도를 유지하기가 어렵다. 보통 1000회전/분 정도의 속도로 검사하므로 손으로 상당히 빠르게 회전 장치를 집어넣다가 빼더라도 缺陷을 놓치는 경우는 보통 드물다. 어떤 경우에는 일정 피치(pitch)를 가지고 나선형 운동을 하면서 코일이 이동하도록 설계하기도 하는데 이럴 경우에는 검사 속도를 조절할 수도 있다. 신호 화면은 보통 1회전수(360도)마다 trigger pulse가 발생하도록 해서 이를 기준으로 신호의 위치를 결정하는데 缺陷信號는 보통 화면에서 수직 방향을 나타내도록 보정하므로 일정한 신호 진폭 이상을 자동으로 감지하여 빠른 속도로 缺陷을 탐지하도록 하는 장비도 있다.



(a) Contact (b) Non-Contact

Fig. 28. Types of probe-coil used in eddy current scanners

때로는 코일 회전 장치가 일정한 속도로 회전하면서 검사하기 때문에 회전수에 관계되는 특정 주파수의 잡음이 발생하는데 이를 제거하기 위하여 특정한 필터를 장치하기도 한다. High pass filter는 보통 구멍의 ovality, lift-off변화 등에 의한 잡음을 제거하기 위해 사용하며 low pass filter는 고주파 잡음을 제거하기 위하여 사용한다.

9.5.2. 제트 엔진 blade의 저주파 疲勞 龜裂 검출을 위한 渦電流探傷

타이타늄(Ti) 材料로 만들어진 제트 엔진 blade는 이착륙시에 높은 응력을 받는데 특히 blade의 root 부분이 材料의 항복 강도 또는 그 이상의 응력을 받거나 잔류 응력의 복합적인 영향으로 龜裂이 발생하여 전진하는 경우가 있다. 이러한 低周波 疲勞 龜裂을 탐지하기 위하여 渦電流探傷法이 이용되는데 높은 주파수(보통 1-4MHz)의 渦電流를 사용하며 페라이트 코어를 공심에 장치한 코일을 blade형상에 맞추어 손으로 잡기에 용이하도록 고안된 플라스틱 케이스와 조합하여 검사한다. 渦電流信號는 x-y 레코더나 스트립차트 레코더에 기록하고 放電 加工된 人工缺陷을 기준으로 장비를 보정한다.

9.5.3. 金屬 複合材料의 화이버량을 측정하기 위한 渦電流 技術

알루미늄 matrix에 boron, silicon fiber로 구성된 金屬 複合材料는 新素材의 일종으로서 높은 강도와 가벼운 성질 때문에 응용 분야가 확대되고 있다. Boron fiber는 보통 텅스텐 선에 boron을 코팅하여 입히고 여기에 다시 silicon을 코팅하여 띠 형태로 제작한 다음 확산 접합방식으로 알루미늄에 접합하여 複合材料를 만드는데 상업용 渦電流探傷 裝備를 사용하여 저주파에서 電氣傳導度를 측정하는 원리로 fiber의 량을 측정한다. 정량적인 측정을 위해서는 다양한 fiber 함량을 가진 보정 시험편들을 사용하여 장비를 보정해야 한다.

9.5.4. 항공기 운행중에 非破壞檢査

항공기는 안전성, 또는 구조물의 건전성을 항상 보증하기 위하여 부품마다 정해진 주기에 따라 운행중에 非破壞檢査를 수행해야 한다. 특히 운행 중에 발생할 가능성이 있는 疲勞 龜裂이나 부식 등의 예상되는 缺陷을 탐지하기 위하여 渦電流探傷法이 적용된다. 보통 100Hz-6MHz범위에서 사용할 수 있는 渦電流探傷 裝備로 검사에 적합한 주파수를 결정하며 검사 부위로는 항공기 날개 표면에 접혀진 부분의 부식현상(Fig. 29), 부품간에 접합부에서 발생한 疲勞 龜裂(Fig. 30), 창문 테두리 부분의 腐蝕 龜裂, 볼트 구멍 내면에 龜裂(Fig. 31) 등 그 용도는 이루 헤아릴 수 없이 많다.

