

HAYNES® Waspaloy 合金

主な特徴

HAYNES® Waspaloy合金(UNS N07001)は、約1800°F(982°C)までの温度で非常に良好な強度を持った時効硬化型のニッケル基超合金です。この合金は、ガスタービンおよび航空宇宙用の鍛造及び加工部品用の鍛造材料として広く使用されています。その強度は、一般にHAYNES® R-41合金に匹敵し、1200-1300°F(649-704°C)を超える温度では718合金の強度よりも優れています。Waspaloy合金は、アニールした状態では冷間成形することができ、1900°F(1038°C)以上の温度で熱間成形することもできます。溶接性は、重度に拘束された条件下ではひずみ時効割れを起こしやすいために幾分制限されます。この合金は、約1600°F(871°C)までの温度でガスタービンの燃焼環境に対して良好な耐性を示します。Waspaloy合金は、HAYNES® 282®合金が優れた加工性とクリープ強度を有していることにより、今では多くの用途でこの合金に置き換えられています。

標準組成

重量 %

ニッケル:Ni	58 Balance
コバルト:Co	13.5
鉄:Fe	2 max.
クロムCr:	19
モリブデン:Mo	4.3
アルミニウム:Al	1.5
チタン:Ti	3
炭素:C	0.08
マンガン:Mn	0.1 max.
ケイ素:Si	0.15 max.
ホウ素:B	0.006
ジルコニウム:Zr	0.05

熱処理

HAYNES® Waspaloy 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。部品加工した後、この合金は通常、最適な特性にするために 1950~2000°C (1066~1093°C) で断面厚さに見合った時間保持して再溶体化処理され、急冷又は水冷されます。溶体化処理に続いて、ミクロ組織を最適化して時効硬化させるために、この合金は3-ステップの時効硬化処理を施されます。第1ステップは1825°F (996°C) で2時間保持して空冷します。第2ステップは1550°F (843°C) で4時間保持して空冷します。最終ステップは1400°F (760°C) で16時間保持して空冷します。

典型的な引張特性

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強度		4D 伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	130.4	899	189.2	1304	24.5
400	204	118.9*	820*	183.2*	1263*	24.4*
800	427	120.4*	830*	171.6*	1183*	22.6*
1000	538	117.8	812	170.4	1175	22.0
1200	649	113.8	784	164.9	1137	31.9
1400	760	102.4	706	119.2	822	32.8
1500	816	75.0	517	91.9	633	39.7
1600	871	51.8	357	66.2	456	48.0
1700	927	30.5	210	43.1	297	57.7
1800	982	19.2	132	25.2	174	57.8
2000	1093	4.5*	31*	7.4*	51*	135.5*

* 限られたデータ

試料は、1825°F (995°C)/2 Hr./AC + 1550°F (845°C)/4 Hr./AC + 1400°F (760°C)/16 Hr./AC の条件で時効硬化処理。

熱安定性

条件	試験温度		0.2% 耐力		極限引張強度		4D 伸び
	°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
溶体化処理	RT	RT	64.3	443	128.8	888	50.1
時効処理*	RT	RT	129.4	892	189.9	1309	24.9
	1200	649	114	786	166.1	1145	31.8
	1400	760	103.7	715	119.6	825	34.5
	1500	816	75.9	523	92.1	635	40.6
	1600	871	52.6	363	66.9	461	45.7
時効処理*+ 1200°F(649°C)/8000h	RT	RT	137.8	950	197	1358	21.8
	1200	649	120.7	832	171.3	1181	29.7
時効処理*+ 1400°F(760°C)/8000h	RT	RT	115.2	794	178.2	1229	19
	1400	760	80.2	553	110.3	760	32.1
時効処理*+ 1500°F(816°C)/8000h	RT	RT	93.2	643	160.4	1106	22.2
	1500	816	51.1	352	79.9	551	31.3
時効処理*+ 1600°F(871°C)/8000h	RT	RT	66	455	115.7	798	13
	1600	871	30.5	210	49.9	344	29.2

