(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 특허공보(B1)

(51) Int. Cl.[6]
C21D 9/46
H01F 1/16

(45) 공고일자 1996년10월21일
(11) 공고번호 특1996-0014945

(21) 출원번호	특1989-0002564	(65) 공개번호	특1989-0014756
(22) 출원일자	1989년03월02일	(43) 공개일자	1989년10월25일
(30) 우선권주장	163,670 1988년03월03일 미국(US)		

알레니 루드럼 코포레이숀 죤 디. 왈톤
미합중국, 펜실바니아 15222, 핏츠버그, 씩스 피피지 플래이스 1000

(72) 발명자 제임스 알렌 살스기버
미합중국, 펜실바니아 16055, 살버, 시닉 뷔 드라이브 111
렌달 켄 나이프
미합중국, 펜실바니아 15065, 나트로나 헤잇츠, 프라임로즈 레인 2719

(74) 대리인 강명구

심사관 : 박기학 (책자공보 제4706호)

(54) 코어손실을 감소시키기 위한 전기적 강의 내열자구정련 제공방법

요약

내용없음

대표도

도1

명세서

[발명의 명칭]

코어손실을 감소시키기 위한 전기적 강의 내열자구정련 제공방법.

[도면의 간단한 설명]

제1도는 전형적 처리영역을 나타내는 실시예 1의 강(2)의 부분단면으로 된 현미경사진.

제2도는 본 발명에 따른 실시예 I의 강(2)의 자구구조의 7.5배 현미경사진.

제3도는 피복손상과 재응고된 용융물지대를 나타내는 강(2)의 부분단면으로 된 현미경사진.

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 코어손실(core loss) 성질을 감소시키기 위해 자구(domain)크기에 영향을 주는 전기적 쉬이트(electrical sheet) 또는 스트립(strip)의 표면을 가공하는 방법에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 내열(heat resistant) 자구정련(domain refinement)을 제공하기 위해 전자비임(electronbeam)처리하여 전기적 강의 표면을 국부변형시키는 것에 관계한다.

입자배향성(grain oriented) 규소강의 제조에 있어 코스(goss)의 2차 재결정 경조직(texture)(밀러지수)(101)[001])이 배향되지 않은 규소강에 비해 개선된 자기적 성질, 특히 투자율 및 코어손실을 가짐이 알려져 있다. 고스의 구조는 큐브-온-엣지(cube-on-edge)위치에 배향된 결정립 또는 결정을 포함하는 체심입방 격자를 나타낸다. 이 형태의 결조직 또는 결정배향은 압연방향에 평행하고 압연의 평면에 큐브 엣지를 가지며 (110)면은 쉬이트 평면에 있다. 널리 알려져 있는 바와 같이 상기 배향을 한 강은 압연방향으로 비교적 투자율이 높고 그에 직각인 방향으로는 비교적 투자율이 낮은 것이 특징이다.

입자배향성 규소강의 제조는 2~4.5% 규소를 포함한 용융물을 공급하고, 용융물을 주조하고, 열간압연하고, 강의 최종지수를 보통 7mils 또는 9mils 및 15mils로 냉간압연하고, 2단계 이상의 냉간압연이 사용될때에는 중간어닐링하고, 용융물을 탈탄하고, 강에 산화미그네슘피복(magnesium oxidecoating)과 같은 내화산화물 기초피복하고, 바람직한 2차 재결정을 얻기 위해 고온에서 강을 최종 조직으로 어닐링하고 질소 및 황과 같은 불순물들을 제거하는 정제처리단계를 포함하는 것이 보통이다. 큐브-온-엣지 배향의 개량은 2차 재결정의 매카니즘에 달려있으며 재결동안 2차 큐1—-온-옛지배향 결정립은 상이하고 바람직하지 않은 배향을 가진 1차 결정립을 소모하여 성장한다.

입자배향 규소강은 종래 전력변압기, 배전변압기, 발전기 등과 같은 전기제품에 사용되었다. 전기제품에서 강의 비저항 및 자구구조는 '코어손실'이라 불리는 한정된 에너지 손실을 갖게 가해진 자기

장을 주기적으로 변화시킬 수 있다.

그러므로, 이런 제품에 사용되는 강에 있어서는 상기 강이 감소된 코어손실값을 갖는 것이 바람직하다.

여기서 사용되는 '쉬이트'와 '스트립'은 호환하여 사용되며 특별한 언급이 없는 한 의미는 같다.

