

HAYNES® 282® 合金

主な特徴

優れた高温強度

HAYNES® 282® 合金 (UNS N07208) は、高温構造用途、特に航空用および産業ガスタービンエンジンの高温構造部品用として開発されたガンマプライム強化型鍛造超合金です。この合金は、クリープ強度、熱安定性、溶接性および加工性の組み合わせにおいて、現在市販されている合金には見られないようなユニークな特性を有しています。この合金は溶接性を犠牲にすることなく、1200~1700 °F (649~927 °C) の温度域において Waspaloy 合金よりも高く、R-41 合金に近い優れたクリープ強度を有しています。

容易な加工

HAYNES® 282® 合金の高レベルのクリープ強度は、ガンマプライム強化相の体積比率が比較的低い条件で得られるため、(このように高いクリープ強度域の超合金において通常は問題となる) ひずみ時効割れに対して卓越した耐性があります。それに加えて、ガンマプライムの析出速度が遅いため、アニールしたままの状態でも優れた延性があります。その結果、HAYNES® 282® 合金は、優れた溶接性と加工性を示します。機械加工性は、Waspaloy に似ています。

熱処理

HAYNES® 282® 合金は溶体化処理した状態で供給されますので、その状態で容易に成形することができます。典型的な溶体化処理温度は、2050~2100 °F (1121~1149 °C) の範囲です。部品加工後は、合金の強度を高めるために時効処理が必要です。処理条件は、標準の2ステップ時効処理は、1850 °F (1010 °C) / 2時間 / AC (空冷) + 1450 °F (788 °C) / 8時間 / 空冷ですが、特定の性能要件あるいは製造性に対して特性を最適化するために、別の熱処理方法を採用することもできます。

注記: 先進超々臨界圧火力発電 (A-USC)、超臨界CO₂サイクル発電、およびその他のASMEボイラコード用途に対する熱処理は、標準の熱処理とは異なります。ASMEコード関連用途に対する熱処理の情報は、[こちら](#)をご覧ください。

製品形態

HAYNES® 282® 合金は、箔厚さから断面が2インチを超える (> 50.8mm) 厚さまでの厚板 (プレート)、薄板 (シート) およびコイル製品; 直径0.03インチ (0.76mm) から9インチ (228.6mm) までの棒材 (バー) と線材 (ワイヤ)、直径4インチから20インチまで (101.6~508mm) の再鍛造ビレットとインゴット製品; そして、幾つかの標準サイズの継ぎ目無し (シームレス) および溶接パイプとチューブなど、あらゆる製品形態およびサイズで入手可能です。真空鑄造品も様々な用途で製造されており、多くの付加製造技術 (Additive Manufacturing) をサポートするための粉末製品も入手できます。

用途

HAYNES® 282® 合金の特徴は、燃焼器、タービンおよび排気セクション、およびノズル部品などの重要なガスタービン部品用途に適しています。一般的に用いられている加工方法には、シートおよびプレート加工、シームレスおよびフラッシュバット溶接によるリング加工、型鍛造、および棒材や厚板ブランク材からの部品の直接機械加工などがあります。産業用ガスタービンにおいては、HAYNES® 282® 合金が、並外れたクリープ寿命と低サイクル疲労 (LCF) 耐性を必要とする燃焼器や尾筒、およびその他の高温ガス通路部品に対する性能基準を定めています。シールや耐熱ばねなどの自動車用ターボチャージャーの用途は、この合金の優れた高温特性の恩恵を受けます。

HAYNES® 282® 合金は、1400°F (760°C) において 14.5 ksi (100 MPa) でのクリープ寿命が 100,000 時間を超えることが要求される先進超々臨界圧発電 (A-USC) 用ボイラおよび蒸気タービン、超臨界CO₂発電サイクル、および集光型太陽光発電プラントでの利用において、有力な候補合金でもあります。ASME コード ケース 3024 は、先進超々臨界圧発電 (A-USC) および超臨界圧CO₂発電サイクルやその他のASMEボイラコードの用途で使用する HAYNES® 282® 合金の新しい1段時効硬化処理について説明しています。1段時効硬化材に関する詳細情報は、[こちら](#)をご覧ください。

標準組成

重量 %

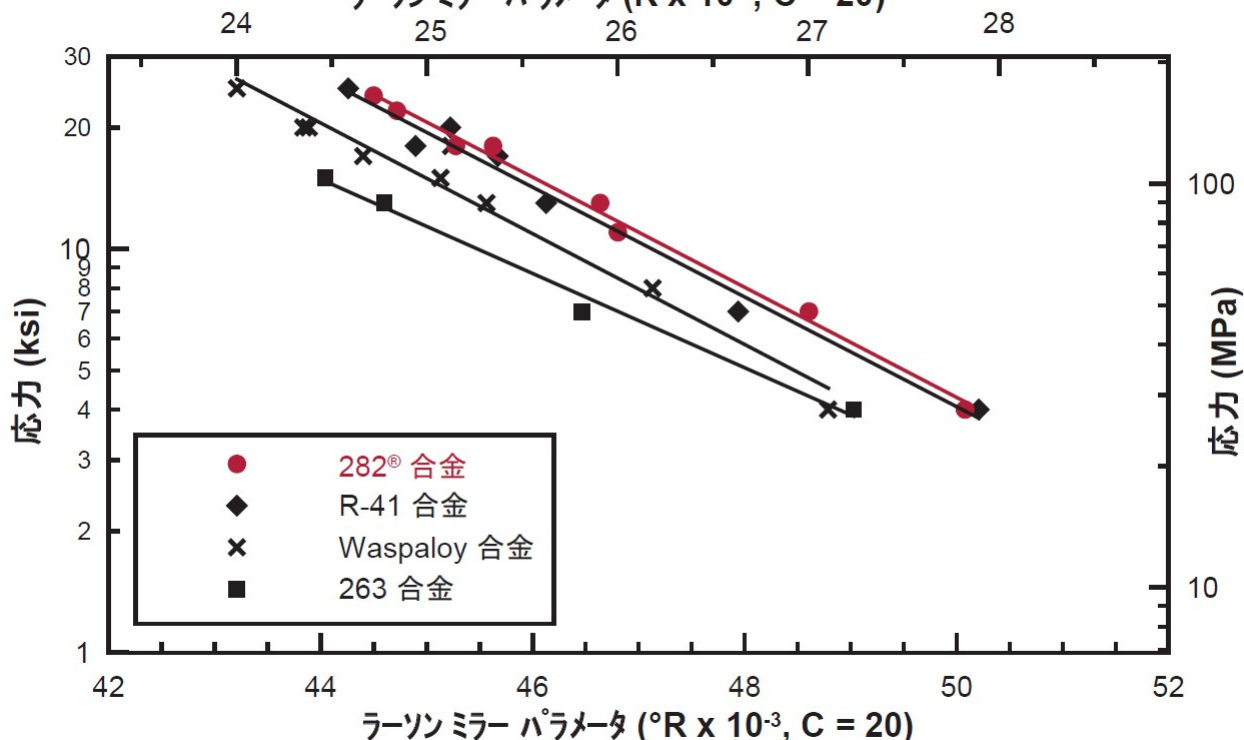
ニッケル:Ni	57 Balance
クロム:Cr	20
コバルト:Co	10
モリブデン:Mo	8.5
チタン:Ti	2.1
アルミニウム:Al	1.5
鉄:Fe	1.5 max.
マンガン:Mn	0.3 max.
ケイ素:Si	0.15 max.
炭素:C	0.06
ホウ素:B	0.005

クリープおよびストレスラプチャー強度

HAYNES® 282® 合金は、1200～1700 °F (649～927 °C)の温度域において卓越したクリープ強度を有しています。例えば、この領域における全ての温度条件で、1%クリープおよびラプチャー強度は263合金よりも優れています。卓越した加工性を有しているにもかかわらず、282® 合金のクリープ強度は加工性に劣る高クリープ強度を目的に開発された合金に匹敵します。例えば、前記温度域の低温域におけるラプチャー強度は、良く知られているが加工性に劣る Waspaloy 合金と同等で、前記温度域の高温端では実際に明瞭な優位性があります。1%クリープ強度に関しては、282® 合金は前記温度域の全域にわたって Waspaloy 合金よりも優れています。1500～1700 °F (816～927 °C)の温度域においては、282® 合金のクリープ強度は、優れたクリープ強度を目的として開発されたが加工性が悪いことで有名な R-41 合金と同等です。

1500～1700 °F (816～927 °C)の温度域における
様々な超合金のクリープ強度(薄板製品)

ラーソン ミラー パラメータ ($K \times 10^{-3}$, $C = 20$)



クリープおよびストレスラプチャー強度(続き)

ガンマプライム強化型合金*のクリープラプチャー特性の比較(薄板)

