INCONEL718 合金（UNS N07718/W.Nr.2.4668)是一种高强耐蚀用于-423 ° 到 1300 ° F 之间的镍铬材料。典型的限定成分见表 1。该时效硬化合金即使是复杂的部件也可以方便的加工制造。其焊接性能，尤其是焊后开裂抗力非常出色。

INCONEL718 方便经济的可加工性加上其良好的拉伸、疲劳、蠕变和开裂强度使该合金在很广范围得到应用。比如：液体燃料火箭、飞机和陆基气轮机中的环、套以及各种形式的薄板金属部件和低温储槽等。它也有被用做紧固件和仪表部件等。

物理常数和热性能

INCOENL718 的一些物理常数见表 2。表 3 和表 4 为模量数据，表 5 为热性能。根据成分和试样实验条件，表中的数据会有轻微变化。这些数据是典型值，但不适合做为标准规范。

出版物编号：SMC-045
版权： Special Metals Corporation, 2004 (Sept 04)
INCONEL 是 Special Metals Corporation group of companies商标。

该出版物中的数据仅供参考，而且可能在没有通知的情况下修正或改变 。数据被认为是精确并可靠的，但SPECIAL METALS对此不做任何保证和暗示，并且SPECIAL METALS 对这些数据的精确和可靠不承担任何责任。 尽管数据被认为是代表了产品，但产品的实际性能数据可能与该文件中的数据有出入。文件中的任何内容都不能认为是对实际使用的一种保证。

表 1 限定化学成分 %

Nickel (plus Cobalt)	50.00-55.00
Chromium	17.00-21.00
Iron	Balance*
Niobium (plus Tantalum)	4.75-5.50
Molybdenum	2.80-3.30
Titanium	0.65-1.15
Aluminum	0.20-0.80
Cobalt	1.00 max.
Carbon	0.08 max.
Manganese	0.35 max.
Silicon	0.35 max.
Phosphorus	0.015 max.
Sulfur	0.015 max.
Boron	0.006 max.
Copper	0.30 max.

[a]与AMS标准一致

*平衡成分不表示保证绝对只是提到的元素，但该元素是主要的，其它只占很少数量。

表2 物理常数

Density, lb/in^3	
Annealed	0.296
Annealed and Aged	0.297
Melting Range, °F	2300-2437
°C	1260-1336
Specific Heat at 70°F, Btu/lb °F (at 21°C, J/kg °C)	0.104 (435)
Curie Temperature, °F (°C)	
Annealed Material	<-320 (<-196)
Annealed and Aged Material	-170 (-112)
Permeability at 200 oersted and 70°F	
Annealed Material	1.0013
Annealed and Aged Material	1.0011

表 3 较低温度下的弹性摸量 [a]

Temperature, °F	Modulus of Elasticity, ksi x 10^3		Poisson's Ratio
	Young's Modulus	Torsional Modulus	
-308	31.3	12.5	0.25
-86	30.6	11.8	0.30
70	29.0	11.6	0.29
100	29.8	11.5	0.30
200	29.4	11.3	0.31
300	28.8	11.1	0.30
400	28.5	10.9	0.31
500	28.0	10.6	0.32

[a]冷轧薄板根据 AMS5596B 热处理

INCONEL® alloy 718

表 4 弹性摸量 [a]

Temperature, °F	Modulus of Elasticity, ksi x 10^3		Poisson's Ratio[b]	Temperature, °F	Modulus of Elasticity, ksi x 10^3		Poisson's Ratio[b]
	Young's Modulus	Torsional Modulus			Young's Modulus	Torsional Modulus	
70	29.0	11.2	0.294	1300	23.0	8.9	0.292
100	28.8	11.2	0.291	1400	22.3	8.5	0.306
200	28.4	11.0	0.288	1500	21.3	8.1	0.321
300	28.0	10.9	0.280	1600	20.2	7.6	0.331
400	27.6	10.8	0.280	1700	18.8	7.1	0.334
500	27.1	10.6	0.275	1800	17.4	6.5	0.341
600	26.7	10.5	0.272	1900	15.9	5.8	0.366
700	26.2	10.3	0.273	2000	14.3	5.1	0.402
800	25.8	10.1	0.271				
900	25.3	9.9	0.272				
1000	24.8	9.7	0.271				
1100	24.2	9.5	0.276				
1200	23.7	9.2	0.283				

[a]热轧平板热处理1800°F/1小时,空冷 + 1325°F/8 小时，快速冷却20°F/小时到1150°F，总时效保持时间18 小时。动态实验使用频率为：弯曲813 到 571 cps 扭转3110 to 2097 cps。

[b]从 (E-2G)/2G计算而来，E为杨氏模量，G为扭矩。

表 5 热性能

Temperature, °F	Thermal Conductivity,[a] BTU•in/ft²•h•°F		Electrical Resistivity,[a] ohm/circ mil/ft		Mean Linear Expansion[b,c], in/in/°F x 10^{-6}
	Ann. 1800°F/1 hr	Ann. + Aged	Ann. 1800°F/1 hr	Ann + Aged	
-320	-	-	-	-	5.9[d]
70	77	79	753	725	-
200	86	87	762	733	7.31
400	98	100	772	755	7.53
600	111	112	775	768	7.74
800	123	124	784	775	7.97
1000	135	136	798	788	8.09
1200	147	148	805	794	8.39
1400	160	161	802	797	8.91
1600	173	173	799	796	-
1800	185	186	801	800	-
2000	196	199	811	796	-

[a]1800°F/1 小时退火，1325°F/8 小时时效，快速冷却 20°/小时 到 1150°F。在 1150°F 保温 18 小时时效。传导率由电阻值计算而来。 [b]从 70°F 到表中所示温度. [c]1750°F/1 小时退火，1325°F/8 小时时效，快速冷却到 1150°F/8 小时，空冷

[d]实验样品包括1750°F/1小时退火，空冷和退火加时效(1750°F/1 小时 + 1325°F/8 小时，快速冷却到1150°F，在1150°F 保持10 小时，空冷)两种条件。

热处理与机械性能

在更多的应用方面，INCONEL718 合金被列入：固溶退火和沉淀硬化合金（沉淀硬化、时效硬化和沉淀热处理为同义词）。718合金是由第二相（如 GAMA 主相和 GAMA 双主相）在金属板条中析出而硬化的。这些镍-（铝、钛和铌）相的析出是由在 1100到 1500 ° F 之间热处理造成的。为了这个金属学反应能够正常发生，时效要素（铝、钛和铌）必须固溶（溶解在基体板条中）；如果它们以其它相或结合成其它形式析出，它们将不会正确析出，合金的全部强度也将不能达到。为实现这个功能，材料首先必须进行固溶热处理（固溶退火为同义词）

通常INCONEL718会使用以下两种热处理：

1. 在1700-1850 ° F固溶退火然后快速在冷却（通常用水），加上在1325 ° F 8 小时沉淀硬化，炉冷到1150 ° F，在1150 ° F保持总时效时间到18小时然后空冷。
2. 在1900-1950 ° F固溶退火然后快速冷却（通常在水中），加上在1400 ° F沉淀硬化10小时，空冷到1200 ° F并保持到总时效时间20小时然后空冷。

如果材料要进行机加工、成型或焊接，典型的采购状态为工厂退火或去应力状态。材料然后在其最佳延展性状态加工。加工后再根据使用规范要求进行热处理。

1700°-1850°F 退火与时效

如前所述，对 718 合金在 1700 ° -1850 ° F 退火然后跟着进行时效处理是考虑达到综合的开裂寿命、缺口开裂寿命和开裂韧性的最适宜的处理方式。随这种处理也能达到最高拉伸和屈服强度。此外，由于形成了细晶，也能达到最高的疲劳强度。

材料在这种条件下将达到以下最低要求：

AMS5596/冷轧薄板、带、热轧板

Property	Room Temperature	1200°F
Tensile Strength, ksi	180	140[a]
		145[b]
Yield Strength	150	115[a]
(0.2% Offset), ksi		120[b]
Elongation in 2 In.,%	12	5
Hardness	Rc 36 or equivalent	-
Stress Rupture		
Stress, ksi	-	95[a]
	-	100[b]
Life, hr	-	23
Elongation, %	-	4

[a]厚度小于等于0.025-in.

[b]厚度大于0.025-in. [c]纵向 [d]锻件长、横向

[e]棒材横向 [f]直径或厚度小于等于5-in.

[g]性能仅适用于内径大于或等于0.125-in且壁厚大于等于0.015-in.

AMS 5662 and 5663/Bars, Forgings, & Rings

Property	Room Temperature	1200°F
Tensile Strength, ksi	185[c]	145[c]
	180[d]	140[d]
	180[e]	140[e]
Yield Strength (0.2% Offset), ksi	150	125
Elongation in 2 In.,%	12[c]	12[c]
	10[d]	10[d]
	6[e]	6[e]
Reduction of Area, %	15[c]	15[c]
	12[d]	12[d]
	8[e]	8[e]
Hardness	331 BHN or equivalent	-
Stress Rupture		
Stress, ksi	-	100
Life, hr	-	23
Elongation, %	-	4[f]

AMS 5589/Seamless Tubing[g]

Property	Room Temperature	1300°F
Tensile Strength, ksi	185	-
Yield Strength (0.2% Offset), ksi	150	-
Elongation in 2 In.,%	12	-
Hardness	Rc 36 or equivalent	-
Stress Rupture		
Stress, ksi	-	72.5
Life, hr	-	23
Elongation, %	-	5

1900°-1950° 退火并时效

在 1900 ° -1950 ° 进行如前所述的退火和相应的时效处理由于在大的横向断面形成最佳韧性、冲击强度和低温缺口拉伸强度，从而在拉伸极限应用中使用。然而，这种处理有在应力开裂时产生缺口脆性的倾向。

在如上所述的沉淀强化后，材料将满足以下要求：

Property[a]	AMS 5664 Bars, Forgings, & Rings	AMS 5597 Sheet, Strip, & Plate	AMS 5590 Seamless Tubing[d]
Tensile Strength, ksi	180	180	170
Yield Strength (0.2% Offset), ksi	150	150	145
Elongation, %	10[b]	15	15
	12[c]		
Reduction of Area, %	12[b]	-	-
	15[c]		
Hardness	341 BHN or equivalent	Rc 38 or equivalent	

[a]横向 [b]棒材 [c]锻件和火焰焊接的环

[d]性能仅适用于内径大于等于 0.125-in. 且壁厚大于等于 0.015-in。

其它热处理

Special Metals 生产用于油田领域的 718 合金。该材料是根据 NACE 标准 MR0175 **要求生产**的，标准要求材料固溶退火并时效以满足最大 40 Rockwell “C”的硬度要求。这种材料典型的热处理是 1850-1900 °F 固溶，1450 °F 时效 6 到 8 小时然后空冷。表 6 给出了这种材料将要达到的机械性能。INCONEL718 根据不同的性能要求进行了大量独立的热处理实验。这些热处理程序通常是由不同公司或独立的材料供应代理做的；因而，在有关程序、公差和性能结果应该与这些公司或代理讨论。

