

h2s의 금속 부식 메카니즘과 방지책	
질 문	H2S가 포함된 HYDRAU CARBON 유체속에서 발생하는 금속파이프 표면 부식은 H2S가 물과 접촉하여 이온화되고 이렇게 이온화된 SO3-등이 금속표면을 부식시키는걸로 알고 있습니다. 이것의 정확한 메카니즘과 이외에 H2S 단독으로 부식을 일어킬수 있는지, 또는 다른 메카니즘이 존재하는지 궁금합니다. 알고 계시는 문헌이나 이에 관한 논문을 가지고 계시는 분은 연락바랍니다. 참고로 이는 B.T.X PLANT의 2nd reactor와 관계된 것입니다.
	수소 손상에 관한 다음의 종합적인 기술 요약 (부식학회 1998 하계 강습회 교재 중 발췌)을 우선 참조하시기 바랍니다.. 그림과 표는 원본을 참조 바라며 더욱 자세한 내용은 본인에게 연락 바랍니다. 4.4.3 Hydrogen Damage (수소손상) -주로 H2S, H2 와 HF acid에 의한 영향의 결과이다. 수소 손상의 분류와 종류는Fig 4.4.3.1 과 Table 4.4.3.1 에서 요약하였다. - Aqueous Hydrogen Sulfide (H2S) 용액이나 Sour Water에 의해 Carbon Steel과 Low-Alloy Steel (저합금강)에 발생한 부식의 결과 몇 가지 Type의 Hydrogen Damage를 낼 수 있다. -이들은 낮은 응력이 적용될 때 강의 연성을 잃게 하며 (Hydrogen Embrittlement), 부풀음이나 강의 내부에 Voids를 형성하고 (Hydrogen Attack, Blistering & Stepwise Cracking), High-Strength Steels이나 High-Hardness Steels의 자발적인 Cracking (Hydrogen Stress Cracking)을 낳는다. -부식 반응이나 음극 분극에 의해서 생성된 Hydrogen 원자가 재료의 표면에 Build Up 되었을 때 결정 입계를 따라 확산하게 되고 냉간 가공이나 경화 처리로 인한 내부 응력이나 잔류 응력이 충분히 높은 금속 내부에 침투하게 된다. -Manganese Sulfide 개재물이나 Lamination* 같은 Voids내에 수소 원자가 확산하여 수소 분자를 형성하게 되며, 그들의 크기가 증가되므로써 Steel로부터 확산될 수 없기 때문에 Void내에 수소 가스의 농도와 압력이 증가하게 되면서 결국 Blistering과 Fissuring을 야기시킨다. -취약해진 Metal은 정적하중, 변태응력* (예, Welding의 결과), 내부 응력, 냉간가공, 경화(담금질) 등에 의해서 Hydrogen Stress Cracking이 일어난다. *Lamination : 금속의 가공면에 따라서 발생하는 흠집이나 불순물에 의해서 부풀어 오르는 결함을 말한다. *변태응력 (Transformation Stress) : 변태를 일으켜서 생기는 응력을 말하는데, 즉 용접으로 가열된 재료를 급격히 냉각하면 오스테나이트 상태에 마르텐사이트로 변태하면서 체적 팽창에 의한 변태 응력이 생긴다. -Ductile Steels이나 적당한 PWHT를 한 강에서는 Cracking이 거의

일어나지 않는다.

-Hydrogen Damage는 주로 Steels이 낮은 pH 값을 갖는 Aqueous H₂S 용액에 노출될 때 일어난다.

-높은 pH 값을 갖는 Aqueous H₂S 용액은 또한 Cyanides가 존재할 때 Hydrogen Damage를 야기시킬 수 있다.

-pH 8 이상을 갖는 Aqueous H₂S 용액은 Cyanides가 존재하지 않을 때, 강의 표면에 Iron Sulfide (FeS) 보호막을 형성하므로 Steel의 부식을 다소 억제시킨다..

-Cyanides는 이 보호막을 파괴시키며, 빠르게 이 부분에 부식이 일어난다.

-pH 8 이상을 갖는 Aqueous Ammonia/Sulfide/Cyanide service내에서 Steel의 부식은 항상 Hydrogen damage를 수반한다고 실험적으로 보여주고 있다.