많은 전문가들의 노력을 통해 큐브-온-엣지 입자배향 규소강은 두 기본범주로 구분됨이 또한 알려져 있다. 즉, 첫째는 종래의 입자배향 규소강이고 둘째는 고투자율 입자배향 규소강이다. 종래의 입자배향 규소강은 일반적으로 공칭 9mils 재로의 경우 코어손실이 60헤르쯔 및 1.5테슬라(Tesla)에서 0.400와트보다 크고 투자율이 10외레스테드(Oersted)에서 1850보다 작은 것이 특징이다. 고투자율 입자배향 규소강은 고투자율과 저코어손실이 특징이다. 이런 고투자율 강은 조성변화 단독의 또는 공정변화와 공동의 것일 수 있다. 예를 들어, 고투자율 규소강은 최종 강제품의 성질에 기여하는 억제시스템의 석출물 또는 개재물에 기여하는 질화물, 황화물 그리고/또는 붕화물을 함유할 수 있다. 또한 이런 고투자율 규소강은 일반적으로 최종치수로 축소 조작을 받으며, 입자배향을 촉진하기 위해 80% 이상 최종의 대량냉간 축소된다.

강의 표면에 국부적 변형을 유도하도록 강이 다양한 실행을 받게되면 특히 입자배향성 규소강 및 비정질 재료와 같은 전기적 강의 자구 크기 및 그 코어손실값이 감소될 수 있음이 알려져 있다. 이런 실행은 일반적으로 '스크라이빙(scribing)' 또는 '자구정련'으로 일컬으며 최종고온 어닐링작업후 수행된다. 최종결조직 어닐링후 스크라이빙되면 결조직 어닐링된 강에 국부적인 응력상태가 유도되며 자구벽부간격(domain wall spacing)이 감소된다. 이들 교란(disturbance)은 좁고 똑바른 선 또는 규칙적 간격으로 떨어진 스크라이빙선이다. 스크라이빙선은 실질적으로 압연방향에 횡방향이며 강의 한 면에만 적용되는 것이 전형적이다.

이런 비정질 및 입자배향성 규소강의 용도에 있어 특별한 최종용도 및 제작기술은 스크라이빙된 강제품이 응력제거어닐링(SRA)을 견디는 것을 필요로 할 수 있으며, 반면에 다른 제품들은 이런 SRA를 받지 않는다. 코어적층변압기 그리고 특히 미국의 전력변압기 생산에 부수되는 제작중 응력제거어닐링을 받지 않는 평평한 자구정련 규소강이 요구된다. 즉, 스크라이빙된 강은 내열자구정련을 제공하지 않아도 된다.

미국의 대부분의 배전변압기와 같은 여타의 변압기 생산에 부수되는 제작중 강은 절단되고 강에 응력을 발생시키는 여러 굽힘 및 성형조작을 받게된다. 이런 경우 상기 응력을 제거하도록 제조업자가 제품을 응력제거어닐링하는 것이 필요하며 관습적이다. 응력제거어닐링중 열적스크라이빙과 같은 다소의 스크라이빙기술로 인한 코어손실에 대한 유익한 효과가 손실됨이 알려져 있다. 이런 최종용도를 위해서는 스크라이빙으로 인한 코어손실값의 개선을 유지하도록 강이 내열자구정련(HRDR)을 보이는 것이 바람직하고 필요하다.

전자비임기술이 규소강을 스크라이빙하는데 적절할 수 있다고 기존특허에서 제안하고 있다. 미국특히 제3,990,923호(1976. 11. 9; 타카시나 등)는 2차 재결정 결정립의 성장을 조절 또는 억제하도록 1차 재결정된 규소강에 전자비임을 사용할 수 있다고 발표하였다. 미국특허 제4,554,029호(1985. 11. 19;: 쇠엔 등)는 절연성 피복의 손상이 고려대상이 아니면 최종어닐링된 전기적 강에 전자비임 저항가열(resistance heating)을 사용할 수 있다고 발표하였다. 절연성 피복손상과 진공필요성이 주요한 결점이라고 생각된다. 그러나, 상기 기술은 전기적 강을 스크라이빙하기 위해 전자비임 기술의 실제적인 사용을 제시하지 않고 있다.

본 발명의 양수인에 의해 재출된 동시 계류출원은 전혀 형상을 변화시키거나 피복을 손상시키지 않고 자구정련에 영향을 주고 코어손실을 개선하는 전자비임 처리방법 및 장치를 발표하고 있다.

필요한 것은 변압기의 제작에 통상 사용되는 응력제거어닐링(SRA)을 견딜수 있으며 내열성인 자구정련을 실행하는 전기적 쉬이트제품 처리방법 및 장치이다. 또한 방법과 장치는 고투자율 그리고 비정질형 뿐만 아니라 보통의 전기적 재료로 된 입자배향성 규소강 처리에 적합해야 한다.