特性	試験温度		263		R-41		Waspaloy		282®	
	°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
1%クリープ/100 h 応力 ksi (MPa)	1200	649	75	517	105	724	81	558	-	-
	1300	704	54	372	75	517	63	434	72	496
	1400	760	37	255	53	365	41	283	48	331
	1500	816	22	152	32	221	25	172	32	221
	1600	871	11	76	17	117	15	103	18	124
	1700	927	6	41	8	55	6	41	9	62
1%クリープ/1000 h 応力 ksi (MPa)	1200	649	58	400	84	579	67	462	79	545
	1300	704	41	283	59	407	46	317	53	365
	1400	760	25	172	34	234	28	193	35	241
	1500	816	12	83	18	124	16	110	21	145
	1600	871	6	41	9	62	7	48	10	69
	1700	927	3	21	5	34	3	21	5	34
100 hクリープ破断 応力 ksi (MPa)	1200	649	77	531	110	758	92	634	-	-
	1300	704	60	414	85	586	75	517	75	517
	1400	760	42	290	63	434	53	365	56	386
	1500	816	25	172	39	269	32	221	37	255
	1600	871	14	97	23	159	19	131	22	152
	1700	927	7	48	13	90	10	69	12	83
1000 hクリープ破断 応力 ksi (MPa)	1200	649	64	441	90	621	80	552	80	552
	1300	704	45	310	68	469	58	400	56	386
	1400	760	28	193	43	296	36	248	38	262
	1500	816	15	103	24	165	20	138	23	159
	1600	871	7	48	13	90	7	48	12	83
	1700	927	4	28	7	48	3	21	6	41

*時効硬化処理条件 (263 合金: 1472°F(800°C)/8h/空冷、Waspaloy 合金: 1825°F(996°C)/2h/空冷 + 1550°F(843°C)/4h/空冷 + 1400°F(760°C)/16h/空冷、R-41 合金: 1650°F(899°C)/4h/空冷、282® 合金: 1850 °F(1010°C)/2h/空冷 + 1450°F(788°C)/8h/空冷)

クリープおよびストレスラプチャー強度(続き)

溶体化処理* + 時効硬化処理**した 282® 薄板

試験温度		クリープ	下記時間で所定のクリープが生じるおおよその初期応力:			
			100 h		1,000 h	
°F	°C	%	ksi	MPa	ksi	MPa
1200	649	0.5	-	-	78	538
		1	-	-	79	545
		Rupture	-	-	80	552
1300	704	0.5	70	483	51	352
		1	72	496	53	365
		Rupture	75	517	56	386
1400	760	0.5	46	317	33	228
		1	48	331	35	241
		Rupture	56	386	38	262
1500	816	0.5	30	207	18	124
		1	32	221	21	145
		Rupture	37	225	23	159
1600	871	0.5	17	117	9	62
		1	18	124	10	69
		Rupture	22	152	12	83
1700	927	0.5	8.3	57	4.2	29
		1	9	62	5	34
		Rupture	12	83	6	41
1800	982	0.5	3.6	25	-	-
		1	4.2	29	1.8	12
		Rupture	5.5	38	2.5	1

*2100 °F (1149 °C)

**1850 °F (1010 °C)/2h/空冷 + 1450 °F (788 °C)/8h/空冷

クリープおよびストレスラプチャー強度(続き)

溶体化処理* + 時効硬化処理**した 282® 厚板

試験温度		クリープ	下記時間で所定のクリープが生じるおおよその初期応力:					
			100 h		1,000 h		10,000 h	
°F	°C	%	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
1200	649	0.5	-	-	81	558	-	-
		1	-	-	82	565	-	-
		Rupture	-	-	85	586	64	441
1300	704	0.5	73	503	53	365	-	-
		1	75	517	55	379	-	-
		Rupture	80	552	61	421	45	310
1400	760	0.5	49	338	35	241	-	-
		1	50	345	36	248	-	-
		Rupture	57	393	41	283	27	186
1500	816	0.5	32	221	20	138	-	-
		1	34	234	22	152	-	-
		Rupture	38	262	25	172	14	97
1600	871	0.5	18	124	11	76	-	-
		1	19	131	12	83	-	-
		Rupture	23	159	14	97	8	55
1700	927	0.5	9.4	65	4.8	33	-	-
		1	10	69	5.2	36	-	-
		Rupture	13	90	7	48	3.7	26
1800	982	0.5	4.2	29	1.8	12	-	-
		1	4.6	32	2	14	-	-
		Rupture	6.2	43	3.6	25	-	-

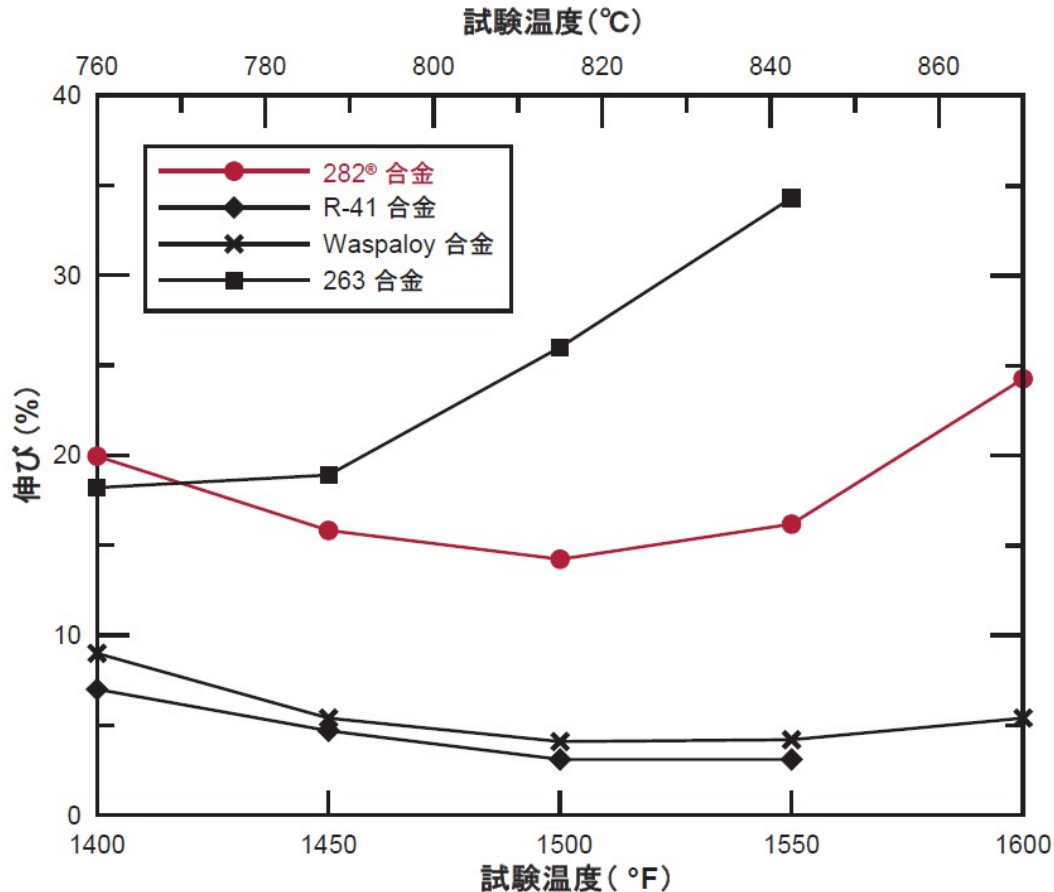
*2075 °F (1135 °C)

**1850 °F (1010 °C)/2h/空冷 + 1450 °F (788 °C)/8h/空冷

耐ひずみ時効割れ性

耐ひずみ時効割れ性は HAYNES® 282® 合金の主要な特質です。下図に示すように、282® 合金は、この点に関しては良く知られている 263 合金に近く、同じような強度クラスの他のニッケル超合金(Waspaloy および R-41 合金)よりも時効割れに対して遥かに高い耐性を有しています。

加熱速度制御引張試験(CHRT)により測定された
耐ひずみ時効割れ性



CHRT試験は、ガンマプライム強化型超合金の耐ひずみ時効割れ性の測定に優れた試験方法です。溶体化処理された状態の厚さ 0.063” (1.6 mm)の試料は、試験温度に達するまで典型的な溶接後熱処理を代表する 25~30 °F (14~17 °C) /分の速度で加熱されます。試験は、それぞれの合金に対して試験温度範囲全体に渡って実施されます。ひずみ時効割れに対する感受性は、測定温度域内で観測された最小引張伸びに関連付けられます(最小伸びが大きいほど、耐ひずみ時効割れ性が高くなります)。

この試験に関する、より詳しい情報は下記を参照願います:

1. R.W. Fawley, M. Prager, J.B. Carlton, and G. Sines, WRC Bulletin No. 150, Welding Research Council, New York, 1970.
2. M.D. Rowe, “Ranking the Resistance of Wrought Superalloys to Strain-Age Cracking”, Welding Journal, 85 (2), pp. 27-s to 34-s, 2006.

