

# HAYNES® HR-235® 合金

## 主な特徴

HAYNES® HR-235®合金は、メタルダスティングに対して傑出した耐性を有しているニッケル-クロム-モリブデン-銅合金です。メタルダスティング条件下において合金の性能に有害な元素である鉄は、意図的には添加していません。この合金は、メタルダスティングが普通に起こるような温度下でのクリープ破断に強い合金です。ケイ素とアルミニウムの含有量が少ないHR-235®合金は、溶接凝固割れやひずみ時効割れに対して耐性があります。これは、耐メタルダスティング性を目的とした他の合金を上回る改良です。この合金は、同一組成の溶接ワイヤとしても入手できます。

### 用途:

- 石油化学プラント
- 合成ガスの製造
- アンモニア、メタノール、LNG、H<sub>2</sub>の合成
- マイクロチャネルリアクタ
- 高炭素含有ガス
- 鉄鉱石の直接還元
- 炭素繊維の製造
- GTLプラント
- 蒸気-メタン改質プロセス

## 標準組成

### 重量 %

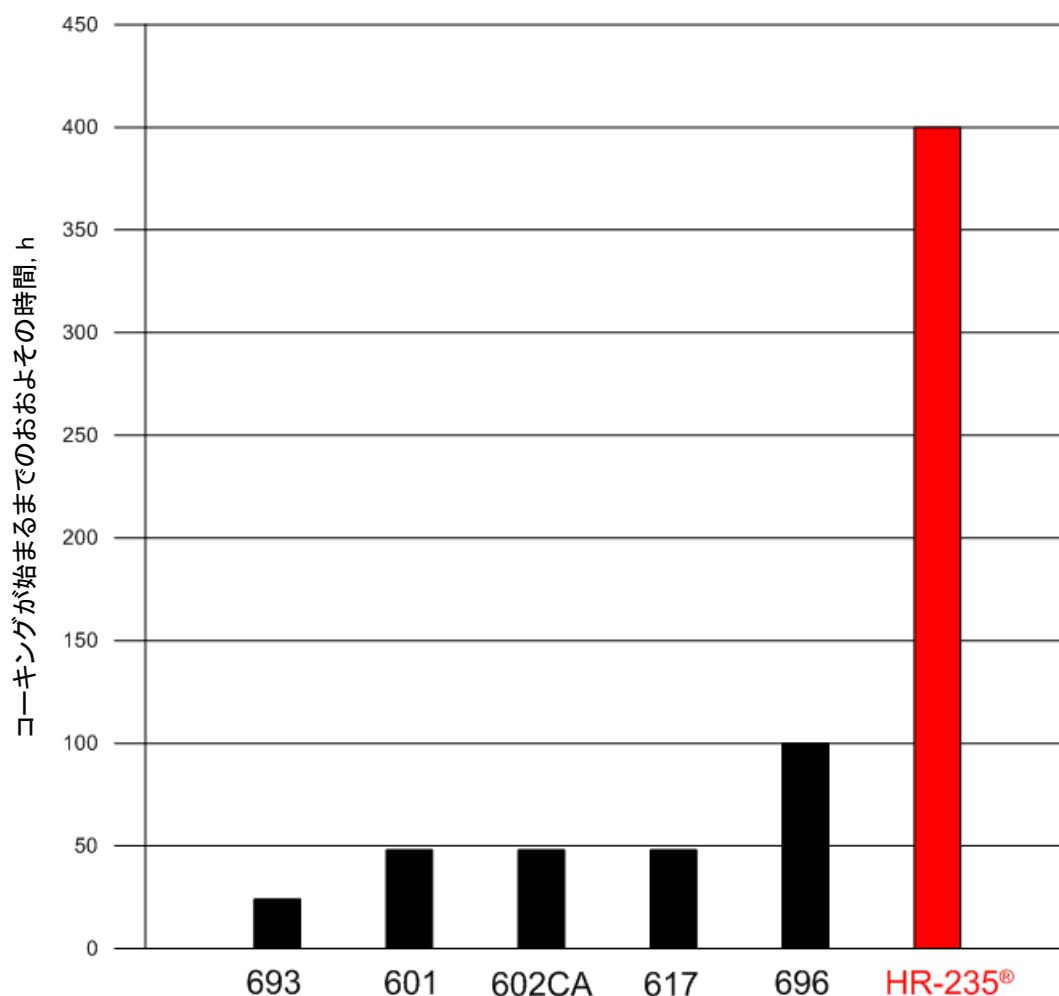
ニッケル:Ni	Balance
クロム:Cr	31
モリブデン:Mo	5.6
銅:Cu	3.8
鉄:Fe	1.5 max
ニオブ:Nb	1.0 max
アルミニウム:Al	0.4 max
マンガン:Mn	0.65 max
ケイ素:Si	0.6 max
チタン:Ti	0.5 max
炭素:C	0.06 max

