

300계열 스테레스강의 내식성

D. W. McDowell and C. R. Mayne

장 현 구* 역

많은 경우에 있어서 바람직스러운 물리적 및 기계적 특성을 오스테나이트 스테레스강이 갖고 있다는 사실이 그 용도를 결정해 주는 것이겠지만, 현대식 건조물의 재료들이 접하는 대부분의 환경에서 잘 견딜 수 있는 능력을 지니고 있다는 것이 오스테나이트 스테레스강의 가장 중요한 성질이라는 점도 일반적으로 잘 알려진 사실이다.

스테레스강은 보통의 강이나 대부분의 비철금속 및 합금에 대하여 가장 해로운 산화성 조건하에서 제일 좋은 내식성을 보이는 특히 유용한 특성을 갖고 있다. 또한 가장 일반적으로 마주치는 환경 즉 대기중에서의 부식에 완전히 견디는 실용적인 내식성을 보여주기 때문에 대단히 의미있는 것이다. 이들 합금은 대기중에서 노출당할 때에 구조상의 손상을 받지 않을 뿐만 아니라, 그 이롭이 설명하는 바와 같이 본래의 광택나는 외관을 오랜 기간동안 그대로 유지한다.

스테레스강의 부식에 영향을 미치는 몇가지 인자들에 대하여 논의하여 보기로 한다.

I. 스테레스강의 부식에 영향을 미치는 인자들

1. 열적 환경의 영향

800~1,650°F 사이의 온도에서 어느 정도의 시간동안 가열되었을 때 어떤 스테레스강의 오스테나이트 조직은 변화를 받아, 많은 부식성 물질에 노출시 입계부식(粒界腐蝕 intergranular corrosion)에 민감하게 된다. 침식이 있는 후 강은 완전히 이상 없는 것 같이 보이지만 좀 더 세부적으로 조사하여 보면 강도가 낮아진 것을 알 수 있을 것이다. 그 온도 범위에서 오스테나이트의 불안정성은 크롬산화물이나 다른 크롬화합물을 석출시키기 때문에 입계에 이웃한 장소의 크롬함량을 감소시키게 된다. 크롬함량이 낮아진 이 장소는 부식에 못 견디며 때문에 입계를 따라 부식이 일어난다.

Standard Wrought Austenitic Stainless Steels
(American Iron and Steel Institute Designations; April 1955)

Type	Carbon	Cr	Ni	Other Elements (b)	S. A. E. (c)
301	0.15 max.	16.0-18.0	6.0- 8.0		30301
302	0.15 max.	17.0-19.0	8.0-10.0		30302
302B	0.15 max.	17.0-19.0	8.0-10.0	Si 2.00-3.00	
303	0.15 max.	17.0-19.0	8.0-10.0	{S 0.15 min., P 0.20 max. {Mo or Zr 0.60 max.	30303F
303Se	0.15 max.	17.0-19.0	8.0-10.0	{Se 0.15 min., P 0.20 {max., S 0.06 max.	
304	0.08 max.	18.0-20.0	8.0-12.0		30304
304L	0.03 max.	18.0-20.0	8.0-12.0		
305	0.12 max.	17.0-19.0	10.0-13.0		30305
308	0.08 max.	19.0-21.0	10.0-12.0		
309	0.20 max.	22.0-24.0	12.0-15.0		30309
309S	0.08 max.	22.0-24.0	12.0-15.0		
310	0.25 max.	24.0-26.0	19.0-22.0	Si 1.50 max.	30310
310S	0.08 max.	24.0-26.0	19.0-22.0	Si 1.50 max.	
314	0.25 max.	23.0-26.0	19.0-22.0	Si 1.50-3.00	
316	0.08 max.	16.0-18.0	10.0-14.0	Mo 2.00-3.00	30316

*成均館大學校 理工大 金屬工學科

316L	0.03 max.	16.0-18.0	10.0-14.0	Mo 2.00-3.00	
317	0.08 max.	18.0-20.0	11.0-15.0	Mo 3.00-4.00	30317
321	0.08 max.	17.0-19.0	9.0-12.0	Ti is 5×C (min.)	30321
322	0.12 max.	16.0-18.0	6.0- 8.0	Ti 1.00; Al 1.00	
325	0.25 max.	7.0-10.0	19.0-23.0	Cu 1.00-1.50	30325
347	0.08 max.	17.0-19.0	9.0-13.0	Cb-Ta is 10×C (min.)	30347
348	0.08 max.	17.0-19.0	9.0-13.0	{Cb-Ta is 10×C {(min.), Ta 0.10 max.	

Notes on Wrought Steels

(a) All composition ranges are based on ladle analysis. Standard permissible variations from specified chemical ranges or limits for check analysis are shown in Section 24, Steel Products Manual.

(b) Manganese: 2.00 max. in all 300 types except S. A. E. 30325 which has 0.60 to 0.90, and S. A. E. 30347 which has 2.50 max.; 1.00 max. in all 400 and 500 types except 416, 416Se, 430F, 430FSe (1.25 max.) and 446 (1.50 max.). Manganese in S. A. E. 51420F and 51440F is 1.25 max. Silicon: 1.00 max. in all types except 302B (2.00 to 3.00), 310 and 310S

(1.50 max.), 314 (1.5 to 3.0), and 403 (0.50 max.) Silicon in S. A. E. 30321 and 30347 is 1.50 max. and in 30325 is 1.00 to 2.00. Phosphorus is 0.045 max. in all the 300 series except 303 and 303Se, and 0.040 max. in all other types except 416, 416Se, 430F, and 430FSe. Sulfur is 0.030 max. in all types except 303, 303Se, 416, 416Se, 430F, and 430FSe.

(c) S. A. E. composition limits as of January 1952 may be slightly different from the A. I. S. I. analyses quoted.

크롬-니켈만으로 되어 있는 오스테나이트강에 대한 용접작업은 또한 위에서 언급한 바와 동일한 민감조건에서 용접시에 용접부의 이웃 면적에 민감화된 장소를 남기게 된다.

본래의 고내식성 크롬-니켈 오스테나이트 스테레스강은 손상을 가져올 수 있는 열적 환경에 노출시킨 후에 부식성 물질에 노출시키지 않았다면 본래의 내식성으로 복원시킬 수 있다. 1,850~2,050°F로 가열하여 소둔시킨 후 민감한 열적 영역을 급냉시키면 이 목적에 충분하게 된다.

니켈을 함유한 스테레스강은 특히 좋은 내식성을 갖고, 그리고 사실 이런 특성이 주로 배려되어 재료를 선택하게 되기 때문에 이 강좌에서는 이 합금들의 내식성에 대하여 다룰 것이다.

2. 냉간 가공의 영향

냉간가공 작업과 냉간압연은 일반적으로 내식성을 감소시키지 않는다. 결산에 의한 부식에 있어서 충분히 소둔된 스테레스강과 동일한 재료를 심하게 냉간가공한 스테레스강 사이에 약간의 차이가 주목되고 있다. 반면에 냉간가공은 때때로 스테레스강의 공식(pitting)을 촉진시키는 용액들에서는 공식을 증가시킨다고 보고 되어왔다.

염화물 용액이 특히 그러하며 노출 표면이 인장력을 받고 있다면 뜨거운 농축 용액에서는 또한 응력부식균열을 촉진시킬 수 있다. 응력부식균열을 일으키는 것

으로 관측된 몇가지 전형적인 용액을 예로 들면 Table 1과 같다. 다른 화학약품을 포함하는 경우는 다만 아주 드물게 보고되어 있다.

다른 합금원소들의 첨가는 응력부식균열을 감소시키는데 거의 소용이 없다. 500~800°F에서의 저온 응력 제거 소둔처리가 평상시 환경에서의 균열을 피하는데 적합하다고 하더라도 이와같은 소둔은 Table 1에 기재되어 있는 것과 같은 심한 응력부식균열을 일으키는 것으로 알려진 특정 환경에서의 균열을 방지하지는 못할 것이다. 이와같은 심한 노출조건에 대하여는 선제

Table 1. Some Chloride Solutions Which Cause Stress Corrosion Cracking of Stainless Steels

Salt	Concentration, % by Weight	Temperature, °F
Ammonium Chloride	30%	Boiling
Calcium Chloride	37%	Boiling
Cobalt Chloride	Saturated	212
Lithium Chloride	30%	Boiling
Magnesium Chloride	40 (pH-4)	220
Magnesium Chloride	60 (pH-4.4)	240
Magnesium Chloride	42	310
Mercuric Chloride	10	Boiling
Sodium Chloride	Saturated	212
Zinc Chloride	54	Boiling

로 내부 응력을 완전히 제거시킬 필요가 있다.

이렇게 할려면 훨씬 높은 온도에서 소둔할 필요가 있으며 표에 기재된 매체에 대하여는 소둔온도는 1,600 °F를 넘어야 한다.

