

Nickel 합금의 특성과 용접

1. Ni 합금의 종류와 특징

Ni 및 Ni 합금은 사용 목적에 따라 여러 종류가 개발 되어 있고, 아래 Table 1 에 명기된 바와 같이 그 명칭도 다양하다.

실제로 현업에서는 UNS No.나 ASTM 등의 고유 재료 표기법 보다도 각종 합금 제조사들의 Brand Name 이 더 널리 사용되고 있다. 대표적인 강종의 표기법은 Nickel, Monel, Inconel, Incoloy 등의 Alloy Group 과 세자리 숫자와 기호의 조합으로 분류되는 것이 많다. 예를 들면 Nickel 200, Monel 400, Inconel 600 등으로 분류된다. 이러한 명명 법에서 머리 숫자가 짝수이면 고용 강화형(Solution Hardening) 합금, 홀수이면 석출 강화형(Precipitation Hardening) 합금을 의미한다. 일반적으로 석출 경화형 합금은 용접 열에 의해 영향을 많이 받기 때문에 용접 성은 고용 강화형 합금에 비해 나쁘다고 할 수 있다.

Ni 은 가소성 소다 등 알칼리에 대한 내식성이 우수하며 일반 탄소강에 비해 각종 산성 용액에 대한 내식성도 양호하다. Cr 을 첨가하면 산화성 분위기에 대한 내식성이 보다 향상되고, Mo 를 추가 하면 염산에 대한 내식성이 향상되고, Cu 를 첨가하면 해수에 대한 내식성이 향상된다.

1.1 Nickel

가	가	, Nickel 200 ~ 1090 가
가	, 가	가 (Caustic)
(1)		
1)	,	
2)	,	(Nonoxidizing Acid Salt Solution)
3)	Dry Gas	
4)	,	Caustic Service
(2)		
1)	(Acid)	
2)	,	가
3)	230	(Sulfidizing Environment)

다음의 Table 1 은 각종 Ni 합금의 대표적인 합금 조성의 예시이다.

Table 1. Nominal Chemical Composition of Nickel Alloys

Alloy	Ni	C	Mn	Fe	S	Si	Cu	Cr	Al	Ti	Mo	Co	W	Cb	B	Zr
Nickel 200	99.5	0.08	0.18	0.2	0.005	0.18	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nickel 201	99.5	0.01	0.18	0.2	0.005	0.18	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monel Alloy 400	66.5	0.15	1.0	1.25	0.012	0.25	31.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monel Alloy K500	66.5	0.13	0.75	1.00	0.005	0.25	29.5	-	27.3	0.60	-	-	-	-	-	-
Inconel Alloy 600	76.5	0.08	0.5	8.00	0.008	0.25	0.25	15.5	-	-	-	-	-	-	-	-
Inconel Alloy 601	60.5	0.05	0.5	14.1	0.007	0.25	0.50	23.0	1.35	-	-	-	-	-	-	-
Inconel Alloy 625	61.0	0.05	0.25	2.5	0.008	0.25	-	21.5	0.2	0.2	9.0	-	-	3.65	-	-
Alloy 713C	74.0	0.12	-	-	-	-	-	21.5	6.1	0.8	4.2	-	-	2.0	0.012	0.10
Inconel Alloy 706	41.5	0.03	0.18	40.0	0.008	0.18	0.15	16.0	0.2	1.75	-	-	-	2.9	-	-
Inconel Alloy 718	52.5	0.04	0.18	18.5	0.008	0.18	0.15	19.0	0.5	0.90	3.05	-	-	5.13	-	-
Inconel Alloy X750	73.0	0.04	0.50	7.00	0.005	0.25	0.25	15.5	0.7	2.50	-	-	-	0.95	-	-
Udimet Alloy 500	52.0	0.12	0.70	2.0	-	-	-	19.0	3.0	3.0	4.0	19.0	-	-	0.005	0.05
Udimet Alloy 700	53.0	0.12	-	0.75	-	-	-	15.0	4.25	5.5	5.1	18.5	-	-	0.08	-
Rene 41	55.0	0.10	0.05	1.0	-	0.10	-	19.0	1.5	3.0	10.0	10.0	-	-	0.005	-
Waspaloy	56.0	0.05	0.70	1.0	-	0.40	-	19.0	1.3	3.0	4.3	14.0	-	-	0.005	0.06
Inconel Alloy 800	32.5	0.05	0.75	46.0	0.008	0.50	0.38	21.0	0.38	0.38	-	-	-	-	-	-
Inconel Alloy 825	42.0	0.03	0.30	30.0	0.015	0.25	2.25	21.5	0.10	0.90	3.0	-	-	-	-	-
Carpenter 20Cb3	36.0	0.04	1.00	36.0	0.017	0.50	3.50	20.0	-	-	2.5	-	-	0.50	-	-
Inconel Alloy 901	42.7	0.05	0.45	34.0	0.010	0.40	0.10	13.5	0.25	2.50	6.2	-	-	-	-	-
Hastelloy Alloy B	61.0	0.05	1.00	5.0	0.03	1.00	-	1.0	-	-	28.0	2.5	-	-	-	-
Hastelloy Alloy C	54.0	0.08	1.00	5.0	0.03	1.00	-	15.5	-	-	16.0	2.5	4.0	-	-	-
Hastelloy Alloy C276	57.0	0.02	0.75	5.5	0.02	0.02	-	15.5	-	-	16.0	1.5	4.0	-	-	-
Hastelloy Alloy W	60.0	0.12	1.00	5.5	0.03	1.00	-	5.0	-	-	24.5	2.5	-	-	-	-
Hastelloy Alloy X	47.0	0.10	1.00	18.0	0.02	1.00	-	22.0	-	-	9.0	1.5	0.6	-	-	-

위에 제시된 강종중에 대표적인 합금들의 특성은 Table2 와 같다.

Table 2. 대표적인 Nickel 합금의 특성

합 금 명	밀도 (g/cm ³ , 292K)	용 점 (K)	열팽창 계수 (μ m/m·K, 293~373K)	열전도도 (cal/cm·s·K, 273~373K)	전기저항 (μ Ω ·cm, 293K)
Nickel 200	8.89	1708~1718	13.3	0.145	9.5
Monel 400	8.83	1573~1623	13.8	0.052	51.0
Inconel 600	8.43	1627~1686	13.3	0.037	103.0
Hastelloy-B	9.24	1575~1641	10.0	-	135.0
Hastelloy-C	8.94	1538~1616	11.3	-	130.0
Incolloy 800	8.02	1630~1658	14.2	0.026	99.0
Incolloy 800	7.87	1809	13.0	0.142	13.0

또 이들 Ni 합금은 강도의 강화 기구에 따라 아래와 같이 분류한다.

1.2 Nickel

1.2.1 고용체 강화형 Nickel 합금

Nickel γ 상을 Cr, Mo, W 등으로 강화하는 것으로, 일반적으로 Cr 을 많이 함유시켜 내산화성이 뛰어나고 용접성도 좋다. Monel, Hastelloy- X, Inconel 600, Inconel 625 등이 여기에 해당된다. 대표적인 강종의 합금 구성과 특성을 아래에 표기한다. 강종의 표기는 Alloy XXX 와 각 강종의 대표적인 Brand Name 이 병기되므로 혼돈하지 않도록 주의한다. 예를 들어 Monel 400 과 Alloy 400 은 같은 재료이며, Inconel 600 과 Alloy 600 은 같은 재료를 의미하는 표기법이다.

(1) Nickel

순수 Nickel 에는 다음의 세가지 재료가 상용된다. Nickel 합금의 구성 구분으로는 순수 Nickel 도 고용체 강화형 합금으로 구분된다.

대표적인 강종으로는 Nickel 200 과 저탄소 Nickel 합금인 Nickel 201 이 있다. Nickel 201 은 고온에서 흑연화 현상에 적게 발생되기 때문에 315℃ 이상의 고온용으로 사용된다.

Nickel 200 은 높은 탄소 함량에 의해 315 ~ 760℃ 범위에서 입계에 흑연 석출로 인해 강도가 저하하는 문제점이 생긴다.

순수 Nickel 은 주로 식품 용기, 실험실 기자재, 가성소다를 다루는 공정 및 전기소재로 사용된다.

(2) Nickel-Copper 합금

대표적인 강종으로는 Alloy 400 과 쾌삭강으로 구분할 수 있는 R-405 이다.

이들 강종은 뛰어난 내식성과 함께 강도와 인성을 가지고 있어서 널리 사용되고 있다.