引張特性

溶体化処理および時効硬化処理した薄板*

温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	101.4	699	164.2	1132	30
1000	538	91.6	632	139.3	960	36
1200	649	91.5	631	145.7	1005	27
1300	704	90.5	624	136.5	941	24
1400	760	88.7	612	120.8	833	22
1500	816	82.3	567	100.3	692	24
1600	871	72.6	501	80.5	555	31
1700	927	43.9	303	50.2	346	37
1800	982	18.7	129	24.5	169	61

溶体化処理および時効硬化処理した厚板*

温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%
RT	RT	103.7	715	166.4	1147	30	31
1000	538	94.1	649	143.8	991	34	36
1200	649	93.2	643	152.0	1048	31	31
1300	704	94.2	649	141.8	978	29	28
1400	760	91.1	628	124.2	856	22	24
1500	816	83.4	575	102.8	709	28	31
1600	871	73.6	507	82.1	566	31	42
1700	927	44.9	310	52.1	359	50	69
1800	982	19.1	132	25.3	174	71	91

*溶体化処理：薄板 @ 2100 °F (1149 °C)、厚板 @ 2075 °F (1135 °C)

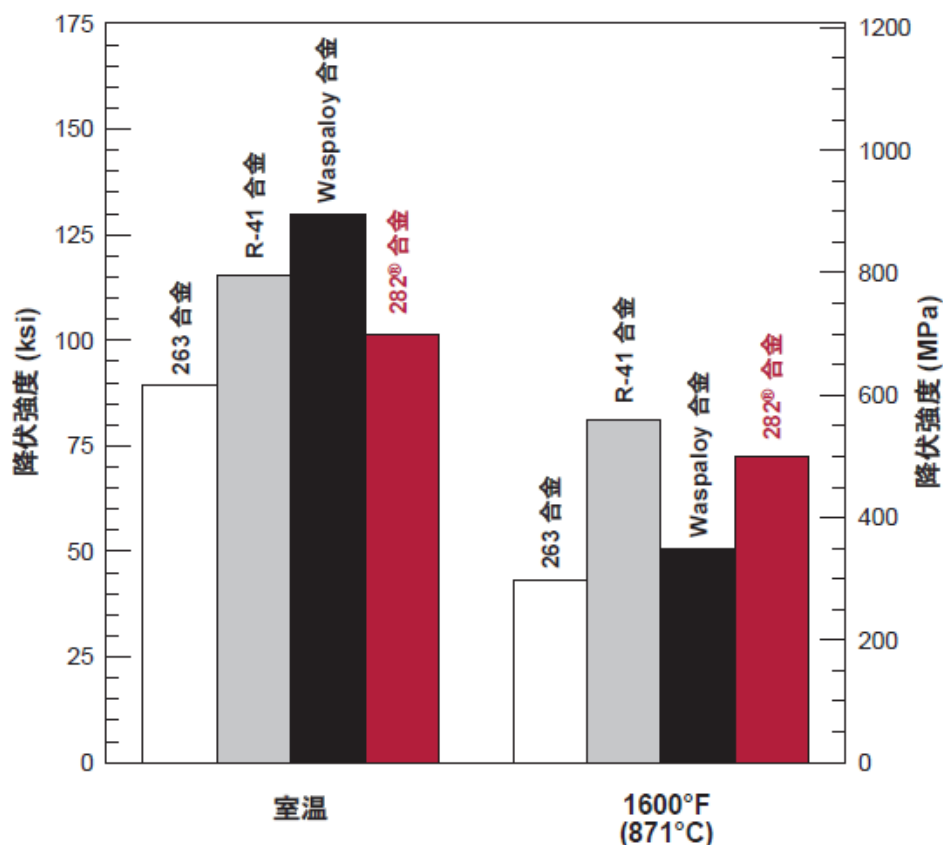
時効硬化処理：1850 °F (1010 °C)/2h/空冷 + 1450 °F (788 °C)/8h/空冷

RT= 室温

引張特性(続き)

時効硬化処理*した薄板材の室温および1600 °F (871 °C)条件での降伏強度の比較

室温条件では、HAYNES® 282® 合金は 263 合金よりも高い降伏強度を有していますが、より多くのガンマプライム相を含んでいる R-41 および Waspaloy 合金ほどは高くありません。しかしながら、ガスタービン部品用途で典型的なより高い温度においては、282® 合金は263 や Waspaloy 合金よりも高い優れた降伏強度を示し、加工性に劣る R-41 合金に近い値を示します。



*時効硬化処理 (263 合金 : 1472 °F (800 °C)/8h/空冷、Waspaloy 合金 : 1825 °F (996 °C)/2h/空冷+ 1550 °F (843 °C)/4h/空冷+ 1400 °F (760 °C)/16h/空冷、R-41 合金 : 1650 °F(899 °C)/4h/空冷、282® 合金 : 1850 °F (1010 °C)/2h/空冷 + 1450 °F (788 °C)/8h/空冷)

硬度

ミルアニールを施したHAYNES® 282® 合金の平均室温硬度

形態	溶体化処理*	時効硬化処理**
—	HRBW	HRC
薄板	90	30
厚板	93	32
棒	86	29

*溶体化処理：薄板 @ 2100 °F (1149 °C)、厚板および棒 @ 2075 °F (1135 °C)

**時効硬化処理：1850 °F (1010 °C)/2h/空冷 + 1450 °F (788 °C)/8h/空冷

HRBW = ロックウェル硬さ“B”、タングステン球圧子

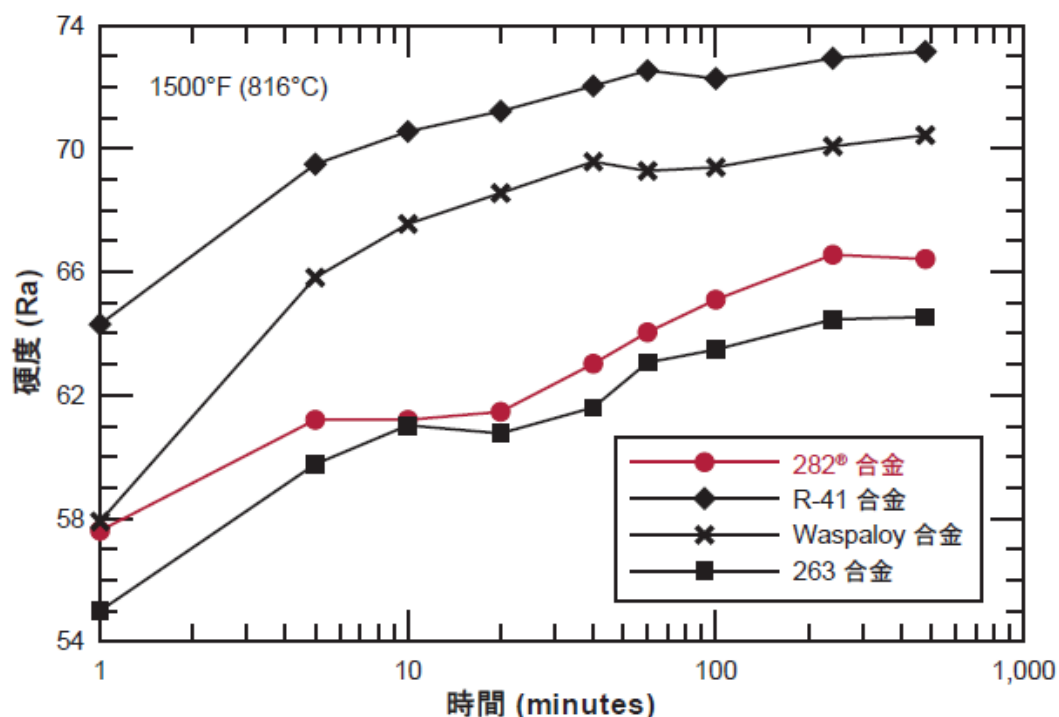
HRC = ロックウェル硬さ“C”

時効硬化速度

HAYNES® 282® 合金の鍵となる特性は、ガンマプライムの析出速度がゆっくりとしていることで、次の二つの主な理由から加工性の改善にとって非常に好ましい特性です。一つ目は、熱処理中のガンマプライムの形成が、ひずみ時効割れの主要な要因であることです。二つ目は、合金を溶体化処理したあとに、冷間成形性の低下原因となるガンマプライム相を形成させることなく十分な冷却時間がとれることです。下図は、1500 °F (816 °C) の条件において、時効時間の増加とともに(ガンマプライム相析出の指標である)室温硬度が増加することを、282® 合金および幾つかの他のガンマプライム強化型合金に対して示したものです。282® 合金は、加工が容易な 263 合金と同じように、ゆっくりと硬化することがわかりました。加工性に劣る R-41 および Waspaloy 合金は、もっと急速に硬化します。

等温硬化速度

温度：1500 °F (816 °C)、試験開始時の材料：溶体化処理した薄板



耐酸化性

静的酸化試験

周囲環境：空気流

試験時間：1,008 h

試験サイクル数：6

サイクル時間：168 h

温度：1600, 1700, 1800 °F (871, 927, 982 °C)

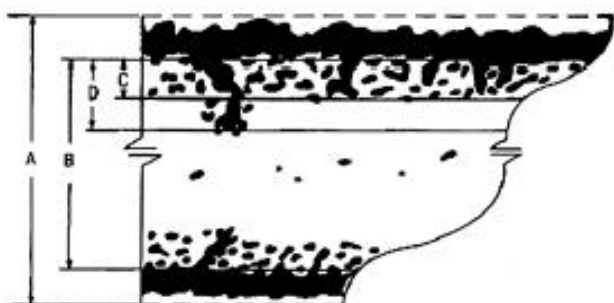
メタルロス = (A-B)/2

平均内部酸化深さ = C

最大内部酸化深さ = D

平均酸化層厚さ = メタルロス + 平均内部酸化深さ

最大酸化層厚さ = メタルロス + 最大内部酸化深さ



空気流中での耐酸化性比較(1,008時間)