3. 부식성 물질

스텐레스강과 같은 부동태 금속들이 부식될 때에는 부식은 부동태가 파괴된 장소에서 발생한다. 이것은 아주 좁은 면적에서 일어날 수 있으며 공식 표면을 이루게 된다. 일단 국부점에서 부동태가 상실되기만 하면 그 장소는 나머지 부동태 표면에 대하여 양극으로 될 것이다. 이들 활성양극 면적이 공식으로 점차 발전하는 것은 좁은 양극 면적과 공식 외측의 넓은 음극면적 사이에 흐르는 전해 전류에 의하여 결정될 것이다.

몇가지 산화제는 넓은 음극면적을 消極(depolarize)시키는 역할을 하여 공식속도를 촉진시킨다.

정지된 용액중에서의 산소, 염화제 2철, hypochlorous acid 및 염화제 2은은 공식을 촉진시키는 전형적인 산화제이다. 반면에 몇몇 산화제는 스텐레스강상의 국부면적의 부동태 해소를 방지하여 부식을 예방할 것이다. 질산염이나 크롬산염이 이들 그룹의 좋은 예들이다.

공식에 있어서 공존산소의 역할은 다른 양상을 취하는 것 같다. 산소가 완전히 존재하지 않을 때나 다른 산화제하에서 음극면적은 소극되지 않을 것이며, pit의 발생은 저지될 것이다. 만일 산소가 작은 양 존재한다면 그리고 부식성 용액이 정지하여 있다면 부동태는 전체 표면에 걸쳐 보존되지 못하여 pit가 발생할 수 있다.

충분한 공기공급(통기: aeration)은 어떤 경우에는 전표면에 걸친 보호성 부동태 피막을 유지하는데 충분한 산소농도를 공급하여 pit는 발생하지 않을 것이다. 그리하여 충분한 통기와 적당한 유속이나 攪流(turbulence)는 (예를 들어 황산 중에서) 적당한 산소공급을 유지하는데 유용하다.

어떤 종류의 부스러기가 스텐레스강 장치의 표면에 쌓이도록 허용된다면 이것은 덮인 부분에 산소 접근을 막아 감소된 산소농도 때문에 이러한 위치에서 pit가 발생할 수 있다. 조개류나 탱크 밑바닥에 가라앉은 찌꺼기, 노출된 표면에 쌓인 먼지와 가열된 유기 화합물들로부터의 탄소적점물들은 스텐레스강 부식에 있어서 이와같은 원천에 속하는 전형적인 예들이다.

4. 틈부식

스텐레스강 장비의 설계에 있어서 틈이나 깊은 구석을 이루는 모든 형체와 연결부들은 피하여야 한다. 그렇지 않으면 산소는 틈이 있는 먼 지역까지 쉽게 접근하지 못하여 장치의 노출된 통기 지역에 대하여 다소

간 양극으로 될 수가 있다. 따라서 부식은 틈에서 진행되며 어떤 경우에는 심하게 된다.

스텐레스강에서 이와같은 형태의 부식은 틈 부분을 완전히 봉입(封入)한다거나 이들을 제거시키도록 설계를 변경하므로써 없애버리거나 최소로 감소시킬 수 있다.

5. 유전쌍 (Galvanic Couples)

여러가지 재료들로서 조립하도록 장비를 설계할 때에는 반드시 사용 가능한 유전쌍(galvanic couple)들을 고려해야 한다.

스텐레스강은 항상 다른 합금들에 비하여 음극성이지만 그 전위는 이 강이 활성상태인가, 부동태상태인가에 따라서 넓은 범위의 값으로 변한다.

304형 스텐레스강이 해수중에 놓이면 전극 전위는 +0.5로부터 -0.28 Volt vs SCE(포화감홍 전극에 대하여)까지의 값을 보인다. 따라서 오스테나이트 스텐레스강은 보통의 강이나 알루미늄과 같은 대부분의 일반 구조용 합금들에 대하여 음극성을 갖는 것으로 예상할 수 있다. 통상 이런 사실은 스텐레스강이 음극방식을 받기 때문에 정규적인 부식률보다 부식률이 감소함을 의미한다. 반면에 장비를 구성하는 덜 귀한 합금은 스텐레스강의 면적에 비하여 넓은 면적을 갖거나 부식성 용액의 전도도가 알맞은 값이라면 심하게 침식받지 않을 것이다.

6. 니켈, 크롬 이외의 원소의 영향

1) 탄소, 티탄 및 콜롬비움

탄소함량의 증가는 스텐레스강의 입계침식에 대한 민감도를 증가시키는 경향을 보인다. 탄소함량을 최대 0.03%로 유지시키는 것이 용접과 응력저기 열처리를 통한 민감화를 피하는데 충분하지만, 민감화온도 범위에서 계속적으로 사용하기 위하여는 더욱 감소시켜 최대 0.02%로 해주는 것이 필요하다.

티탄을 탄소함량의 4~6배, 콜롬비움을 8~16배 첨가시키는 것이 입계부식에 대한 민감도에 관련된 변화를 크게 억제시킨다. 이들 원소들은 크롬보다 더욱 쉽게 탄화물을 형성하여 입계를 따라서 일어나는 크롬의 결핍(depletion)을 줄여준다. 321 및 347형 스텐레스강은 용접조립을 해야 되고 소둔(annealing)이 실용될 수 없는 경우에 유리하다. 티탄은 용접 온도에서 기체와 반응성이 크므로 용접하는 도중에 그 일부가 손실당한다. 반응성이 덜한 콜롬비움을 함유하고 있는 347형 스텐레스강은 통상 용접용 재료로서 이와같은 용도에 사용된다.

2) 규소, 망간 및 질소

스텐레스강 중에 존재하는 규소는 탈산에 요구되는 양 이상으로 첨가된 경우에 있어서는 질산에 대한 내

식성을 약간 감소시킨다. 망간은 질산에 대한 내식성에 거의 영향이 없다. 합금중 질소 함량도 또한 부식율에 거의 영향을 주지 않는다.

3) 몰리브덴

염화물 용액중에서 가장 자주 발생하는 孔蝕(pitting corrosion)은 스텐레스강에 몰리브덴을 2~3%로 첨가하므로 덜 심하게 된다. 몰리브덴 첨가는 또한 아황산, 황산, 인산, 개미산 및 몇몇 뜨거운 유기산들과 같은 매체중에서 오스테나이트 스텐레스강의 부식을 줄여주는 특수한 효과를 보여 준다. 이 몰리브덴을 함유하는 스텐레스강에 오스테나이트 구조를 유지시켜 주기 위하여 니켈 함량이 8~10%로 증가시킨 것이 302형이고 10~14%로 증가시킨 것이 316형 스텐레스강이다.

4) 구리

더욱 높은 합금함량을 갖는 오스테나이트 스텐레스강에 구리를 첨가하면 황산중에서의 내식성은 크게 개선된다. 그 결과 여러가지 수 많은 종류의구리를 함유하는 오스테나이트 스텐레스강들이 개발되어 단순한 크롬-니켈 스텐레스강으로서의 경제적으로 사용할 수 없는 농도 및 온도의 황산을 다루는 등의 문제를 포함한 공장에서의 실제 문제들을 해결하여 주고 있다. 이들 합금들에 대하여는 무기산의 부식에 관한 절에서 더욱 자세하게 논의할 것이다.

II. 스텐레스강 장치의 설계

스텐레스강을 사용하여 장치를 조립 건설하는데 선택하여 채용하는 몇가지 기준들을 부식의 관점에서 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 용역에 적합한 합금을 선택할 것.

부식조건이 혹심한 경우에는 몰리브덴 합금인 AISI 316이나 317형, 더욱 높은 합금 함량을 갖는 310형이나 몰리브덴을 함유하고, 니켈, 크롬을 개별적으로 또는 함께 초과량을 넣은 복합 합금들을 사용할 필요가 있다.

2) 용접이나 응력제거 소둔을 하기 위하여 가열하는 경우에는 민감화가 일어나는데 이 민감화 현상은 안정화된 조성이나 각별히 낮은 탄소 조성의 스텐레스강을 사용하여 피할 수 있다.

좀 바람직하지 않은 단계이지만 민감화가 일어났으면 적절한 열처리를 수행하여 이와같은 민감화를 제거시키기도 한다.

3) 파괴적인 부식의 근원으로 될 수 있는 틈과 모가 난 구석이나 우묵한 곳을 피할 것. 만일 틈을 형성하는 적합부가 어쩔 수 없이 허용되어야 한다면 이 틈들

을 봉입(封入)하기 위하여 보호성의 화합물(와셀린이름)을 사용한다거나 용접을 한다거나, 신빙성은 떨어지지만 가용성담납으로 때우도록 노력해야 한다.

4) 가능하다면 부식성 매체들을 잘 통기시키고 교환시켜서 침적물이 금속표면상에 쌓이지 않도록 해주어야 한다. 표면 처리가 평활하게 되어 있을수록 이들 침적물을 피하거나 제거시키기 용이할 것이다.

5) 폐쇄된 순환계에서는 염화물과 같은 활성화학약품의 영향을 극복하기 위하여 크롬산이나 질산과 같은 산화성 억제제를 첨가하라.

6) 가공에 관련하여 인장응력을 가두어 넣지 않도록 할 것. 그렇지 않으면 응력제거소둔을 행하여 응력을 제거해 낼 것. 특히 부식성매체가 응력 부식균열을 일으킬 수 있는 것일 때에는 더욱 그러하다.

