

# HAYNES® HR-224® 合金

## 主な特徴

HAYNES® HR-224® 合金は、優れた耐酸化性を有した鍛造 Ni-27.5Fe-20Cr-3.8Al 合金で、HAYNES® 214® 合金に比べて加工性と溶接性が改良されています。この合金は、密着性の高いアルミナ保護スケールを形成することにより、卓越した耐酸化性を実現します。延性と成形性に優れ、アルミニウム含有量が大幅に少ないニッケル-鉄-クロム合金と同等の溶接性を示します。潜在的な用途には、熱再生器、自動車用触媒コンバータおよび熱シールド、ストランド型焼鈍炉の炉管、燃料電池、ガス分離ユニット、クロミアの蒸発を最小限にする必要があるアプリケーション、ならびにその他の過酷な酸化環境向けアプリケーションなどがあります。

## 標準組成

### 重量%

ニッケル:Ni	47 Balance
コバルト:Co	2 max.
鉄:Fe	27.5
クロム:Cr	20
モリブデン:Mo	0.5 max.
タングステン:W	0.5 max.
マンガン:Mn	0.5 max.
ケイ素:Si	0.3
ニオブ:Nb	0.15 max.
アルミニウム:Al	3.8
チタン:Ti	0.3
炭素:C	0.05
ホウ素:B	0.004 max.
ジルコニウム:Zr	0.025 max.

# 耐酸化性

## 空気流中での耐酸化性の比較

合金	1600°F (871°C)				1800°F (982°C)			
	平均メタルロス		平均酸化層厚さ		平均メタルロス		平均酸化層厚さ	
	Mils	µm	Mils	µm	Mils	µm	Mils	µm
<b>HR-224®</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.2</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.3</b>	<b>8</b>
<b>214®</b>	0	0	0.3	8	0	0	0.5	13
<b>230®</b>	0	0	0.9	23	0.2	5	1.6	41
<b>625</b>	0.1	3	0.6	15	0.2	5	1.9	48
<b>X</b>	0.1	3	1	25	0.3	8	1.9	48
<b>HR-120®</b>	0.1	3	1.1	28	0.3	8	2.0	51
<b>601</b>	-	-	-	-	0.4	10	1.7	43
<b>800HT</b>	0.1	3	1	25	0.5	13	4.1	104
<b>347SS</b>	0.3	8	0.7	18	-	-	-	-
<b>253MA</b>	0.2	5	0.9	23	1.3	33	3.0	76

試料を通過する空気流の流速は、7.0 ft/min (213.4 cm/min)。試料は、1週間に1回のサイクルで室温まで冷却。

## 長期間耐酸化性の比較

合金	1800°F (982°C)			
	平均メタルロス		平均酸化層厚さ	
	Mils	µm	Mils	µm
<b>HR-224®</b>	<b>0.1</b>	<b>3</b>	<b>0.1</b>	<b>3</b>
<b>214®</b>	0.1	3	0.5	13
<b>230®</b>	0.1	3	2.7	69
<b>X</b>	0.2	5	2.8	71
<b>HR-120®</b>	0.5	13	3.3	84
<b>625</b>	2.6	66	8.6	218

合金は1か月に1回、室温まで冷却するサイクルで 360 日間days (8,640 h) 空気流中に曝露。

## 水蒸気中での耐酸化性の比較

合金	1400°F (760°C)				1600°F (871°C)			
	平均メタルロス		平均酸化層厚さ		平均メタルロス		平均酸化層厚さ	
	Mils	µm	Mils	µm	Mils	µm	Mils	µm
<b>HR-224®</b>	<b>0.05</b>	<b>1</b>	<b>0.25</b>	<b>7</b>	<b>0.06</b>	<b>2</b>	<b>0.26</b>	<b>7</b>
<b>214®</b>	0.02	1	0.22	7	0.05	1	0.35	9
<b>230®</b>	0.09	2	1.19	30	0.21	5	1.91	49
<b>HR-120®</b>	0.12	3	0.72	18	0.26	7	2.06	52