본 발명에 따라 최종어닐링된 자구구조를 갖는 전기적 쉬이트 또는 스트립의 코어손실을 개선하는 방법이 제공되며, 상기 방법은 쉬이트의 최소한 한면을 전자비임 처리하여 쉬이트 제조방향에 의해 실질적으로 횡인 비처리영역으로 분리되는 좁고 실질적으로 평행한 처리영역 밴드를 생성하는 것을 포함한다. 전자비임처리는 내열성인 자구벽부간격의 정련을 실행하기 위해 각 처리영역에 영구결합(permanent defect)을 생성하는데 충분한 에너지밀도를 제공하는 것을 포함한다. 처리된 쉬이트는 계속해서 어닐링, 인장피복적용, 또는 이들의 조합으로 코어손실을 줄이기위해 처리된다.

개략적으로 본 발명에 따라 종래의 규소강 및 고투자율 입자배향 규소강과 비정질 금속의 자기적 성질을 개선하기 위한 방법이 제공된다. 바람직하게는 상기 방법은 강스트립의 코어손실을 개선하기 위해 자구벽간격의 영구정련을 실행하도록 상기 강을 처리하는데 유용하다. 규소강 스트립의 압연방향 및 비정질 재료의 주조방향에 실질적으로 횡인선 또는 처리영역의 간격과 스크라이빙선의 폭은 종래의 그것이다. 그러나, 종래와 다른 것은 이렇게 처리된 강이 응력제거어닐링(SRA)을 견디는 내열성의 개선된 자기적 성질을 갖게끔 조절된 방법으로 상기 자구벽간격을 정련하는 것이 본 발명의 방법이다.

용접과 절단에 사용되는 전형적인 전자비임 발생장치는 작업물에 집중되는 비임과 반점(spot) 크기 또는 폭의 조절을 위해 전자비임이 최소한 부분 진공안에서 발생되고 사용되는 것을 필요로 한다. 이런 전형적인 장치는 변형되어 본 발명의 개선에 사용된다. 특정한 변형은 전기적 쉬이트를 주사(scan)할 선택된 패턴을 발생하기 위한 고주파 굴절코일(deflection coil)을 포함한다. 전자비임이 강 쉬이트를 가로지르는 속도는 전자비임 굴절코일을 가동하는 파형발생기(waveform generator)(Wavetek사에서 판매)로 주사주파수를 설정하여 연구실 개발작업에서 조절되었다.

여기서 사용된 본 발명에 유용한 전자비임은 연속비임 에너지를 제공하는 직류(DC) 또는, 펄스 또는 불연속 비임 에너지를 제공하는 변조전류(modulated current)를 가질 수 있다. 특별한 언급이 없으

면 실시예에서는 DC 전자비임이 사용된 것이다. 또한 단일 전자비임이 사용되었지만 단일 처리영역을 만들기 위해 또는 다수의 영역을 동시에 만들기 위해 다수의 비임이 사용될 수 있다.

전자비임의 다른 매개변수와 조건들 또한 자구정련을 실행하는 적절한 밸런스를 제공하기 위한 특정 범위내에서 선택되어야 한다. 전자비임의 전류는 0.5-100밀리암페어(ma) 범위일 수 있다. 그러나, 더 좁은 바람직한 범위가 여기에 설명된 바와 같은 특수장치와 조건들을 위해 선택될 수 있다. 발생된 전자비임의 전압은 20-200킬로볼트(kV), 바람직하게는 60-150kV 범위일 수 있다. 이들 범위의 전류와 전압에 대해서 전자비임이 강스트립을 가로지르는 속도는 자구정련을 실행하고 차후의 어닐링을 견디는 코어손실값을 개선하는 영구결함을 만들기 위하여 적절히 선택되어야 한다. 주사속도(scanning speed)는 10,000ips까지의 범위일 수 있음이 입증되었다. 전류,전압, 주사속도 그리고 스트립속도의 매개변수들은 바람직한 스크라이빙효과를 위해 상호 의존하며 그리고 이들 매개변수들의 선택된 그리고 바람직한 범위들은 기계설계 또는 생산요구에 달려있는 것으로 이해되어야 한다. 예를 들어, 전자비임전류는 스트립의 속도와 전자비임 주사속도를 보장하도록 조절된다. 실제에 있어 스트립의 속도에 기초하여 주어진 스트립의 폭에 대한 주사속도가 결정되어야 하고 이로부터 바람직하고 적절한 전기적 매개변수들은 본 발명에 따라 만족스럽게 스트립을 처리할 수 있또록 설정되어야 한다.

스트립에 집중되고 에너지를 전달하는 전자비임의 크기 또한 자구정련의 효과결정에 있어 중요한 인자이다. 종래의 전자비임 발생장치는 보통 약 10^{-4} 토르(Torr) 보다 작은 고진공(hard vacumm)에서 4-16mils의 전자비임 직경을 만들 수 있다. 일반적으로 발생된 전자비임은 타원형 또는 원형 반점크기의 촛점을 만든다. 다른 형상이 적절할 수도 있을 것으로 전망된다. 집중된 비임반점크기는 좁은 방사(irradiated) 또는 처리영역의 폭을 효과적으로 결정한다. 직경 또는 폭으로 연구실 개발작업에서 사용된 전자비임의 집중된 반점크기는 특별한 언급이 없으면 5mils 정도이다.