7) 표면을 깨끗하고 평활하게 해 줄 것. 질산을 사용하여 스케일을 제거시키고, 탄소침적물들은 태우지 말고 기계적으로 연마하여 제거시킬 것. 태우면 탄소를 잡아 들여(pick-up) 그에 따른 민감화가 일어난다. 건축물과 장식물의 표면은 부드러운 걸레로 닦아내야 된다.

보통의 강섬유(steel wool)는 사용하지 말아야 한다. 왜냐하면 그것은 표면을 녹은 철입자로 오염시키고 손상시키기 때문이다. 스텐레스강 섬유를 사용하면 탄축 스텐레스강에 심한 침적물들을 제거시킬 수 있다.

III. 여러 환경에서의 스텐레스강의 부식

수없이 많은 종류의 부식성 물질과 환경들에 처하여 있는 스텐레스강이 받는 부식거동에 대하여 하나하나 완전히 기술한다는 것은 실용적이 되지 못한다.

반면에 부식성 환경을 몇 가지 일반적인 종류로 나누어서, 이들 각각의 환경중에 놓인 오스테나이트 스텐레스강의 거동에 대하여 특징을 보여주는 몇가지 적합한 자료들을 종합하여 보기로 한다.

1. 비교할 수 있는 부식자료를 얻는 법

부식자료를 얻는데 가장 흔히 쓰는 방법의 하나가 부식시험용스풀(corrosion test spool)인 것이다. 이 스푼에는 여러가지 합금과 조성을 갖는 금속이 설치되어 정보를 필요로 하는 환경 중에 끼워 넣도록 되어 있다. 이 방법은 실험실에서 사용될 수 있으나 더욱 빈번히 재료가 쓰일 실제 사용 조건이나 대기중에서 수행된다. 적당한 노출기간 후에 실패를 옮겨와 조사하게 된다. 자료를 수집하는데 이 방법을 쓰는 것은 널리 찬성을 받고 있으며, 실제로 공장 기사나 부식기사는 자주 "이것은 부식 자료를 얻는데 추측에 지나지 않는다."라고 말한다.

2. 대기 부식

①공업지대

스텐레스강의 가장 분명한 특성은 실내뿐만 아니라 실외에서도 대기중에 장시간 노출시켜 줄 때 본질적으로 외관이 변하지 않은 채 유지될 수 있다는 것이다.

길 모퉁이의 음료수 집이나 요리점에서 쉽게 관찰할 수 있는 바와 같이 스텐레스강은 최소한의 노력으로 소다수통, 카운터와 그외의 장비들을 깨끗하고 광택나게 유지해 주는데 사용된다.

실외에서의 외면 장식을 위하여 스텐레스강을 사용하는 것은 위와같은 특성에 기초를 둔다. 이와같은 목적으로 사용된 것으로 가장 인상적인 것은 뉴욕에 있는 엠파이어 스테이트 빌딩과 클라이슬러 빌딩으로 대단한 관심의 대상이 되어 ASTM(American Society for Testing Materials) 위원회가 지명되어 엄밀하게 검사하였다.

이 위원회의 보고서를 보면 다음과 같다. 뉴욕시의 대단히 부식성이 큰 대기중에 수년동안 노출시킨 18—8 스텐레스강은 대기로부터 침적된 그을음과 먼지의 피막 밑에 실제로 침식당하지 않았고 이러한 부식피막에도 불구하고 아직도 광택있는 외관을 유지한다.

가끔 닦아 주어서 이들 대기중에서 생긴 피막을 제거해 줄 수 있다면 스텐레스강은 처음에 설치해 놓은 당시처럼 빛나는 외관을 유지할 것이다.

대기중에서 크롬—니켈 스텐레스강이 받는 손상은 대단히 경미하여 한층 취약한 재료에서 일반적으로 사용되는 중량 감소측정법과 같은 방법에 의하여 측정하는 것은 실용적이 되지 못한다.

마찬가지로 판상이나 편상으로 생긴 시편을 장기간 동안 노출시켜 둔 후에 인장강도와 전성의 변화를 측정하는 방법은 통상 어떤 조직상의 손상을 밝혀내는데 실패하였다. 예를들어 고장력 302형 스텐레스강 편을 해양분위기에 12개월간 노출시켜 준 후에 인장시험을 하면 강도와 전성은 측정가능한 정도의 손실이 생기지 않았음을 보여 주었다.

10년 동안 뉴욕시의 대기중에 노출시킨 시편에 대한 유사한 시험에서는 인장특성에 어떤 측정할 수 있는 손실이 나타나지 않았다. 심한 냉간가공에 의하여 상당량의 내부응력을 지닌 시편을 대기중에 노출시켜 주어도 응력부식 균열에 대하여 아무런 민감도가 나타나지 않았다. 대기중에 오랜동안 노출시켜 주어도 강도는 물론 외관이 그대로 유지되는 것은 경중량차량, 버스 및 추력 등에 쓰이는 스텐레스강의 용도에 특히 중요하다.

②해양 기후

보통의 18—8 합금 (301, 302, 303, 304, 321 및 347형)은 해양 기후에서는 표면에 녹이 황갈색 피막으로 여기저기 분산된 반점의 형태로 나타나며 이들 피막 밑에 침식이 일어난 형질이 거의 없다. 얼룩은 처음 몇 달 동안 노출시키는 동안 발생하고 그 후에는 더 이상 진행되지 않는 것으로 보인다.

해양기후 중에서 보통의 18—8 합금상의 관측되는 표면 반점은 더욱 합금성분을 높인 309형(조성 25% Cr, 12% Ni)에서 상당히 감소되었고, 310형(25% Cr, 20% Ni)과 316형(18% Cr, 12% Ni, 2~3% Mo) 합금에서는 실제로 나타나지 않았다.

이 중 316형이 다른 합금들보다 약간 우수한 것으로 알려져 있다.

③철망

철사를 콘충망에 사용하는데 있어서는 특이한 조건 때문에 철망은 판형, 편형 또는 각봉형의 금속이 통상 노출되는 경우보다 더욱 더 부식당할 기회가 많다. 콘충망의 부식을 더욱 가중시키는 인자들로서는 항상 부분적으로 차폐되어 있어 태양광선의 건조 작용과 빗물에 의한 세척작용을 받지 못하며, 철사의 교차점 위치에 농담전지를 형성할 기회가 많다는 점이며, 그러므로 여러가지 철망 재료에서의 부식은 빈번히 교차부에서 촉진된다.

이 때문에 아황산가스와 해양 분위기에 과잉의 내식성을 보이는 316형 조성은 가장 큰 실용상의 잇점을 지니고 있다.

이 형의 스텐레스강을 콘충망으로 사용하여 장기간 노출 시험하여 본 결과, 이 강은 다른 스텐레스강을 포함한 금속과 합금들보다도 우수한 특성을 지닌 것으로 입증되었다.

일반적으로 콘충망으로 사용되는 청동과 비교하여 보기 위하여 Table 2에 녹이 안 스는 이 강의 우수성을 실어 놓았다.

스텐레스강 콘충망의 중요한 장점 중의 하나는, 망 밑으로 흘러 내려가 페인트나 치장을 얼룩지게 만드는 가용성 부식생성물을 형성하지 않는다는 점이다.

3. 수중 부식

①중류수

보통의 18—8 스텐레스강은 중류수 중에서는 실제로 침식받지 않은 채 남아 있다. 예를 들어 304형 시편은 응축기로부터 만든 중류수에 1400시간 이상 노출시켰는데 부식률은 다만 0.13mdd로서 0.00002ipy 판통에 불과하였다.

18—8 스텐레스강 시편을 단시간 시험으로 중량 감소를 측정하면 뜨거운 중류수전 찬 중류수전 간에 모

Table 2. Type 316 Stainless Steel and Bronze Insect Screen Tests

Location	Time, Yrs.	Average Loss in Strength, %			
		Bronze		316 Stainless	
		Partly Sheltered	Unsheltered	Partly Sheltered	Unsheltered
Moderate Industrial (Bayonne, N. J.)	2.7	18	20	0	0
	4.6	28	26	0	0
	8.0	100	46	0	0
Heavy Industrial (Steam Railroad Terminal)	2.2	46	31	0	0
	3.8	81a	57	0	0
	4.6	97a	65		
	6.2		91a		
Marine (Block Island)	7.7			0	1
	3.3b	13d	12	0d	3
Rural	3.3c	10d	15	3d	6
	4.8	8	6	0	0

- a. Some wire failures
- b. Facing
- c. Facing seaward
- d. Completely sheltered from rain

Table 3. Typical Results of Tests of Type 304 Stainless Steel in at About 140°F

Location	Duration of Test, Days	Corrosion Rate		Depth Pitting, inches
		mdd.	ipy	
Hollis, L. I.	1555	0.0006	<0.0001	0.001
Pittsburgh, Pa.	466	0.02	<0.0001	0.001
Kingston, N. Y.	1448	0.001	<0.0001	None
Camden, N. J.	830	0.03	<0.0001	None

Table 4. Results of Some Corrosion Tests of Type 302 Stainless Steel in River Waters

River	Duration of Test, Days	Corrosion Rates		Pitting
		mdd.	ipy.	
Allegheny	330	0.006	0.000001	None
Monongahela	338	0.012a	0.000002	None
Monongahela	128b	0.03c	0.000005	None
Potomac (Hagerstown, Maryland)	394b	0.000c	0.000000	None
Mississippi	1095	0.000	0.000000	None

- a. For comparison carbon steel was corroded at a rate of 148 mdd (0.027ipy) in this test.
- b. Tests in hot water in condenser system.
- c. For comparison, Admiralty Brass was corroded at a rate of 75mdd (0.1iy p3) in this test.