合金	1600°F (871°C)				1700°F (927°C)				1800°F (982°C)			
	メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ	
	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm
263	0.1	3	0.4	10	0.2	5	0.7	18	0.9	23	5.0	127
282®	0.2	5	0.6	15	0.1	3	1.1	28	0.2	5	1.8	46
R-41	0.2	5	0.8	20	0.2	5	1.5	38	0.2	5	2.9	74
Waspaloy	0.3	8	1.4	36	0.3	8	3.4	86	0.7	18	5.0	127

動的酸化試験(バーナーリグ試験)

バーナーリグ酸化試験では、0.375 in x 2.5 in x 特定厚さ (9.5mm x 64mm x 特定厚さ) の複数の試料を回転する保持装置に取付け、燃料油 (No. 1燃料油: 2、No. 2燃料油: 1の混合油)を約50:1の空燃比で燃焼させてできる燃焼ガス中に曝します。燃焼ガスの流速は、マッハ数が約0.3です。試料は30分毎に自動的に燃焼ガス流から取り出され、ファンで 500 °F (260 °C) 以下に冷却された後、燃焼ガス流中に戻されます。

合金	1600°F (871°C), 1000時間, 30分サイクル				1800°F (982°C), 1000時間, 30分サイクル			
	メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ	
	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm
263	1.4	36	4.0	102	12.5	318	16.1	409
282®	1.8	46	4.2	107	8.0	203	13.0	330
Waspaloy	1.9	48	4.3	109	9.5	241	13.6	345
R-41	1.2	30	4.4	112	5.8	147	12.1	307

熱安定性

ガンマプライム強化型合金の熱安定性データの比較(薄板)

室温引張データ - 1,000時間曝露* @ 1200 °F (649 °C)

合金	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
	ksi	MPa	ksi	MPa	
-					%
263	113.6	783	166.6	1149	21.3
282®	112.9	778	172.8	1191	25.8
Waspaloy	136.5	941	196.2	1353	22.6
R-41	141.9	979	189.4	1306	8.9

室温引張データ - 1,000時間曝露* @ 1400 °F (760 °C)

合金	0.2% 耐力		極限引張強さ		絞り
	ksi	MPa	ksi	MPa	
-					%
263	92.7	639	160.3	1105	32.4
282®	104.1	718	170.5	1176	22.8
Waspaloy	112.9	779	182.4	1258	24
R-41	167	1151	197.2	1359	1.9

室温引張データ - 1,000時間曝露* @ 1500 °F (816 °C)

合金	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
	ksi	MPa	ksi	MPa	
-					%
263	71.4	492	144	993	34.7
282®	91.9	634	159.8	1102	22.3
Waspaloy	103.5	714	170.1	1173	22.8
R-41	137.9	951	177.5	1224	1.8

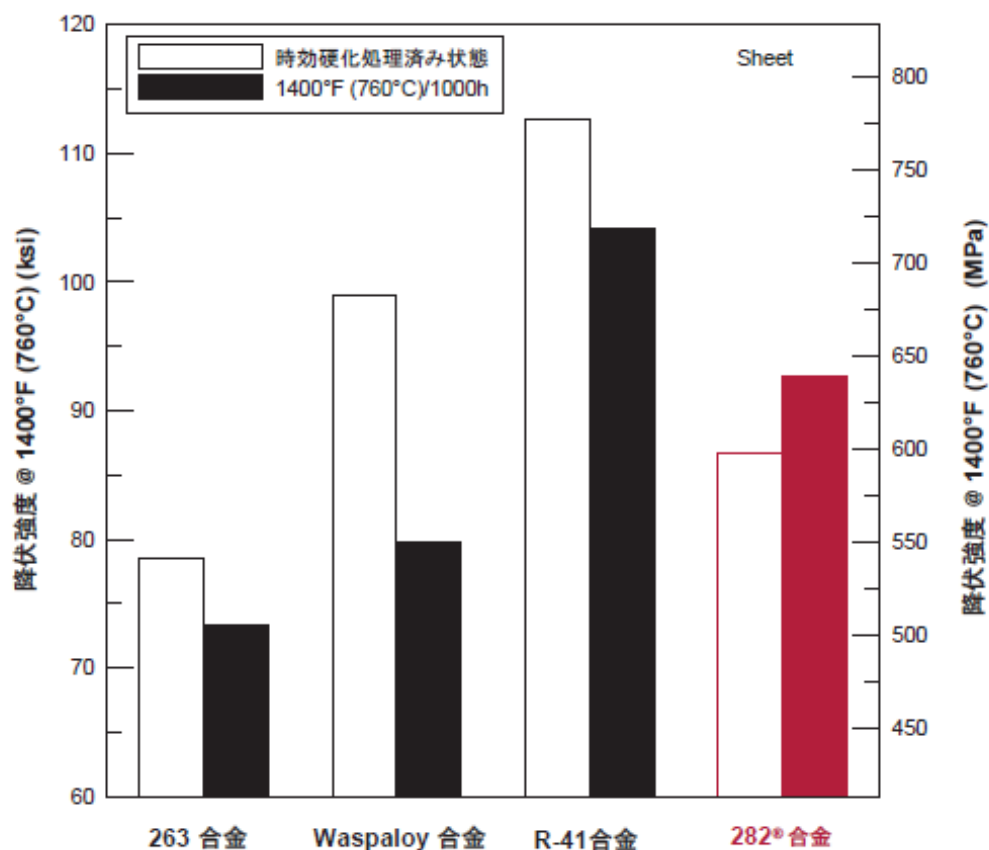
室温引張データ - 1,000時間曝露* @ 1600 °F (871 °C)

合金	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
	ksi	MPa	ksi	MPa	
-					%
263	55	379	125.2	863	40.9
282®	72.9	505	141.4	975	24.2
Waspaloy	84.6	584	149.3	1030	18.1
R-41	103.8	715	148	1021	2.6

*熱曝露試験に用いた試料の時効硬化処理条件 (263 合金: 1472 °F (800 °C)/8h/空冷、Waspaloy 合金: 1825 °F (996 °C)/2h/空冷+ 1550 °F (843 °C)/4h/空冷 + 1400 °F (760 °C)/16h/空冷、R-41 合金: 1650 °F (899 °C)/4h/空冷、282® 合金: 1850 °F (1010 °C)/2h/空冷 + 1450 °F (788 °C)/8h/空冷)

熱安定性(続き)

降伏強度に対する熱曝露の影響(曝露温度における値)



熱曝露*後のHAYNES® 282® 厚板の室温特性

曝露温度		曝露時間	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
°F	°C	Hours	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%
1200	649	0	102	705	167	1152	30	33
		100	116	798	181	1247	27	31
		1,000	118	814	181	1248	26	29
		4,000	120	830	182	1255	26	29
		8,000	119	819	183	1264	24	27
		16,000	118	816	183	1260	23	25
1400	760	0	102	705	167	1152	30	33
		100	110	759	177	1223	27	30
		1,000	108	742	178	1226	26	29
		4,000	103	707	175	1205	21	22
		8,000	100	690	173	1191	20	21
		16,000	96	658	168	1161	20	19
1600	871	0	102	705	167	1152	30	33
		100	90	618	162	1114	31	36
		1,000	77	533	155	1065	30	30
		4,000	71	487	148	1022	32	31
		8,000	69	473	146	1006	32	31
		16,000	66	452	142	978	33	32

*熱曝露された試料の時効硬化処理条件 (1850 °F (1010 °C)/2h/空冷+ 1450 °F (788 °C)/8h/空冷)

物理的特性*

物理的特性	英国単位		メートル単位	
密度(溶体化処理)	0.299 ³		8.27 ³ -	
密度(時効硬化処理)	0.300 lb/in ³		8.29 g/cm ³	
熔融温度	2370-2510°F		1300-1375°C	
ガンマプライムのソルバス温度	1827°F		997°C	
比熱	RT	0.104 Btu/lb.°F	RT	436 J/Kg.°C
	200°F	0.110 Btu/lb.°F	100°C	463 J/Kg.°C
	300°F	0.114 Btu/lb.°F	200°C	494 J/Kg.°C
	400°F	0.118 Btu/lb.°F	300°C	522 J/Kg.°C
	500°F	0.122 Btu/lb.°F	400°C	544 J/Kg.°C
	600°F	0.125 Btu/lb.°F	500°C	563 J/Kg.°C
	700°F	0.128 Btu/lb.°F	600°C	581 J/Kg.°C
	800°F	0.131 Btu/lb.°F	700°C	594 J/Kg.°C
	900°F	0.134 Btu/lb.°F	800°C	650 J/Kg.°C
	1000°F	0.136 Btu/lb.°F	900°C	668 J/Kg.°C
	1100°F	0.138 Btu/lb.°F	1000°C	676 J/Kg.°C
	1200°F	0.140 Btu/lb.°F	-	-
	1300°F	0.142 Btu/lb.°F	-	-
	1400°F	0.150 Btu/lb.°F	-	-
	1500°F	0.156 Btu/lb.°F	-	-
	1600°F	0.158 Btu/lb.°F	-	-
	1700°F	0.160 Btu/lb.°F	-	-
	1800°F	0.161 Btu/lb.°F	-	-
熱伝導率	RT	72 Btu-in/ft ² -hr.°F	RT	10.3 W/m.°C
	200°F	82 Btu-in/ft ² -hr.°F	100°C	12.0 W/m.°C
	300°F	90 Btu-in/ft ² -hr.°F	200°C	14.1 W/m.°C
	400°F	99 Btu-in/ft ² -hr.°F	300°C	16.3 W/m.°C
	500°F	107 Btu-in/ft ² -hr.°F	400°C	18.5 W/m.°C
	600°F	116 Btu-in/ft ² -hr.°F	500°C	20.5 W/m.°C
	700°F	124 Btu-in/ft ² -hr.°F	600°C	22.6 W/m.°C
	800°F	132 Btu-in/ft ² -hr.°F	700°C	24.8 W/m.°C
	900°F	140 Btu-in/ft ² -hr.°F	800°C	26.1 W/m.°C
	1000°F	148 Btu-in/ft ² -hr.°F	900°C	27.3 W/m.°C
	1100°F	156 Btu-in/ft ² -hr.°F	1000°C	28.9 W/m.°C
	1200°F	164 Btu-in/ft ² -hr.°F	-	-
	1300°F	173 Btu-in/ft ² -hr.°F	-	-
	1400°F	177 Btu-in/ft ² -hr.°F	-	-
	1500°F	182 Btu-in/ft ² -hr.°F	-	-
	1600°F	187 Btu-in/ft ² -hr.°F	-	-
	1700°F	192 Btu-in/ft ² -hr.°F	-	-
	1800°F	199 Btu-in/ft ² -hr.°F	-	-