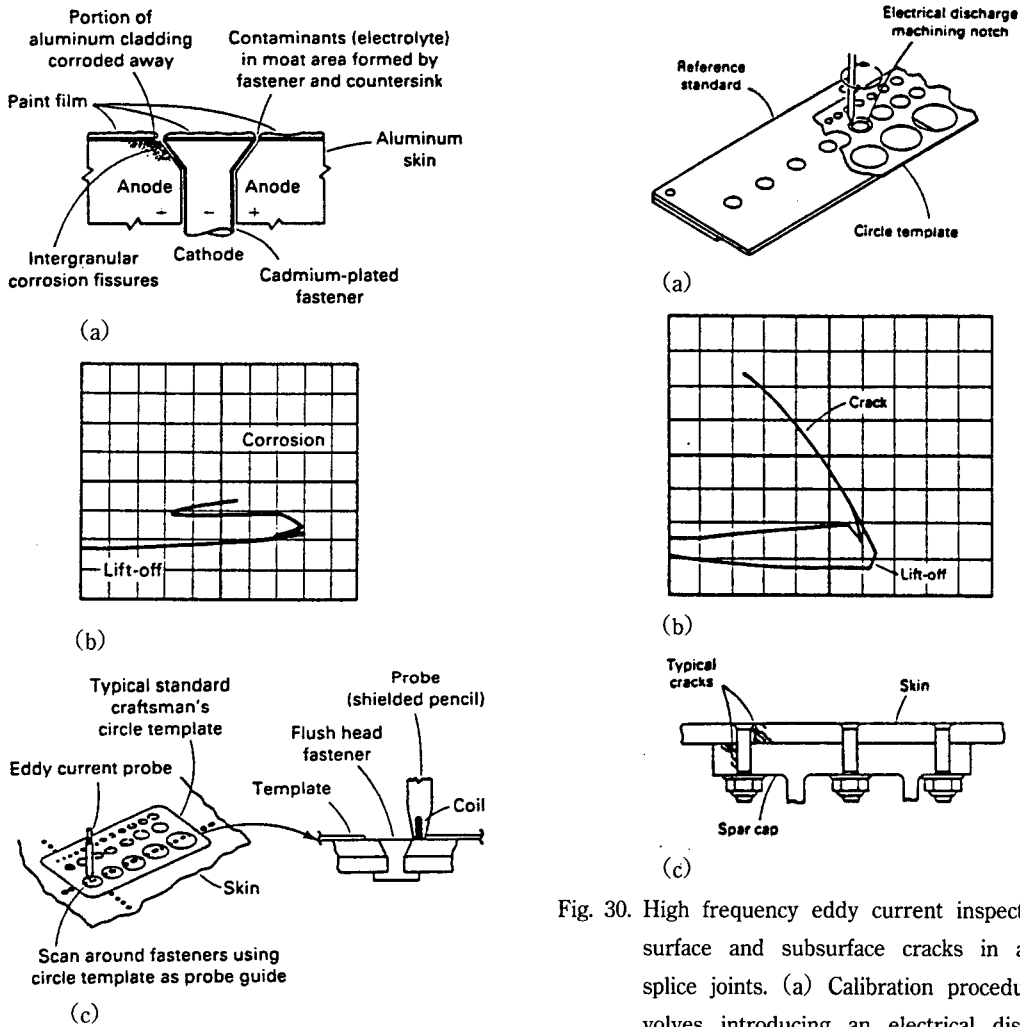


Fig. 29. Detection of galvanic exfoliation corrosion in aluminum wing skins. (a) Schematic showing source and growth of galvanic exfoliation corrosion. (b) Eddy current impedance responses for exfoliation corrosion around fastener holes in wing skins. (c) Schematic illustrating use of circle template to guide eddy current scanning probe around fasteners

Fig. 30. High frequency eddy current inspection of surface and subsurface cracks in aircraft splice joints. (a) Calibration procedure involves introducing an electrical discharge machined notch in the reference standard to scan the fastener periphery using a circle template to guide the probe. (b) CRT trace on an oscilloscope of typical cracks in both skin and spar sections shown in (c)

9.6. 渦電流 技術의 다른 응용 사례

9.6.1. 박막 또는 cladding 두께 측정

電氣傳導體 材料위에 다른 電氣 傳導性 材料를 입힌 경우 또는 cladding한 材料를 검사할 경우에는

임피던스 평면상에 보다 복잡한 두께 곡선을 그리기 때문에 보다 세심한 검사가 요구된다. 각각의 층마다 電氣傳導度가 다른 여러 층으로 이루어진 材料에 대한 임피던스 곡선은 나선형을 그리며 어떤 경우에는 두께 측정에서 떠오름 현상을 최소화하기 위하여 이중주파수 또는 다중주파수 시스템을 사용하는 수도 있다.