두 감소가 없음을 보여준다.

②수도물

여러 지역에서 140°F 정도 되는 뜨거운 수도물에서 장시간동안 시험을 노출시켜 본 결과 18-8 스테레스강은 내식성이 높음을 Table 3에 보여 주었다. 이 물들은 다른 많은 재료들에 대하여는 고약하게 부식성이 강하였다.

일반 18-8형이 대부분의 경우에 있어서 충분하다고 하더라도 비정상적으로 높은 염소이온 농도를 지닌 물에서는 316형의 조성이 유리함을 보인다.

부식성 있는 물에 접촉시켜 사용할 스테레스강 장치를 제조하는데 있어서는 틈안에 국부적인 침식이 일어날 수 있으므로 봉입(封入)안된 틈을 피하여야 한다.

③강물

예상할 수 있는 바와 마찬가지로 스테레스강은 강물에 의한 부식에 거의 완전히 견딘다. 다른 여러가지 합금들에 대하여 대단히 부식성이 큰 monongahela 강물과 같은 경우에 있어서도, Table 4에서 보는 바와 같이 스테레스강은 내식성이 좋다.

강물에 의한 침식에 대한 저항은 상당히 크므로 수압터빈(hydraulic turbine)의 날개에 가끔 당하게 되는 캐비테이션(cavitation) 효과에 따른 극히 심한 마모성이 있는 조건에까지 견디게 된다.

캐비테이션 시험은 크롬-니켈 스테레스강이 Table 5에서와 같이 이런 종류의 손상에 높은 저항을 갖는

Table 5. Results of Cavitation Tests in Fresh Water

Alloy	Form	Brinell Hardness	Cavitation Loss in mm ³ in 16hrs
Type 304 Stainless	Rolled	153	13.9
Type 304 Stainless	Cast	135	11.8
Type 302 Stainless	Rolled	182	3.7
Type 309 Stainless	Rolled	139	8.6
Carbon Steel 0.30% C	Rolled	145	135.0
Carbon Steel 0.33% C	Cast	159	62.4
Cast Iron 3.18% C	Cast	171	636.0

것을 보여 준다.

이들 합금들은 심한 캐비테이션 손상을 받는 강 터빈 날개에 아르용점을 하여 영향받은 부분을 만들어 주어서 날개의 위험 지역에 발생할 수 있는 큰 손상에 대한 특별한 내식성을 보이도록 한 것이다.

④강내수 (坑內水 : mine water)

강내에서 나오는 물은 부식성 성분과 특성에 있어서 심히 차이가 난다.

보통의 재료들에 대하여 가장 부식성이 있는 물은 상당량의 유리(遊離)된 황산에다가 황산제 2철과 황산동과 같은 산화성 금속염(金屬鹽)을 함유하는 것이다.

이들 산화성 성분들의 농도가 약간에 머무르게 되면 보통의 18-8 스텐레스강은 실제로 완전한 내식성을 보일 것이다. 유리 酸度(free acidity)가 높고 산화성 성분의 농도가 낮으면 쉽게 부동태화될 수 있는 316형 조성은 장점을 보일 것이다. 따라서 316강이나 닉켈을 비교적 많이 함유하고 몰리브덴이 있는 더욱 복잡한 합금들은 산성수(酸性水)의 산화성이 분명하지 않거나 넓은 범위로 변동하는 때에 사용하도록 권장된다.

몇가지 자료들을 Table 6에 모아 놓았다.

⑤보일러 수

보일러 수는 통상 보통의 강에 부식성이 심하지 않은 성분으로 되어 있다. 오스테나이트 스텐레스강은 높은 온도와 압력에서 이 물에 영향을 받지 않는다. 예를 들어 316스텐레스강의 시편은 1000psi 압력, 390°F에서 pH 8-8.5인 물을 다루는 공급수 가열기(feed water heater) 내에서 64일 동안 노출시켰는데 부식율은 孔蝕없이 다만 0.00002ipy였다.

침식에 대한 이와 같은 저항 때문에 이 재료는 고압 공급수, 원심펌프(centrifugal pump)에서와 같은 고속의 보일러수와 접촉하고 있는 경우에 까지 사용된다.

오스테나이트 스텐레스강은 보통의 강을 사용하는 경우에 심한 마모를 당하곤 하는 원심펌프에 추진날개(impeller)와 케이스 재료로 모두 사용된다.

특히 응축수(凝縮水)를 처리하지 않고 펌프로 퍼내는 경우에는 더욱 그러하다.

⑥염수 또는 소금기가 있는 물

염수나 소금기 있는 물에 접촉된 스텐레스강의 거동은 노출조건들에 따르게 된다. 물의 유속이 낮고 해양 유기물이나 다른 고형물질이 합금상에 부착하기 쉬우면 이들 부착물 아래나 주위에 상당량의 국부 침식이 발생할 것으로 기대된다.

노출조건이 유기물이나 고형물질이 합금표면에 부착되어 머물 수 없는 경우에는, 오스테나이트 스텐레스강의 침식은 계속 작동하고 있는 펌프의 추진날개에서처럼 무시할 정도이다.

이들 두가지 극한 조건 사이에 드는 노출조건하에서는 스텐레스강의 성능은 가변적일 것이다.

아주 상반되는 노출조건하에서는 몰리브덴을 함유하는 316 및 317형 합금이 다른 성분의 합금보다 우수하여 노출조건이 스텐레스강에 유리하게 되었다가 불리하게 되었다가 하여 계속 변하는 조건하에서 사용하도록 선택된다.

튜브형 콘덴서에서는 물이 스텐레스강 튜브를 통하

Table 6. Results of Some Tests in Acid Mine Waters

Kind of Mine	Acidity as H ₂ SO ₄ -ppm*	Ferric Sulfate, ppm	Copper Sulfate, ppm	Duration of Test, Days	Corrosion Type 304	Rates, ipy Type 316
Copper	150	603	—	61	0.017	0.00001
Copper	270	9424	—	61	0.00005	0.00002
Metal	—	6700	1020	6	0.00005	0.00003 ^a
Coal	—	—	—	480	0.000000	0.00000 ^b
Nickel	251	—	—	365	—	0.0002 ^c

*ppm=parts per million.

a. Corrosion of carbon steel in same test-1.0ipy.

b. Corrosion of acid resisting bronze in same test-0.015ipy.

c. Data refer to complex alloy containing about 21% Ni, 19%Cr, plus Mo, Cu, and Si.

여 주위보다 5ft/sec 더 빠른 속도로 흐르도록 배열시킬 필요가 있다. 왜냐하면 이런 식으로 해주면 알맞은 속도 조건은 가장 쉽게 보장되기 때문이다. 생기기 시작할런지도 모르는 핏트(pit)는 늦추어질 것이고 재료가 충분히 두껍다면 관통하기 전에 중지될 것이기 때문에 최소 3/64인치의 두께를 갖는 상당한 두께의 금속을 사용하는 것이 유리하다.

염수에 노출시킬 스텐레스강 장치를 제조하는 데 있어서 통상의 예방조치는 모든 연결부에 생기는 틈을 봉하여 제거해야 된다는 것이다.

틈을 봉입하는 데에는 와셀린이 좋지만 완전히 신빙성이 있는 것은 아니다.

4. 염에 의한 부식

중성 및 알칼리염

오스테나이트 스텐레스강은 실제로 할로겐 화합물 이외의 중성 및 알칼리염에서는 강한 산화성 성분을 함유하는 경우를 포함하여 부성당하지 않는다.

몇가지 실례(實例)가 되는 자료들이 Table 7에 수집되어 있다.

