

“포물리 62”

진동 응력 완화 장비

"포물리 62" 진동 응력 완화 장비는 이전의 열 응력 완화 기술에 비해 여러 가지 장점이 있습니다:

- 1 장비가 소형이어서 휴대하기 좋으므로, 생산 현장의 어떤 위치에든 이동하여 작업 시 응력 완화 용도로 이용할 수 있음
- 1 구입 가격이 저렴한 것은 물론, 작동 및 유지관리 비용도 적게 소요됨
- 1 부품이나 제작할 구조물의 무게와 형태에 따라 위치별로 15-30 분 정도로, 처리 시간이 적게 소요됨
- 1 방대한 작동 지침이 필요하지 않으므로 사용하기 쉬움
- 1 다음과 같이 아주 다양한 소재에 사용 가능:
 - v 성질이 다른 소재들로 제작된 부품 (열 처리 불가성)
 - v 열 처리 불가능한 합금
 - v 정밀 마감처리 (연마, 광택, 등)된 소재
- 1 **작업할 소재에 유해한 영향을 주지 않음**
 - v 기계적 성질이 변화되지 않음
 - v 구조적 또는 화학적으로 금속의 속성이 변화되지 않음
 - v 경도가 변화되지 않음
 - v 탈색, 슬래그(slag) 및 산화물(scale) 이 전혀 없는 말끔한 표면을 생성
- 1 열 응력 완화 기법으로는 불가능하거나 현실적으로 달성할 수 없는 한계치까지 부품 내성을 유지 가능
- 1 제작 과정 도중에도 사용 가능:
 - v 용접 도중 및 용접 후
 - v 기계적 가공 단계 사이에 사용 가능

잔류 응력의 정의

금속 가공 산업에서 나타나는 가장 큰 문제 가운데 하나는 변형을 일으키고 치수 안정성 (dimensional stability)을 훼손하는 응력이 형성되는 점입니다. 금속 가공 분야에 종사하는 사람이라면 누구든지, 강철 제품 제조업체, 기계 공구 제조업체, 또는 금형 제조업체를 가릴 것 없이, 작업물의 치수 공차를 유지하는 문제에 부딪히게 됩니다.

잔류 응력 (residual stress)의 기술적 정의는, 외부의 힘이나 제한 및 온도 차이 (변동)와는 무관하게 탄성체에서 나타나는 모든 응력을 말합니다. 잔류 응력이 발생하는 보편적 원인 가운데 하나는 인접한 금속 부위 간에 근접 부위의 변형을 일으킬 수 있는 성질상의 차이가 존재하기 때문입니다.

응력이 균일하지 않을 경우 금속에 변형을 일으킬 수 있습니다. 금속 물체의 한쪽에 강한 응력이 작용할 경우 운동이나 변형을 일으킵니다. 금속체 전체에 걸쳐 응력이 균일한 경우에는, 강한 응력이 걸려도 운동은 일어나지 않습니다. 응력 불균형이 심할수록, 운동은 더 크게 나타납니다. 불균형이 충분히 큰 경우에는, 입자(grain)들이 영구적으로 위치를 벗어나므로 응력을 제거해도 작업물은 이전 상태를 회복하지 못합니다.

잔류 응력에는 다음 2 가지 성분이 있습니다: 장력(tension)과 압력(compression). 물리적 및 수학적 법칙에서는 압력의 크기와 장력의 크기 사이에 균형이 요구됩니다. 유감스럽게도, 금속 가공 작업에서는 일률적인 균형은 이뤄질 수 없습니다.

금속 가공업 분야에서는, 잔류 응력이 적은 양질의 금속 부품이나 구조물을 만들어내는 것이 목표이므로 금속의 손상을 방지하기 위해, 응력을 완화, 또는 감소시켜 줄 프로그램은 필요로 합니다.