해수, 황산, Glass Etching Agent, Solvent 등에 강한 내식성을 가지고 있으며, 대부분의 산과 염기에 강하다. 용접재료 없이 용접하기에는 다소 부적합하며, 대개의 경우 용접 재료를 사용한 용접이 문제없이 진행된다.

(3) Nickel-Chromium 합금

Alloy 600, 601, 690, 214, 230, G-30, RA-330 등이 대표 강종이다. 고온에서 우수한 내식성과 강도가 장점이다. 또한 Chloride 에 강하고 응력부식 균열에 강하기 때문에 상온에서부터 액화 가스 저장에 사용되는 저온용 까지 널리 사용된다. Alloy 690 은 특히 응력부식균열에 대한 저항성이 좋다.

Alloy 230 은 Ni-Cr-W 합금으로서 고온에서 뛰어난 강도가 특징이다.

Alloy 214 와 601 은 산화성 분위기와 질화 분위기에 저항성이 뛰어나고, 1200℃ 정도까지의 영역에서 Scale 에 대한 저항성이 크다.

이보다 더 높은 온도 영역에서는 Alloy 600 에 1.4%정도를 추가하여 사용한다. Alloy G-30 은 약 30%의 Cr 을 함유하고 있으며, 높은 산화성 분위기 및 Phosphoric Acid 등의 분위기에 저항성이 크다. Alloy G-30 은 주로 Mo 를 함유한 합금의 용접재료로 많이 사용된다.

Inconel 600 은 염화물 SCC 감수성이 매우 낮고 가공성·기계적 성질이 좋으므로 원자력용 배관이나 용기 및 기계장치류에서 많이 사용되고 있다. 또 이 합금은 Incoloy 800 과 같이 내열성도 우수하므로 내열성과 내식성이 함께 요구되는 석유화학장치, 약품 및 식품공업에 쓰이고 있다. 그러나 이들 합금은 고온의 鹽水 중에서 공식을 일으키는 등 耐국부부식성이 떨어진다.

Inconel 625 는 고 Cr 이어서 내산화성이 좋고 Mo 함량이 높아서 응력부식균열 저항성, 국부 부식성 저항성이 우수하고 기계적 강도도 크므로 최근에는 원자력플랜트의 폐액 농축 장치용 재료 등으로 쓰이는 등 용도가 넓어져가고 있다.

(4) Nickel-Iron-Chromium 합금

Alloy 800, 800HT, 20Cb3, N-155 와 556 이 여기에 속한다.

고온에서 내산화성, 내탄화성이 좋아서 고온용 재료로 사용된다, Incoloy 825 와 20Cb3 는 고급 스테인리스강과 Nickel 합금의 접점이 되는 합금이며 연신성이 좋아서 이음매 없는 관으로 많이 제조되어 공해 방지, 油井, 인산제조 등의 공정에 540℃ 이하의 조건에서 사용된다. 환원성 산과 염소에 의한 응력부식균열에 강하다.

(5) Nickel-Molybdenum 합금

Alloy B, B-2, N W 가 16 ~ 28% Mo

Hastelloy B-2 (Ni-28% Mo-2% Fe) 가 , 가

Mo (Knife Line Attack)
 Fe (2.0%) C Si (C
 0.025% , Si0.10%)
 Nickel 가

황산, 인산, 초산, 개미산 등의 환원성 산에 견디며 특히 염산에 대하여 강하다. 또한 비산화성의 염이나 할로겐화합물에 대해서도 내식성이 좋고 공식(Pitting) 저항성, 내응력부식 균열성 (耐 SCC 성)도 우수하다. 따라서 고온·고압의 산이나 할로겐화합물의 촉매를 쓰고 있는 부식성이 강한 화학공장에 사용되고 있다.

Cr
 가

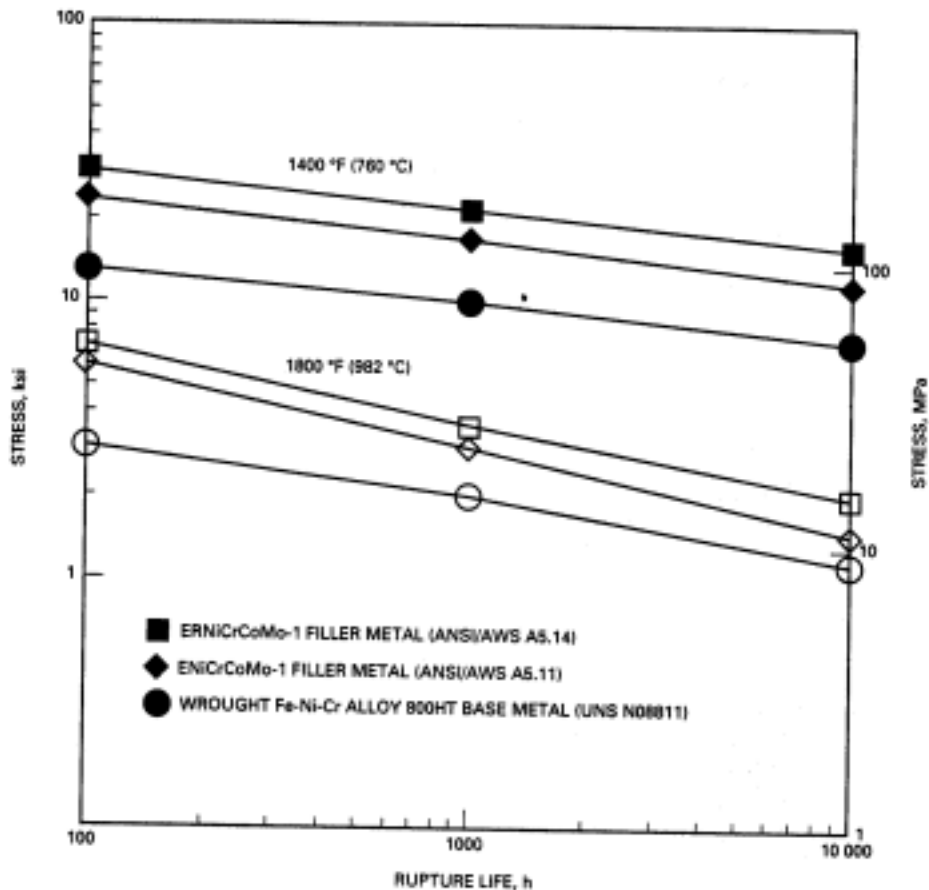


Fig. 1 Nickel 800HT 가 Stress-Rupture Value

(6) Nickel-Chromium-Molybdenum 합금

Alloy C-22, C-276, G, S, X, 622, 625 와 686 이 여기에 해당한다.

Hastelloy C 는 Cr 을 첨가함으로써 환원성 뿐 아니라 산화성 환경에 대해서도 우수한 내식성을 갖고 있어 부식성이 강한 화학공장에 많이 쓰여져

왔다. 그러나 이 합금도 용접 열영향부에서의 입계 부식을 일으키는 결점이 있다. 이 결점이 개선한 것이 **Hastelloy C-276**이며 현재 **Hastelloy C**는 주조재로만 쓰이고 있다.

Hastelloy C-276은 염화물중에서의 SCC에 강하고 공식, 입계 부식의 염려가 없는 것이 특징이며 거의 모든 장치의 중요기기에 쓰이고 있다. 이 합금은 부식환경이 변할 때 또는 2종류 이상의 다른 환경에 노출될 때에 유리하다. 예컨대 해수를 쓰는 고농도 황산 **Cooler**나 고농도 황산을 쓰는 염소 가스의 건조장치 등과 같이 해수 또는 염소 가스와의 복합 환경에서는 이 합금이 가장 좋은 재료이다. 이밖에 특수한 용도로서 냉간 가공과 저온 시효를 함으로써 **HRC 40-50**까지 경화 시켜서 내식성과 내마모성의 쌍방이 요구되는 부재, 예컨대 부식성이 강한 **Engineering plastic**의 사출성형기기용 **Cylinder, Screw**나 해산물 가공용의 칼날 등에 사용되고 있다.

앞의 **Hastelloy C-276**은 용접 열영향부의 예민화는 일어나지 않으나 **650-1090℃**의 온도범위에서 장시간 시효를 받으면 입계에 금속간 화합물이 석출하여 내식성 및 기계적성질이 약화한다. 이 장시간 시효성을 개선한 것이 **Hastelloy C-4**이며 장시간 시효 후에도 높은 연성 및 우수한 내식성을 나타내어 고온안정성이 우수하다.