(1)Hydrogen Embrittlement (수소취성)

-Hydrogen 취성은 변형율의 감소와 함께 Ductility를 감소시키는 특징이 있다. 이것은 대부분의 다른 여러 Types의 Metal 취성 거동과는 반대이다.

-예를 들면, Hydrogen으로 Charge되었을 때, Carbon Steel의 Ductility는 42%에서 7%로 떨어진다고 보고되었다.

-이 Ductility의 Loss는 Charpy V-Notch Test같은 충격 시험이 아니라, 느린 변형속도 시험과 보통의 인장 시험을 하는 동안에 관찰된다.

-수소로 채워진 Steel에 하중이 가해진 후에 얼마 있지 않아 파괴가 일어난다. 이 현상은 정적 피로 (Static Fatigue)라고 알려져 있으며 파괴가 일어나는 최소 하중을

정적피로한도 ((Static Fatigue Limit)라고 한다.

- Hydrogen Embrittlement는 순간적으로 일어나며, Heating하여 Hydrogen을 방출함으로써 Reverse 될 수 있으며, Recovery Rate는 시간과 온도에 따른다.

-25mm(1인치) 두께당 시료를 1시간 동안 230°C (450°F)로 Heating 하면 Welding 후에 Cracking을 방지하는데 효과적이라는 것이 알려졌다.

-Ductility를 완전히 회복시키기 위해 650°C (1200°F)에서 2Hr 또는 105°C (225°F)에서 하루 동안 Heating 처리하는 방법이 이용되어 왔으며 Wet H₂S에 노출됨으로써 취약해졌던 냉간 Drawing (인발)된 고탄소강 Wire의 연성을 회복시키기 위해서는 여름에 태양 열로도 충분하다.

-그러나 일반적으로 315°C (600°F)이상 Heating 하는 것은 고온 Hydrogen Attack의 가능성이 있으므로 피해야 한다.

-Titanium이 또한 Corrosion으로 인해 흡수된 Hydrogen이나 Dry Hydrogen Gas에 노출될 때 취약해질 수 있다.

-Iron Smears를 포함하여, 표면에 존재하는 오염물에 의해 Hydrogen 흡수가 촉진될 수 있으며, 주로 70°C (160°F) 이상에서 일어난다.

-Iron Smears 같은 오염물을 제거하기 위하여 Titanium Components에 다음과 같은 산세 처리를 한다.

- 1~3 Vol% Hydrofluoric Acid (HF)를 포함하는 10~30 Vol% Nitric Acid로 49~52°C (120~125°F)에서 1~5분 동안 산세 처리를 한다.

- Acid Picking은 또한 Shutdown기간 동안 검사와 보수를 한 후에 Titanium Components를 Cleaning할 필요가 있다. 특히, 어떤 Petrochemical 운전중에 농축된 Acetic Acid에 노출된 Components를 위해서 요구된다.

- Pickling 동안 Hydrogen Pick-Up을 최소화 하도록 Nitric Acid와 HF Acid 의 비가 거의 100이어야 한다.
- 아주 공격적인 Process Environments에서는, Titanium Components는 Titanium Surfaces에 Hydrogen 발생으로 Hydride가 형성되지 못하도록, Aluminum 같은 양극의 Components로 부터 전기적으로 절연되어야 만 한다. 그렇지 않으면 양극 금속인 알루미늄의 부식이 촉진된다. (갈바닉 부식).
- 상당한 양의 Hydrogen을 포함하는(예, Hydrotreating Units의 Reactor Effluent) Process Streams에서는 Titanium은 단지 175°C (350°F) 이하에서 사용되어야 한다.