귀하와 귀하의 신체에 비유해 좀 더 쉽게 설명해 보겠습니다. 귀하께서 테니스 시합을 하다가 다리 근육에 심한 경련을 일으켰거나 좌상을 입었다면, 이 때가 바로 잔류 응력과 유사한 경우입니다. 그리고, 귀하가 잔류 응력 (경련이나 좌상)을 줄여 주지 않고 시합을 계속하면, 근육이 심하게 어찌면 영구적으로 손상될 수 있습니다. 하지만 귀하가 근육을 맞사지하여 긴장을 풀어주었을 경우에는, 시합을 계속하여 경기를 끝낼 수 있을 것입니다. 이것은 응력 완화 프로그램의 한 예입니다.

여러 종류의 금속 구조물과 부품들을 생산하는 동안 잔류 응력이 발생됩니다 - 주물 작업에서는 주물이 굳어지는 동안 내부를 관통하는 압착력이 발생되고, 금속성형에서는 금속의 탄성이 원인이 되고, 금속절삭에서는 절삭 작업에 따른 변형이 원인이 되고, 용접에서는, 온도 변화 때문에 금속이 팽창하고 수축함에 따라 특히 심한 잔류 응력이 발생될 수 있습니다.

계산하고 측정하기는 까다롭지만, 잔류 응력을 처리하지 않고 방치하면 시간 경과에 따라 여러 가지 바람직하지 못한 방식으로 그 존재를 드러내는데, 종종 부품을 내구연한보다 빨리 약화 또는 균열, 변형 또는 왜곡시키며, 주요 용접 부위의 건전성을 저해시키는 일이 자주 있습니다. 그리고, 이것만 아니라면 두루 잘 제조된 부품의 사용 기간을 단축시킵니다. 엄격한 현행 공차 요건을 고려할 때, 치수 안정성 및 변형 방지를 위한 응력 완화의 필요성은 점점 더 중요해지고 있습니다.

잔류 응력 처리

결정 격자 구조를 처리하려면, 반드시 금속에 에너지를 가해 원자들이 이러한 응력을 감소시키는 방식으로 운동할 수 있게 해야 합니다. 열 응력 완화 기법이 잘 알려지긴 했지만, 이 방법으로만 응력을 완화시킬 수 있는 것은 아닙니다.

열을 이용한 처리과정에서는, 높은 온도가 잔류 응력을 낮춰 줍니다. 이러한 방식의 응력 완화기법은, 보통 효과적인 반면에, 몇 가지 단점과 한계가 따릅니다. 비용이 많이 들고, 처리과정에 시간이 많이 걸리고 금속의 특성이 열화되는 결과가 자주 생기는데, 가열, 온도관리, 및 최종 냉각 시에 잘못된 처리방법을 이용하면 이렇게 될 수 있습니다. 또한 소재가 균일한 구조일 때만 사용 가능합니다. 작업장에 적당한 오븐이 없을 경우 그 결과 운임 및 기타 취급 비용이 들어가는 것은 물론 추가로 시간이 소요되는 등 제조업체에게 또 다른 간접 비용이 발생될 수도 있습니다.

또, 금속 가공업 분야 종사자들은 제조 과정 도중에 필요에 따라 응력 감소 처리를 할 수 있는 설비를 원하는 경우가 많았습니다. 이것은 열 응력 완화 처리과정에서는 원가 측면에서 불가항력적인 동시에 공정관리상 불가능할 것입니다.

부품을 옥외에서 숙성시켜 응력 완화 처리하는 방법도 있습니다. 이 경우에는, 소규모의 자연적인 지면 운동과 통상의 온도 변화에 의해 결정 격자 구조를 재배열하는 데 필요한 에너지가 공급됩니다. 하지만, 이 처리과정은 통제할 수가 없고 어느 시점에 작업을 만족스럽게 진행할 수 있을 만큼 응력이 줄었는지 관정하기가 어렵습니다. 그리고, 이 숙성 과정에서는, 보다 기온이 높을 때는 응력이 더 급격하게 줄어 들고, 보다 기온이 낮을 때는 감소 속도가 둔화됩니다. 응력을 발산시키느라 1년씩 시간을 들일 사람이 있을까요?