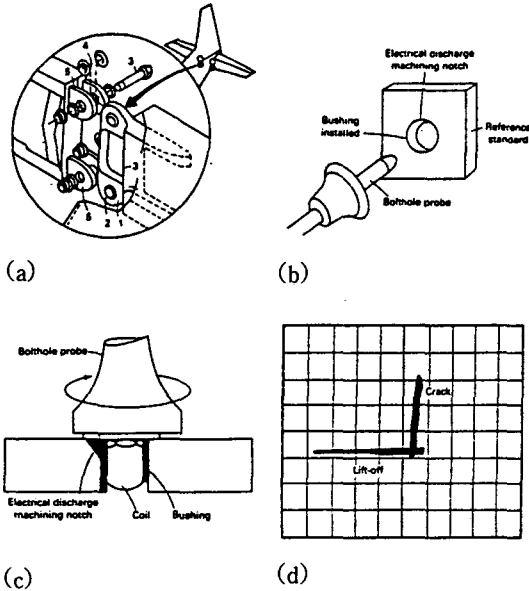


Fig. 31. Eddy current inspection of cracks located under installed bushings. (a) Schematic of typical assembly employing interface-fit bushings in a clevis/lug attachment assembly. (b) Reference standard incorporating an electrical discharge machined corner notch. (c) Probe coil positioned in bolt-hole and encircled by bushing. (d) CRT display of a crack located under a ferromagnetic bushing

9.6.2. 表面硬化層 두께 측정

스테인레스강의 表面 硬化된 질화물의 두께를 측정할 경우에는 질화물의 磁氣透磁率의 변화를 측정함으로써 알아낼 수 있다. 질화물의 두께가 증가할수록 磁氣透磁率이 증가하므로 코일의 誘導性 리액턴스는 증가하며 이러한 변화를 세심하게 관찰하여 이를 금속의 미세 조직 관찰 결과와 연관지음으로써 표면 경화층의 두께를 측정할 수 있다.

9.6.3. Profilometry

渦電流 현상을 이용하여 profilometry 측정이 가능

하며 특히 떠오름 효과를 이용하여 管의 內徑 變化를 측정할 수 있다. 이 경우 여러개(4-8개)의 작은 probe 코일을 반경 방향으로 부착한 探觸子를 管속으로 삽입하여 이동시킬 때 각각의 코일로부터의 떠오름 현상을 측정함으로써 管의 편심 정도 또는 타원 경향을 측정할 수 있다.

9.6.4. 硬度 測定

渦電流探傷法을 이용하는 방법으로 저주파 “comparator bridge” 회로를 써서 철강 제품의 硬度를 측정할 수도 있다. 기준 코일과 검사 코일은 이미 硬度를 알고 시편에 대해 균형이 잡혀있는 상태에서 미지의 硬度를 측정하며 검사체가 시험 코일에 전류변화를 주어서 결과적으로 장치의 출력으로 나타나므로 변화된 출력의 크기를 이미 알고 있는 기준에 연관지어서 경도를 측정할 수 있다. 예를 들어 오실로스코프로 결과를 나타낼 때 균형을 이룬 경도는 화면의 중앙으로 조정하고 이보다 낮은 경도는 화면의 중심 아래쪽으로, 높은 경도는 중심 위쪽에 나타나도록 장비를 보정하여 측정에 사용할 수 있다.

9.6.5. 합금의 선별

硬度 測定에 사용되는 “comparator bridge” 회로를 이용하여 합금의 선별 작업도 할 수 있다. 이 경우에도 硬度 測定시와 마찬가지로 정밀한 기준 시험편이 필요하며 대부분의 渦電流探傷 裝備가 광범위한 변수에 대해 반응하기 때문에 기준 시험편의 변수를 주의깊게 선정할 필요가 있다. 기준 시험편은 다음의 특성들이 같거나 비슷하여야 한다.

1. 크기, 형상
2. 熱處理 상태
3. 표면 상태 또는 표면 거칠기
4. 잔류 응력
5. 금속학적인 특성

◇ 문의처 : 042-868-8091