下面涉及的数据是典型的，但不能用做标准规范。

表6-油田工具用时效材料的机械性能

室温拉伸强度和硬度以及室温和-75°F冲击强度

Condition	Diameter, in.(mm)	Tensile Strength, ksi (Kg/cm^2) min.	Yield Strength (0.2% Offset), ksi (Kg/cm^2)		Elongation in 2 in. (50.8 mm) or 4D% minimum	Reduction of Area, % minimum	Impact Strength, ft•lb (Kg•m) min. aver.	Hardness, Rockwell C	
			minimum	maximum				minimum	maximum
Cold worked, solution annealed & aged	0.5 (12.7) to 3 (76.2), inclusive	150 (10,545)	120 (8436)	140 (9842)	20	25	40 (5.55)	30	40
Hot worked, solution annealed & aged	0.5 (12.7) to 8 (203.2), inclusive	150 (10,545)	120 (8436)	140 (9842)	20	25	40 (5.55)	30	40
Hot worked, solution annealed & aged	8 (203.2) to 10 (254), inclusive	150 (10,545)	120 (8436)	140 (9842)	20	25	40 (5.55)	30	40

室温拉伸性能

以下数据代表了上述退火和时效处理对各种不同产品的室温性能的影响。更多的高温、低温拉伸性能、疲劳强度和焊接性能见下述。

热成型的产品

表 7 给出了热轧棒材在 1750 ° 或 1950 ° F 退火后的性能。在飙中给出了 1750 ° 或 1950 ° F 退火并时效对各种直径棒材性能的影响。两种不同退火并时效的热轧棒材的性能的比较见表 9。

表 10 给出了直接时效(1325 ° F/在该温度保温 8 小时,急冷到 1150 ° F,在 1150 ° F 保温到总时效时间达到 18 小时)。

表 11 给出了不同位置薄饼锻件取样的 1700 ° F 退火并时效的实验性能。锻件产品在 1950 ° F 退火并时效的性能见表 12 和 13。两种退火与时效对薄饼锻件性能的影响比较见表 14。

表 7-退火热轧圆棒室温拉伸性能

Diameter[a], in.	Annealing Temperature[b], °F	Test Orientation[c]	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	Hardness
2.5	1750	L	135.5	77.5	45	49	-
		T	129.5	73.5	32	29	-
	1950	L	114.0	50.4	62	65	-
		T	112.0	49.8	53	49	-
4	1750	L	117.5	55.0	53	52	90 Rb
		T	119.0	56.5	50	46	88 Rb
	1950	L	112.5	48.0	60	63	87 Rb
		T	114.0	50.0	61	55	84 Rb
4	1750	L	125.5	71.5	45	49	97 Rb
		T	123.5	67.0	46	43	93 Rb
	1950	L	115.0	47.0	59	65	85 Rb
		T	99.5	47.5	32	31	84 Rb
4	1750	L	126.0	71.5	45	47	96 Rb
		T	114.0	60.0	26	25	90 Rb
	1950	L	114.5	53.0	58	61	87 Rb
		T	105.0	47.0	34	29	83 Rb
4	1750	L	122.0	63.0	51	51	92 Rb
		T	109.0	56.5	32	31	89 Rb
	1950	L	112.5	50.0	62	62	86 Rb
		T	106.5	49.5	38	33	84 Rb
4	1750	L	119.0	56.5	51	54	91 Rb
		T	114.5	54.0	45	38	85 Rb
	1950	L	110.5	47.0	60	62	86 Rb
		T	108.5	45.5	58	53	83 Rb
4	1750	T	111.0	54.5	41	35	-
	1950	T	99.0	46.0	36	36	-

[a] 代表了 8 个不同炉号

[b] 退火 1 小时。空冷

[c] L 代表纵向实验，T 代表横向实验

表 8- 热轧棒材室温拉伸性能

Diameter[a], in.	Heat Treatment[b]	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	Hardness
0.625	As-Rolled	140.0	85.7	46	58	23 Rc
	1750°F/1 hr	140.0	83.0	45	49	99 Rb
	1950°F/1 hr	117.5	48.5	58	64	85 Rb
	1750°F/1 hr, Age	208.0	180.0	21	39	46 Rc
	1950°F/1 hr, Age	194.0	157.0	23	34	45 Rc
0.625	As-Rolled	139.0	78.5	46	62	98 Rb
	1750°F/1 hr	138.0	75.5	54	49	97 Rb
	1950°F/1 hr	115.5	48.0	64	67	85 Rb
	1750°F/1 hr, Age	208.5	179.5	20	39	45 Rc
	1950°F/1 hr, Age	194.5	158.0	20	26	44 Rc
1.0	As-Rolled	130.0	65.0	54	67	95 Rb
	1750°F/1 hr	129.0	64.5	55	61	94 Rb
	1950°F/1 hr	112.5	52.0	64	68	87 Rb
	1750°F/1 hr, Age	201.5	175.0	20	36	46 Rc
	1950°F/1 hr, Age	188.0	152.0	21	34	45 Rc
1.5	As-Rolled	147.0	105.5	40	52	32 Rc
	1750°F/1 hr	141.5	72.5	46	45	97 Rb
	1950°F/1 hr	120.0	55.0	58	60	89 Rb
	1750°F/1 hr, Age	205.0	167.5	20	28	46 Rc
	1950°F/1 hr, Age	191.0	153.0	24	36	43 Rc
4.0	1750°F/1 hr	117.5	55.0	53	52	90 Rb
	1950°F/1 hr	112.5	48.0	60	63	87 Rb
	1750°F/1 hr, Age	192.0	165.0	17	24	46 Rc
	1950°F/1 hr, Age	195.5	165.0	21	34	43 Rc

[a] 代表 5 个不同的炉号。所有实验为纵向。

在退火条件为1750°F时，时效：1325°F/8 小时，快冷到1150°F并达到总时效时间18小时。当退火条件为1950°F时，时效：1400°F/10 小时，快冷到1200°F并达到 时效时间20小时。

表9-热轧棒材（4-in 直径）拉伸性能

Test Temperature, °F	Test Orientation	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	Hardness, Rc
Heat Treatment: 1750°F/1 hr, A.C. + 1325°F/8 hr, F.C. to 1150°F, Hold at 1150°F for Total Aging Time of 18 hr[a]						
Room	Longitudinal	199.5	178.0	15.0	24.0	44
Room	Transverse	198.5	173.5	12.0	16.0	40
1200	Longitudinal	167.0	152.5	13.0	24.0	-
Heat Treatment: 1950°F/1 hr, A.C. + 1400°F/10 hr, F.C. to 1200°F, Hold at 1200°F for Total Aging Time of 20 hr						
Room	Longitudinal	197.0	164.0	17.0	23.0	44
Room	Transverse	192.0	165.0	19.0	24.0	44

[a] 应力断裂实验条件为 1300°F and 75 ksi，实验结果为 68.2 小时寿命，10%延伸率和 13%断面收缩率。

表10 热轧时效材料的室温拉伸性能(1325°F/8 小时，空冷到1150°F,在1150°F保持到总时效时间为18小时)

Sample	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	Hardness, Rc
0.65625-in. Diam.	206.5	189.5	19.0	34.5	42
0.625-in.-Diam.	206.5	179.5	22.0	45.5	41
0.625-in.-Diam.	210.0	184.0	22.0	44.5	42
13/16-in.-Diam.	209.0	181.0	22.0	43.0	43
1.25- x 1.25-in. Flat	227.5	210.0	17.0	40.8	44
1.5- x 175-in. Flat	215.0	172.0	19.0	35.0	42
0.625- x 1-in. Flat	215.5	184.0	24.0	45.5	44

表11-薄饼锻件室温拉伸性能(1700°F/1小时加上1325°F/8小时,空冷到1150°F,在1150°保温到总时效时间到18小时)[a]

Sample	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation in 2 Inches, %	Reduction of Area, %	Charpy Keyhole Impact Strength, ft•lb
Radial center, top edge	182.0	159.0	10.0	10.5	-
Radial center, center	196.0	160.0	24.0	33.0	-
Radial center, bottom edge	186.5	159.5	16.0	19.0	-
Tangential, top edge	209.0	181.0	19.0	27.5	17-21
Tangential, bottom edge	210.0	179.0	18.0	29.5	21

将 6.75 in 长 4.5in 的八边形加热到 2050°F 锻到 4.5 in 厚，再加热到 1800°F 锻造成 2.25 in 厚直径为 8in 的薄饼 [a]。

表 12-锻造板材（1x2-in 厚，在 1950°F 退火 1 小时，空冷然后时效）室温拉伸性能

Sample	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	Hardness, Rc
Longitudinal	191.5	159.0	20	32	40
Transverse	187.0	153.0	13	16	40
Longitudinal	191.1	160.0	19	29	42
Transverse	185.5	152.0	14	14	42
Longitudinal	194.0	162.0	17	26	43
Transverse	192.5	160.0	17	25	43
Longitudinal	195.0	165.0	18	23	43
Transverse	195.0	163.0	16	18	43
Longitudinal	193.0	164.0	17	22	42
Transverse	191.5	159.0	16	23	42
Longitudinal	193.5	166.0	15	21	42
Transverse	190.0	158.5	14	22	42
Longitudinal	199.5	171.0	17	26	44
Transverse	200.0	167.5	19	28	44
Longitudinal	195.0	165.0	18	26	42
Transverse	195.0	160.0	20	28	42
Longitudinal	198.0	170.0	20	33	43
Transverse	192.5	163.0	15	29	43
Longitudinal	198.0	174.0	21	34	43
Transverse	196.5	170.0	18	25	43
Longitudinal	200.0	170.0	17	24	43
Transverse	193.0	158.0	17	30	43
Longitudinal	189.0	157.5	21	35	42
Transverse	189.0	157.0	18	27	42

[a]1400°F/10小时，空冷到1200°F,在1200°F 保持到总时效时间到20小时

表13 - 1-in. 厚薄饼室温拉伸性能[a]

Sample	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	Hardness, Rc
Radial	186.0	153.0	20	31	43
Tangential	186.5	154.0	18	29	43
Radial	195.0	151.0	20	33	43
Tangential	184.5	152.5	20	29	43
Radial	189.0	155.0	15	24	44
Tangential	185.0	154.0	19	23	44
Radial	188.0	153.0	20	31	43
Tangential	185.0	152.5	18	28	43

[a] 将 4 in 直径圆棒按照 3：1 变形比例锻造减薄.锻造温度 2000°F。热处理：1950°F/1-2 小时，然后在 1400°F/10 小时，空冷到 1200°F。在 1200°F 保温到总时效时间达到 20 小时。样品来自 4 个不同炉号。

表 14-薄饼锻件 [a] 的拉伸性能

Heat Treatment	Test Temperature, °F	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	Hardness, Rc
1800°F/1 hr, W.Q. + 1325°F/8 hr,	Room	204.5	176.0	16.0	23.0	38
F.C. to 1150°F, hold at 1150 °F for	Room	201.0	168.0	21.0	28.3	41
total aging time of 18 hr	1200	163.0	145.5	26.0	47.4	-
1950°F/1 hr, W.Q. + 1400°F/10 hr, F.C. to 1200°F, hold at 1200°F for total aging time of 20 hr	Room	190.0	152.0	18.0	24.3	35

[a] 直径 4in,长 2in 试样加热到 1900°F 并锻造成直径 5.5in,1in 厚薄饼，取样为中心到中间断面的横向方向。

冷成型产品

冷轧薄板在 1325 ° F/8 小时时效，空冷到 1150 ° F 并保持到总时效时间达到 18 小时后的性能见表 15。表 16 给出了按照 AMS5597 规定对不同厚度材料热处理后的影响。一些管材的性能见表 17。