본 발명에 따른 전자비임 처리에 대한 주 매개변수는 전기적 재료에 전달되는 에너지이다. 특히, 비임전력이 아니라 에너지밀도가 쉬이트 재료로의 처리정도에 결정적임이 발견되었다. 에너지밀도는 처리영역에 사용되는 비임의 수와, 반점크기, 주사속도, 전압, 전류의 함수이다. 에너지밀도는 면적당 에너지로써 제곱인치당 주울(J/in^2) 단위로 정의될 수 있다. 면적 에너지밀도는 약 $150J/in^2$ 이상이어야 하며 150-4000J/in^2 (230-620J/㎠)의 범위일 수 있다. 본 발명을 전개함에 있어 5mils의 전자비임 반점크기는 일정하다.

선형에너지밀도는 비임전력(J/sec 단위)을 비임주사속도(ips)로 나누어 간단히 계산할 수 있다. 0.5-10ma의 저비임전류로 선형에너지밀도는 상기 단위로 표현하여 약 0.75J/in 이상이어야 하며 0.75-20J/in (0.3-7.9J/㎝)의 범위일 수 있다. 개략적으로 에너지밀도의 상한은 쉬이트가 심하게 손상되거나 절단되는 값이다.

명사된 범위내의 특정한 매개변수들은 자구정련 전기적 강의 타입과 최종용도에 달려있다. 최종용도가 배전변압기 또는 코어가 감진 변압기인 때는, 예를 들어, 내열자구정련이 필요한 경우라면, 매개변수들은 강에 대한 손상과 조절가공이 제작시 유도되는 기계적 응력을 제거하기 위해 사용되는 차후의 응력제거어닐링을 견디도록 선택되어야 할 필요가 있다. 본 발명에 대한 전자비임 처리는 종래형의 입자배향 규소강과 비정질 금속뿐만 아니라 고투자율 강에 따라 다소 변한다. 이들 자성재료는 밀 글래스, 인장피복 또는 이들의 조합과 같은 절연성 피복을 가질 수 있다. 전자비임 처리에 대한 매개변수들을 확정하는데 고려할 다른 인자는 최종어닐링된 전기적 강 상의 피복이 처리의 결과로 손상되는가 아닌가하는 점이다. 일반적으로 차후의 재피복 공정을 피하기 위해 피복이 유도응력의 영역에서 손상되거나 제거되지 않는 것이 유리하고 바람직할 것이다. 그러나, 차후의 재피복 단계에 대한 교환으로 수용할 수 있는 것은 영구 및 내열자구정련을 제공하는 전자비임 처리이다.

이하에 상세히 설명된 본 발명이 일반적으로 입자배향성 규소강으로 된 유용물을 가지지만, 이하의 전형적인 조성물들은 본 발명에 유용한 입자배향성 규소강 조성물이며 본 발명 개량에 사용된다. 두 강의 용융물은 초기에 다음의 공칭 조성물들을 포함한다.

강	C	N	Mn	S	Si	Cu	B	Fe
1	.030	50PPM	.07	.022	3.15	.22	-	잔부
2	.030	50PPM미만	.038	.017	3.15	.30	10PPM	잔부

별다른 언급이 없으면 모든 조성물 범위는 중량 백분율로 된 것이다.

강(1)은 종래의 입자배향성 규소강이며 강(2)은 고투자율 결정방위 규소강이다. 강(1) 및 강(2)은 주조하고, 열간압연하고, 노멀라이징하고, 냉간압연하여 둘 이상의 냉간압연단계가 사용되면 중간어닐링하여 최종치수로 만들고, 탈탄하고, MgO로 피복하고 그리고 최종 결조직 어닐링하여 큐브-온-엣지방향의 바람직한 2차 재결정을 얻어 만들어진다. 강을 탈탄한 후 주로 산화마그네슘을 포함하는 내화산화물 베이스 피복이 고온에서 최종 결조직 어닐링전에 적용되며 그리고 상기 어닐링은 강표면에서 포오스테라이트 베이스 피복을 만드는 반응을 일으킨다. 강(1) 및 강(2)의 용융물 처음에는 위에서 우선 위에 인용된 공칭 조성물들을 함유하지만 최종 결조직 아닐링후 C, N 및 S는 중량으로 약 0.001% 이하로 감소된다.

본 발명의 이해를 돕기 위하여 후술하는 실시예들이 제시되었다.