空気 + 10% $H_2O$  の中に8640h(1か月サイクル)曝露した耐熱合金の薄板(0.125"/3.2mm)に対する酸化量。

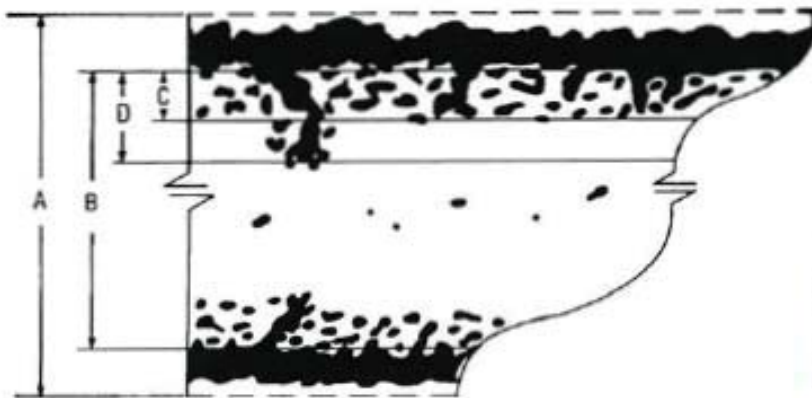
## 耐酸化性(続き)

### 耐繰り返し酸化性の比較

合金	1400°F (760°C)				1600°F (871°C)				1800°F (982°C)				2000°F (1093°C)			
	平均 メタルロス		平均 酸化層厚さ		平均 メタルロス		平均 酸化層厚さ		平均 メタルロス		平均 酸化層厚さ		平均 メタルロス		平均 酸化層厚さ	
	Mils	μm	Mils	μm	Mils	μm	Mils	μm	Mils	μm	Mils	μm	Mils	μm	Mils	μm
HR-224®	< 0.1	0.6	0.1	1.9	0.1	3	0.3	8	0.1	3	0.3	8	0.2	5	0.8	20
214®	< 0.1	0.3	0.1	1.6	0.1	3	0.1	3	0.1	3	0.5	13	0.1	6	0.4	10
230®	< 0.1	0.8	0.1	2.7	0.1	3	0.7	18	0.2	5	1.1	28	0.9	23	4.1	104
X	-	-	-	-	0.2	5	1.0	25	0.3	8	1.6	41	10	254	12.1	307
601	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	13	1.9	48	-	-	-	-
625	-	-	-	-	0.1	3	0.5	13	0.4	10	2.0	51	-	-	-	-
HR-120®	< 0.1	1.2	0.2	6.0	0.2	5	0.9	23	0.4	10	2.0	51	18.5	470	20.6	523
600	-	-	-	-	0.1	3	0.8	20	0.5	13	2.2	56	-	-	-	-
800HT	-	-	-	-	0.3	8	1.3	33	8	203	9.8	249	30.8	782	32.2	818