表15 – 冷轧薄板室温拉伸性能

Thickness, in.	Cold Reduction, %	Condition[a]	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation in 2 in., %
0.025	27	As Cold-Rolled	155.0	130.0	14
		Cold-Rolled, Aged	209.0	190.0	10
		As Cold-Rolled	154.0	128.0	15
		Cold-Rolled, Aged	223.5	209.5	10
		As Cold-Rolled	154.0	132.0	14
		Cold-Rolled, Aged	211.5	194.0	8
		As Cold-Rolled	156.0	132.0	14
		Cold-Rolled, Aged	216.0	195.0	13
0.050	21	As Cold-Rolled	138.0	112.0	22
		Cold-Rolled, Aged	208.0	189.0	9
		As Cold Rolled	143.5	117.5	19
		Cold-Rolled, Aged	212.5	196.0	10
0.093	18	As Cold-Rolled	140.5	115.0	26
		Cold-Rolled, Aged	210.0	188.5	16
0.125	26	As Cold-Rolled	158.5	137.0	11
		Cold-Rolled, Aged	219.0	206.5	8
0.125	23	As Cold-Rolled	140.5	120.0	21
		Cold-Rolled, Aged	204.0	186.5	12
0.074	18.5	As Cold-Rolled	145.0	116.5	25
0.062	28	As Cold-Rolled	159.5	134.0	11

[a] 在 1325°F/8 小时时效，空冷到 1150°F 并保持到总时效时间达到 18 小时。

表 16 根据 AMS5597 退火和时效
对薄板室温拉伸性能的影响

Thickness, in	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongation, %
0.010	192.5	172.5	17
0.012	204.0	169.5	19
0.015	198.0	162.0	19
0.016	196.0	163.5	19
0.018	196.5	155.5	21
0.021	202.5	169.0	20
0.025	199.0	162.5	20
0.031	197.0	160.0	21
0.040	208.0	172.0	16
0.047	199.0	166.5	20
0.050	211.0	177.0	16
0.062	203.5	171.0	18
0.078	192.0	158.5	17
0.080	200.0	163.5	20
0.093	199.0	167.0	19
0.100	208.0	176.0	18
0.109	204.0	171.0	19
0.125	203.5	172.0	16
0.156	196.5	161.0	21
0.187	207.5	182.0	18
0.210	194.5	160.0	22
0.250	205.0	170.5	19

表 17-时效对 70%变形后达到壁厚 0.133-in,外径 1.513-in 的管材的室温性能影响

Condition	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Hardness, Rc
As-Tube Reduced	247.0	211.0	6.0	42.0
Aged 1325°F/8 hr, F.C. 100°F/hr to 1150°F/ 8 hr, A.C.	266.0	261.0	4.0	51.5

高温和低温性能

热轧产品

热轧棒材在 1800 ° F 退火并时效的性能见图 1。表 18 给出了热轧板材按照 AMS5596H 退火并时效后的室温性能。热轧圆棒在 1950 ° F 退火并时效后的性能见表 19。热轧圆棒(在 1800 ° F 退火并时效)在-320 ° F 到 1300 ° F 之间的性能见表 20。表 21 给出了由锻件中取样并加工的(短横向实验)试样在 1800 ° F 和 1950 ° F 退火并时效后的性能比较。

表 22 给出了各种热成型产品在 1800 ° F 退火并时效后的室温、1200 ° F 和 1300 ° F 的性能。

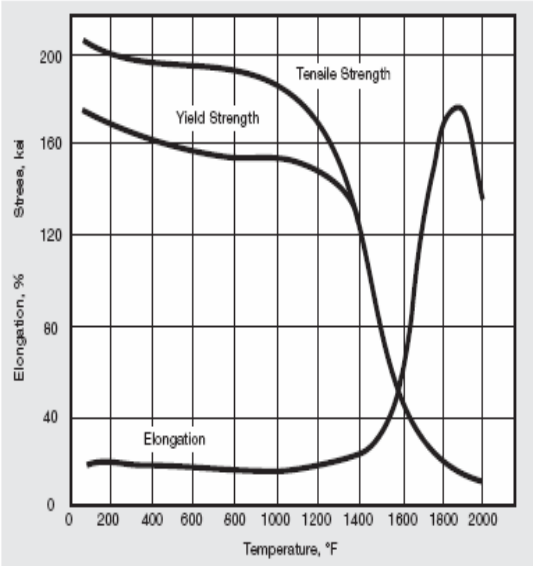

图 1 直径 1/2-in 的热轧棒在 1800°F/1 小时退火并时效(1325°F/8 小时,空冷到 1150°F,在 1150°F 保持到总时效时间达到 18 小时)后的高温性能

表 18-热轧板材根据 AMS 5596H 退火并时效后的室温拉伸性能

Thickness, In.[a]	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongation, %	Hardness, Rc
0.5	206	177	18	43
0.75	204	170	19	42
1	204	173	17	42

[a] 每种厚度的数值是 6 个不同炉号样品的平均值

表 19-热轧棒材退火并时效(1950°F/1 小时,再在 1400/10 小时，空冷 100°F/小时，到 1200°F，在 1200°F 保温 8 小时)后的高温拉伸性能 [a]

Test Temperature, °F	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %
Room	198.0	163.0	21	30
600	183.5	156.0	16	34
1000	173.0	148.0	16	30
1200	160.0	140.0	15	25
1300	146.0	135.0	8	10
1400	123.5	116.0	5	10
1500	105.0	100.0	15	20

[a] 单一炉号的 4-in 圆棒

表 20-温度对热轧棒材（5/8-in. 直径, 1800°F 退火 1 小时并时效）的拉伸性能影响 [a]

Temperature, °F	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %
-320	237.0	173.5	26.0	27.0
-60	201.5	158.0	23.0	33.5
80	190.5	153.5	22.0	32.5
1200	164.5	145.0	28.0	59.2
1300	145.5	133.0	22.0	34.0

[a]1325°F 8 小时，空冷到 1150°F，在 1150°F 保温到总时效时间达到 18 小时

表 21-锻件（短横向实验）的低温性能 [a]

Test Temperature, °F	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2%Offset), ksi	Elongation in 4D, %	Reduction of Area, %	Notch Strength, Tensile Strength Ratio[b]
1800°F/45 min, A.C. plus 1325°F/8 hr, F.C. to 1150°F, Hold at 1150°F for Total Aging Time of 18 hr					
Room	187.0	165.9	17.0	23.0	1.45
-110	198.9	174.4	17.2	20.0	1.37
-320	229.0	186.8	14.0	14.0	1.30
-423	237.2	194.9	13.5	11.5	1.30
1950°F/45 min, A.C. plus 1400°F/10 hr, F.C. to 1200°F, Hold at 1200°F for Total Aging Time of 20 hr					
Room	181.5	147.7	19.0	24.5	1.37
-110	195.9	158.1	15.0	18.5	1.41
-320	228.7	176.7	17.5	19.5	1.28
-423	244.2	186.8	16.5	18.0	1.19

[a] 试样由尺寸为 4x9x15 的锻件加工而成

[b] 缺口集中因子 Kt=6.3

表 22-退火、时效的热轧材料的高温拉伸性能

（1800°F/1 小时，加上 1325°F/8 小时，空冷到 1150°F,在 1150°F 保温到总时效时间达到 18 小时）

Form	Temperature, °F	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	Hardness, Rc
Forged Pancake[a]						
Radial Center	Room	196.0	160.0	24	33	-
Tang. Mid.Rad.	1200	162.0	138.5	23	38	-
	1300	146.0	135.0	30	62	-
Hot Rolled,	Room	201.0	171.0	26	50	41
0.625-in.-Diam.	1200	164.5	145.0	28	59	-
	1300	145.5	133.0	22	34	-
Forged Rod,	Room	184.5	152.0	28	42	-
6-in.-Diam.	1300	129.0	113.0	14	16	-
Hot-Rolled,	Room	211.0	174.0	23	40	-
0.5-in.-Diam.	1200	168.0	148.8	22	32	-
	1300	145.0	136.5	20	27	-
Hot-Rolled,	Room	207.5	172.0	25	44	40
0.5-in.-Diam.	1200	163.5	145.0	26	49	-
	1300	137.0	126.0	25	25	-
Forged Square,	Room	180.0	152.0	23	40	-
1- x 1-in.	1200	159.0	138.0	20	28	-
	1300	140.0	129.0	26	44	-
Forged Flat,	Room	184.5	154.0	24	42	44
1- x 2-in.	1200	150.0	132.5	21	38	-
	1300	140.0	125.5	17	22	-
Hot-Rolled,	Room	190.0	152.0	22	37	42
2-in.-Diam.	1200	153.0	130.0	30	46	-
	1300	131.5	117.0	23	34	-
Forged Round,	Room	187.0	155.0	20	37	42
6-in.-Diam.	1200	156.0	134.0	18	24	-
	1300	136.5	123.0	12	13	-
Forged Flat,	Room	204.0	162.5	18	33	44
0.625- x 0.75-in.	1200	165.5	147.0	26	61	-
	1300	138.0	126.0	32	68	-

[a]6.75-in 长 x 4.5-in 八边形加热到 2050°F，锻造到 4.5-in 厚；重加热到 1800°F，锻造成 2.25-in 厚薄饼。

冷轧产品

冷轧薄板根据 AMS 5596 退火后的高温拉伸性能见表 23。更多的关于根据 5596 程序处理的数据见表 24。

表 25 给出了薄板根据 5596 退火并时效后的室温拉伸性能。按照 AMS5596 程序处理的薄板的低温性能见表 26。这些数据给出了薄板厚度和退火时效处理的影响。通过冷做硬化和时效大幅度的提高了强度。图 2 给出了更多的关于缺口拉伸强度的数据。

表 27 比较了退火加时效薄板与直接时效薄板在 -110 ° 到 1000 ° F 之间的数据。

更多各种厚度薄板的数据见表 28。

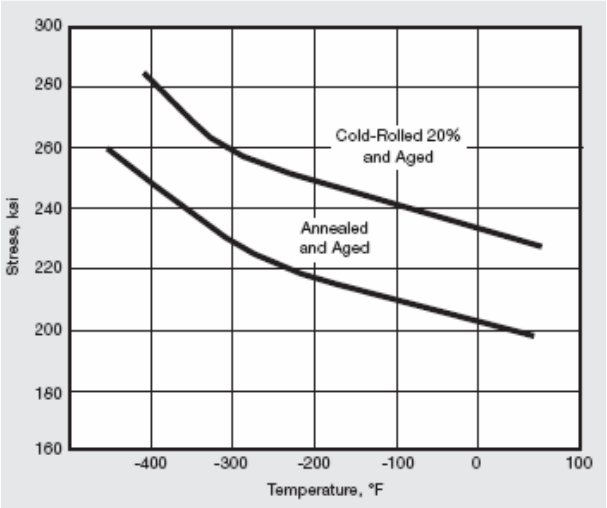

图 2- 0.031-in 薄板缺口拉伸强度；薄板根据 AMS 5596 热处理（Kt=7.2; 横向试验）

表 23-冷轧 0.054-in 薄板根据 AMS5596 退火后的高温拉伸性能

Temperature, °F	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %
Room	135.0	76.0	44.5
1000	119.5	55.5	43.0
1200	120.0	72.0	32.0
1400	103.0	64.5	7.0
1600	74.5	52.5	39.0

表 24-0.065-in 冷轧薄板拉伸性能

Condition[a]	Grain Size, ASTM No.	Test Temperature, °F	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Hardness
Annealed	7	Room	141.0	73.0	38.0	99 Rb
Annealed and Aged[b]	-	Room	214.0	188.5	15.0	46 Rc
Annealed and Aged	-	1200	166.0	149.5	13.5	-