진동 기법에서는 진동을 통해 작업물에 에너지를 가합니다. 응력을 받는 원자 격자로서는, 열에너지와 진동에 의해 가해진 에너지 사이에 아무런 차이가 없습니다. 이렇게 가해진 에너지는 격자를 재배열시켜 응력을 경감시키고 변형 없이 부품을 안정화시킵니다.

이 처리과정은 기계 가공, 밀링, 연삭, 천공(punching), 브로칭(broaching), 스탬핑(stamping), 보링(boring), 대패질(planing), 절삭(cutting), 단조 및 용접에 이용할 수 있습니다. 이 방법은 열 응력 완화 기법의 비용이 많이 들거나 그 기법의 이용이 불가능한 아주 거대한 구조물에 유용하며 또한 정밀 가공 부품에서 공차를 최저 수준으로 유지하는 것을 저해할 수 있는 금속 변형을 막는 데 특히 유용합니다.

“포플러 62” 진동 응력 완화 장비 및 처리과정

Stress Relief Engineering Company 에서는, 아주 효과적이고, 열을 이용하지 않는, 공명에 기초한 진동 응력 완화 처리방법을 처음 개발한 이래, 35년여 동안 그 사용법을 개선해 왔습니다. 이제, 널리 인정받는 업계 표준이자, 사용하기 간편한 “포플러 62” 처리과정으로 피로강도를 전혀 희생하지 않으면서 치수 관리를 개선하고 항복강도 (yield strength)를 높일 수 있게 되었습니다.

“포플러 62” 처리과정에서는 작업물의 중량에 근거해 단시간 동안 낮은 주파수, 높은 진폭의 진동을 가합니다. 이 처리과정에서는 변형을 일으키거나 작업물의 인장강도, 항복점 또는 피로강도를 변화시키지 않으면서 금속 작업물과 용접 부분의 잔류 응력을 완화시킵니다. 그러면 잔류 응력을 훨씬 낮은 수준으로 줄일 수 있어 정적 평형 (static equilibrium)이 회복됩니다.

진동으로 잔류 응력을 감소시키는 방법 중에서 공진(resonant vibration)을 이용하는 것이 가장 효과적인 것으로 밝혀졌습니다. 공진 주파수 진동 기법 (resonant frequency vibration method)은 아공진(subresonant) 또는 서브하모닉(subharmonic) 주파수 기법에 비해 더 두드러진 응력 재분배 효과가 있습니다. 높은 진폭을 갖는 에너지는 금속 작업물과 용접 부분에서 침투 잔류 응력을 크게 감소시켜 주는 효과가 매우 뛰어난데, 낮은 주파수의 진동에 의해 전달됩니다.

“포플러 62” 활용하기

“포플러 62” 는 작업물에 클램프로 고정할 수 있는 변속식 고내구성 진동기(vibrator)와, 이동식 캐비닛에 수납되어 작업장 내에서 장소 제한 없이 굴러서 옮길 수 있는 전자 콘솔로 구성됩니다.

역시 작업물에 클램프로 고정되는 가속계가 있어서, 진동을 감지하고 케이블을 통해 콘솔의 전자 회로에 신호를 전송합니다. 그러면 작업물의 공진 포인트가 결정되어 패널에 장착된 계측기에 표시됩니다. 차트 기록 장치로, 공진 포인트가 확정되는 동안의 조정 과정을 표시해 주는 그래프를 생성할 수 있습니다.

원하는 진폭을 얻을 때까지 진동기의 속도를 바꿔 가면서 공진 포인트를 결정할 수 있습니다. 공진 주파수에 도달하려면 평균 2분의 시간이 필요합니다. 공진 주파수에 도달하면, 매번 작동 때마다 중량에 근거해 결정되는 일정한 시간 동안 작업물이 진동합니다. 작업물의 크기에 따라, 처리 시간은 10분 내지 1시간 이상 소요될 수 있습니다. 아주 크고, 엄청나게 길거나 옥외 프레임 (open space frame) 형식의 구조물에서는, 여러 위치에서 “포플러 62” 를 적용해야 할 수 있으므로 시간이 더 필요합니다. 피로 손상 (fatigue damage)이 발생하거나 인장강도가 손실되는 일 없이 작업물을 더 긴 시간 동안 진동시킬 수 있습니다.

