

HAYNES® R-41 合金

主な特徴

真空溶解されたニッケル基のHAYNES® R-41 (UNS N07041) 合金は、1200~1800°F (649~982°C) の範囲で並外れた高い強度を有しています。この合金は析出硬化型で、様々な溶体化処理や時効熱処理により強度が発現します。この合金は、その高い強度と良好な耐酸化性のために、現在のガスタービンエンジンのアフターバーナ部品およびノズルの隔壁に使用されています。アニールされた状態では、この合金には延性があり、18-8ステンレス鋼および他のニッケル基合金と本質的に同じ成形特性を有しています。しかしながら、この合金はより強く、成形に対してより大きな抵抗があります。この合金は、ドロップハンマー、拡径マンドレルおよび引張成形機で問題なく成形されてきました。R-41合金は、282® 合金の優れた加工性のため、多くの用途でHAYNES® 282® 合金に置き換えられています。

機械的特性は、溶体化熱処理と時効処理の様々な組合せを選択することによって調整することができます。一般に、溶体化熱処理温度が高いほど室温延性がより良好になり、成形性が改善されます。ストレスラプチャー強度も、また、このタイプの処理によって改善されます。溶体化熱処理温度が低いほど、約1700°F (927°C) 以下の温度でより高い引張強度が得られます。溶体化熱処理温度の影響は、引張およびストレスラプチャーデータに見ることができます。

標準組成

重量 %

ニッケル:Ni	52 Balance
クロム:Cr	19
コバルト:Co	11
鉄:Fe	5 max.
モリブデン:Mo	10
チタン:Ti	3.1
アルミニウム:Al	1.5
ケイ素:Si	0.5 max.
マンガン:Mn	0.1 max.
炭素:C	0.09
ホウ素:B	0.006
ジルコニウム:Zr	0.07 max.

物理的特性

物理的特性	英国単位		メートル単位	
密度	70°F	0.298 lb/in ³	21°C	8.25 g/cm ³
溶融温度	2250-2535°F	-	1232-1391°C	-
平均熱膨張係数	70-1000°F	7.5 μ in/in -°F	21-538°C	13.5 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1200°F	7.8 μ in/in -°F	21-649°C	14.0 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1400°F	8.2 μ in/in -°F	25-760°C	14.8 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1500°F	8.5 μ in/in -°F	25-816°C	15.2 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1600°F	8.8 μ in/in -°F	25-871°C	15.7 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1700°F	9.1 μ in/in -°F	25-927°C	16.3 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1800°F	9.4 μ in/in -°F	25-982°C	16.8 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
熱伝導率	300°F	80 Btu-in/ft ² -hr-°F	149°C	11.5 W/m-°C
	400°F	87 Btu-in/ft ² -hr-°F	204°C	12.5 W/m-°C
	500°F	95 Btu-in/ft ² -hr-°F	260°C	13.6 W/m-°C
	600°F	102 Btu-in/ft ² -hr-°F	316°C	14.7 W/m-°C
	800°F	117 Btu-in/ft ² -hr-°F	427°C	16.8 W/m-°C
	1000°F	131 Btu-in/ft ² -hr-°F	538°C	18.8 W/m-°C
	1100°F	139 Btu-in/ft ² -hr-°F	593°C	20.0 W/m-°C
	1200°F	146 Btu-in/ft ² -hr-°F	649°C	21.0 W/m-°C
	1300°F	153 Btu-in/ft ² -hr-°F	704°C	22.0 W/m-°C
	1400°F	161 Btu-in/ft ² -hr-°F	760°C	23.1 W/m-°C
	1500°F	168 Btu-in/ft ² -hr-°F	816°C	24.1 W/m-°C
1600°F	175 Btu-in/ft ² -hr-°F	871°C	25.1 W/m-°C	
比熱	70°F	0.108 Btu/lb.-°F	21°C	452 J/kg-°C
電気抵抗率	32°F	50.0 μ ohm-in	0°C	127.0 μ ohm-cm
透磁率	70°F	200イラストで <1.002	21°C	200イラストで <1.002

引張データ

下記条件で熱処理した後の引張特性
2050°F (1121°C) /30 min/急速空冷 + 1650°F (899°C) /4h/空冷

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		4D 伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	116.4	803	181.8	1253	20.5
400	204	109*	752*	174.2*	1201*	16.5*
800	427	109.1*	752*	161.6*	1114*	20.3*
1000	538	107.2	739	161	1110	21.2
1200	649	107.7	743	172.9	1192	19.3
1400	760	114.3	788	139.1	959	28.3
1500	816	104*	717*	115.7*	798*	27.2*
1600	871	79.7	550	89.2	615	28.5
1700	927	59.1*	407*	66.9*	461*	24.8*
1800	982	34.2	236	40.2	277	31.1
2000	1093	4.9*	34*	8.5*	59*	94.4*