[a] 根据 AMS5596

[b] 在 1300°F， 72.5 ksi 的应力开裂性能：35.3 小时寿命，22.0%延伸率

表 25-冷轧薄板根据 AMS5596 退火并时效后的室温拉伸性能 [a]

Thickness, in.	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongation, %	Hardness, Rc
0.187	205	177	20	44
0.156	207	180	20	44
0.125	206	178	19	44
0.100	209	183	19	44
0.063	205	179	19	44
0.035	208	184	18	44
0.025	203	177	19	44

[a] 每种尺寸为 4 个不同炉号的 4 个样品平均值

表 26- 根据 AMS5596 退火并时效的冷轧薄板横向试验拉伸性能

Thickness, in.	Temperature, °F	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Hardness, Rc	Notch Tensile Strength, ksi (K_t=6.3)	Notch/Unnotch Tensile Strength Ratio
0.025	Room	204.5	177.0	14.0	48	-	-
	-320	253.5	203.0	12.5	48	215.5	0.85
0.062	Room	205.75	174.5	19.0	45	204.0	0.99
(30% Reduction)[a]	-320	254.25	200.0	20.0	45	219.5	0.86
0.075	Room	201.0	170.25	18.0	44	213.25	1.06
(10% Reduction)[a]	-320	249.25	194.25	18.0	44	233.25	0.94
0.93	Room	202.0	170.5	16.0	41	-	-
	-320	251.0	189.5	22.5	45	244.0	0.97
0.125	Room	205.5	181.0	13.5	47	-	-
	-320	262.5	208.5	18.0	46	255.0	0.97

[a] 这些试样的数值为 2 个实验的平均值

表 27-0.027-in 薄板变形 20%横向拉伸性能

Sample	Test Temperature, °F	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Notch Tensile Strength, ksi (K_t=6.3)	Tensile Strength/ 0.297 lb/cu. in.[a]	Ratio of Notch Tensile Strength to	
							Tensile Strength	Yield Strength
Cold-Rolled, Annealed and Aged in Accordance with AMS 5596	-110	212.0	168.5	25.0	195.0	714,000	0.92	1.16
	85	196.0	163.0	21.0	183.0	660,000	0.93	1.12
	85[b]	197.0	162.5	21.0	178.0	-	0.91	1.10
	350	191.0	153.0	20.0	-	-	-	-
	650	171.5	141.5	20.0	158.0	578,000	0.92	1.11
	650[b]	172.0	137.5	23.0	163.0	-	0.95	1.19
	800	188.0	141.0	23.0	156.0	-	0.83	1.11
	1000	169.0	135.0	24.0	143.0	570,000	0.85	1.06
Cold-Rolled and Aged in Accordance with AMS 5596	-320	260.5	229.0	13.0	236.5	877,000	0.91	1.03
	-110	232.0	206.5	17.0	209.0	781,000	0.88	1.01
	85	221.0	198.5	12.0	196.5	745,000	0.89	0.99
	85[b]	212.0	195.5	13.0	199.0	-	0.94	1.02
	350	205.0	188.5	12.0	179.0	-	0.88	0.96
	650	193.5	179.0	12.0	173.5	652,000	0.90	0.97
	650[b]	198.5	182.0	13.0	172.0	-	0.87	0.95
	800	-	-	-	169.0	-	-	-
	1000	180.5	165.3	10.0	166.5	608,000	0.92	1.01

[a] 室温密度。 [b] 试验前在 650°F 施加 1000 小时应力 40ksi

表 28-根据 AMS5596 热处理的薄板低温拉伸性能

Test Temperature, °F	Test Orientation[a]	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongation, %	Notch Tensile Strength[b], psi	Notch/Unnotch Tensile Strength Ratio
		0.010-in. Material - Annealed (Heat 1)				
75	L	114.0	47.3	43	89.2	0.78
	T	116.0	47.0	49	88.8	0.77
-320	L	152.0	70.7	50	121.0	0.80
	T	157.0	75.8	43	118.0	0.75
-423	L	187.0	97.3	49	146.0	0.78
	T	176.0	91.8	40	142.0	0.81
		0.010-in. Material - Annealed and Aged (Heat 1)				
75	L	192.0	155.0	21	198.0	1.03
	T	189.0	154.0	20	196.0	1.04
-320	L	243.0	186.0	26	234.0	0.96
	T	239.0	181.0	22	229.0	0.96
-423	L	267.0	200.0	21	254.0	0.95
	T	262.0	195.0	21	259.0	0.99
		0.031-in. Material - Annealed and Aged (Heat 2)				
75	L	195.0	157.0	20	207.0	1.06
	T	194.0	157.0	20	206.0	1.06
-100	L	214.0	171.0	23	221.0	1.03
	T	213.0	170.0	23	223.0	1.04
-320	L	232.0	185.0	33	214.0	0.92
	T	247.0	192.0	26	229.0	0.93
-423	L	278.0	205.0	28	276.0	0.99
	T	276.0	204.0	27	269.0	0.97
		0.031-in. Material - 20% Cold-Rolled and Aged (Heat 2)				
75	L	214.0	197.0	15	238.0	1.11
	T	204.0	183.0	13	226.0	1.11
-320	L	268.0	227.0	25	272.0	1.01
	T	254.0	214.0	21	262.0	1.03
-423	L	286.0	239.0	28	293.0	1.02
	T	281.0	228.0	22	286.0	1.02
		0.018-0.025-in. Material - 30% Cold-Rolled and Aged (Heat 3)				
75	L	230.0	218.0	7	248.0	1.08
	T	223.0	206.0	7	248.0	1.11
-100	L	249.0	230.0	11	267.0	1.07
	T	242.0	218.0	8	262.0	1.08
-320	L	292.0	259.0	16	292.0	1.00
	T	273.0	238.0	13	285.0	1.04
-423	L	309.0	269.0	15	309.0	1.00
	T	295.0	251.0	16	301.0	1.02
		0.018-0.025-in. Material - 50% Cold-Rolled and Aged (Heat 3)				
75	L	240.0	231.0	6	261.0	1.09
-320	L	297.0	274.0	9	304.0	1.02
-423	L	337.0	287.0	12	320.0	0.95

[a]L 代表纵向； T 代表横向。 [b] 缺口集中因子 Kt=6.3

冲击强度

在表 29 中给出了一些热轧产品的冲击强度，同时与其拉伸性能进行了比较。这些数据也指出了在 1750 ° F 退火，然后在 1325 ° F /8 小时时效，空冷到 1150 ° F 并保温到总时效时间达到 18 小时的热处理与 1950 ° F 退火，然后在 1400 ° F /10 小时时效，空冷到 1200 ° F 并保温到总时效时间达到 20 小时的热处理的影响。部分薄饼锻件的冲击性能见表 11（第 7 页）。

板材的低温冲击强度见表30。

表 30- 1-in 板材按照 AMS5596 退火并时效后的冲击强度

Temperature, °F	Impact Strength, ft•lb	
	Charpy Keyhole	Charpy V-Notch
Room	15.5, 16.0, 17.0	19.5, 20.5, 22.5
-320	13.5, 13.5, 15.0	18.5, 19.0, 19.5

表 29- 热轧产品的室温冲击强度

Diameter[a], in.	Tensile Properties (Longitudinal Orientation)				Charpy V-Notch Impact Strength, ft•lb
	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	
Heat Treatment: 1750°F/1 hr, A.C. + Aged 1325°F/8 hr, F.C. to 1150°F, Hold at 1150°F for Total Aging Time of 18 hours					
0.625	208.0	180.0	21.0	39.0	18.5
1	209.0	174.0	20.0	24.8	10.0
1.5	204.0	165.5	19.0	24.5	11.0
8	209.0	183.5	17.0	32.0	13.0[b]
12	196.0	165.0	25.0	39.1	24.0[b]
Heat Treatment: 1950°F/1 hr, A.C. + Aged 1400°F/10 hr, F.C. to 1200°F, Hold at 1200°F for Total Aging Time of 20 hours					
0.625	194.0	157.0	23.0	34.0	26.0
1	188.0	152.0	21.0	34.0	33.0
1.5	191.0	153.0	24.0	36.0	28.5
8	194.5	160.0	22.0	34.3	35.0[b]
12	192.5	162.0	27.0	42.0	39.0[b]

[a] 为直径 8-12-in 的锻件；其它为热轧产品。 [b]2 次实验的平均

疲劳强度

退火及退火加时效（1750 ° F，加上 1325 ° F/8 小时，空冷到 1150 ° F，在 1150 ° F 保温到总时效时间达到 18 小时）锻件试样的室温疲劳性能见表 31。表 32 为热轧板材按照 AMS5596 退火并时效后的疲劳强度。冷轧板材的疲劳强度见图 3。

如果疲劳强度是最重要的考虑，可以考虑 INCONEL 718 合金在退火状态使用而不是在退火加时效状态；时效仅能很少的提高疲劳强度（在表 31 中是小于 4ksi）。

晶粒尺寸对达到高的疲劳强度是一个主要因素。它的影响可见图 4。低温热处理安排（如 AMS5596）可以促进形成必要的细晶，见表 31 和 32。退火加时效棒材的高温疲劳强度见表 33。

INCONEL 718 合金的低周疲劳寿命在全反向弯曲试验或 0 到最大弯曲疲劳试验中是相同的。最好的结果见图 5。

表 31- 6 x 9-in 锻件室温疲劳强度 [a]

Condition[b]	Tensile Properties				Grain Size, in.	Fatigue Strength, ksi		
	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %		10^6 Cycles	10^7 Cycles	10^8 Cycles
Annealed	143.0[c]	99.5[c]	32[c]	32[c]	0.0023[c]	74.0	67.5	66.5
Annealed and Aged	191.25	169.5	10.5	20	0.0021	77.5	71.0	69.5

[a] 旋转梁疲劳试验，数值为两个样品（抛光试样）的平均；试样为中心短横向或中短横向。

[b] 在 1750 ° F 退火 1 小时，在 1325 ° F 时效 8 小时，快冷到 1150 ° F 并保持到总时效时间达到 18 小时。

[c] 数值仅为中心短横向试样

表 32- 热轧 1.135-in 厚板材室温疲劳强度

Heat Treatment[b]	Test Orientation	Tensile Properties				Grain Size, in.	Fatigue Strength, ksi		
		Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %		10^6 Cycles	10^7 Cycles	10^8 Cycles
Annealed	Longitudinal	132.5	58.0	46	46.6	0.0008	73.0	70.0	70.0
Annealed and Aged	Longitudinal	201.5	159.5	26	46.0	0.0005	96.0	81.0	78.0
	Transverse	199.0	158.0	24	38.0	0.0007			
Annealed and Aged	Longitudinal	202.0	160.5	26	44.5	0.0015	96.0	88.0	85
	Transverse	197.5	159.0	24	41.0	0.0005			
Annealed and Aged	Longitudinal	196.5	158.0	27	48.5	0.0009	91.0	82.0	77.0
	Transverse	196.5	158.0	27	43.0	0.0008			
Annealed and Aged	Longitudinal	191.0	153.5	28	41.5	0.0014	90.0	81.0	74.0
	Transverse	188.5	151.5	28	41.5	0.0013			
Aged	Longitudinal	215.0	193.5	20	39.1	0.0008	95.0	84.0	80.0
	Transverse	210.0	187.0	17	37.5	0.0012			