[실시예 1]

본 발명의 자구정련공정의 여러 양상을 설명하기 위해서 강(2)와 유사한 조성으로 된 규소강의 시편

이 용융되고, 주조되고, 열간압연되고, 약 9mils의 최종치수까지 냉간압연되고, 필요한 경우 중간어닐링하고, 탈탄되고, MgO 어닐링분리 피복(separator coating)으로 최종결조직 어닐링되었다. 최종결조직 어닐링되고 베이스 피복된 시편은 콘트롤 팩(control pack)으로 사용되기 위해 전자비임 처리이전에 자기적으로 시험 되었다. 강의 한 표면이 전자비임 처리되어서 압연방향에 횡인 비처리영역에 의해 분리되는 폭이 좁고 실질적으로 평행한 처리영역밴드를 생성한다. 엡쉬타인 팩(epstein pack) 40-33a용 스트립들은 폭이 약 1.2인치였으며 3.3ips로 정지 또는 고정된 전자비임하에서 통과되며 계속해서 응력제거어닐링되며, 인장피복되고 그리고 다시 응력제거어닐링된다.

전자비임은 레이볼드 헤래우스(Leybold Heraeus)사에서 제조한 기계로 발생되었다. 상기 기계는 약 10^{-4} Torr 또는 이보다 양호한 진공에서 강을 처리하기 위해서 약 5mils의 집중된 반점크기를 갖는 비임을 발생시켰다. 처리된 영역의 평행한 밴드들의 간격은 약 6mm였다.

1.3, 1.5, 1.7Tesla와 60Hz에서의 코어손실, 10H와 200Gauss의 유도에서의 투자율의 자기적 특성이 엡쉬타인 팩에 대한 종래의 방법으로 측정되었다. 시편들은 또한 보호성 대기에서 2시간 동안 1475°F(800℃)에서 응력제거어닐링되었다.

전자비임, 선형에너지밀도, 전류, 전압과 횡단속도에 대해 위에 설명된 실험조건들하에서 표 I는 강(2)의 입자배향성 규소강의 자기적 성질에 대한 자구정련의 영향을 보여준다.

자구정련은 팩 40-33A에서 달성되나 전자비임조건들은 너무 심해서 엡쉬타인 스트립이 굽혀지고 깊은 홈들이 규소강 상의 피복을 통해 새겨진다. 홈들은 촉감이 거칠며 만족스런 최종제품을 얻기 위하여 더 가공해야 한다.

극단적인 변형과 피복손상 때문에 팩 40-33A는 스트립을 펴기 위해 1475°F에서 어닐링되어서 콘트롤 값보다 작은 와트(watt)손실을 보인다. 팩 40-33A의 스트립은 알려진 인장 피복법으로 피복된다. 와트손실은 인장피복후 입수된 조건에 있는 콘트롤 팩보다 약간 낮다. 자구정련에 대한 영향을 결정하기 위하여 자철광 서스팬션(suspension)과 신축성(flexible) 영구자석으로 알려진 방법으로 자구이메징이 수행되었다. 제2도는 SRA와 인장피복을 견딘 자구정련을 보여주는 7.5배 현미경사진이다. 팩은 두번 더 어닐링되었고 와트손실 성질은 콘트롤 팩에 비해서 1.5T에서 4% 그리고 1.7T에서 5%의 개선을 보이는 것으로 매번 측정되었다. 자구정련의 안정도와 그 내열성은 이러한 데이타로 알 수 있다. 이 결과는 최소한 하나의 추가가 공단계가 처리된 조건에서 처음에는 자기적 성질 저하를 보이는 내열자구정련 제품을 얻는데 필요함을 보여준다.

제1도는 니탈 에칭(nital-etching)하여 도시한 팩 40-33A의 스트립이 처리영역의 전자주사현미경(Scanning Electron Microscope; SEM) 부분단면도이다. 이온에 얽매일 의도는 없으나 본 발명에 따른 내열자구정련에 대한 매카니즘이 제안된다. 고에너지 전자비임 처리는 전자비임이 스트립에 대해 움직일때 용융된 금속으로 채워지는 공동을 금속스트립에 생성한다. 용융물이 응고되면 금속스트립과 처리영역 사이의 계면은 제1도에 도시된 바와 같이 된다. 기공(pore) 또는 '냉간-셔트(shwt)'(금속스트립에 대한 재응고 금속의 약한 결합력으로 인한 공극)와 같은 결함이 하부표면에서 생길 수 있다. 금속스트립이 포오스테라이트, 베이스 피복, 밀글래스, 또는 절연피복과 같은 피복을 가지면 일부의 피복재료가 공동에 퇴적되고 그 영역내에 용융될 수 있다. 재응고된 금속이 공동의 벽에 잘 결합되면 스트립과 재응고영역 사이의 계면은 차후의 고온어닐링으로 인해 전부 또는 부분적으로 사라질 수 있다. 그러나, 가공 및 냉간-셔트 결함은 자구벽부의 액화를 위해 남는다. 다른 양태는 내열자구정련을 일으키는 매카니즘이 인장 또는 응력의 전자비임 유도결함의 상호작용이라고 제안한다. 어닐링에 의해 제거되지 않는 이런 결함과 잔류응력은 인장이 가해질때 자구벽의 핵화에 충분할 수 있다. 어닐링시 저하되지 않은 인장피복을 적용함으로써 인장/결합 상호작용으로 도입되는 '내열' 국부응력이 제공될 수 있다.