Hastelloy C-4

Clad
Hastelloy C-276 가
Hastelloy C-22, Hastelloy (H₂S, CO₂ Cr, 油井管)
Mo, Cr, Mo, Cr, 耐
가

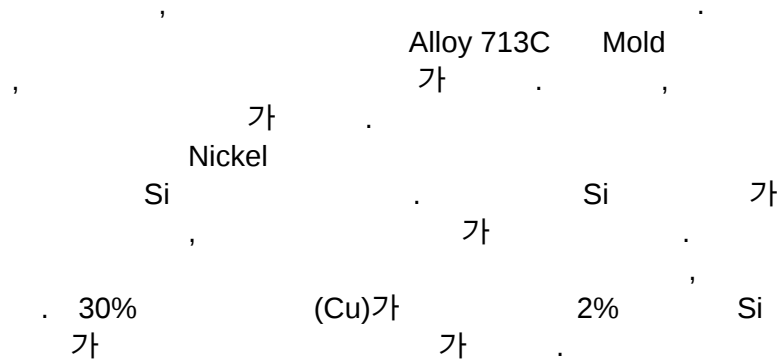
Hastelloy G-3은 **Hastelloy C-276**보다 고 Cr(약 22%)이어서 산화성이 부식환경에 강하나 Mo 함량이 낮아서 환원성 환경에서의 내식성이나 내국부 부식성은 떨어진다. 그러나 2% Cu를 함유시켜 황산이나 인산에 대한 내식성을 향상시켜 화학공장, 공해방지장치, 배연탈황(排煙脫黃)장치 등에 이용되고 있다. 이 합금의 내식성은 **Hastelloy G**와 동등하나 **G**에 비하여 Mo, W 양을 증가하고 C, Nb 양을 낮춤으로써 용접부의 건전성, 성형성 및 내국부 부식성이 향상하고 있다. 이 합금은 다른 **Hastelloy** 합금에 비하여 값이 싸므로 앞으로의 사용량이 증가할 것으로 기대된다.

1.2.2 Nickel 합금의 주조재

Nickel

Casting

가 가



1.2.3 석출 강화형 합금

Al, Ti 을 함유 γ 상 (Ni_3Al) 등을 석출하여 강화하는 것으로 Co, Mo 을 첨가하여 Al, Ti 의 고용한을 넓혀 고용체 강화를 시도한 것이다. 일반적으로 용접성이 떨어지며, 용접후 사효경화에 의해 균열이 발생할 수 있다. 특히 Al 의 함량이 높으면 이런 균열 발생 가능성이 커진다.

(1) Nickel-Copper

K-500, (Strain-Age) Monel 400, GTAW, ERNiFeCr-2, 가

(2) Nickel-Chromium

Cr 13 ~ 20% (Age-Hardening) Alloy 713C, X-750, U-500, R-41, Waspalloy, Al-Ti, Al-Ti-Nb, Nickel-Chromium, 가(Strength-versus-Weight)가, Gas Turbine

(3) Nickel-Iron-Chromium

Alloy 901 가, X-750

1.2.4 분산 강화형 합금

Nickel-Chromium, ThO_2

가

Fig. 2

Nickel

Al

Ti

가

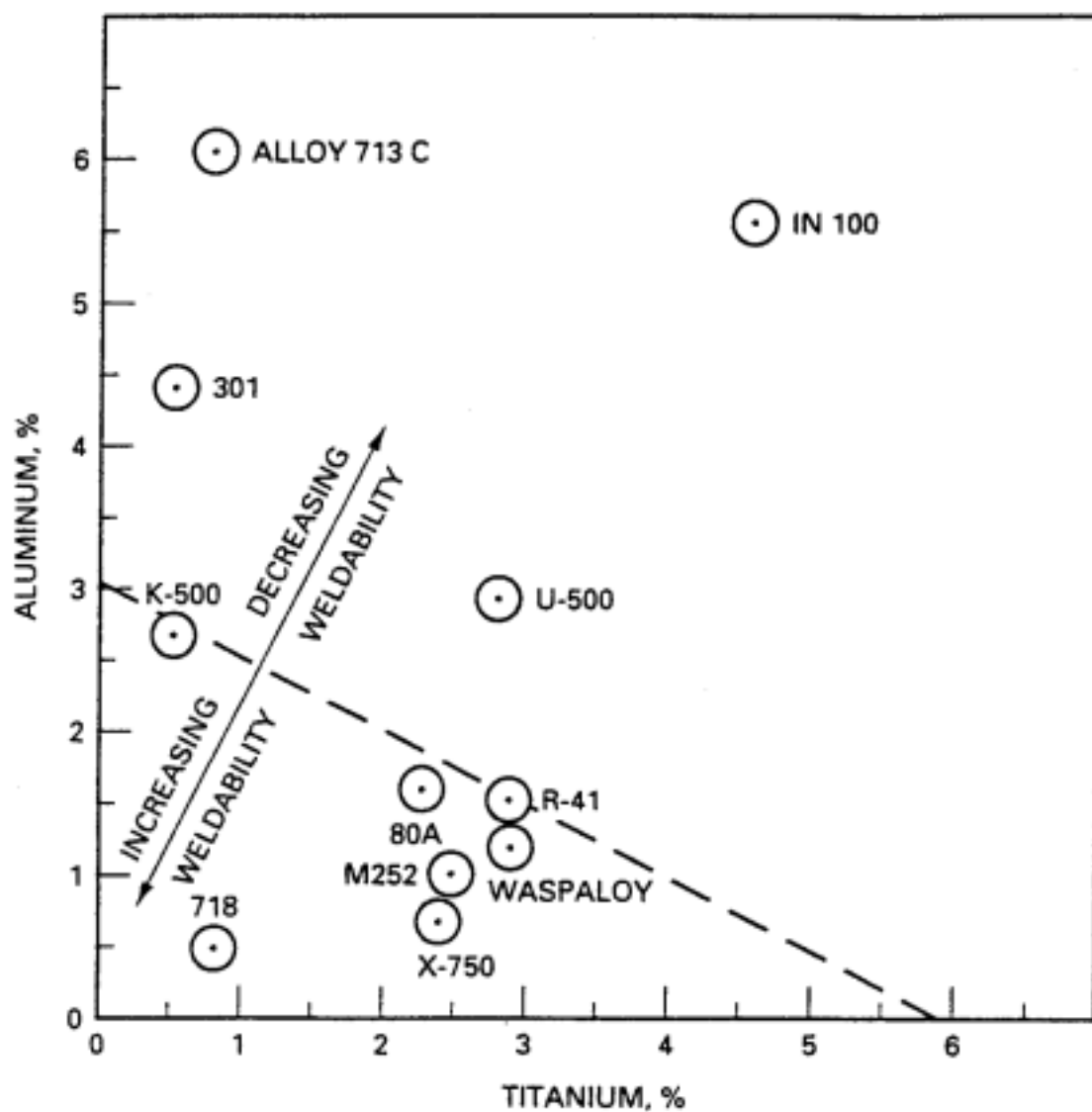


Table 3 Nickel

Alloy	UNS No.	Nominal Chemical Composition wt%														
		Ni ^A	C	Cr	Mo	Fe	Co	Cu	Al	Ti	Nb ^B	Mn	Si	W	B	Other
Nickel																
200	N02200	99.5	0.08	-	-	0.2	-	0.1	-	-	-	0.2	0.2	-	-	-
201	N02201	99.5	0.01	-	-	0.2	-	0.1	-	-	-	0.2	0.2	-	-	-
205	N02205	99.5	0.08	-	-	0.1	-	0.08	-	0.03	-	0.2	0.08	-	-	0.05Mg
Nickel																
400	N04400	66.5	0.2	-	-	1.2	-	31.5	-	-	-	1	0.2	-	-	-
404	N04404	54.5	0.08	-	-	0.2	-	44	0.03	-	-	0.05	0.05	-	-	-
R-405	N04405	66.5	0.2	-	-	1.2	-	31.5	-	-	-	0.1	0.02	-	-	-
X	N06002	47	0.10	22	9	18	1.5	-	-	-	-	1	1	0.6	-	-
NICR80	N06003	76	0.1	20	-	1	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-
NICR60	N06004	57	0.1	16	-	Bal	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-
G	N06007	44	0.4	22	6.5	20	2.5	2	-	-	2	1.5	1	1	-	-
IN102	N06102	68	0.06	15	3	7	-	-	0.4	0.6	3	-	-	3	0.005	0.03Zr, 0.02Mg
RA 333	N06333	45	0.05	25	3	18	3	-	-	-	1	1.5	1.2	3	-	-
600	N06600	76	0.08	15.5	-	8	-	0.2	-	-	-	0.5	0.2	-	-	-
601	N06601	60.5	0.05	23	-	14	-	-	1.4	-	-	0.5	0.2	-	-	-
617	N06617	52	0.07	22	9	1.5	12.5	-	1.2	0.3	-	0.5	0.5	-	-	-
622	N06622	59	0.005	20.5	14.2	2.3	-	-	-	-	-	-	-	3.2	-	-
625	N06625	61	0.05	21.5	9	2.5	-	-	0.2	0.2	3.6	0.2	0.2	-	-	-
686	N06686	58	0.005	20.5	16.3	1.5	-	-	-	-	-	-	-	3.8	-	-
690	N06690	60	0.02	30	-	9	-	-	-	-	-	0.5 ^C	0.5 ^C	-	-	-
725	N07725	73	0.02	15.5	-	2.5	-	-	0.7	2.5	1.0	-	-	-	-	-
825	N08825	42	0.03	21.5	3	30	-	2.25	0.1	0.9	-	0.5	0.25	-	-	-
B	N10001	61	0.05	1	28	5	2.5	-	-	-	-	1	1	-	-	-
N	N10003	70	0.06	7	16.5	5	-	-	-	-	-	0.8	0.5	-	-	-
W	N10004	60	0.12	5	24.5	5.5	2.5	-	-	-	-	1	1	-	-	-