[a] 疲劳实验在 R.R.Moore 旋转梁疲劳实验机上以 10,000 频率进行。试样为直径 0.3-in 抛光纵向。

[b] 按照 AMS5596 进行

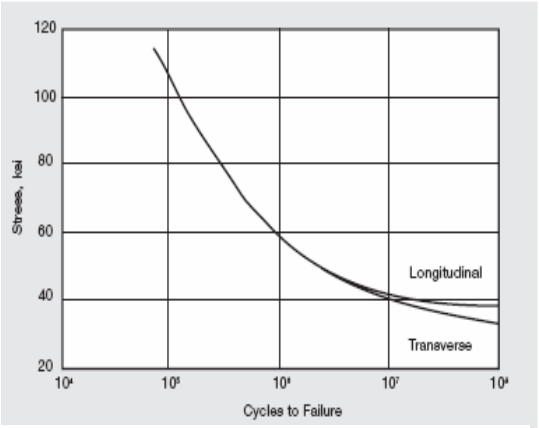

图 3 冷轧 0.068-in 薄板按照 AMS5596 退火并时效的室温疲劳强度（Krouse 实验）。平均晶粒尺寸：0.002in

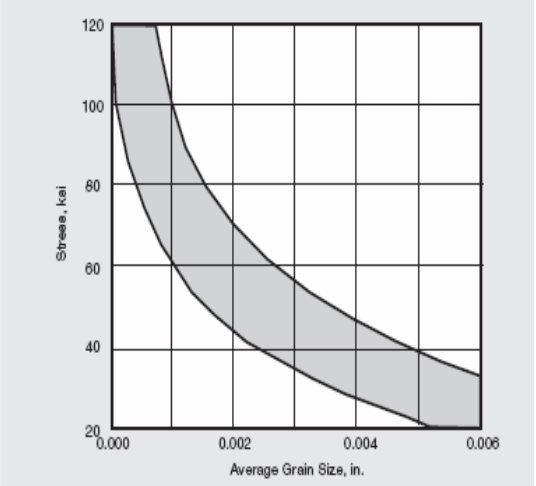

图 4 晶粒尺寸对按照 AMS5596 退火并时效的热轧板材的持久极限的影响

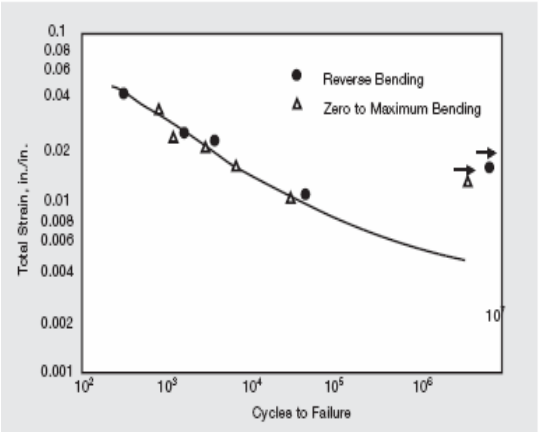

图 5 根据 AMS5596 退火并时效的热轧板材的低周寿命（实验方向为平行轧制方向）。晶粒尺寸为 0.0021-in，改进的 Krouse 平板疲劳试验机

表 33-热轧棒材（在 1750 ° F 退火 1 小时，空冷并时效）的高温疲劳强度 [a]

Test Temperature, °F	Fatigue Strength, ksi			
	10^5 Cycles	10^6 Cycles	10^7 Cycles	10^8 Cycles
Room	132.0	101.0	92.0	90.0
600	115.0	110.0	110.0	110.0
1000	111.0	102.0	95.0	90.0
1200	100.0	94.0	88.0	72.0

[a] 旋转梁试验。平均晶粒尺寸 0.0008-in.时效：1325 ° F/8 小时，快速冷却到 1150 ° F 并保温到总时效时间达到 18 小时。

开裂与蠕变性能

为在蠕变极限和开裂极限使用，INCONEL 718 合金在 1700 ° F 到 1850 ° F 退火然后在 1325 ° F/8 小时时效，快速冷却到 1150 ° F 并保温到总时效时间达到 18 小时（或等同的其它处理，如 AMS5596）。该报告中的开裂与蠕变性能是该材料接受低温处理后的典型数值。

图 6 为高温开裂寿命值，图中也表现了材料在 1200 ° F 和 1300 ° F 的小直径棒材缺口试样的优异的性能。

图 7 表示了退火并时效的热轧棒材的蠕变强度。

这些开裂与蠕变数据被用来构造 Larson-Miller 和 Manson-Haferd 参数图（图 8 和图 9）。为方便设计，典型的性能是按照 100、1000 和 10000 小时给出的。

退火并时效的冷轧薄板的开裂性能按照 Larson-Miller 参数图的形式表示在图 13 中。向在规范中指明的一样，厚度将会影响开裂寿命。

棒材和薄板的开裂寿命与其拉伸性能的比较见表 9（第 6 页）和 24（12 页）。

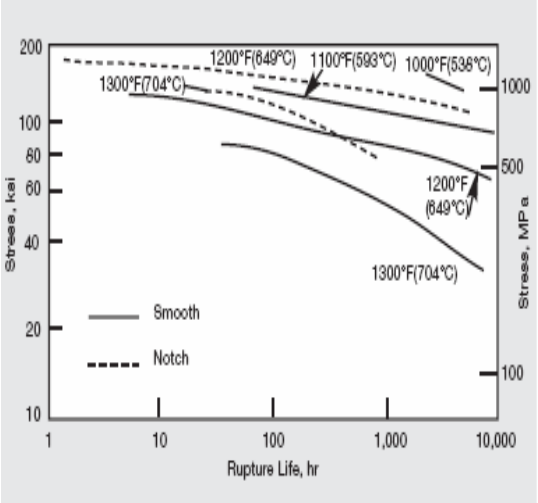

图 6 热轧棒的光滑和缺口试样的开裂寿命，直径 0.625-in.(15.9mm).（1800°F（982°C）/1 小时，水淬并在 1325°F（718°C）/8 小时时效，在 1150°F（621°C）保温到总时效时间到 18 小时），Kt=4

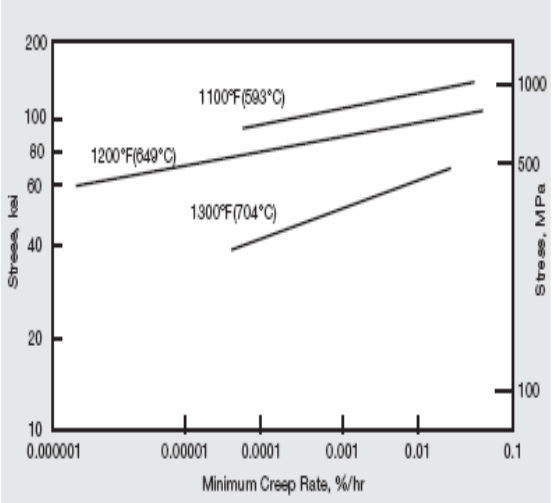

图 7 直径 0.625-in.(15.9mm)热轧棒的蠕变强度，(1800°F (982°C) /1 小时，水淬并在 1325°F（718°C）/8 小时时效，快冷到 1150°F（621°C）并保温到总时效时间到 18 小时）。

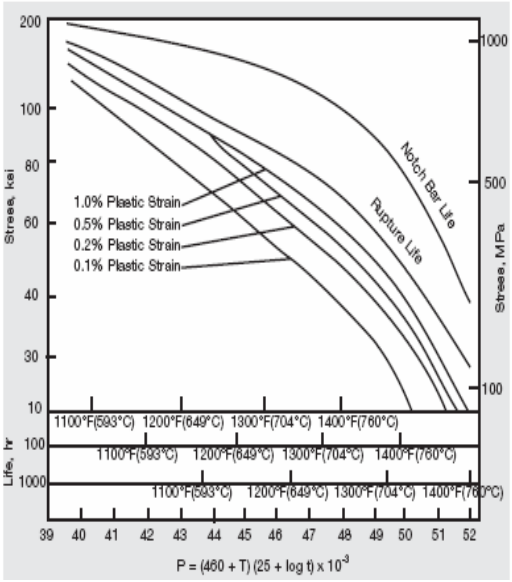

图 8 直径 0.625-in(15.9mm) 的热轧棒的 Larson-Miller 开裂寿命参数图（1800°F(982°C)/1 小时,水淬并在 1325°F(718°C)时效 8 小时，快速冷却到 1150°F(621°C)并保温到总时效时间达到 18 小时)。在 Larson-Miller 参数中，P, T 为温度°F，t 为时间，小时。

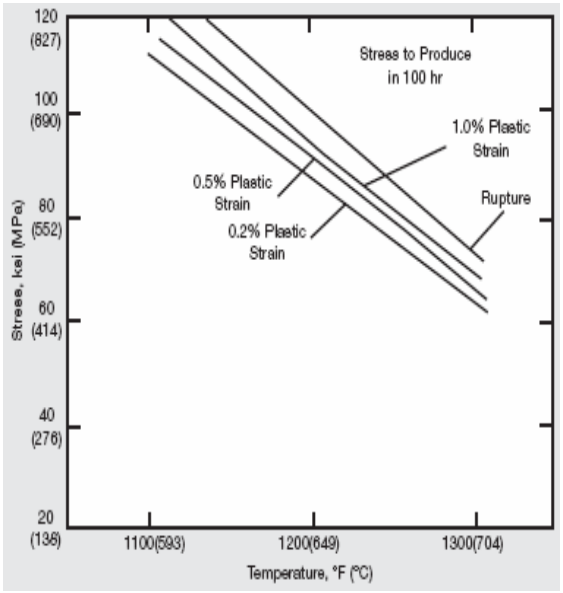

图 10 直径 0.625in(15.9mm)的热轧棒蠕变性能（100 小时）（1800°F(982°C)/1 小时，水淬并时效 1325°F(718°C)/8 小时,快速冷却到 1150°F(621°C)并保温到总时效时间达到 18 小时）

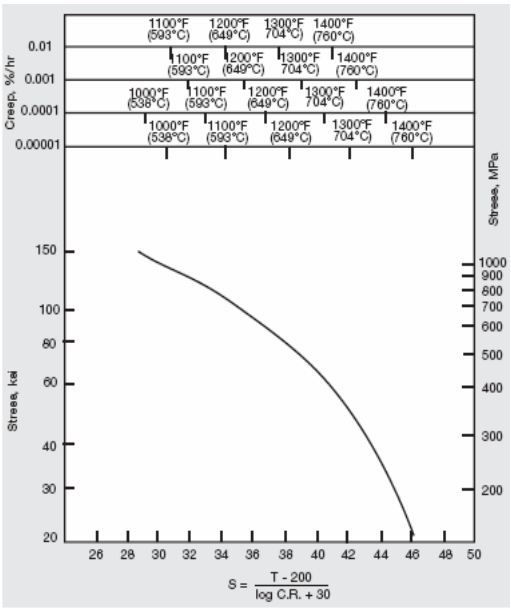

图 9 直径 0.625in.(15.9mm)热轧棒 Mason-Haferd 最小蠕变速率参数图（1800°F(982°C)/1 小时，水淬并在 1325°F(718°C)时效8 小时，快冷到1150°F(621°C)并保温到总时效时间达到 18 小时). 其中：S, T 为温度, °F, C.R. 为蠕变速率。