산성염

할로겐화합물 이외의 산성염 용액 중에서 오스테나이트 스텐레스강의 거동은 이들 염의 가수분해에 의하여 방출되는 산들 중에서의 성능에 따르게 된다. 예외

Table 7. Results of Some Corrosion Tests of Type 304 Stainless Steel in Neutral and Alkaline Salt Solutions

Corrosive Medium	Conc.	Temperature °F	Aeration	Velocity	Duration of Test	Location of Test Specimens	Corrosion Rate in ipy
Ammonium Nitrate	Any	Any	—	—	—	—	Unattacked
Ammonium Sulfamate	10%	Atmospheric	—	—	—	Laboratory Immersion	Unattacked
Ammonium Thiocyanate	460gpl*	Atmospheric	None	None	27days	In tank	0.00001
Ammonium Thiocyanate	30%	154	None	—	17days	In vapors in evaporator	0.0001
Copper Cyanide	Plating Solution	120	Complete	Agitated	7days	Laboratory Immersion	0.00016
Magnesium Sulfate	Any	Any	—	—	—	—	Unattacked
Potassium Dichromate	20%	212	—	—	144hr	Laboratory Immersion	0.00000
Potassium Persulfate	5%	95	None	None	476hr	In tank	0.00000
Sodium Aluminate	10%	60	Yes	None	—	Laboratory Immersion	0.00000
Sodium Bicarbonate with Free Ammonia	Mother Liquor	200	—	—	71days	In tank	0.00001
Sodium Carbonate	10%	60	Yes	None	—	Laboratory Immersion	0.00000
Sodium Nitrate	53%	86	—	Agitated	28days	In pipe line	0.00001 ^b
Sodium Phenolate	20% as NaOH	250	None	—	329days	In tower	0.000002
Sodium Phosphate	5%	60	Yes	None	—	Laboratory Immersion	0.00000
Sodium Sulfide	0.4%	108	None	Low	43days	In tank	0.0002
Sodium Sulfide	50%	320	—	—	324hr	Immersed	0.068

*No pitting observed in any of these tests.

a. gpl==grams per litre.

b. data for Type 316 stainless steel: specimens of Type 304 were pitted to a depth of 0.020 inch.

Table 8. Results of Some Corrosion Tests of Stainless Steels in Acid Salt Solutions

Corrosive Medium	Conc.	Temperature °F	Aeration	Velocity	Duration of Test	Location of Test Specimens	Corrosion Rate, ipy Pitting, in inches			
							Type 304	Type316	Type304	Type316
Aluminum Sulfate	7%	86	Complete	16'/min.	20hr	Immersed	—	0.001	—	None
Aluminum Sulfate	5%	60	Some	—	—	Immersed	0.000	—	None	—
Aluminum Sulfate	24%	95	None	None	16wk	Immersed in storage tank	0.00005	0.00000	None	None
Aluminum Sulfate	Concentrated	240	None	Some	144hr	In evaporator	>0.82	—	—	—
Copper Sulfate	24%+5.5% free acid	215	None	Some	68days	In evaporator	0.0002	0.0001	0.008	None
Copper Sulfate	10%	60	Some	None	—	Immersed	0.0000	—	None	—
Copper Sulfate	Plating Solution	160	Some	Some	7days	Immersed	0.0004	—	—	—
Ferric Sulfate	10%	190	None	Some	33days	Immersed	0.0004	0.00032	None	None
Manganese Sulfate	140gpl pH 1-2	140	Complete	2-4'/sec.	8days	In trough	Destroyed	0.003	—	—
Manganese Sulfate	1.3s. g. pH 5	235	None	Some	11days	In evaporator	0.0005	0.0003	0.008	0.002
Monom-ammonium di-hydrogen Phosphate	40%	140	None	None	22days	Immersed	0.0004	0.00003	None	None
Nickel Sulfate	115 to 238 gpl Nickel	190	None	None	232days	Immersed	0.000002	0.000001	None	None
Potassium Aluminum Sulfate	10%	60	Some	None	—	Immersed	0.00007	—	None	—
Potassium Chrome Alum	45%+5% free acid	50-122	None	None	46days	Immersed in tank	0.057	0.00007	>0.031	None
Potassium Persulfate	4.8%	90	None	None	13days	Immersed in tank	0.0000	0.0000	None	None
Zinc Sulfate	Plating Solution pH 5	145	Some	Some	31days	Immersed in tank	0.00003	0.00004	None	None
Zinc Sulfate	Saturated plus free acid	218	None	Vigorous	35days	Immersed in evaporator	Destroyed	0.006 ^a	—	None
Zinc Sulfate	Impure electrolyte	104	Slight	Slight	21days	Immersed in thickener trough	0.000004	0.000004	None	None

a. Type 317.

모든 염용액의 산도(acidity)가 작으면 작을수록 그로 인한 부식성은 덜 심하게 되고 스테인레스강은 넓은 범위의 농도 및 온도에 걸쳐 침식에 견딜 것이다. 문더브렐을 함유한 합금은 일반적으로 산도와 온도상으로 더욱 심한 조건하에서 서열을 보이고 있다.

몇가지 자료들을 Table 8에 놓아 놓았다.

할로겐염

할로겐 이온은 부동태 피막을 관통해 들어가 孔蝕을 일으킬 정도의 강한 영향을 보이기 때문에 스테인레스강을 이들 약품과 접촉시켜 사용할려고 할 때에는 주의가 요청된다.

산성염과 함께 존재하는 경우에는 특히 더하여 용액

이 산화성인 성격일 때에는 孔蝕을 일으키고 환원성일 때에는 상당량의 전면적인 침식을 일으킬려고 한다. 염화나트륨 용액 중에서의 거동에 관한 다음의 논의는 다른 중성 또는 약 알칼리 할로젠 용액 중에서의 거동에 일반적으로 응용될 것이다.

해수중에서의 성능은 이미 논의되었다. 孔蝕의 형태를 갖는 침식은 어떤 분명한 임계온도(critical temperature)를 넘어서기만 하면 급격히 증가하는 것으로 관측되어 있다.

이 임계온도는 316형의 조성과 같이 몰리브덴을 함유하는 합금의 경우에 상당히 높아지는 것 같다. 보통의 세가지 염화나트륨 용액중에서의 시험은 임계온도가 304형은 130°F 정도, 316형은 160°F 이상인 것을 시사하고 있다.

따라서 304형의 부식은 140°F 이상에서 굉장히 증가하여 195°F 정도에서 최대 값에 이르는 경향이 있다.

더 높은 온도에서는 산소의 용해도가 낮아져서 孔蝕은 둔화되는 경향을 보인다. 또한 염화나트륨의 농도가 4% 정도까지는 농도에 따라 부식이 증가되는 것으로 나타나 있으며 4%를 넘어서면 농도 증가에 따른 더 이상의 영향은 거의 없어진다.

pH에 대하여서는, 4% 염화나트륨용액중 195°F 온도조건하에서의 공식은 pH 2.8 이상에서 보통의 형태로, 더 낮은 pH 값에서는 상당히 빠른 일반적인 침식으로 관측되었다. pH 2.8 이상의 공식 영역에서는 pH 6~7 범위에서 가장 깊은 핏트(pit)가 발생하며 더욱 알칼리성인 용액에서는 공식은 덜 심하여 pH 12에서는 부식은 거의 일어나지 않는다. 할로젠염 용액중에서 스테인레스강의 부식에 대한 몇가지 자료를 Table 9에 실어 놓았다.

이들 부식 속도가 어떤 것은 낮으며 공식이 경미한 것으로 나타나 있지만 응력을 피하도록 주의할 필요가 있다.

Table 9. Results of Some Corrosion Test of Stainless Steels in Halogen Salts

Corrosive Medium	Conc.	Temperature of	Aeration Velocity		Duration of Test	Location of Test Specimens	Corrosion Rate, ipy		Pitting, in Inches	
							Type 304	Type 316	Type 304	Type 316
Aluminum Chloride	26%	50	None	None	500hr	Immersed in tank	0.0009	0.0008	None	None
Ammonium Bifluoride	Conc.	Boiling	None	Some	28days	Immersed in reaction vessel	0.077	0.047	None	None
Ammonium Perchlorate	500 gpl	194	None	Some	300 hr	Immersed	..	0.00007	None	None
Ammonium Chloride	3.4%	80-215	None	Some	528 hr	Immersed in dissolver	0.010	..	0.014	..
Ammonium Chloride	35%	225	68days	Immersed in tank	..	0.001	..	0.020
Ammonium Chloride	1-10%	Boiling	None	..	6days	Immersed	..	0.00005	..	None
Barium Chlorate	350 gpl	212	None	Some	400 hr	Immersed in tank	..	0.0009	..	None
Calcium Chloride	58%	330	None	Some	31days	In evaporator	0.002	0.0017
Calcium Chloride	30%	10	None	Low	355days	In brine tank	0.00003	0.00003	0.009	0.009
Cupric Chloride 10%	70	None	None	None	24hr	Immersed	0.174	..	Pitted	..
Ferric Chloride 10%	86	Saturated	16'/min.	None	91hr	Immersed	..	0.004	..	0.031perf.
Ferric Chloride 10%	150	Saturated	16'/min.	None	91hr	Immersed	..	0.293	..	0.031Perf.
Ferric Chloride 45%	86	Saturated	16'/min.	None	16hr	Immersed	..	8.3	..	0.031Perf.
Ferrous Chloride Saturated	275	None	Considerable	None	24hr	Immersed in evaporator	0.005	0.005	None	None
Magnesium Chloride	35%	160	None	Low	31days	Immersed in tank	0.0002	0.0002	0.001	0.001
Magnesium Chloride	48%	330	None	Some	55days	Immersed in evaporator	0.004	0.003	None	None
Manganous Chloride	37%	220	Low	Some	19days	Partially immersed	0.033	0.026	None	None

왜냐하면 용액이 뜨거운 경우에는 응력 부식균열이 일어날 수 있기 때문이다.