Alloy	UNS No.	Nominal Chemical Composition wt%														
		Ni ^A	C	Cr	Mo	Fe	Co	Cu	Al	Ti	Nb ^B	Mn	Si	W	B	Other
C-276	N10276	57	0.01 ^C	15.5	16	5	2.5 ^C	-	-	0.7 ^C	-	1 ^C	0.08 ^C	4	-	0.35V max.
C-22	N06022	56	0.01 ^C	22	13	3	2.5 ^C	-	-	-	-	0.5 ^C	0.08 ^C	3	-	0.35V max.
B-2	N10665	69	0.01 ^C	1 ^C	28	2 ^C	1 ^C	-	-	-	-	1 ^C	0.1 ^C	-	-	-
C-4	N06455	65	0.01 ^C	16	15.5	3 ^C	2 ^C	-	-	-	-	1 ^C	0.08 ^C	-	-	-
G-3	N06985	44	0.015 ^C	22	7	19.5	5 ^C	2.5	-	-	0.5 ^C	1 ^C	1 ^C	1.5 ^C	-	-
G-30	N06030	43	0.03 ^C	30	5.5	15	5 ^C	2	-	-	1.5 ^C	1.5 ^C	1 ^C	2.5	-	-
S	N06635	67	0.02 ^C	16	15	3 ^C	2 ^C	-	0.25	-	-	0.5	0.4	1 ^C	0.015 ^C	0.02La
230	N06230	57	0.10	22	2	3 ^C	5 ^C	-	0.3	-	-	0.5	0.4	14	0.015 ^C	0.02La
214	N07214	75	0.10	16	-	3	-	-	4.5	-	-	0.5 ^C	0.2 ^C	-	0.01 ^C	0.01Y, 0.1Zr ^C
Nickel																
301	N03301	96.5	0.15	-	-	0.3	-	0.13	4.4	0.6	-	0.25	0.5	-	-	-
K-500	N05500	66.5	0.10	-	-	1	-	29.5	2.7	0.6	-	0.08	0.2	-	-	-
Waspaloy	N07001	58	0.08	19.5	4	-	13.5	-	1.3	3	-	-	-	-	0.006	0.06Zr
R-41	N07041	55	0.10	19	10	1	10	-	1.5	3	-	0.05	0.1	-	0.005	-
80A	N07080	76	0.06	19.5	-	-	-	-	1.6	2.4	-	0.3	0.3	-	0.006	0.06Zr
90	N07090	59	0.07	19.5	-	-	16.5	-	1.5	2.5	-	0.3	0.3	-	0.003	0.06Zr
M252	N07252	55	0.15	20	10	-	10	-	1	2.6	-	0.5	0.5	-	0.005	-
U-500	N07500	54	0.08	18	4	-	18.5	-	2.9	2.9	-	0.5	0.5	-	0.006	0.05Zr
713C	N07713	74	0.12	12.5	4	-	-	-	6	0.8	2	-	-	-	0.012	0.10Zr
718	N07718	52.5	0.04	19	3	18.5	-	-	0.5	0.9	5.1	0.2	0.2	-	-	-
X750	N07750	73	0.04	15.5	-	7	-	-	0.7	2.5	1	0.5	0.2	-	-	-
706	N09706	41.5	0.03	16	-	40	-	-	0.2	1.8	2.9	0.2	0.2	-	-	-
901	N09901	42.5	0.05	12.5	-	36	6	-	0.2	2.8	-	0.1	0.1	-	0.015	-
C902	N09902	42.2	0.03	5.3	-	48.5	-	-	0.6	2.6	-	0.4	0.5	-	-	-
IN100	N13100	60	0.18	10	3	-	15	-	5.5	4.7	-	-	-	-	0.014	0.06Zr, 1.0V

Alloy	UNS No.	Nominal Chemical Composition wt%														
		Ni ^A	C	Cr	Mo	Fe	Co	Cu	Al	Ti	Nb ^B	Mn	Si	W	B	Other
Nickel																
TD Nickel	N03260	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2ThO ₂
TD NICKR	N07754	78	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2ThO ₂

Note :

A : Co

Co

B : Ta

(Nb + Ta)

C :

Table 4 ASTM Nickel

Alloy	UNS No.	Nominal Chemical Composition wt%											
		Ni	C	Cr	Mo	Fe	Th	Al	Ti	Cu	Mn*	Si*	W
ASTM A297-79													
HW	N08001	60	0.5	12	-	25	-	-	-	-	2.0	2.5	-
HX	N06006	66	0.5	17	-	15	-	-	-	-	2.0	2.5	-
ASTM A494-79													
CY-40	N06040	72	0.4*	16	-	11*	-	-	-	-	1.5	3.0	-
CW-12M-1	N30002	55	0.12*	16.5	17	6	-	-	-	-	1.0	1.0	4.5
CZ-100	N02100	95	1.0*	-	-	3*	-	-	-	1.25*	1.5	2.0	-
M-35-1	N24135	68	0.35*	-	-	3.5*	-	-	-	30	1.5	1.25	-
N-12M-1	N30012	65	0.12*	-	28	5	-	-	-	-	1.0	1.0	-

Note : * Maximum

Table 5 Iron Base Nickel (Highly Alloyed Iron-Based Alloys)

Alloy	UNS No.	Nominal Chemical Composition, wt%										
		Ni ^A	Cr	Co	Fe	Mo	Ti	W	Nb ^C	Al	C	Other
Iron-Based Nickel												
20Cb3	N08020	35	20	-	36	2.5	-	-	0.5	-	0.04	3.5Cu, 1Mn, 0.5Si
800	N08800	32.5	21.0	-	45.7	-	0.40	-	-	0.40	0.05	-
800HT	N08811	33.0	21.0	-	45.8	-	0.50	-	-	0.50	0.08	-
801	N08801	32.0	20.5	-	46.3	-	1.13	-	-	-	0.05	-
802	N08802	32.5	21.0	-	44.8	-	0.75	-	-	0.58	0.35	-
19-9 DL	S63198	9.0	19.0	-	66.8	1.25	0.30	1.25	0.4	-	0.30	1.10Mn, 0.60Si
N-155	R30155	20.0	21.0	20.0	32.2	3.00	-	2.50	1.0	-	0.15	0.15N
RA330	N08330	36.0	19.0	-	45.1	-	-	-	-	-	0.05	-
556	R30556	21.0	22.0	20.0	29.0	3.00	-	2.50	0.1	0.30	0.10	0.5Ta, 0.02La
Iron-Based Nickel												
A-286	S66286	26.0	15.0	-	55.2	1.25	2.00	-	-	0.02	0.04	-
903	N19903	38.0	-	15.0	41.0	0.10	1.40	-	3.0	0.70	0.04	-

Note :

A : Co

Co

B : Ta

(Nb + Ta)

Nickel 합금의 종류와 대략적인 특성은 다음의 Table 6 와 같다.

Table 6 주요 니켈 합금의 종류별 기계적 성질과 유사 재료 Code No.