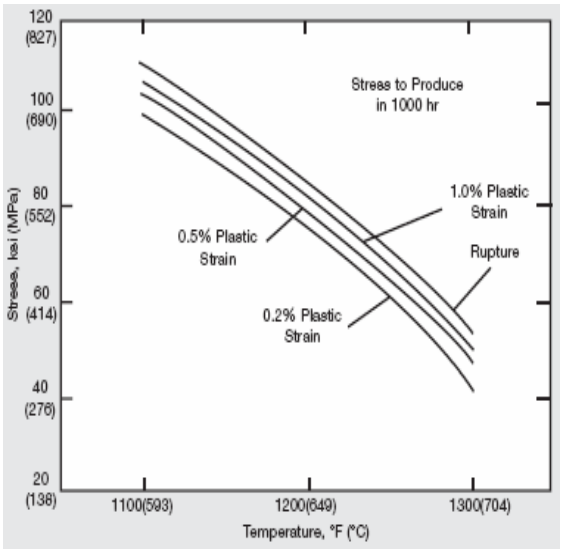

图 11 直径 0.625in(15.9mm)的热轧棒材蠕变性能（1000 小时）（1800°F(982°C)/1 小时，水淬并在 1325°F(718°C)时效 8 小时，快速冷却到 1150°F(621°C)并在 1150°F(621°C)保温到总时效时间达到 18 小时)。

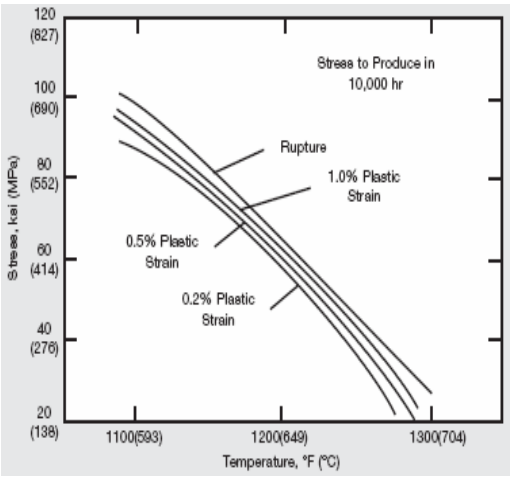

图 12 热轧 0.625in(15.9mm)直径棒材的蠕变开裂性能（10000 小时）（1800°F(982°C)/1 小时,水淬并在 1325°F(718°C) 时效 8 小时，快速冷到 1150°F(621°C)并保温到总时效时间达到 18 小时）

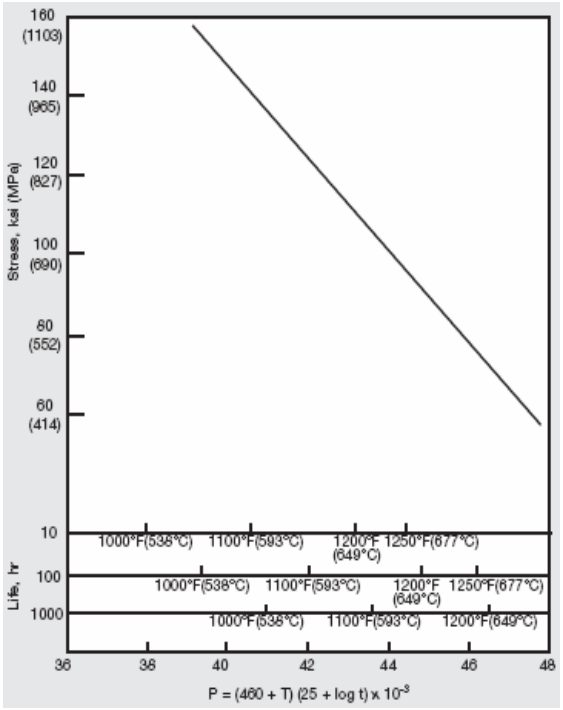

图 13 冷轧 0.025-0.25in(0.64-6.35mm)厚薄板的开裂寿命 Larson-Miller 图。（材料按照 AMS5596 退火并时效）。在 Larson-Miller 参数中， P，T 为温度°F，t 为时间，小时。

焊接性能

INCONEL 718能够使用氩弧焊接（TIG）工艺使用INCONEL718焊丝进行焊接。表34给出了焊丝的成分。全焊接金属试样的机械性能见表35。这些实验数据表示了焊后处理对拉伸性能的影响。最高的室温延展性是通过在时效前1950°F退火得到的。

718对时效硬化的慢速反应使得部件可以被焊接然后直接时效硬化而不用任何中间去应力工序。表38中可以看到实验基本达到了100%连接效率；这些试样来自退火、焊接、时效的板材。然而更好的性能是通过焊接后，时效以前进行重新退火达到的。

以知银铜焊的混合物会引起镍基合金的应力开裂。如果718合金是冷做并/或沉淀强化的，就不应该应银铜焊。同样，虽然镉本身已经证明不能引起开裂，但它能够加重其它原因引起的开裂；因此铜焊合金中最好要避免含有镉。

表34-INCONEL718焊丝的成分%

Nickel (plus Cobalt) 镍+钴	50.00-55.00
Copper 铜	0.30 max.
Manganese 锰	0.35 max.
Iron 铁	Balance
Silicon 硅	0.35 max.
Carbon 碳	0.08 max.
Sulfur 硫	0.015 max.
Titanium 钛	0.65-1.15
Aluminum 铝	0.20-0.80
Niobium (plus Tantalum)铌+钽	4.75-5.50
Chromium 铬	17.0-21.0
Molybdenum 钼	2.80-3.30
Phosphor 磷	0.015 max.
Cobalt 钴	1.00 max.
Boron 硼	0.006 max.

表 35 焊后热处理对 INCONEL718 焊丝全金属试样拉伸性能的影响
（手工氩弧焊工艺焊接连接 0.5in 热轧板）（为两次实验的平均）

Filler Metal Diameter, in.[a]	Heat Treatment[b]	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %
0.045	As-Welded[c]	125.50	84.30	28.0	30.0
	1750°F, Age	180.25	148.50	7.8	12.3
	1950°F, Age	197.25	162.75	18.8	26.5
	1325°F, Age	186.00	153.50	11.0	13.5
0.045	As-Welded	120.75	82.30	28.0	30.5
	1750°F, Age	169.50	144.00	7.8	12.0
	1950°F, Age	193.50	164.85	13.3	17.0
	1325°F, Age	180.50	147.75	7.8	10.3
0.09375	As-Welded	123.75	84.00	28.0	31.3
	1750°F, Age	174.50	145.25	7.7	12.5
	1950°F, Age[c]	197.00	168.50	10.0	18.0
	1325°F, Age[c]	166.50	150.50	4.0	4.0
0.062	As-Welded[c]	125.20	83.50	28.0	37.5
	1750°F, Age	174.50	152.00	4.9	7.0
	1950°F, Age	198.00	179.25	13.8	21.5
	1325°F, Age[c]	175.50	151.00	4.0	7.5
0.062	As-Welded	123.25	75.05	34.3	35.3
	1750°F, Age	180.00	144.00	12.6	18.0
	1950°F, Age[c]	196.50	161.00	16.0	31.0
	1325°F, Age	176.75	140.00	15.5	22.5

[a] 每一个单独尺寸代表在不同炉号的试验结果

热处理：1750°F 时效为：1750°F 退火加 1325°F 8 小时时效，快冷 100°F/小时到 1150°F 并保温到总时效时间达到 18 小时。1950°F 时效为在 1950°F 退火加 1400°F 10 小时时效，快冷 100°F/小时到 1200°F 并保温到总时效时间达到 20 小时。1325°F 时效为在 1325°F 8 小时时效，快冷 100°F/小时到 1150°F 并保温到总时效时间达到 18 小时。

[c] 仅一个实验

表 36-冷轧退火薄板的修补焊接实验 [a]
(顺序：退火+焊接+时效+修补焊接+重时效)

Sheet Thickness, in.	Heat Treatment	Patch Test Assembly[b]	Condition After	
			Welding and Aging	Repair Welding and Re-Aging
0.028	AMS 5596	1	Crack-Free	Crack-Free
0.030		1	Crack-Free	Crack-Free
0.030		1	Crack-Free	Crack-Free
0.035		1	Crack-Free	Crack-Free
0.035		2	Crack-Free	Cracked
0.062		2	Crack-Free	Crack-Free
0.062	AMS 5597	2	Crack-Free	Cracked
0.062		1	Crack-Free	Crack-Free
0.062		1	Crack-Free	Crack-Free
0.062		2	Crack-Free	Crack-Free
0.078		1	Crack-Free	Cracked
0.093		2	Crack-Free	Cracked
0.109		2	Crack-Free	Crack-Free

[a]这些实验代表了7个不同炉号

[b]见图15.

表 37-室温拉伸性能 [a]
在0.5in板材的横向实验（用718焊丝氩弧焊接）

Postweld Heat Treatment[b]	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2 % Offset), ksi	Elongation in 1 In., %	Reduction of Area, %
Direct Age	185.0	158.0	6.5	15.8
Annealed and Aged	190.0	163.3	7.5	13.9
Annealed and Aged	191.5	164.5	9.5	16.3

[a]2 个试验的平均

[b] 按照 AMS596

表 38-焊缝的室温；拉伸性能
（1325°F 8 小时时效，快冷到 1150°F 并保温到总时效时间达到 18 小时）

Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation in 1 in., %	Reduction of Area, %
	Transverse Tests Across Joints		
183.0	159.5	8.0	19.0
183.5	158.5	7.0	16.0
186.5	162.0	6.0	12.8
185.5	163.0	6.0	21.0
184.0	163.0	6.0	16.5
192.5	166.0	9.0	17.5
191.5	164.0	6.0	12.5
182.0	156.5	4.0	6.8
188.5	168.0	4.0	11.5
188.0	170.0	5.0	10.0
Average 186.5	163.0	6.0	14.4
	All-Weld Metal Tests		
180.5	157.5	10.0	16.0
182.5	162.0	8.0	14.0
178.0	154.0	11.0	12.5
177.5	150.0	14.0	18.5
180.0	153.5	10.0	22.0
180.0	158.5	7.0	11.5
183.5	160.5	6.0	8.5
Average 180.0	156.5	9.0	15.0

由氩弧焊接的 0.5in 板材上制备直径为 0.252in 的试样。板材焊接前按照 AMS5596 退火。所有实验在焊缝破裂。焊丝为 INCONEL718

表 39- 0.5in 板材焊缝的室温拉伸性能。（使用 INCONEL718 焊丝氩弧焊接工艺）

Sample	Postweld Heat Treatment[b]	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2 % Offset), ksi	Elongation in 0.5 In., %	Reduction of Area, %
All-Weld Metal	Direct Age	174.50	139.25	18.3	21.5
	1950°F/1 hr,Age	185.75	155.50	22.0[c]	31.8
Transverse[d]	Direct Age	183.50	149.50	12.0	24.8
	1950°F/1 hr,Age	192.25	160.75	17.3	23.5

[a] 2 个实验的平均
[b] 时效-1400°F 10 小时。快冷到 1200°F 并保温到总时效时间达到 20 小时。
[c] 一个实验
[d] 所有开裂发生在焊缝

焊缝的拉伸性能

焊缝接受低温退火和/或时效后的室温性能可以和高温退火和/或时效处理结果在表 38 和 39 中比较。焊缝在 1150°F 退火 15 分钟然后在 1400°F 时效 10 小时，快冷到 1200°F 并保温使总时效时间达到 20 小时后的其它性能见表 40。焊缝使用 718 焊丝手工氩弧焊接工艺制作。这些焊缝经检验满足弯曲和射线检查。当使用氦气作为焊枪气体时能得到稍微好一些的结果。表 41 给出了薄板对焊焊缝在热影响区和焊缝的缺口强度。这些焊缝是按照低温程序热处理的。