5. 무기산에 의한 부식

무기산중에서의 스테레스강의 부식거동은 각각의 산에 따라 특수하며 어떤 경우에는 농도와 온도에 따라서 차이가 난다. 따라서 일반적인 성격으로 기술할 수 없고 개별적으로 각 산들에 대하여 논의하여야 한다.

염산

염산은 쉽게 부동태를 파괴하기 때문에 모든 농도에서 스테레스강을 침식하려고 한다. 뜨겁고 꽤 강한 용액중에서는 합금들은 수소를 발생하면서 빨리 침식 받는다. 찬 용액중에서도 침식은 너무나 빠르기 때문에 스테레스강의 사용이 용인될 수 없다.

작은 양의 염산을 함유하고 있는 혼합용액 중에서도 공식이 발생하려고 한다.

전형적인 관측자료들이 Table 10에 수록되어 있다.

황산

316형 스테레스강은 실온중 농도 20% 이하와 85% 이상의 황산중에서 편리하게 사용된다. 20~80% 산농도 사이에서는 스테레스강은 빠른 침식을 맡게 된다.

승온하에서는 부식물은 증가하여 316형이라고 하더라도 다만 아주 낮은 산농도를 제외하고는 특히 유용하지 않다. 하지만 황산제 2철, 황산동, 질산이나 크롬산 등의 첨가는 황산에 의한 침식을 크게 감소시키며 이와같은 종류의 스테레스강의 사용을 경제적으로 가능하게 한다. 그리하여 스테레스 강장에서는 혼합산(mixed acid)을 포함하여 질산화반응(nitration reaction)을 수행시킨다. 또한 혼합산을 스테레스강 용기중에 넣어 저장하고 운반한다. Table 11은 황산중에서의 시험으로부터 대표적인 자료들을 뽑아서 제시한 것이다.

황산중에서 통상의 18-8 강이 유용하지 않은 농도와 온도에서는, 구리와 또는 구소와 더불어 니켈과 크

롬의 수준을 높혀 몰리브덴을 함유시킨 스테레스강 합금을 사용하면 침식에 대하여 좋은 내식성을 얻을 수 있다. 그래서 22% 니켈, 20% 크롬, 3% 몰리브덴, 1% 구리, 1% 구소 및 0.07% (최대) 탄소를 함유하는 합금강은 황산을 함유하는 뜨겁고 짙은 아황산가스를 다루는데 굉장히 유용하다. 물론 보통의 18-8 합금은 이런 조건에서 너무나 부식성이 크다.

29% 니켈, 20% 크롬, 3% 몰리브덴, 3~3.5% 구리, 1% 구소 및 0.07% (최대) 탄소를 함유하는 합금은 65%까지의 황산 농도와 85% 이상의 농도에 대하여 175°F에서 적합한 내식성을 갖는 것으로 생각된다.

황산의 가장 부식성이 큰 농도 범위인 65~85% 사이의 농도에서는 이 강은 125°F 정도까지 유용한 내식성을 가지며 좀 더 높은 온도에서 때때로 사용될 수 있다. 높은 온도에서는 희박용액중 대략 10% 농도까지 사용될 수 있는데 이 때 부식율은 0.030ipy 정도이다.

사실 다른 물질들이 존재하는 어떤 경우에는 징유공정에서처럼 45%산을 240°F 까지 다루는데 성공적으로 사용할 수 있다. 황산에서 사용하는데 유용한 또다른 한가지 합금은 24% 니켈, 20% 크롬, 3% 몰리브덴, 3.5% 구소, 1.75% 구리, 0.6% 망간 및 0.05% (최대) 탄소를 함유한 것이다.

실험결과 이 합금은 175°F에서 황산농도 50%까지와 90% 이상에서 사용하는데 적합함을 시사하여 준다. 140°F에서는 이 합금은 65% 정도까지의 산농도에 사용할 수 있으며 65~85% 범위의 농도에서는 제한온도는 125°F 근방이 된다.

질산

오스테나이트 스테레스강은 질산중 모든 농도와 모든 온도 범위에서 좋은 내식성을 갖는다. 이 내식성은 질산의 부동태화 작용에 기인하며, 질산 및 질산을 함

Table 10. Corrosion of Stainless Steels in Hydrochloric Acid

Type Alloy	Acid Concentration, %	Temperature °F	Exposure Phase	Corrosion Rate, ipy
302	3.6	76	Liquid	0.065
302	10.3	Room	Liquid	0.084
302	25	76	Liquid	1.22
302	37	Room	Liquid	6.66
316	Dilute	77	Vapor	0.0012a
316	10	216	Liquid	2.4
316	50	230	Liquid	42.0

a. Pitting was 0.005 inch during test.

Table 11. Corrosion of Types 316 and 317 Stainless Steel in Sulfuric Acid

Type Alloy	Acid Concentration, %	Temperature °F	Condition of Exposure	Corrosion Rate, ipy
316	1	260	In liquid	0.083
316	50	302	In liquid	185.0
316	5	Boiling	Refluxing liquid from boiler	0.27
316	10	Boiling	Refluxing liquid from boiler	0.37
316	19	Boiling	Refluxing liquid from boiler	1.2
316	75	Boiling	Refluxing liquid from boiler	127.0
316	96	Boiling	Refluxing liquid from boiler	0.42
316	12	Warm	Spray from liquid at 190°F	0.0027
316	9a	100	In liquid	0.0010
316	10	100	In liquid	0.011
316	13	100	In liquid	0.055
316	20	100	In liquid	0.076
316	30	100	In liquid	0.12
316	95	100	In liquid	<0.0001
316	3	150	In liquid	0.006
316	5	150	In liquid	0.036
317	5	150	In liquid	0.0036
316	10	150	In liquid	0.091
317	10	150	In liquid	0.072
316 & 317	20	150	In liquid	0.12
316	95	150	In liquid	0.060
316	4	175	In liquid	0.048
317	4	175	In liquid	0.0036
316	5	175	In liquid	0.090
317	5	175	In liquid	0.084
316 & 317	10	175	In liquid	0.12
316	1	200	In liquid	0.055
317	1	200	In liquid	0.0001
316	3	200	In liquid	0.094
317	3	200	In liquid	0.12

a. Last twenty figures from two-hour tests. Data provided by the Research Laboratory, Allegheny Ludlum Steel Corp. (1949).

유하는 다른 화학약품들을 다루는데 스텐레스강을 집중적으로 사용하게끔 허용한다. 암모니아의 산화에 의하여 질산을 제조하는 공정은 생산장치에 사용된 스텐레스강의 성능이 좋기 때문에 성공할 수 있는 것이다. 질산을 다루는 열교환기, 밸브, 펌프와 관로(pipe line) 들은 보통 이들 스텐레스강으로 제조된다.

유사한 스텐레스강 장치는 물감, 고성능 폭약의 생산과 그외의 질산을 만족스럽게 다룰 필요가 있는 산업에서 거의 필요불가결하다.

로켓에서 발연(發煙) 질산용 스텐레스강 chamber (방)는 연기나는 산액(酸液: acid liquor)과 증기에 대한 좋은 내식성으로 인한 자연적인 귀결이다.

304와 347형은 일반적으로 질산에서 비등점까지 사용된다. 그러나 309와 310형은 콜롬비움으로 안정화된 강인데 비등점 이상의 온도에서 더욱 적합하다.

수정되지 않은 크롬-니켈 스텐레스강은, 800~1500 °F 온도 범위에서 민감화된 결과 석출탄화물을 함유하고 있을 때, 질산중에서 입계침식에 약하게 된다.

이 때문에 콜롬비움으로 안정화된 합금들인 347, 309Cb 및 310Cb 등이 용접으로 제조하는 장치들에 쓰이게 된다.

316 및 317형에서와 같은 몰리브덴 첨가는 질산에 의한 부식에 대한 내식성을 개선해 주지 않는다. 질산중에서 민감화된 스텐레스강의 입계부식에 대한 감수

정 때문에 끓는 65% 질산은 자주 이 강들에 대하여 민감화 조건이 있는가 없는가를 알아내는데 사용되어 왔다.

이 시험은 가끔 잘 맞지않는 강의 조성을 알아내는 지표로서 사용된다. 그러나 이 시험결과를 질산이외의 사용조건하에서 시험된 강의 거동까지 예측하는데, 무차별하게 사용될 수는 없는 것이다.

혼합산중에 질산이 존재하면 스텔레스강의 부식율은 극히 낮은 값으로 된다. 질산과 황산의 혼합산은 이미 기술되었다. 인산과 초산을 포함한 다른 여러 산들의 부식성은 질산 존재에 의하여 또한 감소된다. 반면에 질산이 염산이나 불산과 혼합되면 모든 스텔레스강에 부식성이 있으며, 침식율은 농도와 온도에 의존된다.

질산-불산혼합물은 스텔레스강의 스케일 제거에 정식으로 사용된다.

Table 12는 질산의 대표적인 부식자료를 실어 놓은 것이다.

인산

보통의 온도에서 실제로 모든 농도의 인산에 대하여 스텔레스강이 좋은 내식성을 갖는다는 것은 인산을 제조하고 다루는데 있어서 이 강이 고도로 유용하고 경제적인 재료로 쓰일 수 있게 한다. 농도 및 온도 조건이 변하는 순수한 인산용액중에서의 부식율은 Table 13에 나타나 있다. 302와 304형은 실온중에서 대부분의 농도에 만족할 만하다.