(2)Hydrogen Attack (수소공격)

1) 개요

- Hydrogen Attack (또는 High-Temperature Hydrogen Attack)은 고온, 고압하의 Hydrogen Gas가 존재하는 분위기에서 Steels의 기계적인 성질이 나빠지는 것과 관계가 있다.
- 비록, 일반적인 부식 현상은 아니지만, Hydrogen Service와 Refinery 장치의 설계와 운전에 대해 아주 심각한 문제를 야기시킬 수 있다.
- Hydrotreating, Reforming, Hydrocracking Units에서 약 260°C (500°F) 이상, 689 Kpa (100 Psia) 이상의 Hydrogen Partial Pressures 상태에서 아주 특별히 관련되어 있다.
- 이들 Conditions 아래에서, Molecular Hydrogen (H₂)가 Steel 표면에서 수소 원자로 해리하여 이것이 Steel 내에 쉽게 확산된다.
- Grain Boundaries, Dislocations(전위), Inclusions(개재물), Lamination과 그 밖의 다른 Internal Voids (내부 빈 자리)에서 수소 원자가 용해된 Carbon과, Metal Carbides와 반응해서 Methane을 형성한다.
- 큰 분자를 이룬 Methane은 밖으로 확산되지 못한다.
- 그 결과 내부의 Methane 압력은 강을 부풀리거나 Intergranular Fissuring (입계균열)을 일으킬 만큼 높은 압력이 된다.
- 온도가 충분히 높으면, 용해된 Carbon이 Steel 표면으로 확산하며 수소 원자와 결합하여 Methane을 발생한다.
- Hydrogen Attack은 Blistering이나 Cracking 보다는 전면에 걸쳐 탈탄 (Decarburization)의 형태를 취한다.
- Hydrogen Attack의 전반적인 영향은 Pearlite내의 Carbon의 고갈 (탈탄)과 Metal 내의 균열 (Fissures)를 형성한다. (Fig 4.4.3.2)
- Attack가 진전됨에 따라 이들 영향이 두드러져서 여러 결정입자 내에서 Carbon의 부분적인 고갈이 뚜렷해지고 그 밖의 다른 입자들은 완전히 탈탄된다. (Fig 4.4.3.3)
- Hydrogen Attack은 인장강도와 연성의 감소를 수반하며 결과적으로 사전에 Warning Signs 없이 예기치 않는 Equipment Failure를 가져온다.

2)Forms of Hydrogen Attack

- Hydrogen Attack은 Stress, Metal 조직 내에서 Attack의 정도, 강내의 비금속 개재물 등에 따라 여러 형태를 갖을 수 있다.
- 일반적으로 Surface Attack은 Equipment가 응력 상태에 있지 않고 고온, 고압의 수소에 노출되었을 때 일어난다.
- 일반적으로 탈탄은 Steel의 표면이나 두께를 통해 균일하게 나타나지 않으며, 조직내의 여러 Locations에서 발생한다.
- Fissures(균열)은 Metal Surface에 평행하게 형성되며 균열 자체는

작으며, 더 심각한 단계에 이를 만큼 서로서로 연결 되지는 않는다.

- Hydrogen Attack는 종종 Steel 내에 높은 응력이나 응력이 집중된 곳에서 시작된다. 이들 Areas로 Hydrogen가 우선적으로 확산하기 때문이다.
- Fissures는 Surface보다는 오히려 용접부의 가장자리에 평행하게 생기며 이 방향은 아마도 용접부 (Weldment) 근방의 잔류응력의 결과일 것이다.
- 국부 Hydrogen Attack를 야기하기 위해 필요한 응력은 용접물에 한정되지는 않는다.
- Hydrogen Attack는 Fillet Weld의 끝에서 시작하여 용접의 HAZ을 따라 진전되는 피로 균열의 끝에서 집중한다는 것이 발견되었다.
- 이 경우를 보면 Hydrogen을 포함하는 Process Stream이 피로 균열 내로 들어가서 Crack 끝 주위에 Fissuring을 야기시켰다. (Fig 4.4.3.4)
- 심한 Hydrogen Attack의 결과 Blisters와 Laminations이 생기게 할 수 있다. (Fig 4.4.3.5)
- 이것은 Hydrogen Attack의 발전된 단계이며 Steel의 횡단면 전체에 걸쳐서 완전한 탈탄을 수반한다.