또한 “포플러 62” 는 자동 모드로 작동시킬 수 있는데, 진동기 유닛은 15분간 3가지 다른 주기의 선택 속도로 작동하며, 순환 주기별 작동 시간은 5분씩입니다. 이 정도면 최고 10톤까지의 작업물을 안정화시키는 데 충분합니다. 10톤을 초과하는 작업물에는, 2회 연속으로 15분간의 주기를 이용할 수 있습니다.

모든 작업에서 반드시 지켜야 할 2가지 간단한 규칙은 다음과 같습니다:

- 최대한도까지 작업물을 주위와 격리시켜, 자유롭게 진동할 수 있도록 합니다;
- 진동기 유닛은 진동 에너지를 작업물에 충분히 전달할 수 있도록 반드시 작업물에 직접 연결해야 합니다.

“포플러 62” 처리과정은, 탄소강, 스테인리스 강, 알루미늄, 주철, 망간 및 갖가지 형태를 망라한 광범위한 철 및 비철금속에 사용할 수 있습니다. 크기 범위는 소형 주물, 샤프트 및 기어에서 열처리하기는 너무 큰 초대형 용접 및 기계 가공품까지 포함됩니다.

작은 부품, 정밀 부품 및 불규칙한 형태의 주물 및 용접물에 적용을 위해, SRE는 "로드마스터 2000 진동 테이블 (Loadmaster 2000 Vibration Table)"을 공급하고 있습니다. 이 테이블에는 뛰어난 작업물 격리 효과를 위해, 충분한 조정이 가능한 공기 쿠션 (air-lift suspension)이 장착되어 있으며, 이 쿠션은 일반적인 공기 펌프로 작동됩니다. 진동 테이블로 급형, 다이 세트, 소형 정밀 가공 작업물의 응력을 완화시킬 수 있으며 수많은 부품들을 한꺼번에 처리할 수 있습니다.

“포플러 62”의 한계

다른 금속작업 처리과정과 마찬가지로, “포플러 62” 진동 응력 완화 처리과정에도 한계는 있습니다. “포플러 62”는 냉연, 사출성형, 변형경화(strain hardened), 냉간가공(cold worked) 및 석출경화(precipitation hardened) 소재에는 다른 소재에서만 큰 효과적이지 못합니다. 열 처리과정 그 자체로 작업물이 손상되지만 않는다면, 아주 작은 아이템을 대량으로 처리할 때는 열을 이용해 한꺼번에 처리하는 것이 더 쉬울 수도 있습니다. 진동 처리과정은 금속의 잔류 응력 완화 전용이고, 버림, 정상화, 불림 작용을 하거나 기타 모든 유형의 열 처리 (용접 후 열 처리 포함)를 대신해 주지는 않습니다. 진동 처리과정으로 소재의 기계적 특성이나 속성이 바뀌지는 않습니다. 끝으로, “포플러 62”는 열이 원인이 된 변형, 왜곡, 또는 좌굴을 예방하거나 제거하지는 못하며, 굽고, 비틀리고, 휘어진 소재를 펴거나 곧게 해주지 못합니다.

“포플러 62”의 보다 중요한 장점 가운데 하나는 1차 절삭, 보링 또는 연삭 작업 후와 같이, 제조 과정 중간에 수시로 부품의 응력을 완화할 수 있는 점입니다.

용접 작업에서는, 용접 도중에도 응력 완화처리를 할 수 있는데 이것은 용접 부위에서 부분적 균열이나 변형을 일으킬 수 있는 잔류 응력의 누적을 예방하는 데 크게 도움이 됩니다. “포플러 62”는 SMAW, GMA 및 GTAW 용접 작업 과정에 최상의 호환성을 갖습니다. 기타 용접 방식에서는 막대한 공정관리상의 문제가 생길 수 있습니다.