더 높은 온도에서는, 특히 강산에 대하여는, 316형이 요구된다.

이 강에 대한 온도 한계는 대개 225°F이다. 만일 불화물이 뜨거운 인산용액 중에 존재하면 스텔레스강의 부식은 비교적 증가될 것이다. 만약 질산을 함유하

Table 12. Corrosion of Stainless Steels in Nitric Acid

Type Alloy	Acid Concentration, %	Temperature °F	Corrosion Rate, ipy
302	All ^a	60	0.0001
302	10	Boiling	0.0003
308	65	Boiling	0.0096
309	65	Boiling	∠0.012
309Cb	65	Boiling	∠0.0048
310	65	Boiling	∠0.012
302 ^b	65	Boiling	0.012
316 ^b	65	Boiling	0.020
347 ^b	65	Boiling	0.012
316Cb ^b	65	Boiling	0.025
302 ^c	65	Boiling	0.228
316 ^c	65	Boiling	0.540
347 ^c	65	Boiling	0.050
316Cb ^c	65	Boiling	0.085
304	93	90	0.0006
304	93	110	0.0020
304	93	130	0.0080
304	95	90	0.0011
304	97	90	0.0088
304	97	110	0.015
304	Red Fuming	50-80	0.0004
304	Red Fuming	250-300	1 3
316	Red Fuming	250-300	2 5

- a. Includes concentrations from 5% to concentrated acid.
- b. Annealed 5 min at 2010-2100°F and then air cooled.
- c. Annealed 5 min at 2010-2100°F, air cooled, then reheated for 4 hr at 1200°F.

Table 13. Corrosion of Stainless Steel in Phosphoric Acid

Type Alloy	Acid Concentration, %	Temperature °F	Exposure Phase	Corrosion Rate, ipy
302	5	68	Liquid	nil
302	75	68	Liquid	nil
316	90.4	Room	Liquid	nil
316	5	200	Liquid	0.0001
316	20	200	Liquid	0.0020
316	60	200	Liquid	0.0050
316	35	208	Liquid	0.028
316	10	225	Refluxing	0.0010
316	50	242	Refluxing	0.021
316	85	235	Liquid	0.052
316	85	255	Liquid	0.11

는 용액이라던 부식은 감소될 것이다.

아황산

아황산은 302와 304형 스테레스강에 공식(pitting)을 일으키지만 물리브덴을 함유하는 스테레스강 위에는 다만 약간의 부식작용을 일으킨다. 그 결과 316형은 아황산가스를 함유하는 폐기(flue gas)를 다루는 수송관과 굴뚝에 아주 유용하다.

가스나 용액이 뜨겁고 습기가 있으며 약간의 황산을 함유하고 있으면 구리를 함유하는 스테레스강이 요구된다.

아황산펄프 제지공장에서는 316 및 317형 스테레스강이 뜨거운 아황산액을 다루는 열교환기, 濇器(digester) 라이닝 및 순환계에 사용된다. 조건이 스팀과 사기와 분출파이프 라이닝에서처럼 심하지 않은 곳에서는 304, 308 및 347형이 사용될 수 있다. 더욱 맹렬한 아황산에서는 통상 황산이 함께 존재하는 경우인데 20~29% 니켈, 19~20% 크롬, 2~3% 물리브덴으로 된 구리를 함유하는 스테레스 합금이 요구될 것이다.

탄산

탄산은 스테레스강에 별로 영향이 없다. 따라서 304형은 탄산염화장치의 제조에 사용되어, 좋은 성능을 보이고, 모든 형의 스팀응축물에 실제로 내식성이 있다.

6. 열기에 의한 부식

18-8 스테레스강은 암모니아 와(아닐린, 피리딘, 지방성의 아민과 같은) 유기화합물과 같은 약 열기에 대하여 탁월한 내식성을 갖는다.

304형은 암모니아 증류기와 같은 장치에, 그리고 어

떤 유형의 아민화반응(amination reactin)에 사용될 수 있다.

강열기용액중에서의 스테레스강의 성능은 가성소다 용액중 시험 결과로서 알아볼 수 있으며 Table 14에 정리하여 놓았다.

18-8 강은 통상 220°F 정도의 온도까지 50% NaOH 농도까지의 용액에서 다만 약간의 침식을 보인다. 더 높은 농도와 온도에서는 부식율은 알아볼 수 있을 정도의 미약한 것이다.

7. 유기화합물에 의한 부식

유기화합물은 유기산과 유기할로젠 화합물을 포함한

Table 14. Corrosion of Stainless Steels in Sodium Hydroxide

Type Alloy	NaOH Concentration, %	Temperature, °F	Corrosion Rate, ipy
302	100	750	0.068
302	60-100	500	0.17
309	76	230	0.020
310	76	230	0.021
330	76	230	0.014
302	75	212-248	0.038
304	75	212-248	0.045
302	70	325	0.073
302	70	194-239	0.027
302	70	158	0.003
302	50	290	0.010
302	23	220	0.0002
302	10	170	0.0002

Table 15. Corrosion in Acetic Acid

Acid Concentration, %	Temperature, °F	Duration of Test, days	Corrosion Type 302	Rate, ipy Type 316
0 to glacial	Room	Up to 157	∠0.0001	∠0.0001
1	Boiling	..	∠0.0001	∠0.0001
2.2 ^a	Boiling	..	0.031	0.0077
10	Boiling	7	0.069	..
10	Boiling	4	..	0.0009
20	Boiling	112	0.0026	0.0007
50	Boiling	4	0.0011	..
80-100	Boiling	(80) ^b	0.0076	0.00015
80-100	Boiling	(80) ^b	0.012	0.00006
99	Boiling	82	0.014	0.0025
Glacial	Boiling	21	0.031	0.00078

a. Contains other organic compounds.
 b. 80 operating hours.

몇가지 특수한 경우를 제외하고는 스텐레스강에 별 부식문제를 일으키지 않는다. 순수한 할로겐화된 유기화합물은 스텐레스강을 침식하지 않겠지만 수분이 존재하는 경우에는 할로겐화합물은 가수분해되어 그에 따른 할로겐산을 만들므로 심한 공식을 일으킬 수 있으며 그렇지 않으면 일반적인 부식을 일으키게 된다.

스텐레스강이 유기산 중에서 만족스럽게 쓰이는 예는 몇가지 실패하는 경우에 비하여 훨씬 숫자적으로 가능하다.

따라서 스텐레스강은 식품, 석유, 비누, 의약 및 화학공업에서 유기산을 다루는데 공통으로 널리 사용하게 된다.

식초산

스텐레스강은 식초산을 생산하는 장치와 다른 많은 공업적 용도에 쓰이는 장치에 전형적으로 활용된다. 대표적인 부식율이 Table 15에 나타나 있다.

302, 304 및 347 형 스텐레스강은 보통 온도의 모든 농도의 식초산과 뜨겁고 진한 식초산에 우수한 내식성을 보인다. 그 결과로 이들 강은 이 산의 저장에 집중적으로 사용되며 초산셀룰로오스와 식품과 같은 재료를 처리하는데에도 활용된다. 316과 317형은 중간농도의 묽는 산용액에 더 내식성이 있으며 초산제조시

에 증류기, column 및 열 교환기와 같은 장치에 사용된다.

개미산

개미산은 훌륭한 환원제이며, 뜨거운 산인 경우엔 단독 18-8 스텐레스강에 심한 부식을 일으킬 수 있다.

316과 317형은 통상 내식성이 있어 직물의 민속시효와, 단독또는 유기재료와 혼합된 개미산의 증류와 같은 용도에 사용된다. 공장 시험에 의한 전형적인 부식율을 Table 16에 수록하였다.

유산(乳酸 : Lactic)

강은 식품과 낙농제품에서처럼 유산용액을 다루는데 널리 사용된다.

뜨겁고 진한 유산용액은 물리브렌을 함유하지 않은 합금들에 심한 공식(pitting)을 일으키며 Table 17에 유산 증류기에서 실시한 공장 부식시험의 결과를 실어 놓았다. 316 및 317형은 이와같은 용도에 구조용 재료로서 선택되고 있다.

잡다한 유기산들

Table 18은 잡다한 유기산들을 처리하는 수많은 공정들에서의 흥미있는 시험 결과를 보여준 것이다. 주목할 점은 이들 모든 산들은 302 및 304 형과 같은 단순한 18-8 합금중에서 실온에서 다루워지고 저장될 수

Table 16. Corrosion of Stainless Steels in Mixtures of Acetic and Formic Acids

Type Alloy	Acid Content, %		Temperature, °F	Corrosion Rate, ipy
	Acetic	Formic		
304	99.7	0	248	0.0050
316	99.7	0	248	0.0004
317	99.7	0	248	0.0005
347	99.7	0	248	0.0073
302	50	2 ^a	210-245	Corroded away
347	50	2 ^a	210-245	Corroded away
316	50	2 ^a	210-245	0.0007
316	50	2 ^a	210-245	0.0081
317	50	2 ^a	210-245	0.0003
302	25	4	200-230	Corroded away
316	25	4	200-230	0.0033
317	25	4	200-230	0.0020
347	25	4	200-230	0.020
302	30	8	275	Corroded away
316	30	8	275	0.0045
317	30	8	275	0.0018
347	30	8	275	0.042
302	0	90	212	0.085 (vapor)
316	0	90	212	0.0018 (vapor)

a. Contains also 23% acetaldehyde and 5% low boiling material.