* 試料は、1825°F (995°C)/2 Hr./AC + 1550°F (845°C)/4 Hr./AC + 1400°F (760°C)/16 Hr./AC の条件で時効硬化処理。

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)

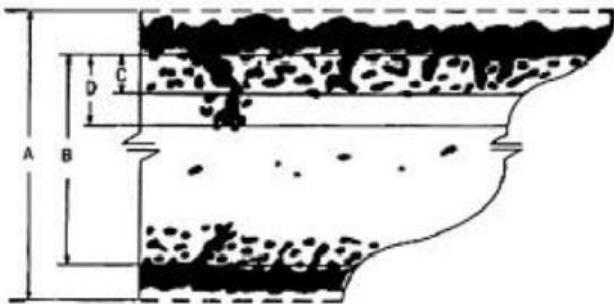
メタルロス = (A-B)/2

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り付け、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

クリープおよびストレス-ラプチャー強度

時効硬化処理した* HAYNES® Waspaloy 薄板

温度		クリープ	下記時間内に規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	1	81	558	67	462
		R	92	634	80	552
1300	704	1	63	434	46	317
		R	75	517	57	393
1400	760	1	41	283	28	193
		R	53	365	35	241
1500	816	1	25	172	16	110
		R	32	221	20	138
1600	871	1	15	103	7.0	48
		R	19	131	10	69
1700	927	1	6.4	44	3.0	21
		R	10	69	4.8	33

*試料は次の条件で時効硬化処理: 1825°F (996°C)/2 Hr./AC + 1550°F (843°C)/4 Hr./AC + 1400°F (760°C)/16 Hr./AC