*限られたデータ

1400°F(760°C) /16h/空冷 の条件で熱処理した後の引張特性

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		4D 伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	154.3	1064	205.4	1416	22.3
400	204	141.2*	974*	198.2*	1367*	23.0*
800	427	141.8*	978*	181.6*	1252*	25.6*
1000	538	139.8	964	182.6	1259	20.5
1200	649	138.3	954	196.2	1353	23.4
1400	760	126.1	869	150.8	1040	17.9
1500	816	112.2	774	128.1	883	19.4
1600	871	83.9	578	98.5	679	31.4
1700	927	51.1	352	62.3	430	38.7
1800	982	25.9	179	34.5	238	42.7

*限られたデータ

耐酸化性

静的酸化試験

環境: 空気流

試験時間: 1,008 h

サイクル数: 6

サイクルの長さ: 168 h

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

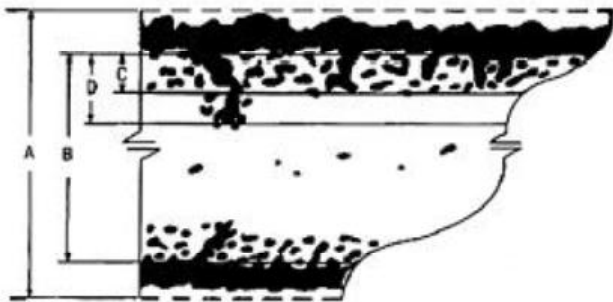
メタルロス = (A-B)/2

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の比較、1008 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

時効後の硬度

時効硬化後の室温硬度

形態	硬度	熱処理
薄板	35 HRC	2050°F, 30 Min, AC + 1650°F, 4 Hr, AC
厚板	36 HRC	2050°F, 30 Min, AC + 1650°F, 4 Hr, AC
薄板	42 HRC	1400°F 16 Hr, AC
厚板	39 HRC	1400°F, 16 Hr, AC

HRC = ロックウェル硬さ“C”

クリープ-ラプチャー強度

時効硬化処理した* HAYNES® R-41 薄板

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:			
			100h		1,000h	
°F	°C	%	ksi	MPa	ksi	MPa
1200	649	1	105	724	84	579
		R	110	758	90	621
1300	704	1	75	517	59	407
		R	85	586	68	469
1400	760	1	53	365	34	234
		R	63	434	43	296
1500	816	1	32	221	18	124
		R	39	269	24	165
1600	871	1	17	117	9.0	62
		R	23	159	13	90
1700	927	1	8.4	58	4.6	32
		R	13	90	6.5	45

*試料は 2050°F(1121°C) /30 min./RAC(急速空冷) + 1650°F (899°C) /4h/AC(空冷)の条件で時効硬化処理。

熱安定性

RT(室温)および ET(曝露温度)での基準引張特性;
室温および曝露温度での残留引張特性

条件	試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		4D 伸び
	°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	
溶体化処理	RT	RT	83.6	576	151.4	1044	38.7
時効硬化*	RT	RT	116.8	805	178.6	1231	17.3
	1200	649	103.1	711	169.6	1169	18.0
	1400	760	111.6	769	138.2	953	28.4
	1500	816	100.6	694	113.5	783	32.0
	1600	871	78.1	538	87.9	606	30.0
時効硬化* + 1200°F (649°C)/8000h	RT	RT	150.7	1039	188.5	1300	5.3
	1200	649	129.7**	894**	182.6	1259	8.1**
時効硬化* + 1400°F (760°C)/8000h	RT	RT	151.6**	1045**	173.9**	1199**	0.1
	1400	760	88.2	608	126.8	874	30.1**
時効硬化* + 1500°F (816°C)/8000h	RT	RT	113.5	783	156.6	1080	1.4
	1500	816	58.2	401	88.5	610	26.8
時効硬化* + 1600°F (871°C)/8000h	RT	RT	83.3	574	122.9	847	2.0
	1600	871	36.3	250	60.9	420	33.0

*2050°F (1121°C)/30 min./AC + 1650°F (899°C)/4h/AC で時効硬化処理。

**限られたデータ

弾性率

弾性率、せん断弾性率、およびポアソン比

試験温度		弾性率		せん断弾性率		ポアソン比
°F	°C	10 ⁶ psi	GPa	10 ⁶ psi	GPa	
80	27	31.6	218	12	83	0.31
300	149	30.9	213	12	81	0.31
500	260	29.6	204	11	77	0.32
700	371	28.7	198	11	75	0.32
900	482	27.6	190	10	72	0.32
1000	538	27.2	188	-	-	-
1100	593	26.4	182	10	69	0.33
1200	649	25.9	179	-	-	-
1250	677	25.8	178	10	67	0.33
1400	760	24.8	171	9	64	0.33
1500	816	24.1	166	-	-	-
1550	843	23.7	163	9	61	0.34
1600	871	23.2	160	-	-	-
1700	927	21.8	150	8	55	0.35