[실시예 2]

실시예 1에 설명되고 유사하게 응력제거어닐링되는 전형적 강(2)조성으로 된 공칭 9-mil 규소강의 여러 시편들로부터 얻어진 표 II 및 표 III의 시편들을 응력제거어닐링(SRA) 한 후의 내열자구정련(HRDR)된 자기적 성질을 보이기 위해 추가의 시험들이 수행되었다. 표 II에서 엡쉬타인 팩 40-37A, 40-34A, 40-35A는 콘트롤 팩에서 포오스테라이트 베이스 피복을 갖는 최종결조직 어닐링된 스트립을 포함한다. 다른 엡쉬타인 팩들은 콘트롤 팩에서 포오스테라이트 베이스 피복과 응력 또는 인장피복을 갖는 최종결조직 어닐링된 스트립을 포함한다. 표 III에서는 모든 단일 쉬이트 판낼들은 콘트롤 팩에서 포오스테라이트 베이스 피복과 응력 또는 인강피복을 갖는 최종결조직 어닐링되었다. 모든 시편들은 압연방향으로 평행이동된 테이블의 적소에 시편들을 고정하고 스트립을 가로질러 주사하도록 비임을 굴절시켜 전자비임 처리되었다. 몇몇 시편들은 엡쉬타인 팩용으로 폭이 약 1.2인치인 스트립이었으며 몇몇은 4×22인치의 단일 쉬이트트 판넬들이 있으며 표시된 바와 같다.

자구정련을 실행하기 위해 주어진 전자비임 조건들에서 응력제거어닐링을 위한 위에서 설명된 실험적 조건들하에서 표 II는 SRA 후 몇몇 시편이 개선된 자기적 코어손실 성질을 가짐을 보여준다. 엡쉬타인 팩 40-8과 40-37A는 실시예 I의 팩 40-33A에 대한 것과 같은 매개변수들을 사용하여 전자비임 처리되었다. 팩들은 유사하게 반응하는 것으로 보인다. 150kV로 처리된 스트립은 선형에너지밀도가 낮은데도 불구하고 60kV로 스크라이빙된 스트립보다 더 심하게 굽혀졌다. 자구 상은 응력받은 영역이 150kV로 스크라이빙된 스트립에서 더 국부화되는 경향이 있음을 보여주었다. 일반적으로 팩들은 처리조건에서 자기적 성질이 저하함을 나타냈다. 그러나, 한차례 SRA후 총 2-7% 와트손실 감소를 나타내었다. 팩 40-34A만 제외하고는 모두 제1SRA 후 알려진 인장피복법으로 피복되었다. 와트손실은 팩 40-8 및 40-37A 경우 인장피복 후에 약간 낮았다. 이들 팩에 대하여는 제2SRA는 코어손실을 개선하지 않았으나 내열자구정련을 제공하는 결합의 영구성을 나타내었다.

표 III의 시험들 이전에 0.14-1.47J/in의 선형에너지밀도를 가져오는 2-10ma 범위의 전자비임전류의 범위에 대해 1000과 2000ips의 횡단속도로 예비시험하였다. 비교해 보면 대략 0.3J/in가 150kV 비임전압에서 자구정련을 시작하는 한계밀도임을 확인시켜준다. 어느 시편도 피복의 가시적인 분열이나

장애도 보이지 않았으며 단지 미소한 스트립의 굴곡 또는 뒤틀림만을 보였다. 모든 시편들이 처리조건에서 현저한 코어손실 감소를 보이기는 하지만 시편들중의 어느것도 HRDR 효과를 위해 고에너지밀도의 필요를 확실히 하는 SRA 전후의 현저한 내열자구정련은 전혀 보이지 않았다.

[실시예 3]

강(2)의 전형적 조성을 갖는 공정 9-mil 규소강의 여러 시편들이 포오스테라이트 베이스 피복을 갖는 최종결조직 어닐링된 시편들을 제공하기 위해 실시예 II에 설명된 바와 같이 제작되었다. 시편들은 콘트롤 수준 성질(control level properties)을 얻기 위해 수용되어 자기적으로 시험되었다. 모든 시편들은 약 6mm간격의 처리영역의 평행한 밴드들로 된 표 IV에 설명된 실험적 조건들하에서 가공된 1.2×12인치의 스트립인 엡쉬타인 단일 스트립이다. 모든 전자비임 자구정련처리는 표시된 바의 상이한 선형에너지밀도를 제공하는 35 또는 70ips의 주사속도와 3 또는 4ma의 전류, 150kV의 전압을 갖는 전자비임으로 행해졌다. 모든 시편들은 먼저 실시예 I에서와 같이 응력제거어닐링에 의해 열편탕화 되며 열로 펴졌으며 다음에 알려진 응력피복법으로 인장피복되고 다음에 보호성 분위기에서 2시간동안 1475°F로 제2SRA되었다. 자기적성질은 표시된 바의 각 단계후에 측정되었따.