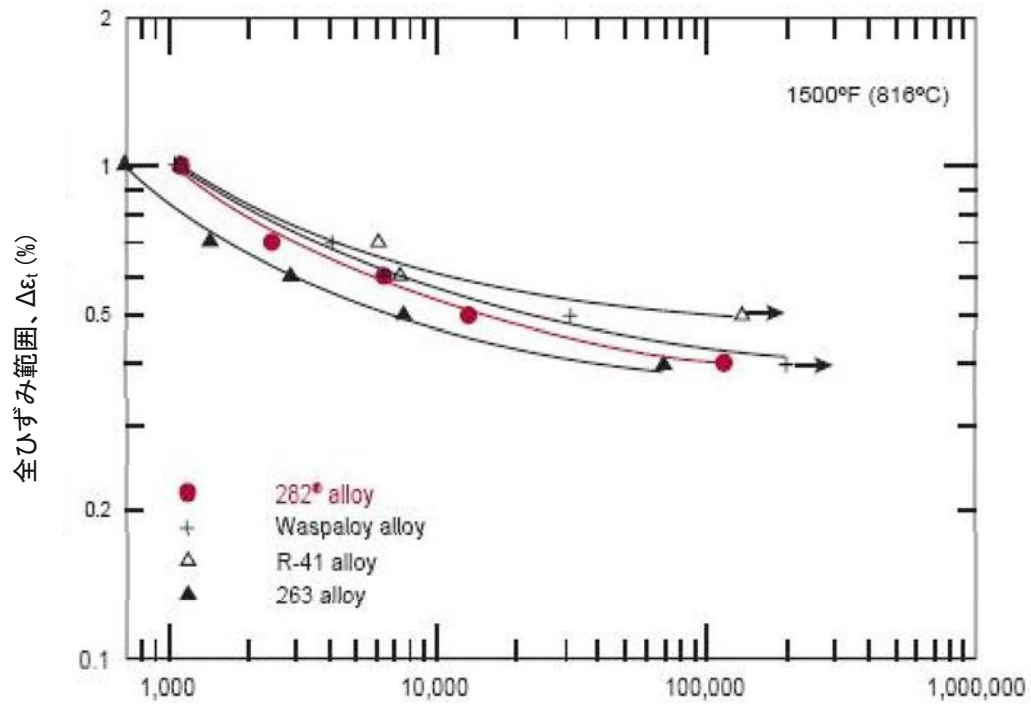
物理的特性

物理的特性	英国単位		メートル単位	
密度	RT	0.296 lb/in ³	RT	8.20 g/cm ³
溶融温度	2425-2475°F	-	1329-1357°C	-
熱伝導率	400°F	88 Btu-in/ft ² -hr-°F	200°C	12.6 W/m-°C
	800°F	112 Btu-in/ft ² -hr-°F	400°C	15.7 W/m-°C
	1000°F	125 Btu-in/ft ² -hr-°F	600°C	19.1 W/m-°C
	1200°F	139 Btu-in/ft ² -hr-°F	700°C	20.9 W/m-°C
	1400°F	152 Btu-in/ft ² -hr-°F	800°C	22.7 W/m-°C
	1600°F	167 Btu-in/ft ² -hr-°F	900°C	24.5 W/m-°C
平均熱膨張係数	70-800°F	7.6 μin/in -°F	20-500°C	13.9 x 10 ⁻⁶ m/m-°C
	70-1000°F	7.8 μin/in -°F	20-600°C	14.3 x 10 ⁻⁶ m/m-°C
	70-1200°F	8.1 μin/in -°F	20-700°C	14.8 x 10 ⁻⁶ m/m-°C
	70-1400°F	8.4 μin/in -°F	20-800°C	15.4 x 10 ⁻⁶ m/m-°C
	70-1600°F	8.9 μin/in -°F	20-900°C	16.4 x 10 ⁻⁶ m/m-°C
	70-1800°F	9.7 μin/in -°F	20-1000°C	17.8 x 10 ⁻⁶ m/m-°C
動弾性率	70°F	30.9 x 10 ⁶ psi	20°C	213 GPa
	400°F	29.5 x 10 ⁶ psi	200°C	204 GPa
	800°F	27.7 x 10 ⁶ psi	400°C	192 GPa
	1000°F	26.7 x 10 ⁶ psi	600°C	180 GPa
	1200°F	25.6 x 10 ⁶ psi	700°C	172 GPa
	1400°F	24.3 x 10 ⁶ psi	800°C	164 GPa
	1600°F	22.9 x 10 ⁶ psi	900°C	155 GPa
	1800°F	21.1 x 10 ⁶ psi	1000°C	146 GPa

RT= 室温

低サイクル疲労

低サイクル疲労データの比較



1500F(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

加工

溶体化処理時の室温硬度

形態	硬度	典型的な ASTM 結晶粒サイズ
薄板	93 HRB	5 - 6.5
厚板	29 HRC	5.5 - 6.5

試験した全ての試料は溶体化処理済

HRB = ロックウェル硬さ “B”

HRC = ロックウェル硬さ “C”

溶体化処理した Waspaloy の室温引張特性

形態	試験温度		0.2% 耐力		極限引張強度		4D 伸び
	°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	
薄板	RT	RT	60.8	419	131.9	909	52.2
厚板	RT	RT	87.6	604	154.7	1067	42.3

溶接

HAYNES® Waspaloy 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、Waspaloy 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® Waspaloy 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。Waspaloy 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 3-ステップの時効処理です。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、合金はわずかに容積収縮します。これは、一般に溶体化処理温度まで加熱した場合に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。

Waspaloy 合金自体の溶接には、同一組成の溶加金属を使用することを推奨します。Waspaloy 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。

適合規格および基準

規格

HAYNES® Waspaloy 合金 (N07001)	
薄板、厚板および帯板	AMS 5544
ピレット、ロッドおよびバー	AMS 5704 AMS 5706 AMS 5707 SB 637/B 637
被覆アーク溶接棒	-
裸溶接棒およびワイヤ	AMS 5828
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 5704 AMS 5706 AMS 5707 SB 637/ B637
DIN	-
その他	-

基準

HAYNES® Waspaloy 合金 N07001	
MMPDS	6.3.8

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。