용접에서는 비교적 짧은 시간 동안 온도가 변화되므로, 작업물에서 잔류 응력이 더욱 세차게 활성화되므로 용접 도중이나 직후에는 응력 완화가 요구될 수 있습니다. 강도가 큰 잔류 인장 응력은 용접 작업물의 피로 내구연한 (fatigue life)을 감소시킬 수 있으므로, “포플러 62”는 이러한 작업물의 응력 완화에 쉽게 활용할 수 있습니다.

응력 완화 적용 여부 결정하기

응력이 줄어든 시기를 어떤 방법으로 판단할 수 있는지 근본적인 의문을 느낄 때가 많습니다. 열 또는 진동 기법으로 처리한 후 잔류 응력 필드를 평가하는 일은 마찬가지로 까다롭고 비용이 많이 듭니다.

잔류 응력을 측정하는 가장 좋은 방법 한 가지는 X-선 회절 기법인데, 보통은 정확한 측정을 위한 배열의 필요성 때문에 실험실 환경에서만 사용됩니다.

잔류 응력 필드는 복잡한 구조를 가지며 비교적 넓은 범위를 포함합니다. 관찰 영역 내에는, 다양한 크기의 인장 및 압축 잔류 응력이 함께 나타납니다. 응력 완화 처리과정은 이러한 응력 수준을 재분배시켜 인장 및 압축 구역 간의 응력 에너지가 균형을 이루게 하여, 해당 영역에 평형을 회복시킵니다.

그러므로, 구조물의 한 지점을 측정하여, 값을 관찰한 다음, 작업물의 응력이 완화되었다고 판단해서는 안됩니다. 철저한 필드 맵을 작성하고 결과치의 통계적 평균값을 구해야만 명확한 결과를 얻을 수 있습니다. 그래서, 열 또는 진동 처리 과정에 의한 작업물의 응력 완화에 대해서는, 처리 전후에, 단일 지점 또는 기타 측정을 실시하지 않습니다.

간단히 말해서, 어떤 처리과정을 이용하든, 간편하고 저렴하게 응력을 사후 측정하는 방법은 없습니다. 열 처리과정에서 시간 및 두께당 온도가 얼마가 되든, 진동 기법에서 작업물의 중량에 근거한 분단위 진동시간이 얼마가 되든 간에, 기껏해야 정확한 처리 방법을 따르는 수 밖에 없습니다. 정확하게 따라 준다면, 어떤 방법을 이용하든 결과는 만족스러울 것입니다.

보통은 치수 안정성이 합격 여부를 결정하는 요인이므로, 처리 후에 안정된 치수를 유지하는 작업물은 만족스럽게 응력 완화된 것으로 간주합니다.

열 및 진동 응력 완화 관련 규정 설명

높은 온도는 금속을 심각하게 손상시킬 수 있으므로, 상변화나 기타 좋지 않은 금속 성질의 변화가 일어나는 소위 임계온도를 벗어나지 않도록 제한 적용할 필요가 있습니다. 이것이 규정 수립의 기초가 되었습니다; 온도를 충분히 높이되, 적용 온도를 조절함으로써, 작업물이 손상되지 않도록 해야 합니다. 소재가 바뀌면 적용 온도도 달라집니다. 두께에 차이가 있으면 담금 시간을 달리 적용해야 합니다. 요는, 작업물이 손상되지 않도록 신경 써서 처리 방법을 적용해야 합니다.

열처리 작업은 임의적이고 동시에 변화무쌍하기 때문에, 어떤 경우 부품 손상 우려 때문에 지정된 실제 온도의 1/2 ~ 3/4 만 적용해 열 처리하는 경우도 적지 않습니다. 그리고, 보통 그렇듯이, 제작 중에 일어나는 응력의 축적을 (그것도 열 처리과정보다 훨씬 앞서 일어나는) 계산에 넣지 않고, 일련의 제조과정 가운데 단 한 차례만 열 처리과정을 지정해 둘 경우가 있습니다.