합금명	주요 합금 성분	기 계 적 성 질 (상온)					관 련 규 격
		밀도 (g/cm ³)	상 태	인장강도 1000psi (MPa)	항복강도 1000psi (Mpa)	경 도 Brinell (Rockwell)	
MONEL 400 (N04400)	Ni 66.5 Cu 31.5	8.83	Annealed	70-90 (480-620)	25-90 (170-340)	110-149	BS 3072-3076 (NA13). ASTM B (ASME SB-) 127, 163-165, 564 AMS 4544, 4574, 4575, 4730, 4731, 7233 DIN 17743, 17750-17754 / W. Nr. 2.4360, 2.4361 / QQ-N-218 / AFNOR NU30
MONEL R-405 (N04405)	Ni 66.5 Cu 31.5 S 0.04	8.83	Annealed	70-85 (480-590)	25-40 (170-280)	110-140	ASTM B(ASME SB-) 164 AMS 4674, 7234 / QQ-N-281
MONEL 450 (C71500)	Cu 68 Bu 30 Ne 0.7		Annealed	56 (385)	24 (165)	90	ASTM B(ASME SB-)111, 112, 151, 171, 359, 395, 402, 466, 467, 543
MONEL K-500 (N05500)	Ni 65.5 Cu 29.5 Al 2.7 Ti 0.6	8.46	Aged	140-190 (970-1310)	110-150 (760-1030)	265-346	BS 3072-3076(NA18) AMS 4676 / DIN 17743, 17752, 17754 W. Nr.2.4375 / QQ-N-281
INCONEL 600 (N06600)	Ni 76.0 Cr 15.5 Fe 8.0	8.42	Annealed	80-100 (550-690)	30-50 (210-340)	120-170	BS 3072-3076(NA14) ASTM B (ASME SB-) 163, 166-168, 564 AMS 5540, 5580, 5665, 5687, 7232 DIN 17742,17750-17754 / W. NR. 2.4851
INCONEL 601 (N06601)	Ni 60.5 Cr 23.0 Fe 14.0 Al 1.4	8.06	Annealed	80-115 (550-790)	30-60 (210-340)	110-150	AMS 5715, 5870 / DIN 17742, 17750-17752 / W. NR. 2.4851
INCONEL 617 (N06617)	Ni 52 Mo 9 Cr 22 Al 1.2 Co 12.5	8.36	Annealed	110 (760)	51 (350)	173	
INCONEL 625 (N06625)	Ni 61 Cr 21.5 Mo 9 Nb + Ta 3.6	8.44	Annealed	135 (930)	75 (520)	180	BS 3072, 3074, 3076(NA21) ASTM B(ASME SB-) 443, 444, 446, 564 AMS 5581, 5599, 5666, 5837 DIN 17744,17750-17752, 17754 W. Nr 2.4856 / AFNOR 22 D Nb
INCONEL 690 (N06690)	Ni 60 Cr 30 Fe 9.5	8.19	Annealed	100 (690)	55 (379)	184	ASME CODE CASE N-20 (1484)
INCONEL 718 (N07718)	Ni 52.5 Mo 3 Cr 19 Fe 18.5 Nb + Ta 5.1	8.19	AGED	196 (1350)	171 (1180)	382	ASTM B 637, B 670 AMS 5589, 5590, 5596, 5597, 5662-5664, 5832 / W.Nr. 2.4668 AECMA Pr EN 2404, 2407, 2408
INCONEL X-750 (N07750)	Ni 73 Ti 2.5 Cr 15.5 Al 0.7 Fe 7 Nb + Ta 1.0	8.25	AGED	162-193 (1120- 1330)	115-142 (790-980)	300-390	BA HR505 / ASTM B 637 AMS 5542, 5582, 5583, 5598, 5667-5671, 5698, 5699, 5747, 5749, 7246 AFNOR NC 15 Fe T
INCOLOY 800 (N08800)	Ni 32.5 Fe 46.0 Cr 21.0	7.95	Annealed	75-100 (520-690)	30-60 (210-410)	120-184	BS 3072-3076(NA15) ASTM B (ASME SB-) 163, 407-409, 564 AMS 5766, 5871 S. E. W. 470 / W. Nr. 1.4876
INCOLOY 800HT (N08811)	Ni 32.5 C 0.08 Fe 46.0 Cr 21. Al + Ti 1.0	7.95	Annealed	65-95 (450-660)	20-50 (140-340)	100-184	ASTM B(ASME SB-) 163, 407-409, 564/ W. Nr. 1.4876 / BS 3072, 3074, 3076(NA15H) / S. E. W 470
INCOLOY 825 (N08825)	Ni 42 Cu 2.2 Fe 30 Cr 21.5 Mo 3	8.14	Annealed	85-105 (590-720)	35-65 (240-450)	120-180	BS 3072-3074, 3076(NA 14) ASTM B (ASME SB-) 163, 423-425 DIN 17744, 17750-17752, 17754 W. Nr. 2.4858
INVAR (K93600)	Ni 36 Fe 64	8.13	Annealed	72 (490)	36 (250)	139	ASTM B 388 / DIN 1715 / S. E. W. 385 W. NR.1.3912 / AFNOR A54-301
ALLOY42 (K94100)	Ni 42 Fe 58	8.13	Annealed	72 (490)	37 (255)	139	ASTM F 30 / DIN 17745 / S. E. W. 385 W. Nr. 1.3922. 1.3926. 1.3927 AFNOR A54-301
KOVAR (K94610)	Ni 29.5 Fe 53 Co 17	8.16	Annealed	76 (525)	49 (340)	158	ASTM F 15 / AMS 7726-7728 DIN 17745 / S. E. W 385

합금명	주요 합금 성분	기계적성질 (상온)					관련 규격
		밀도 (g/cc)	상 태	인장강도 1000psi (MPa)	항복강도 1000psi (Mpa)	경 도 Brinell (Rockwell)	
							AFNOR A54-301
HASTELLOY B-2 (N10665)	Ni BAL Cr 1.0 Mo 28 Mn 1.0 Fe 2.0 Si 0.10 Co 1.0 C 0.01	9.22	Annealed	132.5 (914)	57.5 (396)	228 (B-95)	ASTM B (ASME SB-) 333, 335, 619, 622, 626 AWS A 5.14, A 5.11
HASTELLOY C-276 (N10276)	Ni BAS W 4 Mo 16 Co 2.5 Cr 15.5 Mn 1.0 Fe 5.5 C 0.01	8.89	Annealed	114.9 (792)	51.6 (356)	184 (B-90)	ASTM B(ASME SB-) 574, 575, 619, 622, 626. DIN 17744, 17750, 17751, 17752. W Nr. 2.4819
HASTELLOY C-4 (N06455)	Ni BAL Co 2.0 Cr 16 Mn 1.0 Mo 15.5 Ti 0.7 Fe 3.0 C 0.01	8.64	Annealed	116.2 (801)	61.0 (421)	194 (B-92)	ASTM B(ASME SB-) 574, 575, 619, 622, 626 AWS A 5.14, A 5.11
HASTELLOY C-22 (N06022)	Ni Bal Cr 20-22.5 W 2.5-3.5 Co 2.5, C 0.01	8.69	Annealed	116.3 (802)	58.5 (403)	184 (B-90)	ASTM B(ASME SB-) 574, 575, 619, 622, 626 AWS A 5.14, A 5.11
HASTELLOY G (N06007)	Ni BAL Co 2.5 Cr 22 Cb + Ta 2 Fe 19.5 Cu 2 Mo 6.5 Mn 1.5 W 1 Si 1	8.30	Annealed	102.0 (703)	46.2 (319)	161 (B-84)	ASTM B(ASME SB-) 581, 582, 619, 622, 626 AWS A 5.14, A 5.11
HASTELLOY G-3 (N06985)	Ni BAL Co 5 Cr 21-23.5 Cu 1.5-2.5 Ne 18-21 W 1.5 Mo 6-8 Si 1 Mn 1 C 0.015	8.30	Annealed	99.0 (683)	44.0 (303)	158 (B-83)	ASTM B(ASME SB-) 581, 582, 619, 622, 626 AWS A 5.14, A 5.11
HASTELLOY G-30 (N06030)	Ni BAL Mo 5.0 Cr 29.5 W 2.5 Fe 15.0 Mn 2.0 Cu 1.7 Co 5.0 Si 1.0	8.22	Annealed	100 (690)	47 (324)	176 (B-88)	ASTM B(ASME SB-) CODE CASE 1979
HASTELLOY X (N06002)	Ni BAL Co 1.5 Cr 22 Si 1 Fe 18.5 Mn 1 Mo 9 W 0.6 C 0.1 Al 0.5 Ti 0.15	8.22	Annealed	109.5 (755)	55.9 (385)	194 (B-92)	ASTM B (ASME SB-) 435, 572, 619, 622, 626, AMS 5390, 5536, 5798, 7237 AWS A 5.14, A 5.11
ALLOY 20 (N08020)	Ni 35 Mo 2.5 Fe 37 Cr 20 Cu 3.5	8.0	Annealed	90 (620)	45 (310)	183 (B-90)	ASTM B (ASME SB-) 462, 463, 464, 468, 472-474
NICKEL 200 (N02200)	Ni 99.6 C 0.15 MAX	8.89	Annealed	55-80 (380-550)	15-30 (100-210)	90-120	ASME SB 160, 161, 162, 163 ASSTM B 160, 161, 162, 163, 366
NICKEL 201 (N02201)	Ni 99.6 C 0.02 MAX	8.89	Annealed	55-80 (380-550)	15-30 (100-210)	90-120	ASME SB 160, 161, 162, 163 ASTM B 160, 161, 162, 163, 366 AMS 5553

* Hastelloy 는 Cabot Corp 상의 Trademark 이고 Monel, Inconel, Incoloy 는 INCO 상의 Trademark 이다.