*時効硬化処理: 1850 °F(1010 °C)/2h/空冷 + 1450 °F(788 °C)/8h/空冷

RT= 室温

物理的特性*(続き)

物理的特性	英国単位		メートル単位	
熱拡散率	RT	0.112 ft ² /h	RT	0.0288 cm ² /s
	200°F	0.121 ft ² /h	100°C	0.0315 cm ² /s
	300°F	0.128 ft ² /h	200°C	0.0348 cm ² /s
	400°F	0.135 ft ² /h	300°C	0.0381 cm ² /s
	500°F	0.143 ft ² /h	400°C	0.0413 cm ² /s
	600°F	0.150 ft ² /h	500°C	0.0444 cm ² /s
	700°F	0.156 ft ² /h	600°C	0.0473 cm ² /s
	800°F	0.163 ft ² /h	700°C	0.0509 cm ² /s
	900°F	0.170 ft ² /h	800°C	0.0488 cm ² /s
	1000°F	0.176 ft ² /h	900°C	0.0498 cm ² /s
	1100°F	0.183 ft ² /h	1000°C	0.0521 cm ² /s
	1200°F	0.190 ft ² /h	-	-
	1300°F	0.197 ft ² /h	-	-
	1400°F	0.192 ft ² /h	-	-
	1500°F	0.190 ft ² /h	-	-
	1600°F	0.192 ft ² /h	-	-
	1700°F	0.195 ft ² /h	-	-
	1800°F	0.200 ft ² /h	-	-
電気抵抗	RT	49.7 μohm.in	RT	126.1 μohm.cm
	200°F	50.3 μohm.in	100°C	127.8 μohm.cm
	300°F	50.7 μohm.in	200°C	129.9 μohm.cm
	400°F	51.2 μohm.in	300°C	131.8 μohm.cm
	500°F	51.6 μohm.in	400°C	133.4 μohm.cm
	600°F	52.0 μohm.in	500°C	135.0 μohm.cm
	700°F	52.3 μohm.in	600°C	136.2 μohm.cm
	800°F	52.7 μohm.in	700°C	135.5 μohm.cm
	900°F	53.0 μohm.in	800°C	134.5 μohm.cm
	1000°F	53.5 μohm.in	900°C	132.6 μohm.cm
	1100°F	53.7 μohm.in	1000°C	129.9 μohm.cm
	1200°F	53.4 μohm.in	-	-
	1300°F	53.3 μohm.in	-	-
	1400°F	53.1 μohm.in	-	-
	1500°F	52.9 μohm.in	-	-
	1600°F	52.5 μohm.in	-	-
	1700°F	51.9 μohm.in	-	-
	1800°F	51.3 μohm.in	-	-

*時効硬化処理: 1850 °F(1010 °C)/2h/空冷 + 1450 °F(788 °C)/8h/空冷

RT= 室温

物理的特性*(続き)

物理的特性	英国単位		メートル単位	
平均熱膨張係数	RT	-	RT	-
	200°F	6.7 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	100°C	12.1 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	300°F	6.8 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	200°C	12.4 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	400°F	6.9 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	300°C	12.8 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	500°F	7.0 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	400°C	13.1 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	600°F	7.1 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	500°C	13.5 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	700°F	7.2 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	600°C	13.7 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	800°F	7.3 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	700°C	14.2 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	900°F	7.5 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	800°C	14.9 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	1000°F	7.5 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	900°C	15.9 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	1100°F	7.6 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	1000°C	16.9 $\mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$
	1200°F	7.8 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	-	-
	1300°F	7.9 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	-	-
	1400°F	8.1 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	-	-
	1500°F	8.4 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	-	-
	1600°F	8.7 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	-	-
	1700°F	9.0 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	-	-
	1800°F	9.3 $\mu\text{in/in.}^\circ\text{F}$	-	-
動弾性係数	RT	31.5 x 10 ⁶ psi	RT	217 GPa
	200°F	31.0 x 10 ⁶ psi	100°C	213 GPa
	300°F	30.6 x 10 ⁶ psi	200°C	209 GPa
	400°F	30.2 x 10 ⁶ psi	300°C	202 GPa
	500°F	29.7 x 10 ⁶ psi	400°C	196 GPa
	600°F	29.2 x 10 ⁶ psi	500°C	190 GPa
	700°F	28.7 x 10 ⁶ psi	600°C	183 GPa
	800°F	28.2 x 10 ⁶ psi	700°C	175 GPa
	900°F	27.7 x 10 ⁶ psi	800°C	166 GPa
	1000°F	27.2 x 10 ⁶ psi	900°C	154 GPa
	1100°F	26.6 x 10 ⁶ psi	1000°C	140 GPa
	1200°F	26.0 x 10 ⁶ psi	-	-
	1300°F	25.4 x 10 ⁶ psi	-	-
	1400°F	24.7 x 10 ⁶ psi	-	-
	1500°F	23.8 x 10 ⁶ psi	-	-
	1600°F	22.9 x 10 ⁶ psi	-	-
	1700°F	21.7 x 10 ⁶ psi	-	-
	1800°F	20.6 x 10 ⁶ psi	-	-

物理的特性*(続き)

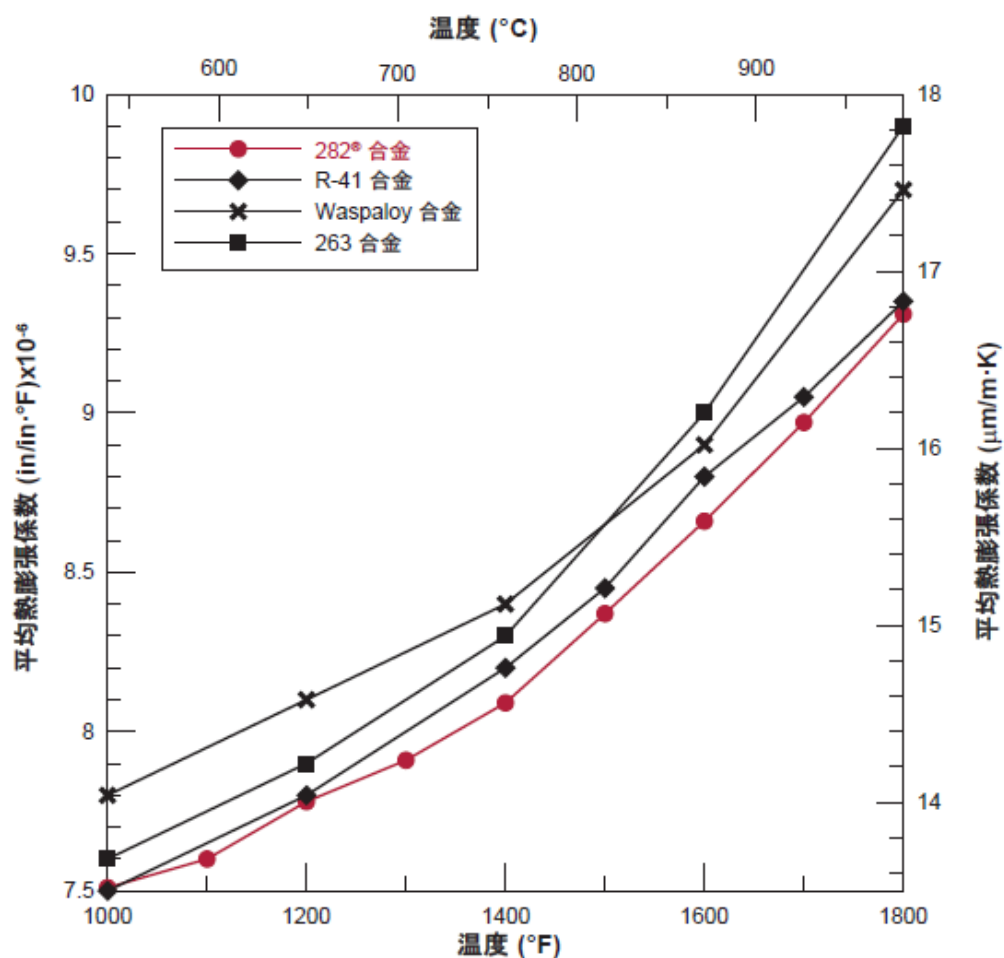
物理的特性	英国単位		メートル単位	
動せん断弾性係数	RT	11.9 x 10 ⁶ psi	RT	82 GPa
	200°F	11.7 x 10 ⁶ psi	100°C	80 GPa
	300°F	11.5 x 10 ⁶ psi	200°C	78 GPa
	400°F	11.3 x 10 ⁶ psi	300°C	76 GPa
	500°F	11.1 x 10 ⁶ psi	400°C	73 GPa
	600°F	10.9 x 10 ⁶ psi	500°C	71 GPa
	700°F	10.7 x 10 ⁶ psi	600°C	68 GPa
	800°F	10.6 x 10 ⁶ psi	700°C	65 GPa
	900°F	10.4 x 10 ⁶ psi	800°C	61 GPa
	1000°F	10.1 x 10 ⁶ psi	900°C	57 GPa
	1100°F	9.9 x 10 ⁶ psi	1000°C	51 GPa
	1200°F	9.7 x 10 ⁶ psi	-	-
	1300°F	9.4 x 10 ⁶ psi	-	-
	1400°F	9.1 x 10 ⁶ psi	-	-
	1500°F	8.8 x 10 ⁶ psi	-	-
	1600°F	8.4 x 10 ⁶ psi	-	-
	1700°F	8.0 x 10 ⁶ psi	-	-
	1800°F	7.6 x 10 ⁶ psi	-	-
ポアソン比	RT	0.319	RT	0.319
	200°F	0.325	100°C	0.326
	300°F	0.33	200°C	0.335
	400°F	0.335	300°C	0.335
	500°F	0.335	400°C	0.337
	600°F	0.335	500°C	0.341
	700°F	0.337	600°C	0.346
	800°F	0.338	700°C	0.352
	900°F	0.34	800°C	0.355
	1000°F	0.342	900°C	0.357
	1100°F	0.346	1000°C	0.363
	1200°F	0.35	-	-
	1300°F	0.353	-	-
	1400°F	0.355	-	-
	1500°F	0.355	-	-
	1600°F	0.355	-	-
	1700°F	0.359	-	-
	1800°F	0.363	-	-