그러므로, 규정에서 요구하는 열 응력 완화 처리는 기타 응력 완화 기법에 대한 절대적 판단 기준은 아닙니다. 규정의 명세 부분에 나오는 실제 세부 지침은 애매한데다가 어떤 소재의 종류와 등급에 있어서는 열의 이용을 권장하지 않는 경우까지 있습니다. 예: AWS D1.1 은 A514, A517, A709 또는 등급 100 소재의 열처리를 권장하지 않습니다. 기타 탄소 또는 저질 합금강 (low alloy steel)의 미세구조가 좋지 못하게 변질되어, 기계적 성질의 열화나 균열 또는 2 가지를 동시에 일으킬 수 있습니다. 가능한 변형, 산화, 부식 저항성의 결손이나 입자간 균열 (intergranular cracking)에 대해서도 반드시 계산에 넣어야 합니다.

열 처리과정을 배치 용도, 표면 건전성 또는 서비스 조건을 위한 부품 치수 안정성 제고 목적으로만 사용한다면, 진동 응력 완화 기법을 훨씬 더 저렴한 열 기법의 대체 수단으로 이용할 수 있는 경우가 많습니다.

너무 여러 가지 요인들이 관련되므로, "포플러 62" 비열 진동 응력 완화 기법은 규정상의 요건들을 한꺼번에 대신할 의도로 고안되지는 않았습니니다. 진동 응력 완화 기법을 열 응력 완화 처리방법 대신 사용 가능한지 결정하기 전에, 다음 요인들을 고려해야 합니다:

1. 잔류 응력을 가능한 최저 수준까지 줄이고 균질화된 모재 금속(base metal)과 용접 금속을 제공하는 데 열 처리과정이 필요한가.
2. 열 처리과정을 선택한 이유가 별 다른 이유없이 그저 "항상 해 왔던 방법"이기 때문인가!
3. 또는, 열을 이용할 경우 소재나 소재의 표면 상태를 손상시킬 가능성을 염려해서 응력 완화 처리를 전혀 하지 않고 있는가.

마지막 2가지 요인은 열 처리 대신 진동 기법을 이용할 명백한 계기를 부여합니다. 이 방법은 열 처리과정을 이용하는 경우의 직/간접 비용과 비교했을 때 보다 비용효율적인 솔루션을 제공해 줍니다.

현재 미국에서는, 응력 완화를 위해 여러 가지 기법을 복수 추천하는 경우가 더욱 많아지고 있습니다. 한 미국 정부 소속 기관에서 작성한 명세에서는, 일부 부품의 경우는 A.S.M.E. 제 8 조, A.W.S. D.1.1 에 따라, 그리고 그 외 부품의 경우 구체적으로 "포플러 62"을 사용해 각각 응력 완화 처리하는 방법에 대한 참고사항을 찾을 수 있습니다. 일부 명세에는 "포플러 62" 제품 브랜드 이름과 개발자인 Stress Relief Engineering Co.가 실제로 언급되어 있습니다. 예: 미국 내무부 제정 댐 수문 및 기타 부품 사양.

결론은, 제조업체 측에서 열 기법을 대신해 이를 공식적으로 선택하는 경우가 많기는 하지만, "포플러 62"가 모든 경우에 열 "응력 완화" 방식을 대체하도록 개발되지는 않았습니니다. 어떤 경우에는, 열 기법을 이용하는 것이 매우 권장되며 Stress Relief Engineering Company 는 핵시설, 압력용기, 발전 및 석유화학 분야의 작업에는 이 방법을 적극 권합니다. 이 경우 장점에 비해 소요 비용은 오히려 적게 드는 셈입니다. 하지만, 규정에 정해진 바를 준수하고 정확하게 시행한다는 전제하에, 구체적으로는 치수 안정성이 중요한 문제가 되는 제조 과정 중에, 제조업체가 자기 선택에 따라 진동 응력 완화 기법을 사용하는 것을 규정에서는 전혀 금지하고 있지 않습니다.

수출 총책임자



Dreyfus Global Trade, LLC
521 Fifth Avenue (Suite 2130)
New York, NY 10175 USA
전화: +1 212 867 7700
팩스: +1 212 867 7820
이메일: info@dreyfusglobal.com



STRESS RELIEF ENGINEERING COMPANY