熱処理

HAYNES® R-41 鍛造合金は、特に指定されない限り、溶体化処理した状態で提供されます。部品に加工した後、特性を最適化するために、この合金は通常、1950°F~2150°F(1066~1177°C)で断面厚さに見合った時間をかけて再溶体化処理され、急冷または水冷されます。溶体化処理に続いて、マイクロ組織を最適化して時効硬化を発現させるため、この合金は時効硬化処理を施されます。様々な時効硬化法が商業的に使用されており、これらの全てが1400°F~1800°F(760°C~982°C)の範囲で熱処理されています。例えば、AMS 5545が規定する時効硬化では、試料を1400°F(760°C)で少なくとも16時間熱処理して空冷します。

加工

溶体化処理時の室温硬度

形態	硬度	典型的な ASTM 結晶粒度
薄板	98 HRB	5 - 7.5
厚板	31 HRC	4 - 6

全ての試料は、溶体化処理した状態で試験実施。

溶体化処理した R-41 の室温引張特性

形態	試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		4D 伸び
	°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
薄板	RT	RT	84.2	581	148.1	1021	44.7
厚板	RT	RT	101.0	696	195.0	1344	38.8

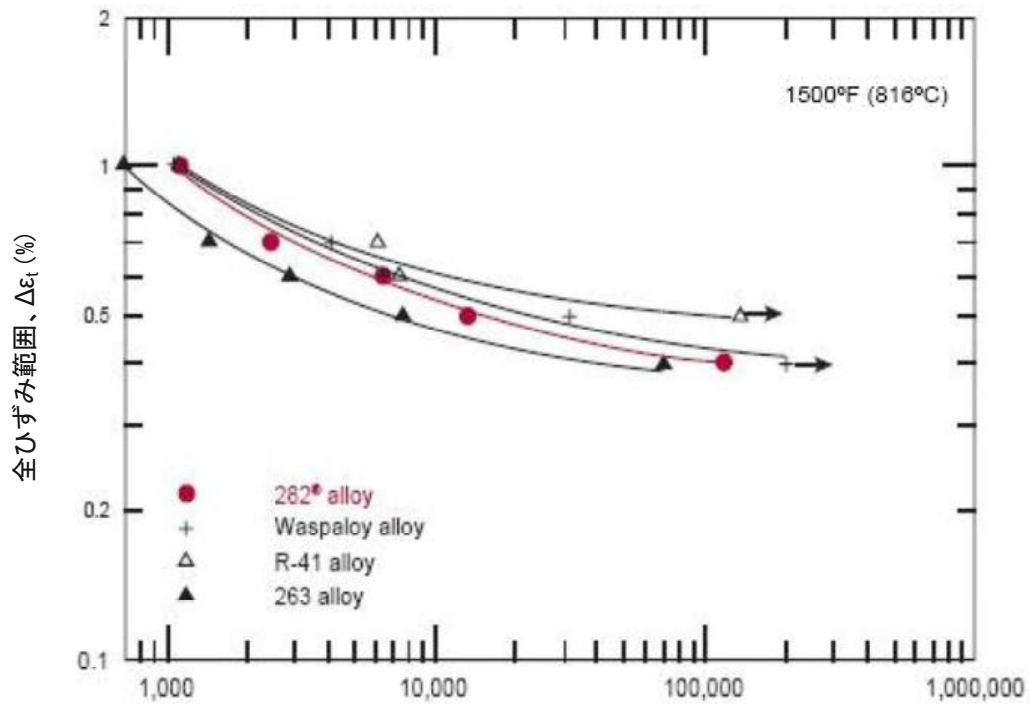
HAYNES® R-41 合金の溶接については、“溶接および加工”のパンフレットに記載されている“溶接および接合のガイドライン”をご覧ください。これらのガイドラインに加えて、R-41 合金の溶接時には、追加で考慮すべき事項がいくつかあります。

HAYNES® R-41 合金は析出強化型の合金で、適切な特性を引き出すには溶接後の熱処理 (PWHT) が必要です。R-41 合金に対する溶接後熱処理は、二つの部分から成ります: 溶体化処理と、それに続く適切な時効処理です。詳細は、本パンフレットの“熱処理”のセクションをご覧ください。PWHTの間、ガンマプライム相 (Ni₃Al,Ti) が析出し、合金はわずかに体積収縮します。これは、一般に溶体化処理温度まで加熱すると発生するひずみ時効割れを起こしやすくします。ひずみ時効割れを防ぐためには、溶体化処理温度までの加熱速度は、使用する炉の能力の範囲内でできるだけ速くしなければなりません。

R-41 合金同士の溶接には、同一組成の溶加金属を使用することを推奨します。R-41 合金と他の合金との溶接に推奨できる溶加金属については、“Haynes Welding SmartGuide”をご利用いただくか、さらなるガイダンスについては、Haynes International にお尋ねください。

低サイクル疲労

低サイクル疲労データの比較



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

適合規格および基準

規格

HAYNES® R-41 合金 (N07041)	
薄板、厚板および帯板	AMS 5545
ピレット、ロッドおよびバー	AMS 5712
被覆アーク溶接棒	-
裸溶接棒およびワイヤ	AMS 5800
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	AMS 5712
DIN	-
その他	-

基準

HAYNES® R-41 (N07041)	
MMPDS	6.3.7

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。