위에 설명된 실험적 조건들하에서 데이타는 전자비임 처리 및 SRA후 21개의 스트립중 18개의 와트손실성질이 1.5T에서의 19%까지 입수된 상태에 비해서 감소됨을 보여준다. 21개의 스트립중 20개의 와트손실은 차후의 인장피복된 상태에서 1.5T에서 15%까지 낮아진다. 제2SRA는 모든 21 스트립이 입수된 상태와 비교할때 1.5T에서 낮은 와트손실을 나타내므로 전자비임과 인장피복으로 유도된 자구정련의 영구성을 보였다. 데이타는 인장/결합 상호작용으로 내열자구정련이 됨을 보여준다.

이 실시예의 실험적 조건들 경우에 베이스 피복된 스트립을 전자비임 처리하면 4ma와 8.6J/in 선형에너지밀도에서 최적와트손실감소를 얻었다. 이들 매개변수에서 100erstaeds에서의 투자율은 입수된 상태와 비교할때 제2SRA후 약 55-94G/0e만큼 감소되었다. 니탈(nital)로 에칭된 단면에서의 전자비임 처리영역의 금속조직학적 분석은 용융물지대의 깊이 및 폭이 비임전류 또는 선형에너지밀도와 더불어 증가됨을 보였다.

표 V에 나타나 있는 바와 같이 4ma와 8.6J/in에서 처리된 스트립은 가장 깊고 넓은 용융물지대를 나타낸다. 투자율 감소와 와트손실 감소는 전자비임이 생성한 결합의 크기에 의존하며 공정 최적화를 통해 제어되어야 할 것으로 보인다.

[표 5]

전자비임조건 @150kV			처 리 영 역		
		선형에너지			
전류 (ma)	속도 (ips)	밀도 (J/in)	깊이 (um)	폭(um) @표면	폭(um) @1/2깊이
3	70	6.4	35	298	225
4	70	8.6	72	404	300
3	35	12.8	71	359	265

제3도는 약 12미크론의 처리영역에서의 얕은 재응고 용융물영역과 최소의 피복손상을 보여주는 니탈에칭(구리 스페이서 사용)하여 도시된 단면에서의 강(2)의 600배 SEM 현미경사진이다. 제3도의 시편은 피복손상에 대한 한계 이상으로 내열자구정련을 실행하기 위해 150kV, 0.75ma, 50ips에서 2.25J/in로 전자비임 처리되었다.

[실시예 4]

불연속 또는 변조전자비임으로 자구정련을 실행하기 위하여 그리고 전자비임 처리를 따르는 차후의 가공단계들의 순서 또는 차례를 조사하기 위하여 추가의 시험들이 수행되었다. 비임전류는 파형발생기로부터의 스퀘어 필스(square pulse)에 의하여 변조되었다. 강(2)의 9-mil 강의 여러 시편들은 팩 A 및 C의 스트립은 베이스 피복되고 팩 2 및 3은 전자비임 처리이전에 응력피복됨을 제외하고는 실시예 III에서와 같이 제작되었다. 모든 자기적 성실은 1.2인치 폭의 스트립의 20-스트립 엡쉬타인 팩에 대한 것이다. 각 스트립의 한 표면은 표 V1에 표시된 전류와 에너지밀도에서 150kV의 전압에서 100Hz 펄스의 변조비임 처리되었다. 전자비임 처리후 팩 A 및 C의 스트립은 알려진 응력피복법으로 인장피복되며 다음에 표시된 바와 같이 보호성 분위기에서 2시간동안 1475°F에서 실시예 I에서와 같이 응력제거어닐링된다. 팩 2 및 3은 전자비임 처리후 동일한 SRA된다. 팩 2는 또한 다음에 표시된 바와 같이 인장피복된다. 자기적 성질은 보여진 바와 같은 각 단계후 측정되었다.

위에 설명된 실험조건하에서 필스화된 또는 변조된 전자비임 처리는 10.72J/in의 비교적 고선형 에너지밀도에서도 스트립 굴곡이 최소가 됨이 발견되었다. 팩 A, C, 2, 3으로부터의 모든 스트립은 인장피복과 같은 차후의 조직이 사용되면 SRA 또는 다른 가열평평화단계가 전자비임 처리후 생략될 수 있음을 표시하는 평편한 처리(as-treated)한다.