另外一个实验室用高温热处理发现母材和焊接金属的缺口韧性非常一致，并在-423 ° F 到 1200 ° F 温度范围内超过了缺口-光滑棒拉伸比 1.30。实验数据见表 42。焊接接头效率在-423 ° F 大约为 93%，在室温和 1200 ° F 为 95%。

表 40-0.063-in 薄板退火并时效的室温拉伸性能 [a]

Weld	Tensile Strength, ksi	Elongation in 1 in., %
Argon Torch Gas; Helium Root Gas		
1	188.00	11.7
2	184.20	10.0
3	184.50	10.0
4	190.20	14.3
5	192.70	17.3
	Average 187.92	12.7
Helium Torch Gas; Argon Root Gas		
6	189.20	11.7
7	191.00	15.3
8	187.80	12.7
9	191.70	18.3
10	194.00	18.7
	Average 190.74	15.3

[a] 使用 INCONEL718 焊丝手工焊接.每个焊道平均 3 次实验。所有薄板来自同一炉号。焊后热处理为：1950°F/15 min.加上 1400°F/10 hr,快冷到 1200°F,在 1200°F保温使总时效时间达到20小时。

表 42-使用 INCONEL718 焊丝氩弧焊接的环行锻件试样的拉伸性能

（焊接件在 1950°F 退火 1 小时并在 1400°F 时效 10 小时，快冷到 1200°F 并保温使总时效时间达到 20 小时）

Specimen	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %	Notch Tensile Strength[b], ksi	Notch/Unnotch Tensile Strength Ratio
Room Temp.						
Parent Metal	197.5	163.8	25.5	38.5	272.8	1.38
Weld	189.7	165.6	19.3	38.1	263.1	1.39
-423°F						
Parent Metal	245.9	203.6	22.5	33.1	323.8	1.32
Weld	237.9	201.0	19.7	30.7	308.7	1.30
1200°F						
Parent Metal	143.8	125.7	21.1	40.7	207.4	1.44
Weld	147.3	127.3	11.9	30.2	204.2	1.39

[a] 数据为 2-5 个试样的平均值　　[b] 缺口集中因子 Kt=6.3

表 41- 0.051-in 冷轧退火薄板
对焊焊接接头的缺口强度

Treatment of Weld[a]	Notch Strength[b], ksi	
	Heat-Affected Zone	Weld
Aged	154.0	129.0
	183.8	133.5
Annealed	175.0	132.3
1800°F/1 hr and Aged	163.3	136.0

[a] 时效-1325 8 小时，快冷到 1150 保温使总时效时间达到 18 小时，空冷。所有焊缝压到与母材平齐；使用 INCONEL718 焊丝自动氩弧焊接。

[b] 2 个数值的平均。缺口被加工在焊缝中心和距熔合区 0.025-in 的母材上，Kt 值约为 24。

焊缝的疲劳性能

在 R.R.Moor 旋转梁实验机上实验得出焊接结构的室温疲劳强度（10^8 循环）大约为 62.5ksi。试样为热轧 0.5-in 板材根据 AMS5596 退火后使用直径 0.125-in 的 INCONEL718 焊丝氩弧焊接工艺焊接。样品在 1325°F 时效 8 小时，快冷到 1150°F 并保温到总时效时间达到 18 小时，然后抛光试样进行试验。与之可比的是 718 合金的棒材的疲劳强度（10^8 循环）为 89.0ksi。

.

焊缝的剪切性能

718 焊丝沉积金属的剪切强度见表 43。试样来自使用直径为 0.062in 的 INCONEL718 焊丝自动氩弧焊接工艺堆焊的 0.625in 堆焊层。

表43-在INCONE718合金上使用INCONEL718焊丝堆焊的堆焊层剪切强度

Specimen[a]	Shear Strength[b], ksi	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongation, %	Reduction of Area, %
A	86.0	121.0	73.5	27.0	30.0
B	86.5	120.0	73.4	28.0	26.5
C	80.0	120.0	72.0	30.0	33.8

[a] 试样来自 0.625in 厚，3in 宽，6in 长的堆焊层；轴向为平行焊接方向；拉伸试样的直径为 0.252in,长度 4 倍直径。双剪切试验试样为直径 0.250in, 1.5in 长。

[b] 双剪切

焊缝的开裂性能

热处理过的薄板焊接结构在 1200°F 和 1300°F 的开裂强度与母材的比较见表 44。在其它实验中，使用时效、焊接再时效的顺序的开裂寿命为 0.3 小时（1200°F，100ksi）和 4.9 小时（1300°F，72.5ksi）;开裂发生在热影响区。缺口棒材在 1300°F、75ksi 下的寿命见表 45。

表 44-退火薄板对接接头的开裂强度 [a]

Treatment of Weld	Test Temperature, °F	Stress, ksi	Life, hr	Elongation, %	Location of Fracture
Parent Metal Annealed and Aged	1200	100.0	47.3	85.0	-
	1300	72.5	26.1	11.0	-
Annealed and Aged	1200	100.0	10.8	1.0	Weld
	1300	72.5	9.4	1.0	Weld
Aged	1200	100.0	16.4	1.0	Weld
	1300	72.5	15.8	2.0	Weld

[a]0．060-in 薄板使用 INCONEL 718 韩丝焊接。母材与焊缝按照 AMS5596 热处理。焊缝打磨平齐。

表 45-焊缝 [a] 的开裂强度(实验条件：1300°F、750ksi)

Specimen	Heat Treatment[b]	Life, hr	Elongation, %	Reduction of Area, %	Notch Bar Life, hr
All-Weld Metal	Aged	11.7	4.0		6.0 14.1
	Annealed and Aged	12.2	5.0		7.5 45.5
Transverse Joint[c]	Aged	25.5	4.0 (in 0.5 in)	5.0	30.1
	Annealed and Aged	15.3	3.0 (in. 0.5 in.)	8.5	25.1

[a]焊缝由氩弧焊工艺使用 INCONEL718 焊丝在 0.5in 热轧板之间堆积。

[b]按照 AMS5596 [c]所有开裂发生在焊缝

弹簧性能

INCONEL718 合金出色的抗松弛能力是它在 1100°F 下成功用做弹簧的一个因素。一些松弛数据见图 14。

螺栓连接

INCONEL718 合金在很宽的温度范围既有优异的机械性能又有超强的氧化和腐蚀抗力。因为如此，它被指定用做各种环境条件下的很多要求超级性能的紧固件。

INCONEL718 可以用两种方法强化：(1）通过固溶处理和时效强化 (2）通过冷做和时效强化。见表 46

INCONEL718 合金作为螺栓连接的应用在 Section I and Section VIII, Division I of the ASME Code by Code Case 1993 里有专门说明。

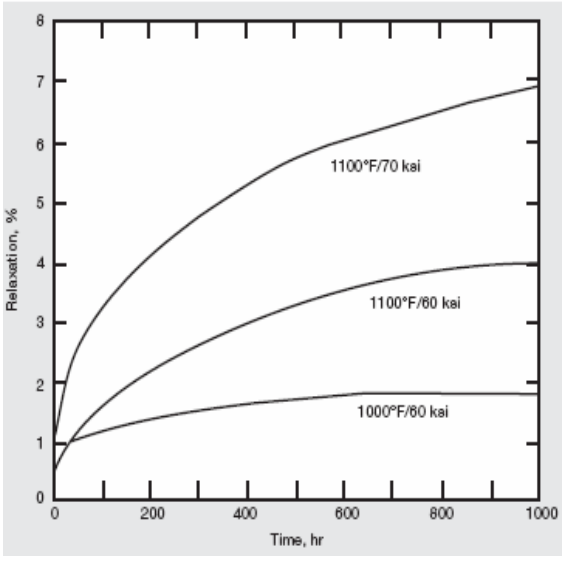

图 14-直径 0.148in 冷拉 1 号回火线材制作的螺旋卷弹簧的松弛性能。(弹簧在 1800°F 退火，在 1325°F 时效 8 小时，快冷到 1150°F 并保温使总时效时间达到 18 小时。)

表 46-冷作和时效硬化 [a]

Diameter, in	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Tensile Strength, ksi	Elongation, %	Hardness, Rc
As Cold Drawn				
0.51	-	-	-	-
0.76	161	178	16	41
1.01	150	176	15	38
1.51	-	-	-	-
Cold Drawn and Aged (1325°F/8 hr, F.C. to 1150°F, hold at 1150°F for total aging time of 18 hr)				
0.51	227	243	11	48
0.76	223	234	11	47
1.01	222	237	11	47
1.51	229	244	11	46
Cold Drawn, Solution Annealed and Aged (1750°F/1 hr, A.C. then 1325°F/8 hr F.C. to 1150°F, hold at 1150°F for total aging time of 18 hr.)				
0.51	168	211	20	42
0.76	165	208	21	42
1.01	165	212	20	42
1.51	-	-	-	-

[a]5 个不同炉号的至少 5 个样品的平均值

金相学

INCONEL718是一种可时效硬化的奥氏体材料。其强度大部分取决于GAMMA主相在热处理中的析出。该合金研发的一个主要努力就是建立一种适当的热处理方法来优化材料的性能。这些热处理方法和它们适合的应用场合在机械性能部分有描述。

718合金的微观结构，特别是热处理的影响，已经做了大量的研究和报告。详细的关于通过不同热处理来形成不同的相以及其它冶金学方面的研究请参阅这些研究报告文献。

耐蚀性

INCONEL718合金对很多介质有优异的抗蚀性。这些抗力与其它镍基合金类似，都是由它们的成分决定的。镍除了在很强的氧化环境外，对很多无机、有机和混合酸碱在很宽的酸碱度范围的耐蚀性都有贡献。镍对防止氯离子应力腐蚀开裂也很有用。铬使合金具有承受氧化介质和硫化物侵蚀的能力。钼被广泛认可对很多介质中的点蚀抗力有贡献

加工指导

加热与酸洗

在对 INCONEL718 合金进行加热时必须小心的保证材料和炉子都在正确的温度范围。

加热用的燃油必须保证含硫量特别低。材料在装入炉子时必须保证绝对干净并没有油、油漆、油脂和车间灰尘。

在锻造或开式炉退火时应该让炉内环境为轻微的还原态，至少含有 2%的一氧化碳。炉内应该保持少量的正压以防止空气渗透进入。

当 718 合金被在还原性气氛中加热时，会在材料表面留下一层很薄的黏着的黑绿色氧化膜。在氧化性环境中，会有一层非常难以去除的黑鳞。必须遵照警告的方法去做以保证只形成黑绿色的薄膜。

热成型

由于 INCONEL718 的强度问题使得它比大部分材料在热成型时更困难。它在轧辊间距为 20%减薄情况下的相对抗力用压力表示在表 47 中。如果使用有足够大功率的设备，它也很容易进行热加工。

热成型的温度范围为 1650°F -2050°F。在最后的操作中，金属应该进行均匀的加工并逐渐降低温度，完成步骤应该在 1650°F -1750°F 范围内进行并应是少量的变形。这个步骤对保证当材料进行了退火和时效后在应力开裂应用条件下使用时的缺口延展性是必须的（见下述）。对热加工的加热，材料应该被加热到温度并允许短时间保温并处于独立状态。