3)Prevention of Hydrogen Attack (방지책)

- Hydrogen Attack을 방지하기 위한 유일한 방법은 Plant 경험을 근거로 이러한 분위기에서 견디는 Steels 만을 사용하는 것이다.
- 다음은 Hydrogen Attack에 일반적으로 적용할 수 있는 대책이다.
- Chromium과 Molybdenum 같은 Carbide 형성 합금 원소는 Steel의 Hydrogen Attack에 대한 Resistance를 증가 시킨다.
- 증가된 Carbon Content은 Steel의 Hydrogen Attack에 대한 저항을 감소시킨다.
- Heat-Affected Zones은 Base Metal이나 Weld Metal보다 Hydrogen Attack가 더 일어나기 쉽다.
- 대부분의 정유 및 석유화학 공장에서는 Hydrogen Attack을 방지하기 위해 Chromium과 Molybdenum을 포함하는 저합금강이 사용된다.
- 그러나, 최근에 C-0.5 Mo Steel이 장기간 Hydrogen에 노출되었을 때 균열이 발생했으므로 새로운 Construction을 위해서는 이 합금 보다 우수한 저합금강을 사용하도록 권한다.
- 고온 Hydrogen Service에 사용되는 여러 Steels에 대한 Limitation 이 API 941(Nelson Curve) 에 나타내었다.
- 그 Nelson Curves는 Laboratory 연구라기 보다는 오히려 장기간에 걸친 Refinery Experience을 근거로 한 것이다. (Fig 4.4.3.6)
- 이들 Hydrogen 분위기에서 사용하는 Materials을 선정할 때는 가장 최근의 API 941 Code를 사용해야만 한다.
- Hydrogen Attack이외에, Carbon Steel과 Low-Alloy Steel 용접부 재가 약 260°C (500°F) 이상의 Hydrogen Service에서 Hydrogen Stress Cracking 이 일어날 수 있다. Cracking은 결정입계를 따라 형성된다.
- Equipment가 Shutdown되기 전에 감압되어 Cooling될 때 적당한 Hydrogen Outgasing 절차가 있어야 한다.
- 12% 이상의 Chromium을 포함하는 Stainless Steel은 특히 Austenitic Stainless Steel은 Hydrogen Attack에 강하다.

(3)Hydrogen Blistering and Stepwise Cracking (HIC)

- Hydrogen Blistering은 주로 Catalytic Cracking Units의 Vapor

답 변

Recovery (Light Ends) Section에서 문제가 되어 왔으며, Hydrotreating Unit와Hydrocracking Unit에서 Reactor Effluent Section의 저온 Areas에서도 약간의 문제가 있었다.

- Hydrogen Blistering은 또한 Sour Water Stripper Towers와 Amine Regenerator (Stripper) Towers의 Overhead System과 Amine Contactor (Absorber) Towers의 Bottom에서도 나타났다.
- Fig 4.4.3.7은 HIC의 부식 기구와 Steel에서의 그 대책을 도시화한 것이다.
- Fig 4.4.3.8에 Catalytic Cracking Unit의 Absorber/Stripper Tower 내에서 보여준 Hydrogen Blistering의 예를 나타내었다.
- Fig 4.4.3.9는 Anhydrous HF를 저장하기 위해 사용된 Steel Plate에서의 Hydrogen Blister를 보여 주고 있으며, 그림 (b)는 Hydrogen Blister의 가장자리에서 Step-Wise Cracking이 일어났음을 보여주고 있다.
- Blister 그 자체 내에 Hydrogen 입력이 Build up 되면 Blister의 가장자리에서 Blister가 진전되어 Stepwise Cracking이 나타난다.
- Hydrogen Blistering은 종종 Aqueous Sulfide 부식의 결과로서 야기되는 Hydrogen Embrittlement를 수반한다.
- Hydrogen Blistering의 심각성은 부식의 심각성에 좌우되지만 비록 부식율이 낮더라도 충분한 수소가 있다면 광범위한 Damage를 야기시킬 수 있다.
- 여러 경우에 Hydrogen Blistering은 Slag 개재물이나 Laminations을 갖는 Dirty Steel에 한정된다.
- Equipment의 Vapor/Liquid Interface Areas에서도 나타나는데 아마도 Ammonia, H₂S, Hydrogen Cyanide가 얇은 Water 막내에 또는 이들 Areas에 모인 물방울 내에 용접하기 때문일 것이다.
- Catalytic Cracking Units의 여러 Vapor Compression Stages에서의 Corrosion과 Hydrogen Blistering을 줄이기 위한 기본적인 Approach는 Water Condensate내에 있는 Cyanide와 Bisulfide Ions의 농도를 감소시키는 것이다.
- Corrosion Inhibitor 주입과 더불어 Compressed Wet-Gas Streams의 Water Washing이 아주 효과적이며 Water Washing은 Cyanides의 농도를 줄인다.
- 용존 고형물과 현탁 고형물이 Compressor After Colders를 오염시키지 못하도록 Boiler Feed Water나 Steam Condensate 같은 양질의 Water가 주입되어야 한다.
- Hydrotreating Unit와 Hydrocracking Unit의 어떤 Components에 한정된 Hydrogen Blistering이 일어나는 곳에, 이런 영향을 받은 Area를 Stainless Steel이나 Alloy 400 (N04400) 등으로 Lining한다.
- 이것은 또한 Sour Water Stripper Towers와 Amine Regenerator (Stripper) Towers나 Amine Contactor(Absorber) Towers의 Overhead Systems에 있는 Components에도 적용된다.