空気流中に10hに1回のサイクルで 1000-h 曝露された合金の酸化量

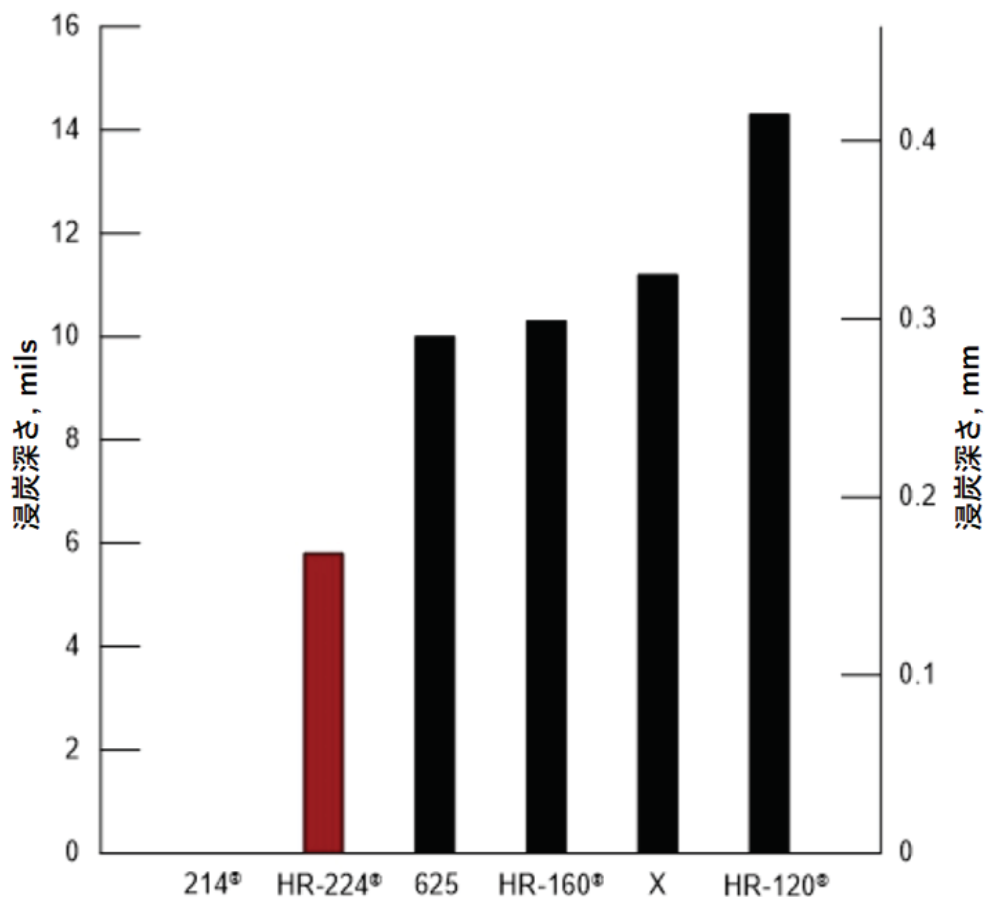
### 酸化の評価に用いた金属組織学的手法の模式図



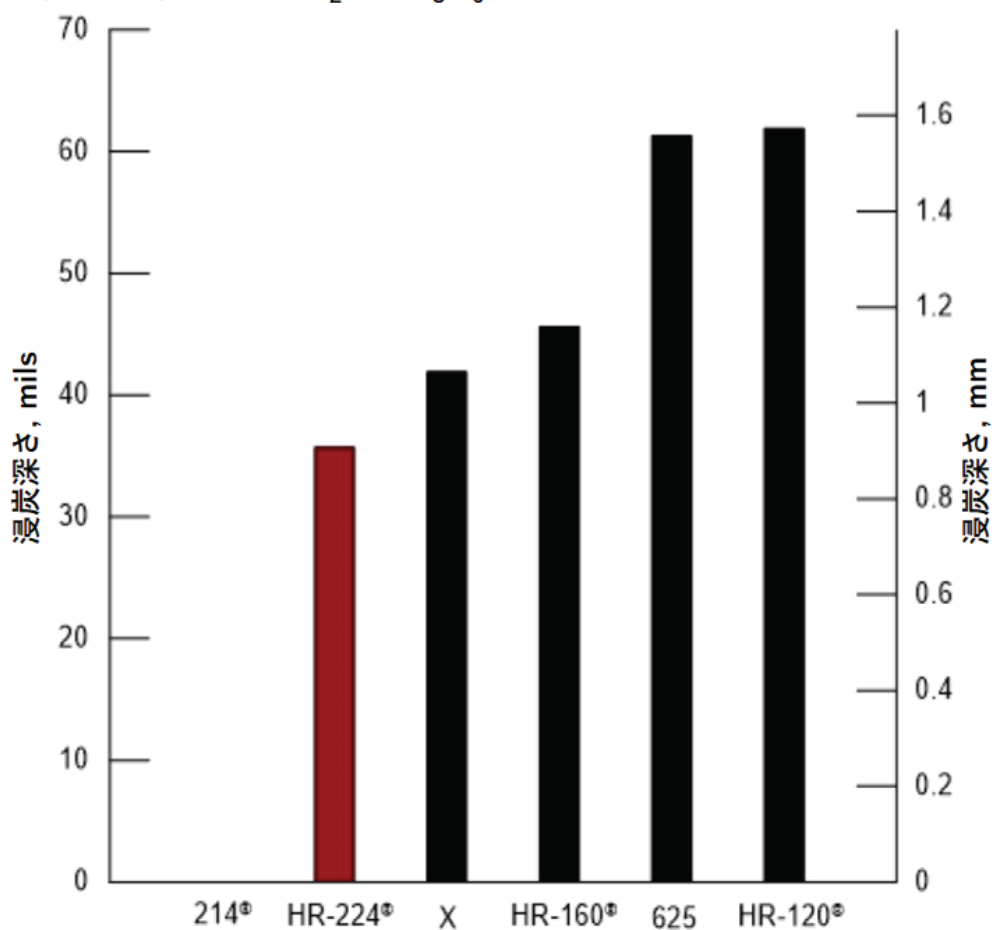
1. メタルロス =  $(A-B)/2$
2. 平均内部酸化深さ = C
3. 最大内部酸化深さ = D
4. 平均酸化層厚さ =  $((A-B)/2) + C$
5. 最大酸化層厚さ =  $((A-B)/2) + D$