2. Nickel Alloy 의 용접 일반

Nickel Alloy 의 용접은 숙련된 기능 없이도 비교적 손쉽게 다양한 용접 Process 에 의해 양질의 용접물을 얻을 수 있는 장점이 있다. 적절한 용접을 시행하기 위해서는 올바른 용접봉과 용접 Process 가 선정되어야 하며 이를 위해서는 다음과 같은 사항이 고려 되어야 한다.

- (1) Thickness of metal to be joined
- (2) Design of unit
- (3) Design of the joint
- (4) Position in which the joint is to be made
- (5) Need for jigs or fixtures
- (6) Service conditions and corrosive environments to which the joint will be exposed
- (7) Special shop or field construction condition

Nickel Alloy 의 용접 Process 는 일반적인 Stainless Steel 의 용접과 매우 유사하다. Thermal Expansion 은 Carbon Steel 과 유사하며 용접중에 Thermal Expansion 으로 인한 변형이 일어날 수 있다. 용접부 강도 관점에서 모든 용접 Bead 는 약간 볼록한(Convex) 상태가 되어야 하며 편평하거나 오목한(Concave) 용접 Bead 는 피해아 한다. 그러나, 실제로는 Nickel Alloy 의 용탕은 퍼짐성이 약해서 접합부내로 용입(Penetration)이 작게 되고 용탕의 Wetting 이 작아서 지나치게 볼록하게 되며 자칫 용입 불량등의 결함이 발생할 수 도 있으므로 일부 공사시방서(Spec.)에서는 일부 러 약간의 오목한 용접부를 만들도록 유도하는 경우도 있다.

일반적으로 예열은 하지 않는다. 그런, 용접 대상물이 너무 냉각되어 있을 경우에는 수분의 Condensation 으로 인해 발생할 수 있는 용접 Bead 의 Porosity 발생 등의 피해를 막기 위해 16 ~ 20℃ 정도로 예열해 주기도 한다.

내식성을 보존해 주기 위한 용접 후 열처리(PWHT)나 Chemical Treatment 는 실시 하지 않는다. 거의 모든 환경에서 Nickel Alloy 의 용접부는 모재와 동일한 내식성을 가진다. 예외적인 경우로서 Hydrofluoric Acid Vapor 나 Caustic 분위기에 사용될 경우에는 Stress Corrosion Cracking 을 예방하기 위해 잔류 응력 제거를 위한 열처리를 시행한다. 또한 석출 경화(Precipitation Hardening)를 통해 강도 향상을 이루기 위한 열처리가 실시되기도 한다.

2.1 (Surface Cleaning)

Nickel Alloy	가	
	Nickel Alloy	Sulfur Phosphorous
.	.	Sulfur Phosphorous
.	Grease, Oil, Paint, Cutting Fluid	
.	.	.
.	Cleaning	(Attack, or
Embrittlement)	.	.
.	Cleaning	50mm
.	.	.
Cleaning	.	Solvent
Sand Blasting	Abrasive Cleaning	Oxide

가 Oxide Base Metal 가 Lack of Fusion (Surface Cleaning)

Table 3.

Table 3. Surface Cleaning Method

Harmful Elements	Proper cleaning method
Machining Oil or Grease	Remove with acetone, trichloroethylene, methyl alcohol or other organic solvents.
Marking Crayon	
Temperature Indicating Sticks	
Paint and other less soluble materials	Remove methylene chloride, alkaline cleanness or proprietary mixtures
Oil mist from compressors blast or other machinery	Remove with grinder or shot Remove with 10% HCl

2.2 Joint Design

Nickel Alloy Joint Design 가
, Nickel Alloy (Weld Metal)
(Spread) Weaving
, Joint Design
, Nickel Alloy Penetration Joint Root 가
(Incomplete Penetration)
가 가 가
가

2.2.1 Groove Joints

가 0.093 in (2.36mm) (Groove)
V-, U-, J- Groove 가
2.36mm 가
Crevice Void
Notch Stress
가
Under Bead Contour Gas
Tungsten Arc Welding(TIG)
3/8in Double-V, Double-U Groove Joint
(Groove)

- 1) 전체적인 용접봉의 소용량이 감소한다,
- 2) 충분한 용입을 위한 용접시간이 절약된다.
- 3) Single Groove 에 비해 잔류 응력이 감소된다.
- 4) 상대적으로 적은 잔류 응력으로 인해 용접 시 변형이 감소한다.

2.2.2 Corner and Lap Joints

Joint
Mechanical Cycling Condition
Full Thickness
Root Side Fillet
Thermal or
Corner Joints

2.2.3 Jigs and Fixtures

Jigs, Clamps Fixture
Gas Welding Fixture Steel Cast Iron
Arc Welding Fixture Arc Contact
Copper Weld Groove Fixture Weld Metal
Penetration Gas Flux 가
Contour 가
Nickel alloy Mild Carbon Steel
Clamp or Restraint
(Weld Metal)
Compressive Stress Hot Weld Metal Upsetting Effect 가
Filler Metal Reinforcement 가

2.3 Ni 합금의 용접 재료

Ni 및 Ni 합금용으로 적용되는 용접재료는 Table 2 에 표시한 바와 같다.
용접 재료의 화학성분은 적용되는 모재와 거의 차이가 없지만, 고온 균열에 대한 저항력을 높이고 용착 금속의 품질 향상을 위해 Nb, Mn, Ti, Mo 등의 원소를 첨가 시키기도 하면 이들 원소의 양은 용착 금속의 기계적 성질과 내식성을 저하하지 않는 범위 내에서 첨가량을 관리하고 있다.

Table 7. Nominal Welding Consumable for Nickel Alloys

Welding Consumable	Ni	C	Mn	Fe	S	Si	Cu	Cr	Mo	Al	Ti	Nb
Nickel 200	99.5	0.08	0.18	0.2	0.005	0.18	0.13	-	-	-	-	-
Nickel Filler Metal 61	96.0	0.06	0.30	0.10	0.005	0.40	0.02	-	-	-	3.0	-
Nickel Welding Electrode 141	96.0	0.03	0.30	0.05	0.005	0.60	0.03	-	-	0.25	2.5	-
Monel Alloy 400	66.5	0.15	1.0	1.25	0.012	0.25	31.5	-	-	-	-	-
Monel Filler Metal 60	65.0	0.03	3.5	0.20	0.005	1.00	27.0	-	-	-	2.2	-
Monel Welding Electrode 190	65.0	0.01	3.10	0.30	0.007	0.75	30.5	-	-	0.15	0.55	-
Inconel Alloy 600	76.0	0.08	0.5	8.0	0.008	0.25	0.25	15.5	-	-	-	-
Inconel Filler Metal 82	72.0	0.02	3.0	1.0	0.007	0.20	0.04	20.0	-	-	0.55	2.5
Inconel Welding Electrode 132	73.0	0.04	0.75	8.50	0.006	0.20	0.04	15.0	-	-	-	2.1
Inconel Welding Electrode 182	67.0	0.05	7.75	7.50	0.008	0.50	0.10	14.0	-	-	0.40	1.75
Inco-Weld "A" Welding	70.0	0.03	2.0	9.0	0.008	0.30	0.06	15.0	1.5	-	-	2.0

Electrode												
Inconel Alloy 625	61.0	0.05	0.25	2.5	0.008	0.25	-	21.5	9.0	0.2	0.2	3.65
Inconel Filler Metal 625	61.0	0.05	0.25	2.5	0.008	0.25	-	21.5	9.0	0.2	0.2	3.65
Inconel Welding Electrode 112	60.0	0.034	0.26	3.9	0.009	0.41	-	21.25	9.0	-	-	3.5
Incoloy Alloy 825	42.0	0.03	0.50	30.0	0.015	0.25	2.25	21.5	3.0	0.10	0.90	-
Incoloy Filler Metal 65	42.0	0.03	0.70	30.0	0.015	0.25	2.25	21.5	3.0	0.10	0.90	-
Inconel Welding Electrode 135	36.0	0.05	2.0	26.0	0.008	0.40	1.80	29.0	3.75	-	-	-
70/30 Copper Nickel	30.0	-	0.5	0.55	-	-	Bal	-	-	-	-	-
Monel Filler Metal 67	31.0	0.2	0.75	0.50	0.005	0.10	67.5	-	-	-	0.30	-
Monel Welding Electrode 187	32.0	0.02	2.0	0.6	0.01	0.15	65.0	-	-	-	-	-

이중에서 Inconel 182 는 원자력 분야에서 개발되었기 때문에 고온에서 우수한 내식성을 갖고 있지만 Mn 양이 많기 때문에 다른 환경에서는 내식성을 저하하므로 사용상 주의를 요한다. 탄소강의 육성 용접을 할 경우에는 모재의 희석에 의한 내식성 저하 때문에 Nickel 200, Monel 400, Inconel 625, 70/30 Cu-Ni 의 경우 최대 5% Fe 까지 허용하고 있다.