(4)Stress Oriented Hydrogen Induced Cracking (SOHIC, 수소응력균열)

- Hydrogen Sulfide (H₂S)를 함유하는 Sour Water는 Bolting과 Compressor Rotors 같은 크게 응력을 받는 고강도 Steel Components의 자발적인 Cracking을 야기시킬 수 있다.
- Cracking은 또한 단단한 용접부재를 포함하고 있는 Carbon Steel Components에서 일어났다.
- Cracking은 일반적으로 Transgranular (입내) cracking형태이며, Sulfide Corrosion 생성물을 내포하고 있을 것이다. (Fig 4.4.3.10 &

4.4.3.11)

-이러한 Type의 Cracking을 Hydrogen Stress Cracking 또는 Sulfide Cracking으로 알려져 왔으며, Hydrogen-Induced Stepwise Cracking과 혼동해서는 안된다.

-Hydrogen Stress Cracking은 정유공장과 석유화학공장에서 Gas Compressors 내의 고강도 Bolting과 다른 여러 Components를 필요로 하는 High-Pressure Process가 Introduction 되므로 해서 알려지게 되었다.

-Pressure Vessel Construction에서 Submerged Arc Welding의 사용이 증대됨으로써, 이들 용접, 부착물 (Weld Deposits) 이 Base Metal 보다 아주 단단해서 이 용접 부착물 내에 Transverse Cracking (횡균열)*을 일으킨다.

-일반적으로, Hydrogen Stress Cracking은 Hydrogen Embrittlement를 일으키게 하는 분위기와 같은 Corrosive Environments에서 발생한다

-대략적으로 Hydrogen Stress Cracking은 Aqueous 용액 내에서 50 PPM 이상의 Hydrogen Sulfide (H₂S) (가끔 더 낮은 농도에서도 일어나기도 하지만)를 포함하는 Process Streams에서 일어난다고 생각할 수 있다.

-Hydrogen Stress Cracking은 주로 대기 온도에서 일어난다.

-정유공장과 석유화학공장에서 Hydrogen Embrittlement, Hydrogen Blistering, Hydrogen Stress Cracking은 종종 Cyanides를 필요로 한다.

-가장 효과적으로 Hydrogen Stress Cracking을 방지하는 방법은 강이 적당한 야금학적인 Condition 상태에 있는 것이다. 이것은 용접 Hardness는 200HB로 제한되어야 한다는 것을 의미한다.

-용접부재의 HAZ (Heat-Affected Zone)과 Hot Forming(열간성형)으로 만든 Shell Plates에 Hard Zones이 형성되므로 이들 Areas에 같은 Hardness Limitation이 적용된다.

*횡균열 (Transverse Crack) : 용접 비이드 또는 용접의 진행 방향에 대하여 직각 방향으로 발생하는 균열이며 일반적으로 용접 시에 생기는 수축 응력 때문에 일어난다.

-정유공장과 석유화학공장에서 일어나는 Hydrogen Stress Cracking에 대한 Guide-lines을 API 942와 NACE RP 0472에 나타내었다.

-제작된 Equipment를 PWHT를 함으로써 Hydrogen Stress Cracking의 발생을 크게 줄일 것이다. 두 가지의 효과가 있는데, 첫째로, 어떤 단단한 Micro Structure 상에 620°C (1150°F)로 가열하여 Tempering (뜨임)하는 효과가 있다. 둘째로, Welding이나 Forming으로 인한 잔류 응력을 감소시키는 효과가 있다.