*時効硬化処理: 1850 ™(1010 ™)/2h/空冷+ 1450 ™(788 ™)/8h/空冷

RT= 室温

物理的特性(続き)

ガンマプライム強化型合金*の熱膨張係数(薄板)

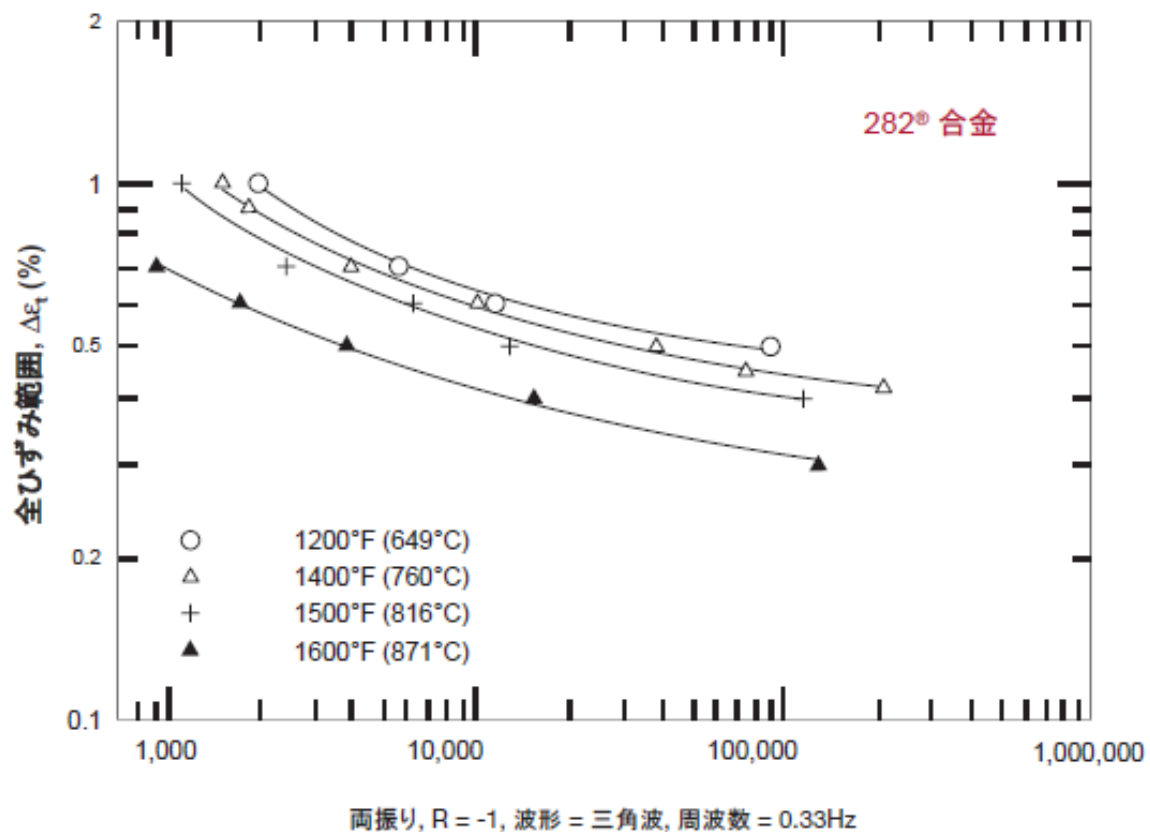


*時効硬化処理 (263 合金: 1472 ™ (800 ™)/8h/空冷、Waspaloy 合金:1825 ™ (996 ™)/2h /空冷 + 1550 ™ (843 ™)/4h/空冷 + 1400 ™ (760 ™)/16h/空冷、R-41 合金:1650 ™ (899 ™)/4h/空冷、282® 合金: 1850 ™ (1010 ™)/2h/空冷 + 1450 ™ (788 ™)/8h/空冷)

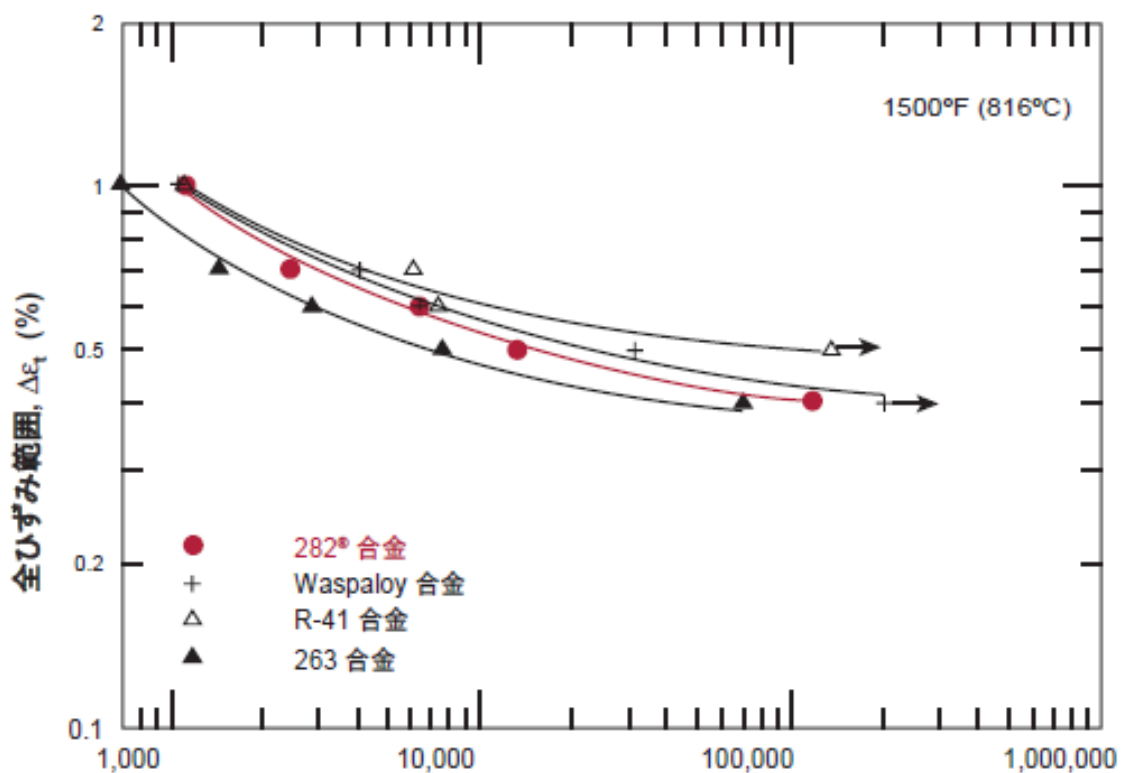
低サイクル疲労

低サイクル疲労データ - HAYNES® 282® 薄板* (厚さ 0.125"、3.2 mm)