# 耐浸炭性

1600°F(871°C)のAr-5% $H_2$ -2% $C_3H_6$ 中に124時間曝露した場合の浸炭深さ



2000°F(1093°C)のAr-5% $H_2$ -2% $C_3H_6$ 中に24時間曝露した場合の浸炭深さ



## 耐浸炭性(続き)

2000°F(1093°C)のAr-5%H<sub>2</sub>-2%C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 中で 24 時間の  
実験室浸炭試験

合金	吸炭量	総浸炭深さ	
	(mg/cm <sup>2</sup> )	mil	mm
214 <sup>®</sup>	0.2	0	0
<b>HR-224<sup>®</sup></b>	<b>3.7</b>	<b>35.7</b>	<b>0.9</b>
HR-160 <sup>®</sup>	7.1	45.6	1.2
625	8.9	> 61.3	> 1.6
X	11.7	41.9	1.1
HR-120 <sup>®</sup>	13.6	> 61.9	> 1.6

注記: 1回の予備試験の結果。625 および HR-120 合金は、浸炭が板厚を貫通。

1600°F(871°C)のAr-5%H<sub>2</sub>-2%C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 中で 124 時間の  
実験室浸炭試験

合金	吸炭量	総浸炭深さ	
	(mg/cm <sup>2</sup> )	mil	mm
214 <sup>®</sup>	0.4	0	0
HR-160 <sup>®</sup>	0.9	10.3	0.26
<b>HR-224<sup>®</sup></b>	<b>1.4</b>	<b>5.8</b>	<b>0.15</b>
625	2.6	10.0	0.25
X	3.6	11.2	0.28
HR-120 <sup>®</sup>	4.0	14.3	0.36

注記: 1回の予備試験の結果。

## 熱安定性

曝露後の室温特性

曝露温度		時間	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
°F	°C		ksi	MPa	ksi	MPa	
アニール状態	アニール状態	0	46	318	108	745	50
1200	649	4000	102	703	153	1055	21
		8000	103	709	148	1020	12
		16000	102	703	144	992	10
1400	760	4000	61	420	130	896	25
		8000	58	402	127	879	20
		16000	55	379	123	848	21
1600	871	4000	39	269	104	717	39
		8000	40	276	104	717	40
		16000	38	262	104	717	41
1800	982	4000	44	303	100	690	46
		8000	44	303	93	639	43
		16000	42	290	94	648	50

## クリープラプチャー強度

温度		クリープ	下記の時間で所定のクリープを生じるおおよその初期応力							
			10 hours		100 hours		1000 hours		10,000 hours	
°F	°C	%	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
1200	649	0.1	36.9	254	26.8	185	19.6	135	14.5	100
		1.0	59.7	412	39.1	270	26.1	180	17.7	122
		R	82.8	571	18.3	126	29.1	201	18.0	124
1300	704	0.1	19.1	132	13.9	96	10.2	70	7.6	52
		1.0	29.0	200	19.2	132	12.9	89	8.9	61
		R	43.4	299	25.5	176	15.5	107	9.7	67
1400	760	0.1	10.3	71	7.5	52	5.6	39	4.2	29
		1.0	14.9	103	9.9	68	6.8	47	4.8	33
		R	23.7	163	14.1	97	8.7	60	5.5	38
1500	816	0.1	5.8	40	4.3	30	3.2	22	2.4	17
		1.0	8.1	56	5.5	38	3.8	26	2.7	19
		R	13.5	93	8.1	56	5.1	35	3.3	23
1600	871	0.1	3.4	23	2.5	17	1.9	13	1.5	10
		1.0	4.6	32	3.2	22	2.3	16	1.7	12
		R	8.0	55	4.9	34	3.2	22	2.1	14
1700	927	0.1	2.1	14	1.6	11	1.2	8	0.9	6
		1.0	2.8	19	2.0	14	1.4	10	1.1	8
		R	5.0	34	3.1	21	2.1	14	1.4	10
1800	982	0.1	1.3	9	1.0	7	0.8	6	0.6	4
		1.0	1.8	12	1.3	9	1.0	7	0.8	6
		R	3.2	22	2.1	14	1.4	10	1.0	7
1900	1038	0.1	0.9	6	0.7	5	0.5	3	0.4	3
		1.0	1.2	8	0.9	6	0.7	5	0.6	4
		R	2.2	15	1.4	10	1.0	7	0.8	6
2000	1093	0.1	0.6	4	0.5	3	0.4	3	0.3	2
		1.0	0.8	6	0.7	5	0.5	3	0.4	3
		R	1.5	10	1.1	8	0.8	6	0.6	4