-Stainless Steels를 포함하여 많은 Ferrous Alloys과 어떤 Nonferrous Alloys은 hydrogen Stress Cracking이 일어나기 쉽다.

-Carbon Steels과 Low-Alloys Steels이 인장강도가 620 Mpa (90 ksi)를 초과할 때 cracking 이 일어날 수 있다.

-Hardness와 Strength 사이에 밀접한 관련이 있으므로 위의 강도 Level은 200HB Hardness 한계를 갖는다.

-주로 Oil Field Equipment에 사용된 그 밖의 다른 Ferrous와 Nonferrous 합금의 경도와 열처리에 대해서 NACE MR-01-75에 나타내었다. 비록 Oil Field 분위기가 Refining 분위기 보다 더 심각하지만, 그 Recommendations는 재료 선정을 위한 일반적인 Guide로 사용될 수 있다.

※ NACE MR0175 (SSC) 와 NACE Publ. 8X193 (HIC)의 요구사항과

국내외 현황

(1) Wet Sour Service 의 정의

1) 개요: Well (Oil Production) 및 정유, 석유화학공정에서 Wet H₂S (HF acid 는 시너지 효과)에 의해 Crack등의 손상이 예상되는 Service를 말한다. Wet sour service의 경우 수소취성, HIC, SSCC, SOHIC 등이 동시에 복합적으로 발생한다. NACE MR0175는 처음 Well을 중심으로 규정한 Code이나 근래에는 정유 및 석유화학공정에서도 적용해 왔다. 그러나 1998 Edition부터는 Refinery 와 Petrochemical 에는 적용할 필요가 없는 것으로 개정되었다.

2) NACE MR 0175 Materail Requirements – Sulfide Stress Cracking Resistant Metallic Materials for Oilfield Equipment의 주요내용(HIC에 대해서는 적용 안됨)

① Sour Gas Service

(가) 적용범위: 모두 만족시

- Liquid Water 존재
- Total Pressure ≥ 65 Psia (0.45 Mpa)
- Gas상 내에 H₂S Partial Pressure > 0.05 psia (0.34 kPa)

(나) 규격요구사항

- 경도 규정 (Carbon steel의 경우, max. 22HRC 와 규정열처리 요구)

② Sour Oil and Gas Service

(가) 적용범위 - 다음의 경우를 제외한 모든 경우에 적용

- Gas / Oil $\leq 5,000$ SCF bbl (barrel of oil)
- Gas상에서 최대 15% H₂S 함유
- Total Pressure ≤ 265 Psia (1.8 Mpa)
- Gas상 내에 H₂S Partial Pressure ≤ 10 psia (0.07 MPa)

(나) 규격요구사항: 경도 규정 (Carbon steel의 경우, max. 22HRC 와 규정열처리 요구)

3) Wet Sour Service종류별 적용규정

① Low Risk Service: max. Design Pressure < 65 Psia (0.45 Mpa) 인 경우 - 단 Fluid catalytic cracking 또는 Delayed coker unit에서는 이경우라도 아래의 Simple Wet Sour Service로 분류함. (∵CN-↑)

; 아무런 추가 요구사항이 없다.

② Simple Wet Sour Service: max. Design Pressure ≥ 65 Psia (0.45 Mpa)이고 Crack inducing agents나 Cathodic poisons (CN- 등)이 존재하지 않는 경우

※ 요구사항

- 모든 용접부, HAZ부 및 모재부에 경도 조절 (하향)이 요구됨
- NACE MR0175외에도 Carbon steel의 용접부 경도는 NACE RP0472가 적용됨.
- PWHT는 일반적으로 요구되지 않으나 1~2 pass의 얇은 용접층 (예, 열교환기의 Tube to Tubesheet 부)에는 요구되기도 한다. Air-hardening한 Cr-Mo강은 모두 PWHT가 요구된다.