Table 17. Corrosion of Stainless Steels in Vacuum Lactic Acid Evaporator

Concentration 30-60%
Temperature 120-215°F
Duration of test: 1000 hr

Type Alloy	Corrosion Rate, ipy in inches		Max. Depth of Pitting, in inches	
	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
302	0.0013	0.0026	0.012	0.014
304	0.0033	0.0030	0.016	0.014
347	0.0007	0.0027	0.012	0.010
321	0.0009	0.0043	0.010	0.020
309	0.0002	0.0020	0.008	0.011
310	0.0003	0.0018	0.006	0.011
311	0.0050	0.0048	0.008	0.009
316	<0.0001	0.0001	0	0.002
317	<0.0001	0.0001	0	0.001

있다는 것이다.

더 높은 온도에서는 어떤 산들 중 위와 동일한 강은 만족하게 사용될 수 있으며 반면에 몇가지 산들을 폴리브틸렌을 함유하는 316이나 317형 합금들을 필요로 한다. 이 후자의 재료들은 지방산중류기와 말레인산(Maleic acid), 프탈산(Phthalic acid)의 중류기와 같은 장치에 사용된다. 석유 분야와 수지, 플라스틱의 생산분야에서, 케놀은 316형 스텐레스강으로 제조된 장치에서 성공적으로 증류되고 있다. 케놀의 단순한 정장은 304형의 콘테이너에서 수행된다.

또한 316형은 뜨거운 나프텐산(naphthenic acid)과 접촉하여 사용하는데 좋다.

8. 식품에 의한 부식

식초산, 구연산(레몬산), 늑금산, 주석산, 유산과 같은 산을 함유하는 식품들은 304나 316형 스텐레스강으로 제조된 장치에서 처리된다. 식품의 처리과정중에 염이 가해지면 316형이 더 좋다.

스텐레스강의 부식은 아주 낮아 스텐레스강 용기에 서 요려하고 차게 저장하는 동안에 식품 중에 거의 오염되지 않으며 거의 문제시 되지 않는 것으로 시사되어 있다.

낙농업에 있어서는 재료가 향시 티하나 없이 깨끗하게 유지되어야 하는데, 스텐레스강은 이와같은 부식, 청결 및 식품오염 문제제 이상적인 해결점을 제공하는 재료이다. 이 강은 우유를 다루는 재료로서 저온 살균장치, 냉각기, 응축장치, 밀크트릭의 탱크 및 치즈제조

용(큰)통에 사용된다. 동조립 제조업자들은 야채, 살리드용의 흰소스, 마요네즈와 과일을 처리하는데 이 금속을 사용하도록 하였다. 정육업자들은 테이블, 콘베이어, 얇게 썰는 기계, 보일러, 큰 통, 그리고 다른 많은 장비들에 스텐레스강을 사용한다.

방동공장, 제빵공장, 과자공장, 청량음료 제조업자 및 경양식점에서는 스텐레스강의 우수한 내식성, 매력적인 외관, 깨끗하게 유지하는데 편리한 점 때문에 식품을 다루는데 이 강을 사용한다.

스텐레스강과 관련된 청결성은 의약품을 제조하고 다루는데 이 강을 필연적으로 널리 사용하도록 한다. 아스피린(아세린, 사리칠산)과 스트렙토마이신을 제조하는 공장에서는 전공정에 스텐레스강 장치를 사용한다. 청결을 유지하기 쉬운 점은 자연히 스텐레스강을 병원에서 취사장, 수술실, 살균소독기, 증류수탱크와 그 외의 장비에 널리 사용하도록 하는 결과를 가져왔다.

9. 그외의 물질에 의한 부식

스텐레스강 장치 중에서 성공적으로 유용하게 다루어지는 원소 중에는 수은과 유황이 있다. 316형 콘베이어 벨트는 유황화수 공정에서 용융된 유황을 다루는데 우수한 용도를 제공한다.

유화(황화)광으로부터 수은을 채취하는 공정에서는 스텐레스강은 광석로우스터(ore roaster)로부터 나오는 가스로부터 수은을 회수하는 응축기에서 좋은 성능을 발휘한다. 이 경우에 가스는 또한 약간의 아황산 가스와 3산화유황(무수황산)을 함유하고 있다.

알로켄과 접촉하는 장소에서는 스텐레스강을 사용하는데 있어서 상당한 주의를 기울여야 된다. 304, 316 및 317형은 건조한 염소가스를 낮은 온도에서 다루는 파이프라인에 사용될 수 있지만 젖은 염소가스나, 건조된 또는 젖은 뜨거운 염소가스에는 적합하지 않다.

건조된 염소에 의한 부식은 800°F 이상의 온도에서 심한 것으로 기대된다.

어떤 경우에는 차아염소산칼슘 표백용액에 0.3% 이하의 유효염소를 함유하는 경우에, 304형 통은 이 용액을 4시간을 초과하지 않는 짧은 시간동안 쓰고 곧 바로 물로 완전히 씻어내는 경우 안전하게 쓰일 수 있다

그렇지만 316과 317형은 일반적으로 공식(pitting)에 우수한 내식성을 지니기 때문에 이와같은 유형의 용도에 잘 쓰인다. 이들 재료들은 0.3% 유효염소를 함유하는 알칼리성 차아염소산소다 표백용액을 다루는데 전체 표백사이클에 사용된다. 스텐레스강은 알루미늄, 주석과 아연을 포함하는 대부분의 용융금속에 의하여

Table 18. Corrosion of Stainless Steels in Several Organic Acids

Acid	Type Alloy	Concentration, %	Temperature, °F	Exposure Phase	Corrosion Rate, ipy
Phenol	302	5	60	Liquid	0.0007
Phenol	302	90-100	302	Vapor	0.0217
Phenol	316	90-100	302	Vapor	0.0034
Aspirin	302	100	140	Solid	0.0062
Citric	302	58	Boiling	Liquid	0.0061
Naphthenic	302	100	554	Vapor	0.0246
Naphthenic	316	100	554	Vapor	0.0009
Tartaric	302	5-50	59-212	Liquid	nil
Oleic	302	100	Boiling	Liquid	∠0.0001
Stearic	302	100	410	Liquid	0.0023
Stearic	302	100	428	Liquid	0.0151
Stearic	302	100	446	Liquid	0.02-1
Palmitic	302	100	439	Liquid	0.0002
Oleic-Stearic mixture	304	100	440	Liquid	0.019
Oleic-Stearic mixture	302	100	440	Liquid	0.016
Oleic-Stearic mixture	347	100	440	Liquid	0.020
Oleic-Stearic mixture	304	100	440	Vapor	0.014
Oleic-Stearic mixture	302	100	440	Vapor	0.013
Oleic-Stearic mixture	316	100	475	Liquid	0.0012
Oleic-Stearic mixture	317	100	475	Liquid	0.0002
Oleic-Stearic mixture	316	100 (agitated)	475	Liquid	0.00003 ^a
Oleic-Stearic mixture	317	100 (agitated)	475	Liquid	0.00007 ^b
Oleic-Stearic mixture	304	100 (agitated)	475	Liquid	0.0142 ^c
Phthalic	302	100	438-554	Vapor	0.0032
Phthalic	316	100	438-554	Vapor	0.0006
Phthalic	317	100	438-554	Vapor	0.00004
Phthalic	347	100	438-554	Vapor	0.0114
Maleic-Phthalic mixture	316	100	410-554	Liquid	0.0006
Maleic-Phthalic mixture	317	100	410-554	Liquid	0.0001
Maleic-Phthalic mixture	347	100	410-554	Liquid	0.016

- a. 0.001 inches pitting.
- b. 0.002 inches pitting.
- c. Perforated.

침식을 받는다.

이 강들은 가끔 환원성 조건하에서 용융된 납에 유용한 내식성을 지니지만 산화성 조건에서는 그렇지 못하다.

10. 특히 낮은 탄소 품위

특별히 낮은 탄소품위를 지닌 304와 316형 오스테나이트 스테인레스강은 용접후에 잇따라 응력제거 열처리를 할때 발생하는 탄화물 석출에 따른 해로운 영향을

을 피하는데 있어서 새로운 방안으로 사용된다. 이 재료에 있어서 탄소함량은 최대 0.03%로 보증하여 800~1600°F 온도 범위에서 충분히 석출이 안 일어나게 한 것으로 어떠한 보통의 용접이나 응력제거 작업에도 재료의 내식성을 손상시킬 우려없이 견딜 수 있게 만든 것이다.

탄화물 석출과 응력제거 열처리라고 하는 이들 두가지 인자 이외에 이들 합금의 내식성은 정규탄소를 함유하는 상응하는 형과 근본적으로 동일하다.