2.3.1 Ni Ni

Ni Ni

Bead

Ni Ni

,

SMAW

가

Flux

Ni

1) 가 Arc

Weaving

2)

Weaving

3) Root Face

가

2.3.2

Dilution

Dilution

가

1)

- 2)
- 3)
- 4)

Ni Ni Ni Ni
가 , Stainless Steel Ni Ni
가 가 .
가
1) Inconel 가
2) Inconel , 가 Austenite Stainless Steel
가
Ni

4

Table 8 이종금속 용접의 대표 사례

조 합 재 료		적용 용접재료
MONEL 400	탄소강 SUS 304 70/30 Cupro-Nickel HASTELLOY- B	Ni, NiCu Ni, NiCr, NiCrFe NiCu, CuNi Ni
Nickel 200	탄소강 SUS 304 MONEL 400 70/30 Cupro-Nickel HASTELLOY- B	Ni, NiCu Ni, NiCr, NiCrFe NiCu, Ni Ni, CuNi NiCr, NiCrFe
INCONEL 600 (INCOLOY 800)	탄소강 SUS 304 MONEL 400 Nickel 200 70/30 Cupro-Nickel HASTELLOY- B	NiCr, NiCrFe NiCr, NiCrFe NiCr, NiCrFe Ni, NiCr Ni NiCr, NiCrFe

2.3.3 Ni

Ni Ni

가 Austenite

(1) 고온 균열

고온 균열의 발생 원인으로는 응고시 S 나 Pb 등과 같은 미량의 불순물에 의한 저융점 개재물이 액상의 Film 형태로 결정 입계에 잔류해서 응고시 발생하는 수축응력에 의해 발생하는 것으로 이러한 저 융점 개재물 중에는 Ni 과 반응하여 융점이 더욱 낮은 공정화합물로 존재하여 균열을 야기 시키기도 한다.

용접시 대부분의 고온 균열은 Crater 와 Bead 표면에서 주로 발생하는데 이와 같은 균열의 방지 대책을 종합하면 다음과 같다.

(a) 용접 입열량을 줄일 것

(b) 예열 및 층간 온도를 낮게 할 것

(c) Crater 처리를 할 것

(d) 개선내 기름 및 그 외의 부착물(이물질)을 충분히 제거할 것

뿐만 아니라 상기 대책 외에 고온 균열 감수성이 낮은 용접 재료를 선정하는 것도 매우 중요하다. 그리고, 이상과 같은 응고 균열외에 석출 경화형 합금에 다량으로 함유된 Al, Ti 이 Ni 과 공정화합물을 형성하여 결정 입계에 γ 상(Ni_3Al 또는 $Ni_3(Al, Ti)$)을 석출시키고, 이 석출상이 어느 온도에서 급격히 연성저하를 일으켜 균열을 발생시키기도 한다.

(2) 기공 발생

기공은 용접 개선 부위에 기름, 산화물 등 이물질의 존재에 의하여 주로 발생된다. 뿐만 아니라 보호 가스의 유량이 부적당하고 순도가 불량할 경우에도 기공이 발생하는데 이를 방지하기 위해서는 개선내를 용접전에 충분히 깨끗이 하고 보호 가스의 종류와 유량 등을 충분히 검토하여 완전한 보호 가스가 항상 얻어질 수 있도록 유의할 필요가 있다.

2.4 Ni 합금의 용접 시공

(Cu) 가 Ni Nickel

Table 9 Nickel

Table 9. Nickel Nickel

합 금 명	SMAW	GTAW	GMAW	SAW	EBW	가스용접
NICKEL 200	○	○	○	○	○	○
NICKEL 201	○	○	○	○	○	○
MONEL 400	○	○	○	○	○	○
MONEL K500	○	○	○	○	○	○

합 금 명	SMAW	GTAW	GMAW	SAW	EBW	가스용접
INCONEL 600	○	○	○	○	○	○
INCONEL 601	○	○	○	○	○	○
INCONEL 800	○	○	○	○	○	○
INCONEL 825	○	○	○	○	○	○
INCONEL 901	○	○	○	○	○	○
HASTELLOY- B	○	○	○	○	○	○
HASTELLOY- C	○	○	○	○	○	○
HASTELLOY- F	○	○	○	○	○	○
HASTELLOY- G	○	○	○	○	○	○
HASTELLOY- N	○	○	○	○	○	○

2.4.1

Shield Metal Arc Welding 1/16 in (1.6 mm)

INCONEL , MONEL, HASTELLOY-

(1) (Electrodes)

Chemical Composition

316 (600) 1 ,

260 (500) 2

(2) (Current)

Arc 가

Fixture Tightness , Joint , Backing , Clamp
Vertical Welding Overhead Welding Plat Welding

(3) (Welding Technique)

가 Arc Vertical Overhead Plat
Position Arc Nickel Alloy Weld Metal
(Spread) Weaving Weld Metal
Arc 가

가 Weld Metal Puddle Crater
 Crack , Crater Rolled Leading Edge 가 Crater
 Arc Strike Crater ()
 Weaving 가
 "Reverse" "T" Restrike
 Arc Strike
 1) Arc
 2) Crater
 3) Porosity
 Porosity
 Radiographic Test Crater
 Bead Arc Strike
 (4) (Cleaning)
 Bead Slag Hand Tool Powered
 Wire Brush Slag

2.4.2 가

Gas Tungsten Arc Welding Nickel Alloy
 가 Flux 가
 가
 Precipitation Hardenable Alloy Gas
 Tungsten Arc Welding

(1) 가 (Shielding Gas)

GTAW TIG Shield Gas
 Helium, Argon Gas
 Nickel Shielding Gas (O₂),
 (N₂)가 Porosity (CO₂),
 (Electrode)
 5% (H₂) 가 Arc 가
 Bead
 Filler Metal Argon Gas Helium Gas
 가 Porosity , 가
 (Straight Polarity,
 , Helium 가 Argon Gas
 40% 가
 Arc Helium 가 40%