*時効硬化処理: 1850 °F (1010 °C)/2h/空冷 + 1450 °F (788 °C)/8h/空冷



低サイクル疲労データの比較



1500°F (816°C), 両振り, $R = -1$, 波形 = 三角波, 周波数 = 0.33Hz, 材料: 0.125"(3.2 mm) 薄板*

溶接

耐ひずみ時効割れ性が高いことにより、HAYNES® 282® 合金は他の同じような強度の合金よりも遥かに溶接性が良好です。好ましい溶接方法は、ガスタングステンアーク溶接 (GTAW または TIG)、ならびにガスメタルアーク溶接 (GMAW 又は MIG) で、282® 合金の裸溶接ワイヤを使用します。HAYNES® 282® 合金のシールドメタルアーク溶接 (SMAW) が必要な場合は、最も適切な被覆溶接棒について Haynes International の技術支援グループにお尋ねください。HAYNES® 282® 合金のサブマージドアーク溶接 (SAW) は、このプロセスには高い入熱と溶接部の拘束の増加が伴うため、お薦めできません。

溶加材の選択

GTAWあるいはGMAW により HAYNES® 282® 合金同士を接合する場合は、組成が同じである裸溶加材を使用することをお勧めします。HAYNES® 282® 合金の溶加材は、他の時効硬化型ニッケル超合金の異材接合や補修溶接に使用することもできます。

母材の準備

HAYNES® 282® 合金は、時効硬化処理する前に溶体化処理した状態で溶接しなければなりません。接合部の表面および近接する領域は溶接前に完全に清浄な状態にし、光沢のある金属表面が現れるようにしなければなりません。全てのグリース、オイル、クレヨン、の跡、硫黄化合物、および他の異物は除去しなければなりません。

予熱、パス間温度、および溶接後の熱処理

HAYNES® 282® 合金は、母材の温度が 32 °F (0 °C) 以上で溶接する限り予熱する必要はありません。パス間温度は 200 °F (93 °C) 以下にしなければなりません。溶接パス間で汚染物質が混入することがないのであれば、補助冷却手段を使用することができます。

溶接後、HAYNES® 282® 合金は、通常、時効硬化処理を施します。条件は、1850 °F (1010 °C) で2 時間保持した後に空冷 + 1450 °F (788 °C) で8時間保持した後に空冷です。1850 °F (1010 °C) までの昇温速度は、使用する加熱炉の能力範囲内で可能な限り速くする必要があります。

溶接後および2ステップの時効硬化処理の前に完全溶体化処理 (典型的には 2075 °F/1135 °C で実施) する必要はなく、禁じていません。断面が厚い溶接物、あるいは高残留応力を伴う複雑な溶接物に対しては、時効硬化処理する前に完全溶体化処理することが望ましい場合があります。

標準溶接パラメータ (薄板)

次ページに記載されているデータは、典型的な溶接作業を行う指針として提供するものであり、Haynes International の実験室で使用する溶接条件に基づいています。より詳しい情報が必要な場合は、技術支援グループにお尋ねください。

標準溶接パラメータ(薄板)(続き)

手動ガスタングステンアーク溶接 V形またはU形開先 - 0.125" (3.2 mm) 以上の全ての厚さ	
技法	ストリンガービード
電流 (DCEN)	150-250 アンペア
電圧	11-14 ボルト
溶加材	線径 0.125" (3.2 mm) の 282 [®] 合金
運棒速度	4-6 in/min (102-152 mm/min)
電極サイズ - EWTH-2	直径 0.125" (3.2 mm)
電極形状	開先角度 30°
カップサイズ	#8 または それよりも大
ガスの種類	アルゴン
シールドガス流量	30-35 CFH (14.2-16.5 ℓ/min)
裏ガス流量	10 CFH (4.7ℓ/min) 対ルートパス
予熱	周囲気温
最大パス間温度	200°F (93°C)

自動ガスタングステンアーク溶接 I型突合せ溶接 - 追加の溶加材無し- 材料厚さ 0.125" (3.2 mm)	
電流 (DCEN)	275 アンペア
電圧	9.5 ボルト
運棒速度	12 in/min (305 mm/min)
電極サイズ - EWTH-2	直径 0.125" (3.2 mm)
電極形状	開先角度 45°
カップサイズ	#8
シールドガス流量	30 CFH (14.2 ℓ/min)
シールドガスの種類	アルゴン
裏ガス流量	10 CFH (4.7 ℓ/min)
裏ガスの種類	アルゴン

ガスメタルアーク溶接 共同モード - 0.09" (2.3 mm) 以上の全ての厚さ	
ワイヤの種類	HAYNES [®] 282 [®] 合金
ワイヤ直径	0.045" (1.1 mm)
供給速度	170-190 ipm (4.3-4.8 m/min)
電流 (DCEP)	175 アンペア
電圧	28-32 ボルト
突出し量	0.5-0.75 in (12.7-19.1 mm)
運棒速度	9-13 ipm (230-330 mm/min)
トーチガス流量	40 CFH (18.9 ℓ/min)
ガスの種類	75% アルゴン + 25% ヘリウム

溶接(続き)

HAYNES® 282® 溶接部の機械的特性

溶接した .125" (3.2 mm) 薄板の横方向引張データ

*.125" (3.2 mm) 薄板を共付溶接後、1パスのカバー溶接
カバーパス - 直径 .125" (3.2 mm) のワイヤ使用

状態	温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		破断位置
	°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	
—	RT	RT	64.7	446	125.4	865	—
溶接	RT	RT	64.7	446	125.4	865	溶接部/溶接部
溶接/時効処理***	RT	RT	106.3	733	168.2	1160	母材/溶接部
溶接/溶体化処理**	RT	RT	66.9	461	126.8	874	母材/母材
溶接/溶体化処理**/時効処理***	RT	RT	98.5	679	152.1	1049	母材/母材
	1000	538	83.7	577	132	910	母材/母材
	1200	649	86.1	594	135.1	932	母材/溶接部
	1400	760	83.7	577	120.3	829	母材/母材
	1600	871	70.9	489	77.1	532	母材/母材
	1800	982	19.1	132	24.7	170	母材/溶接部

GTAW 溶接した .5" (12.7 mm) 厚板の横方向引張データ

*0.5" (12.7 mm) 厚板を、直径 .125" (3.2 mm) のワイヤを使用して GTAW 溶接

状態	温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		破断位置
	°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	
—	RT	RT	75.9	523	130.8	902	—
溶接	RT	RT	75.9	523	130.8	902	溶接部/母材
溶接/時効処理***	RT	RT	120.5	831	165.8	1143	溶接部/溶接部
溶接/溶体化処理**	RT	RT	77.2	532	139.5	962	溶接部/溶接部
溶接/溶体化処理**/時効処理***	RT	RT	94.3	650	146.1	1007	溶接部/溶接部
	1000	538	85.4	589	134.3	926	溶接部/溶接部
	1200	649	86.6	597	137	945	母材/母材
	1400	760	85.3	588	125.7	867	母材/母材
	1600	871	71.9	496	83.4	575	溶接部/溶接部
	1800	982	20.1	139	26.3	181	溶接部/溶接部

** 2075 °F (1135 °C)/30 min/空冷

***1850 °F (1010 °C)/2 h/空冷 + 1450 °F (788 °C)/8 h/空冷

RT= 室温

溶接(続き)

GMAW 溶接した .5" (12.7 mm) 厚板の横方向引張データ

*0.5" (12.7 mm) 厚板を、直径 0.045" (1.1 mm) のワイヤで GMAW 溶接

状態	温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		破断位置
	°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	
-	RT	RT	77.9	537	130.4	899	-
溶接	RT	RT	77.9	537	130.4	899	母材/母材
溶接/時効処理***	RT	RT	117.5	810	162.4	1120	溶接部/溶接部
溶接/溶体化処理**	RT	RT	78.6	542	141.7	977	母材/母材
溶接/溶体化処理**/時効処理***	RT	RT	94.4	651	155.8	1074	母材/母材
	1000	538	83.8	578	132	910	溶接部/溶接部
	1200	649	85.2	587	137.3	947	溶接部/溶接部
	1400	760	83.7	577	123.6	852	母材/母材
	1600	871	71	490	82	565	溶接部/溶接部
	1800	982	19.8	137	26.8	185	溶接部/溶接部

全溶着金属の引張データ*

直径 0.045" (1.1 mm) のワイヤで、0.5" (12.7 mm) の厚板を十字型に GMAW 溶接

状態	温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
	°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa		
-	RT	RT	85	586	124.7	860	40	43.8
溶接	RT	RT	85	586	124.7	860	40	43.8
溶接/時効処理***	RT	RT	105.4	727	151.6	1045	20.3	22.4
溶接/溶体化処理**	RT	RT	81.2	560	132.4	913	40.1	45.5
溶接/ 溶体化処理**/時効処理***	RT	RT	100.9	696	149.3	1029	22.7	20.0

*2回の試験の平均

** 2075 °F (1135 °C)/30 min/空冷

***1850 °F (1010 °C)/2 h/空冷 + 1450 °F (788 °C)/8 h/空冷

RT= 室温

溶着金属と母材のクリープラプチャー特性比較

温度		応力		材料	1% クリープ時間	破断時間
°F	°C	ksi	MPa	-	h	h
1400	760	50	345	母材金属*	96.8	237.5
				全溶着金属**	197.0	364.8
1700	927	7	48	母材金属*	335.6	792.3
				全溶着金属**	648.0	950.5