为避免混合晶粒组织，INCUNEL718 合金进行均匀的减薄变形。对开式模的最终最小减薄变形应为最小 20%，对闭式模应该最小为 10%。零件通常应该从热加工温度空冷而不是水淬。应该小心避免由于加工热累积造成的金属过热。同时，当任何部分的温度冷却低于 1650°F 时，零件就应该重加热。推荐将工具和模具预加热到 500°F。在工件表面出现的任何开裂都应该被立即去掉。

表 48 的数据表示了对于在应力开裂应用使用条件的大型锻件达到缺口延展性时最终锻造温度 1650°F -1750°F 的重要性。在这些实验中，0.75in 见方的锻棒被切成 12in 长，加热到表 48 的轧制温度，然后一次进行了 25%的减薄。跟着进行了退火和时效，试样在 1200°F、100ksi 下开裂。锻造 718 合金通过这种方法成功的达到缺口延展性的情况在其他人的报告中也有。

表 47-在 20%减薄量情况下轧辊间的压力,ksi

Material	Pressure, ksi			
	Hot-Forming Temperature, °F			
	1800	1900	2000	2100
Mild Steel (1020)	22.4	18.3	14.3	10.3
Type 302 Stainless Steel	27.8	24.3	21.4	18.0
INCONEL alloy 600	40.8	34.6	28.3	22.3
INCONEL alloy X-750	48.6	43.3	38.4	33.3
INCONEL alloy 718	63.3	55.8	48.3	41.0

表 48-热成型温度对开裂性能 [a] 的影响(1200°F,100ksi)

Hot-Forming Temperature, °F	Heat Treatment[b]	ASTM Grain Size	Smooth Bar				Notch Bar Life[c], hr
			Life, hr	Elongation, %	Reduction of Area, %	Hardness, Rc	
2050	A	20% 0.5, 30% 4.5, 40% 6.5, 10% 9	193.5	3	6.5	45	16.2
	B	100% 1.5	209.5	4	8.5	46	16.5
1950	A	70% 8, 30% 3	274.5	7	9.0	45	55.1
	B	60% 3, 30% 8, 10% 7	291.4	8	10.0	45	56.7
1850	A	95% 4.5, 5% 9	193.3	11	16.0	46	123.9
	B	35% 4.5, 60% 9, 5% 7	231.6	10	13.0	46	99.2
1750	A	20% 6, 20% 7, 60% 10	121.3	13	22.0	46	131.4
	B	40% 7, 55% 9, 5% 5	248.3	14	16.0	46	179.6
1650	A	100% 9.5	48.0	33	53.5	46	426.2[d]
	B	100% 9.5	124.3	28	43.5	46	426.1[d]

[a] 热成型，25%减薄，一次变形

[b] A-1750°F /1 小时，空冷，+1325°F /8 小时，快冷 100°F /小时到 1150°F 并保温 8 小时，空冷。
B-1800°F /1 小时，空冷，+1325°F /8 小时，快冷 100°F /小时到 1150°F 并保温 8 小时，空冷。

[c] Kt 为 3.5 到 4.0；跟部直径 0.252in.

[d] 实验终止

表 49-冷减薄对薄板性能的影响

Cold Reduction, %	Tests at Room Temperature				Tests at -320°F		
	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %	Hardness, Rc	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% Offset), ksi	Elongation, %
0	117.0	44.0	60.0	87 Rb	-	-	-
5.9	115.0	68.2	45.0	19	161.0	103.0	38.0
18.5	145.0	116.5	25.0	33	189.0	153.0	24.0
27.9	159.5	134.0	10.5	36	204.0	169.0	15.0
48.3	191.0	165.0	7.0	40	231.0	204.0	15.0
Aged 1325°F/8 hr, F.C. 100°F/1 hr to 1150°F (Held for Total Aging Time of 18 hr, A.C.) after Cold Rolling							
0	187.0	172.5	19.5	44	248.0	188.5	26.0
5.9	203.0	175.5	22.0	45	255.0	211.0	13.0
18.5	217.0	201.0	16.0	47	270.0	235.0	12.5
48.3	244.0	232.5	4.0	49	289.0	269.0	2.5

冷成型

INCONEL718 合金可以按照标准的对钢或不锈钢的方法进行冷成型。图 16 给出了其加工硬化速率与其它材料的比较。

冷减薄对冷轧和冷轧时效薄板的拉伸性能的影响见表 49。

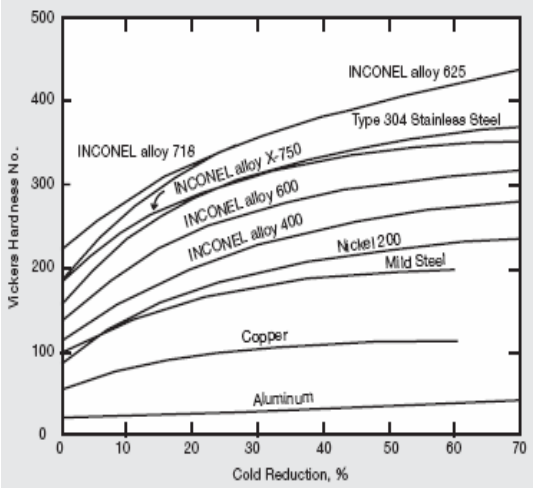

图16-冷加工对硬度的影响

机加工

INCONEL718 合金可以直接进行机加工，但必须考虑其高强度和加工硬化特性来选择使用合适的刀具材料和确定操作速度和冷却液。

在时效强化状态进行机加工时，合金最终表面会稍好，断削性能也更好。然而使用退火态材料时，更容易加工，刀具寿命更长。

超级塑性成型

Special Metals 生产了一种专门用于超级塑性成型工艺的特殊等级的 718 合金。该合金命名为 INCONEL718SPF，可提供厚度从 0.02 到 0.08in（0.5-2.0mm），宽度最大到 36 英寸（914mm）的退火薄板。SAE AMS 5950 标准是专门用来定义对该合金的要求的。完整的关于 718SPF 合金的性能和它如何成型的资料在网站 www.specialmetals.com 的技术报告中可以找到。

弯曲

热轧退火板和冷轧退火板、带的最小弯曲直径指导见表 50。为确定这些直径，对样品进行了 180 ° 弯曲实验确认其表面无韧性开裂裂纹。由于各种不同的表面条件和热处理对弯曲性的影响，表中数值不能作为保证。然而，假如初始弯曲不严重，很多材料都可以进行比表 50 更紧的弯曲。

表 50-退火薄板和带材以及热轧退火板的 180 ° 弯曲最小直径

Alloy	Thickness (T)		Minimum Diameter[a]
	in.	mm	
	Sheet and Strip	Sheet and Strip	
INCONEL alloy 718[b]	0.012-0.049	0.30-1.24	1T
	0.050-0.250	1.27-6.35	2T

[a] 弯曲实验按照 ASTM E290-77 方法使用 ASTM E190-64(1976 年重新批准)夹具进行的。

[b]INCONEL718 合金样品的剪切边进行了加工或打磨。

退火与时效硬化

对大多数应用条件，INCONEL718 合金要接受一种以下处理：

在 1750 ° F -1850 ° F 退火，空冷并在 1325 ° F /8 小时时效，快冷到 1150 ° F 并保温使总时效时间达到 18 小时；或：

在 1900-1950 ° F 退火，空冷并在 1400 ° F 时效 10 小时，快冷到 1200 ° F 并保温到总时效时间达到 20 小时。

在时效中炉子的冷却速率不是太严格，但有时会要求 100 ° F /小时的速率。推荐的总时效时间应该遵守。进行过这些处理的材料的性能见机械性能部分。

在各种温度下退火 30 分钟对晶粒尺寸的影响见图 17。

铌-铝-钛强化的 INCONEL718 合金的时效反应与铝-钛强化合金相比更慢一些。这样对大多数尺寸，合金可以在时效温度范围内以正常速度被加热和冷却而保持软态和延展性。

图 18 给出了时效时间和温度对退火薄板的硬度的影响。实际上在最初暴露的 2-3 分钟内没有任何硬化发生。这对焊接后和退火后而言是足够的空冷时间。具有足够的强化剂来满足达到 INCONEL718 合金强度水平的铝-钛强化合金在相同的时间范围内应该已经达到大部分硬度值了。

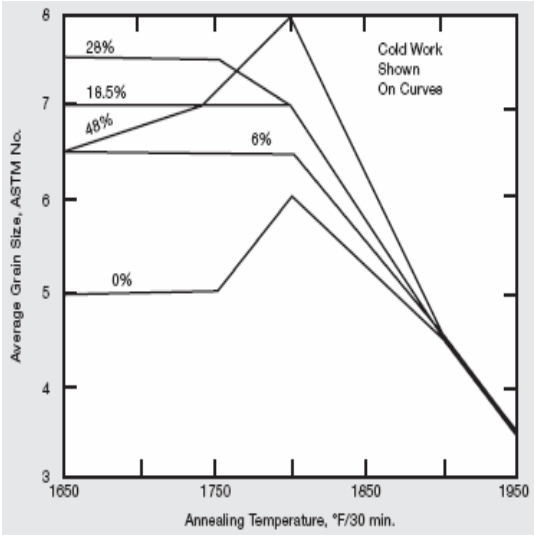

图 17. 退火温度对薄板晶粒尺寸的影响

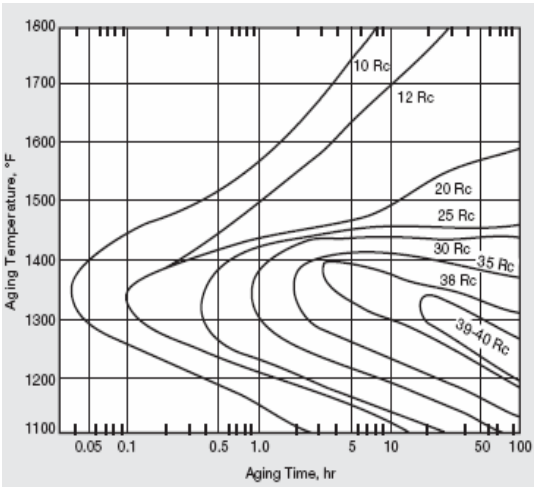

图18. 时效条件对退火薄板的硬度的影响（初始硬度在退火条件下为 Rc4）

可供产品形式与标准

INCONEL718 合金被指定为 UNS N07718，UNS N07719 以及 Wr./Nr. 2.4668。该合金也被列入油气应用的 NACE MR-01-75 中。718 合金有输送管、管、薄板、带、热轧板、圆棒、板条、锻件、六方线材和挤出型材。

棒，板条,线材和锻件 - ASTM B 637, ASME SB 637, SAE AMS 5662, SAE AMS 5663, SAE AMS 5664, SAE AMS 5832, SAE AMS 5914, SAE AMS 5962, ASME Code Case 1993, ASME Code Case 2206, ASME Code Case 2222, AECMA PrEN 2404, AECMA PrEN 2405, AECMA PrEN 2952, AECMA PrEN 2961, AECMA PrEN 3219, AECMA PrEN 3666, ISO 9723, ISO 9724, ISO 9725, DIN 17752-17754。

热板、冷板和带材 - ASTM B 670, ASTM B 906, ASME SB 670, ASME SB 906, SAE AMS 5596, SAE AMS 5597, SAE AMS 5950, AECMA PrEN 2407, AECMA PrEN 2408, ISO 6208, DIN 17750

输送管和管 - SAE AMS 5589, SAE AMS 5590, ASME Code Case N-253, DIN 17751

焊接产品 - INCONEL Filler Metal 718 – AWS 5.14 / ERNiFeCr-2

其它 - ASME Code Case N-62, ASME Code Case N-208, DIN 17744