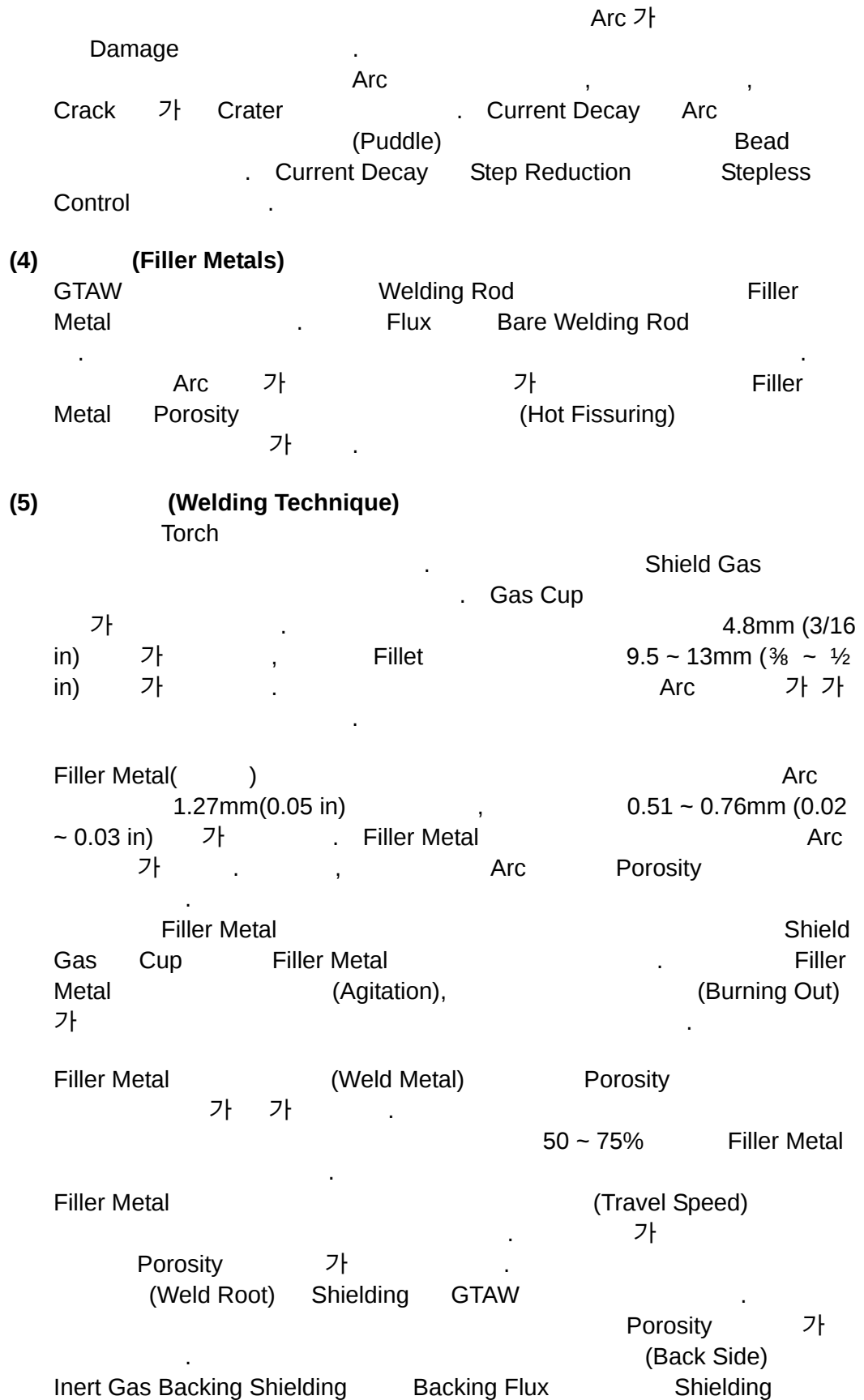
가 가
60A Helium Gas Arc
가 Argon Gas
Gas Flow Rate , Weld
Metal 가
Weld Metal Porosity
Argon Gas Shield Manual 10
~ 20Ft³/h (0.28 ~ 0.57 m³/h) 가 , Machine /
Ar 가 Ar Gas 1½ ~ 3 Helium Gas
Flow Rate 가 Shielding Gas Cup Size 가
Shielding Gas 가
Porosity , Fan,
Generator
Torch Venturi

(2) (Electrodes)

Tungsten 2% Thorium
Tungsten Tungsten Alloy
(Vaporization)
100A Bead Penetration
(Penetration) 가 Arc
Bead Tapered Tip

(3) (Current)

GTAW () Power
Supply Arc 가
Current Decay 가
Arc
Arc
Tip Tungsten Inclusion Arc



Backing Flux
 Backing Flux 가 Porosity
 Slag , ,

2.4.3 Gas Metal Arc Welding

Nickel Gas Metal Arc Welding (Weld
 Metal Transfer) Spray, Short-Circuiting Pulsing Arc 가 Globular
 Transfer Bead
 3.2mm (1/8 in) Short Circuiting Transfer
 , Spray or Pulsing Arc Transfer

Short Circuiting Transfer
 , Transfer
 , Short Circuiting Transfer

Out of Position
 Spray Transfer , Arc
 Spray Transfer (Flat
 Position)
 Pulsing Arc (Peak) Spray Transfer Range
 가 , Globular Transfer Range 가 Pulsing Arc
 Transfer Spray 가 ,

(6) 가 (Gas)

GMAW Shield Gas Ar Ar + He 가
 가 Metal Transfer

1) Spray and Globular Transfer

Spray and Globular Transfer Ar 가 , He
 가 He 가 Shield
 Bead
 Gas (O₂) (CO₂)가 Porosity
 He 가 , Arc
 Spatter
 Rate 0.71 ~ 2.83 m³/h (25 ~ 100
 Ft³/h) 가

2) Short Circuiting Transfer

Short Circuiting Transfer Ar + He 가
 가 Ar Gas Pintch 가 ,
 (Convex) Bead Lack of Fusion
 He 가 Bead Cold
 Lapping(Lack of Fusion)
 Gas Flow Rate 0.71 ~ 2.83 m³/h (25 ~ 100 Ft³/h) , He

가	Protection	Flow Rate 가	가
Gas Cup Size			, Ar
He 50:50	, Flow Rate 가	1.1 m ³ /h (40 Ft ³ /h)	9.5mm(³ / ₈ in)
Gas Cup Size	6.4m/min (250in/min)	Wire	120A
Wire	10.2m/min(400in/min)	, Gas Cup Size 가	16mm(⁵ / ₈ in)
		160 ~ 180A	

3) Pulsed-Arc Transfer

Pulsed Arc Transfer	Shielding Gas	Ar + He
15 ~ 20%	He	
Gas Flow Rate	0.71 m ³ /h (25 Ft ³ /h)	1.3 m ³ /h (45
Ft ³ /h)	Gas Flow Rate	Arc

(7) Filler Metals

GMAW	Filler Metal	GTAW
Wire		Metal Transfer
Spray Transfer	1.6mm(0.062in)	, Short
Circuiting Transfer	0.9mm(0.035in), Pulsing Arc Transfer	
1.1mm(0.045in)	Wire 가	

(8) (Current)

GMAW	Metal Transfer
(DCRP)	Spray Transfer
mode	Transition Point
Transition Point	Wire , , Power Source
	GMAW 가

(9) (Welding Technique)

Gun	
가	Metal Transfer
Arc	Splatter
Arc	Splatter
Control	Wire
Short Circuiting Method	Arc
Gun	Puddle
가	Arc 가
Pulsed Arc Transfer	(Convex) Bead
Weaving	SMAW
	Undercut
	Cold Lapping

Filler Wire Guide Gun Tube

2.4.4 SAW

SAW

35 ~ 50%

가

GMAW

Bead, Arc

(1) Flux

SAW

가

Flux
Flux

Flux

Flux

Flux
Arc
Arc 가

Bead 가

(Particle Size)

SAW

Flux

Flux 315 ~ 480 (600 ~ 900)

2

가

(2) Filler Metal

SAW

Filler Metal GMAW

Filler Metal

1.1 ~ 2.4mm (0.045 ~ 3/22 in)

Wire 가

1.6mm(1/16 in)

Wire 가

(3) (Current)

Bead

가

Butt

Overlay

Flux 가

, Flux Burden

Butt

, Slag

가

(4) (Welding Technique)

Bead

(Open or reasonably wide) Root

Area 가

. Bead

Bead

(Concave) Bead 가

Bead

Bead 가

SAW

Pass

Chemical Composition

Multipass

, Flux
GTAW

SAW

가

. NCONEL

MONEL

2.4.5

&

가

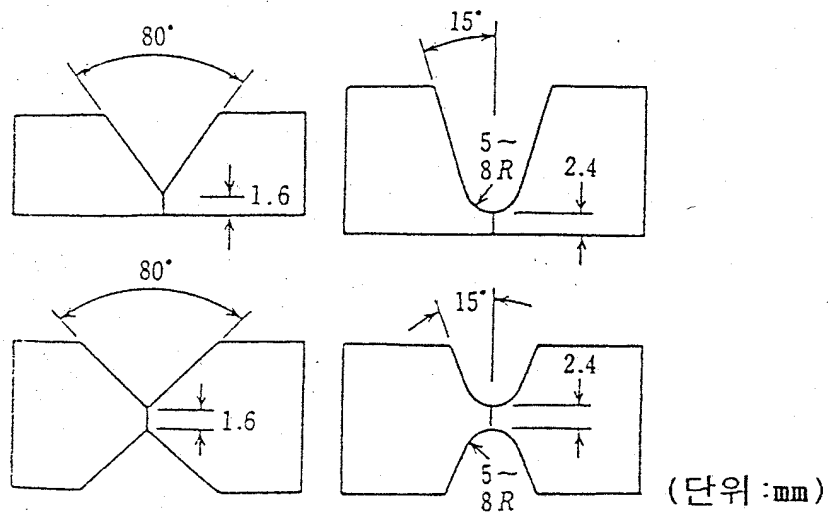


Fig. 2 NICKEL 합금에 적용되는 개선형상의 예