R = ラプチャー

## 耐ひずみ時効割れ性

加熱速度制御引張試験(CHRT)は、ガンマプライムを形成する超合金の耐ひずみ時効割れ性の優れた尺度です。元は溶体化処理された状態の厚さ0.063インチ(1.6 mm)の試料は、典型的な溶接後の熱処理を代表する、毎分25~30°F(14~17°C)の速度で試験温度まで加熱されます。この場合、試験は1450°F(788°C)で行われました。ひずみ時効割れに対する感受性は、その温度範囲内で観察される最小引張伸びに関連しています(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)。

### HAYNES® HR-224® の耐ひずみ時効割れ性

合金	CHRT 伸び (%)*
<b>HAYNES® HR-224®</b>	<b>16**</b>
HAYNES® 214®	12
HAYNES® 282®	16
HAYNES® 718	15
HAYNES® R-41	7

\*3回の試験の平均。

\*\*2つのヒートの平均。

加熱速度制御試験 - 1100°F(593°C)まで100°F(56°C)/secで加熱 - 1450°F(788°C)まで30°F(3°C)/minuteで加熱 - 1450°F(788°C)で保持し、破断するまで 0.0625 in(1.6 mm)/minuteで引張り。

Metzler, D.A. 2008. A Gleeble®-based Method for Ranking the Strain-Age Cracking Susceptibility of Ni-Based Superalloys, Welding Journal 87(10): 249-s to 256-s.

# 物理的特性

物理的特性	英国単位		メートル単位	
密度	RT	0.280 lb/in <sup>3</sup>	RT	7.72 g/cm <sup>3</sup>
溶融温度	2450-2510°F	-	1340-1380°C	-
電気抵抗	RT	48.6 μohm-in	RT	123.5 μohm-cm
	200°F	49.0 μohm-in	100°C	125.2 μohm-cm
	400°F	50.2 μohm-in	200°C	127.5 μohm-cm
	600°F	51.1 μohm-in	300°C	130.0 μohm-cm
	800°F	52.0 μohm-in	400°C	131.7 μohm-cm
	1000°F	52.6 μohm-in	500°C	133.5 μohm-cm
	1200°F	52.8 μohm-in	600°C	134.0 μohm-cm
	1400°F	52.9 μohm-in	700°C	134.2 μohm-cm
	1600°F	53.0 μohm-in	800°C	134.5 μohm-cm
	1700°F	53.0 μohm-in	900°C	134.4 μohm-cm
	-	-	1000°C	135.4 μohm-cm
温度拡散率	RT	4.3 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	RT	27.5 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	200°F	4.5 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	100°C	29.5 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	400°F	5.0 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	200°C	32.1 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	600°F	5.4 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	300°C	34.5 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	800°F	5.8 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	400°C	37.2 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	1000°F	6.3 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	500°C	39.4 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	1200°F	6.7 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	600°C	42.0 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	1400°F	7.0 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	700°C	44.7 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	1600°F	7.0 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	800°C	44.9 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	1700°F	7.1 x 10 <sup>-3</sup> in <sup>2</sup> /sec	900°C	45.0 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
	-	-	1000°C	47.4 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
熱伝導率	RT	69 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	RT	10.0 W/m-°C
	200°F	74 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	100°C	11.2 W/m-°C
	400°F	89 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	200°C	12.7 W/m-°C
	600°F	100 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	300°C	14.2 W/m-°C
	800°F	112 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	400°C	15.7 W/m-°C
	1000°F	123 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	500°C	17.1 W/m-°C
	1200°F	135 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	600°C	18.7 W/m-°C
	1400°F	142 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	700°C	20.3 W/m-°C
	1600°F	149 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	800°C	20.7 W/m-°C
	1700°F	149 Btu-in/ft <sup>2</sup> -hr-°F	900°C	21.1 W/m-°C
	-	-	1000°C	22.6 W/m-°C