실시예 IV의 데이타는 또한 변조 전자비임 처리가 감소된 코어손실을 제공하는데 적합한 쉬이트의 내열자구정련을 실행하는 영구결합을 만듦을 보여준다. 또한 팩 A와 C는 베이스 피복된 재료가 전자비임 처리후 응력피복될 수 있으며 이후 SRA되며 여전히 쉬이트 제품의 감소된 코어손실 성질을 제공함을 보여준다. 본 발명의 내열자구정련 공정에 따르면 1800°F(982℃)까지의 차후의 열처리 또는 소둔이 코어손실 성질의 감소를 얻기 위한 임계적 단계이다. 전자비임 처리 단독으로는 낮은 코어손

실 성질을 얻을 수 없다. 또한 본 발명은 인장피복 그리고 응력제거 소둔하여 상기 순서 또는 반대로 계속 가공하는 실시양태를 포함한다.

본 발명의 목적으로써, 코어손실값을 개선하기 위하여 전기적 강, 특히 입자배향성 규소강의 자구정련을 위해 전자비임 처리를 사용하는 발명이 개량되었다. 본 발명의 방법의 다른 장점은 코어손실의 이러한 개선이 응력제거어닐링을 견딜정도로 내열성이며 다양한 전기적 적용에 적합하다는 것이다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

고투자율의 입자배향 규소강 및 비정질 재료로 된 전기강판의 최소한 한 표면을 전자비임 처리하여 압연 방향에 횡이며 비처리영역에 의해 분리되는 좁고 평행한 전자비임 처리영액밴드를 형성하고 ; 상기 전자비임 처리는 전기강판의 자구벽 간격의 내열정련을 위해 각 처리영역안에 영구결함을 생성하기에 충분한 에너지밀도를 제공하여 코어손실을 감소시키고; 상기 전자비임의 에너지밀도는 150-4000J/in^2 에서 선형에너지밀도는 0.75-20J/in이며; 상기 전자비임은 0.5-10mA의 전류와 20-200kV의 전압으로 발생되는 전기강판 제품의 코어손실을 감소시키기 위해서 전기적 강판을 내열자구정련 하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 전자비임 처리 이후에 쉬이트 제품의 최소한 한면을 제피복함을 특징으로 하는 내열자구정련방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 재피복이 코어손실을 감소시키기 위해 처리된 쉬이트의 최소한 한 표면에 인장피복을 적용하는 것을 포함함을 특징으로 하는 내열자구정련방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 코어손실을 감소시키기 위해 어닐링 및 인장피복으로 처리된 쉬이트를 그후 가공함을 특징으로 하는 내열자구정련방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 내열자구정련을 위해 연속전자비임 에너지를 제공함을 특징으로 하는 내열자구정련방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 내열자구정련을 위해 불연속전자비임 에너지를 제공함을 특징으로 하는 내열자구정련방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 전자비임 처리되는 스트립 근처에 최소한 부분진공을 제공하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 8

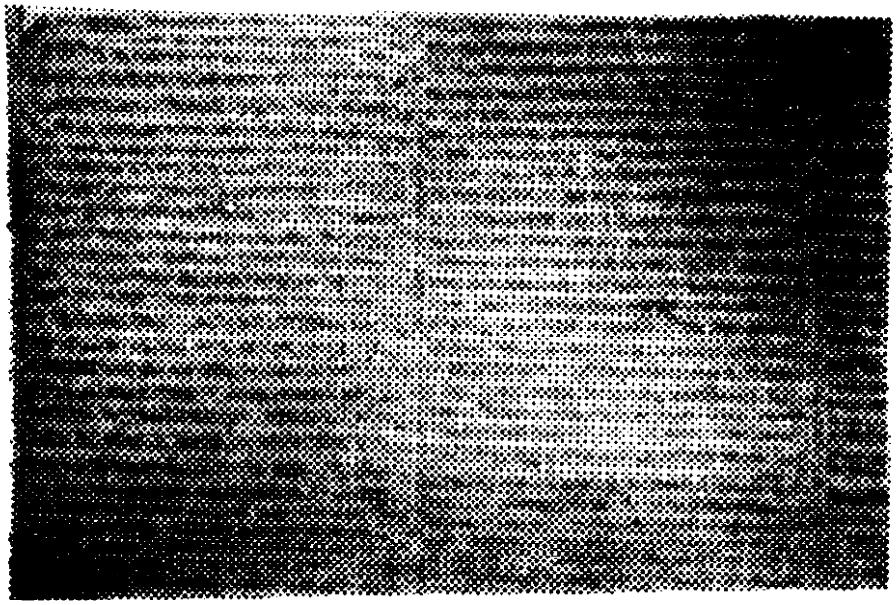
제1항에 있어서, 10,000in/sec까지의 속도로 압연방향에 실질적으로 횡인 전자비임의 굴절(deflection)을 제공하는 단계를 포함하는 방법.

도면

도면1



도면2



도면3