*アニール + 時効硬化処理

**GMAW 溶接 + アニール + 時効硬化処理

熱処理および加工

熱処理

HAYNES® 282® 鍛造合金は、特に指定がない限り溶体化処理した状態で供給されます。部品に加工した後、通常は最適な特性を得るために、再度、2050～2100 °F(1121～1149 °C) の温度で断面の厚さに応じた時間保持して溶体化処理し、急冷あるいは水冷します。溶体化処理に続いて、ミクロ組織を最適化して時効硬化を生じさせるため、2ステップの時効硬化処理を施します。第1ステップでは、1850 °F (1010 °C) で2時間保持した後、急冷あるいは空冷します。第2ステップでは、1450 °F (788 °C)で 8時間保持した後、空冷します。

熱間および冷間加工

HAYNES® 282® 合金は優れた成形性を有しています。部材全体が一様な温度になるまで十分な時間加熱されているのであれば、およそ 1750 – 2150 °F (955 – 1177 °C) の温度範囲で熱間成形することができます。通常、最初のブレークダウンは温度範囲の上限端で行われ、決め押しは、結晶粒を細分化するために、通常、より低い温度で行われます。

282® 合金は、良好な延性を有していることから冷間加工も容易です。中間アニールは、最大の加工性を確保するために 2050～2100 °F (1121～1149 °C) の温度で断面の厚さに応じた時間保持し、急冷または水冷します。熱間あるいは冷間加工された全ての部品は、特性の最適バランスを発揮させるために、(”熱処理”の項に記載したように)時効硬化処理を行う前に、通常はアニールしなければなりません。

冷間成形の特徴

溶体化処理したHAYNES® 282® 合金の平均的な室温硬度および引張特性

形態	硬度	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
—	Rb	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%
薄板	90	56	384	122	839	59	—
厚板	93	56	384	120	830	60	61
棒	86	51	348	118	816	62	69

圧下率と硬度の関係(薄板)

合金	0%	10%	20%	30%	40%	50%
282®	93 Rb	26 Rc	33 Rc	38 Rc	41 Rc	43 Rc
R-41	96 Rb	30 Rc	36 Rc	39 Rc	41 Rc	42 Rc
Waspaloy	94 Rb	26 Rc	32 Rc	37 Rc	39 Rc	41 Rc
263	89 Rb	19 Rc	27 Rc	33 Rc	37 Rc	39 Rc
625	97 Rb	32 Rc	37 Rc	40 Rc	42 Rc	45 Rc

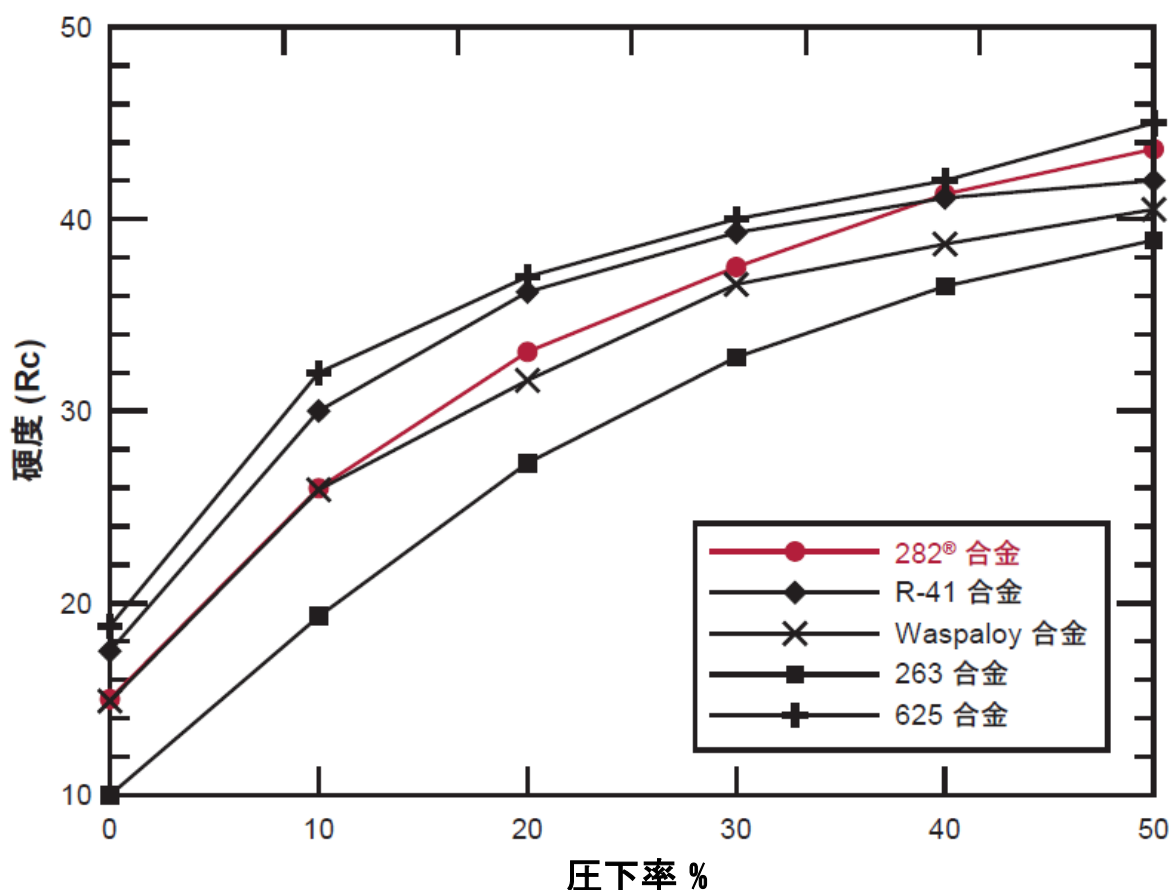
熱処理および加工（続き）

室温引張特性に対する圧下率の影響*

圧下率 %	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び %
	ksi	MPa	ksi	MPa	
0	55.5	383	121.0	834	58.0
10	87.8	605	131.8	909	46.7
20	114.5	790	144.9	999	31.5
30	139.7	963	165.4	1141	15.5
40	158.5	1093	184.2	1270	8.9
50	174.7	1204	200.4	1382	6.6
60	190.4	1312	215.4	1485	5.6

*溶体化処理した厚さ 0.125" (3.2 mm) の薄板を圧延した結果に基づく

溶体化処理した薄板の硬度と圧下率の関係



機械加工

HAYNES® 282® 合金は、高温で使用する他のニッケル合金と同じような機械加工特性を有しています。粗加工は、時効硬化処理の前に行わなければなりません。最終機械加工あるいは仕上げ研削は、時効硬化処理後に行うことになります。機械加工のガイドラインは、当社ウェブサイトの“溶接および加工”のセクションに記載されています。より詳しい情報が必要な場合は、Haynes International の技術支援グループにお尋ねください。

代表的な用途



HAYNES® 282® 合金は、航空用エンジン用途向けに設計されています。

HAYNES® 282® 合金は、陸用ガスタービンの尾筒や、その他高温ガス通路構成部品向けに設計されています。



適合規格およびコード

規格

HAYNES® 282® 合金 (N07208)	
薄板、厚板および帯板	AMS 5951
ビレット、ロッド／バー	B 637 AMS 5915
被覆アーク溶接棒	-
裸溶接棒およびワイヤー	-
継ぎ目なしパイプおよびチューブ	-
溶接パイプおよびチューブ	-
継手類	-
鍛造材	B 637 AMS 5915
DIN	-
その他	-

コード

HAYNES® 282® 合金 (N07208)			
ASME	Section I	1600°F (870°C) ¹	
	Section III	Class 1	-
		Class 2	-
		Class 3	-
	Section VIII	Div. 1	1600°F (870°C) ¹
		Div. 2	-
	Section XII	-	-
	B16.5	-	-
	B16.34	-	-
	B31.1	-	-
	B31.3	-	-
MMPDS		6.3.11	

¹ASME コード事例 3024: 厚板, 薄板, 帯板, 棒, 継手類, 鍛造材, 鍛造品在庫, 継ぎ目なしパイプ/チューブ, 溶接パイプ/チューブ

免責事項:

Haynes International, Inc. は、本パンフレットに記載されているデータの精度・正確性を保証するために妥当な努力を払っておりますが、データの精度、正確性、あるいは信頼性について、いかなる表明も保証もいたしません。すべてのデータは、一般的な情報のみであり、設計上のアドバイスを提供するものではありません。ここに開示されている合金特性は、主に Haynes International, Inc. によって行われた作業に基づいており、場合によっては公開文献の情報によって補足されているため、そのような試験の結果のみを示すものであり、保証最大値または最小値と考えてはなりません。実際の使用条件で特定の合金を試験して特定の目的に対する適合性を判断するのはユーザーの責任です。

特定の製品に含まれる特定の元素濃度とその潜在的な健康への影響については、Haynes International, Inc. が提供する安全データシートを参照してください。特記のない限り、すべての商標は Haynes International, Inc. が所有しています。