## 物理的特性(続き)

物理的特性	英国単位		メートル単位	
比熱	RT	0.112 Btu/lb-°F	RT	471 J/kg·°C
	200°F	0.117 Btu/lb-°F	100°C	492 J/kg·°C
	400°F	0.123 Btu/lb-°F	200°C	514 J/kg·°C
	600°F	0.128 Btu/lb-°F	300°C	532 J/kg·°C
	800°F	0.132 Btu/lb-°F	400°C	548 J/kg·°C
	1000°F	0.136 Btu/lb-°F	500°C	564 J/kg·°C
	1200°F	0.139 Btu/lb-°F	600°C	577 J/kg·°C
	1400°F	0.142 Btu/lb-°F	700°C	588 J/kg·°C
	1600°F	0.145 Btu/lb-°F	800°C	600 J/kg·°C
	1700°F	0.146 Btu/lb-°F	900°C	608 J/kg·°C
	-	-	1000°C	616 J/kg·°C
平均熱膨張係数	70-200°F	7.8 μin/in -°F	25-100°C	14.0 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
	70-400°F	8.1 μin/in -°F	25-200°C	14.5 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
	70-600°F	8.2 μin/in -°F	25-300°C	14.8 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
	70-800°F	8.3 μin/in -°F	25-400°C	14.9 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
	70-1000°F	8.3 μin/in -°F	25-500°C	14.9 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
	70-1200°F	8.3 μin/in -°F	25-600°C	14.8 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
	70-1400°F	8.9 μin/in -°F	25-700°C	15.3 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
	70-1600°F	9.4 μin/in -°F	25-800°C	16.5 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
	70-1700°F	9.7 μin/in -°F	25-900°C	17.2 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
	-	-	25-1000°C	18.2 x 10 <sup>-6</sup> m/m·°C
動弾性率	RT	28.5 x 10 <sup>6</sup> psi	RT	197 GPa
	200°F	27.5 x 10 <sup>6</sup> psi	100°C	191 GPa
	400°F	27.0 x 10 <sup>6</sup> psi	200°C	186 GPa
	600°F	26.2 x 10 <sup>6</sup> psi	300°C	181 GPa
	800°F	25.3 x 10 <sup>6</sup> psi	400°C	176 GPa
	1000°F	24.5 x 10 <sup>6</sup> psi	500°C	170 GPa
	1200°F	23.5 x 10 <sup>6</sup> psi	600°C	164 GPa
	1400°F	22.0 x 10 <sup>6</sup> psi	700°C	158 GPa
	1600°F	21.3 x 10 <sup>6</sup> psi	800°C	152 GPa
	1800°F	20.2 x 10 <sup>6</sup> psi	900°C	146 GPa
	-	-	1000°C	139 GPa

# 引張特性

## HAYNES® HR-224®引張特性 - 薄板

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	47.6	328	106.1	732	47
1000	538	42.7	295	95.3	657	57
1200	649	56.2	387	84.3	581	16
1400	760	57.9	399	68.5	472	14
1600	871	14.3	99	18.3	126	102
1800	982	6.9	48	9.2	64	105

## HAYNES® HR-224® 引張特性 - 厚板

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	45.9	316	105.6	728	49
1000	538	42.2	291	93.6	645	57
1200	649	55.2	381	78.6	542	14
1400	760	59.5	410	69.6	480	9
1600	871	15.6	108	21.7	150	105
1800	982	5.8	40	9.5	66	125

## HAYNES® HR-224® 引張特性 - 棒

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%
RT	RT	45.8	316	106.5	734	48	72
1000	538	43.0	296	93.4	644	53	61
1200	649	54.8	378	74.5	514	13	22
1400	760	57.5	396	69.6	480	11	12
1600	871	12.9	89	19.5	135	106	93
1800	982	6.3	43	9.8	67	101	95

# 冷間成型後のアニーリングの影響

## 室温引張特性に対する冷間圧延の影響\*

圧下率	圧延後のアニール温度	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	硬度
		ksi	MPa	ksi	MPa		
%	-	ksi	MPa	ksi	MPa	%	Rb
0	-	51	352	107	738	47	87
10	1900°F (1038°C) 5 分間	51.9	358	100.7	694	45.6	86
20		58.3	402	103.9	716	43.1	85
30		55.5	383	106.1	732	41.2	88
40		45.4	313	105.2	725	45.4	90
50		48.6	335	110.2	760	45	90
10	2000°F (1093°C) 5 分間	48.2	332	97.3	671	48.5	90
20		51	352	98.4	678	47.5	89
30		41.7	288	100.9	696	47.8	88
40		42.8	295	103.6	714	47.1	86
50		46.2	319	107.4	741	44.2	91

\*ミルアニールした 0.120インチ (3.0mm)の薄板を圧延した結果に基づく。

## 熱処理

HAYNES® HR-224® 合金は、特に指定がない限り、溶体化処理した状態で提供されます。この合金は、通常、2025~2075°F (1107~1135°C)で断面の厚さに応じた時間保持して最終溶体化処理され、特性を最適化するために急冷または水冷されます。

### 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。