③ Severe Wet Sour Service: Total Pressure ≥ 65 Psia (0.45 Mpa) 이고 Crack inducing agents나 Cathodic poisons (CN- 등)이 존재하는 경우

※ Crack inducing agents나 Cathodic poisons

- wet sour liquid petroleum 또는 natural gas liquids
- Hydrotreaters and Hydrocracking units의 high pressure

separation systems downstream

- Amines 포함
- 탄소강 내에 발생기 수소의 농도가 증가하는 경우
- 활성부식분위기에서 어느정도 방지효과를 갖는 FeS막의 안정도가 wet H₂S, Erosion, Chemical Cleaning등에 의해 파괴시
- CN- 20 ppmw 초과시
- 고농도 Sulfide를 형성(예, NH₄HS)하는 salt forming cation (예, NH₃)을 포함시
- Systems in cyclic service
- ※ 요구사항
- 모든 용접부, HAZ부 및 모재부에 경도 제한
- NACE MR0175외에도 Carbon steel의 용접부 경도는 NACE RP0472가 적용
- PWHT는 carbon steel and low alloys steel (Cr-Mo)에 대해 모두 요구된다.
- Plate및 Plate로 만든 소재는 다음의 사항이 추가로 요구된다.
- Welded pipe는 길이어음부에 Normalizing이 요구된다.
- Fully killed 및 Fine grain practice가 요구된다.
- HIC resistance steel이 요구된다.

(2) HIC Resistant Steel

1) 정의: 수소 손상중 Hydrogen Blistering과 Stepwise Cracking을 억제할 수 있는 재료

2) HIC의 야금적 특성:

- ① 연속 주조된 Slab는 단속 주조보다 편석이 적어 HIC가 적게 발생한다.
- ② Controlled rolled plate는 일반강보다 낮은 온도인 705~900℃에서 압연하므로 MnS와 같은 편석이 정상조직보다 softer 하고 쉽게 납작해지므로 HIC의 원천을 훨씬 잘 제공한다.
- ③ Wet H₂S가 강의 표면을 부식시키면서 발생기 수소가 발생하여 이들이 강의 표면으로 확산해 들어간다.
- ④ 이들 비금속 개재물은 확산하는 수소가 H₂ gas 로 재결합하는 촉매 장소로 제공된다.
- ⑤ 용접부의 이들 편석은 대개 구상화되기 때문에 발생기 수소의 정착 Site가 되기 힘들므로 모재보다 HIC에 훨씬 덜 민감하다.
- ⑥ 연속 주조 Strand로 만든 판재는 연속주조동안 Strand의 중심부 위에서 S와 같은 불순물이 잘 편석되기 때문에 HIC가 쉽게 발생할 수 있다. HIC control에 경험이 없는 Mill maker가 오류를 범하기 쉽다.

3) 적용기준

- ① 화학 조성만 조절하는 경우
 - $S \leq 0.002 \sim 0.005\%$
 - $P \leq 0.015 \sim 0.020\%$
 - $1.5 \leq Ca/S \leq 4.0$
 - Si Killed Steel (Al은 HIC에 민감함)
- ② HIC Test 를 실시하는
 - Stepwise Cracking Test : NACE TM 0284
 - Solution : NACE TM 0177
- ③ 추가 사항
 - 형광 습식 Test 요구
 - Max. BHN 200
 - PWHT
 - $O_2 \leq 0.002\%$
- ④ 적용 재료 한계 (일반 탄소강에만 적용)

- 모든 C.S(탄소강) 중 Plate에만 실시
- C.S Welded Pipe에만 실시 - 즉 Seamless pipe, Casting, Forging류에는 적용하지 않음
- 4) 기타
 - ① 국내 제조 (HIC Test 요구시) - 단, pH 3 용액에서의 HIT Test에 대한 보증은 못하고 있는 실정임. 이하는 pH 4이상에서의 생산 능력을 검토한 것임.
 - Plate ; Posco '1995초부터 개발하여 현재20t이하에 대해 생산 가능
 - Pipe ;부산 Pipe, 현대 강관등에서 실험은 완료 되었으나 시제품은 아직 국제 경쟁력을 확보하지 못하고 있음.
 - ② 해외 제조 (HIC Test 요구시) : 모두 가능
 - ③ Non-HIC Test와 비교한 영향
 - 납기 : 2~3 개월 지연
 - 금액 : 40% 정도 상승
 - ④ 용접봉 ~ 일반 용접봉 사용