## メタルダスティング

HAYNES® HR-235®合金を、雰囲気制御した熱サイクルリグで競合する材料と一緒に試験しました。反応ガスは 26% $\text{H}_2$  + 68% $\text{CO}$  + 6% $\text{H}_2\text{O}$  で、炭素活量は反応温度において 2.9 でした。サイクル運転は自動的に制御され、反応温度 1256°F (680°C) での運転は 45 分で、その後に 15 分の冷却期間が続き、その間に試料は約 194°F (90°C) まで急速に冷却されました。試料は、(1 時間のサイクル) を 1,200 サイクル試験され、以下の結果が得られました。金属ナノ粒子を伴ったフィラメント状の炭素堆積物の形成(コーキング)は、表面損傷(孔食)発生の指標です。

合金	コーキングが生じる およそのサイクル数	コーキングの形態
601	48	粒界堆積物、ピット
602CA	48	粘着性の炭化物、目に見える金属なし
617	48	多数の小さなピット、粒界堆積物
693	24	多数の小さなピット
696	100	粒界浸食
HR-235®	400	粒界堆積物、微小ピット

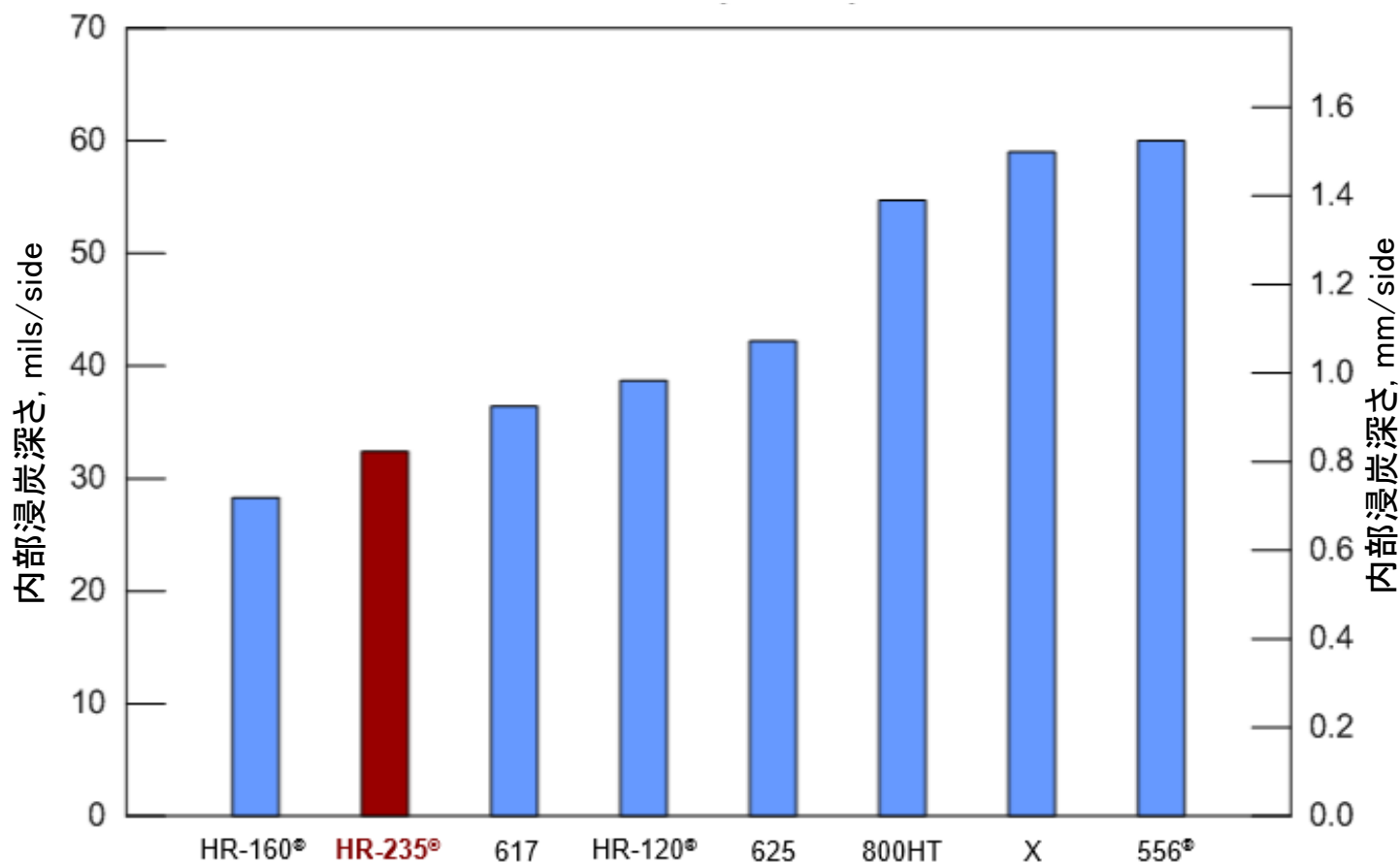
コーキングが始まるまでの時間, h



## 耐浸炭性

メタルダスティングに対する高い耐性に加えて、HAYNES® HR-235® 合金は、以下のチャートに示すように、低炭素活量で起こり、多くの金属材料に悪影響を及ぼす劣化プロセスである浸炭にも耐えます。試験は1800°F (982°C)で、炭素活量が1の Ar - 5% H<sub>2</sub> - 2% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> の混合ガスを使用して行いました。試験期間は215時間でした。

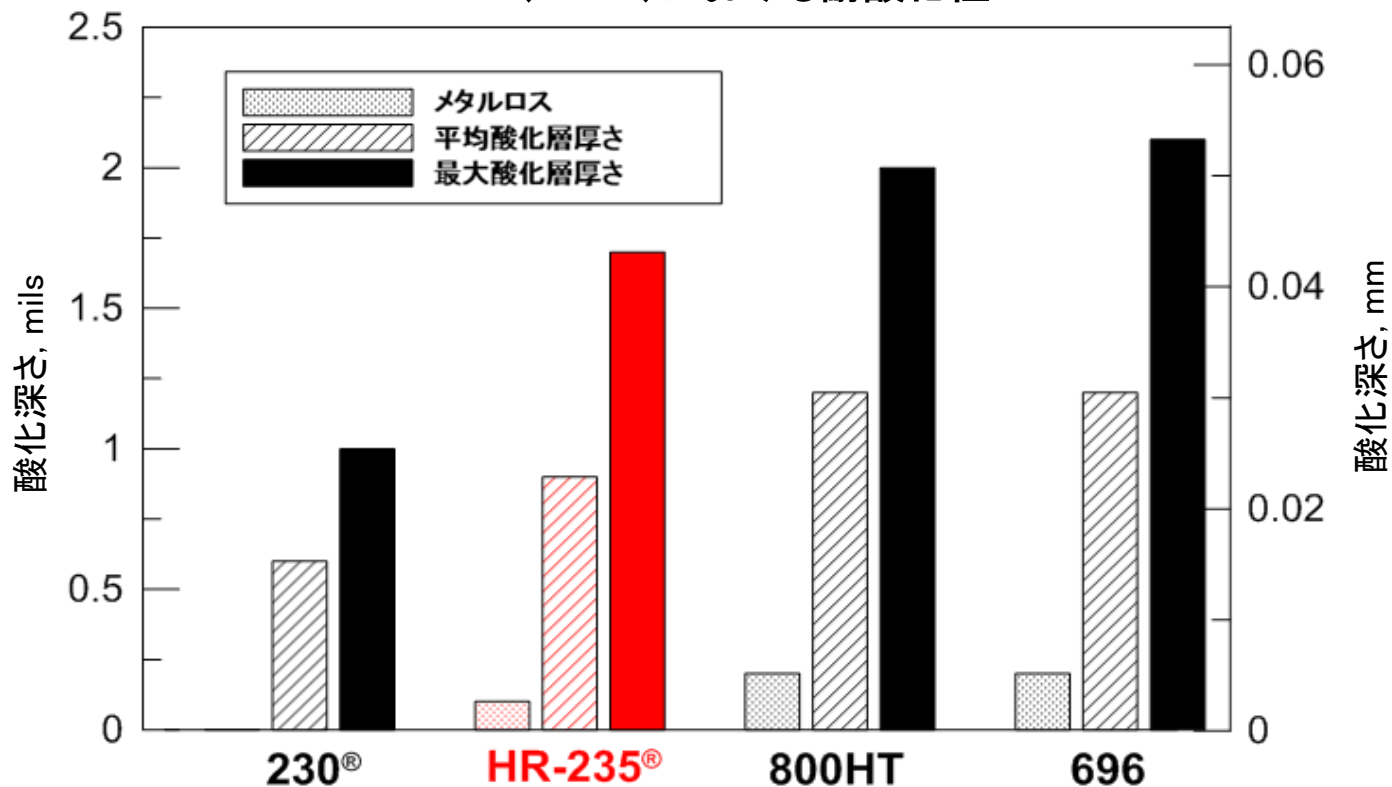
1800°F (982°C)における Ar - 5% H<sub>2</sub> - 2% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 中の内部浸炭



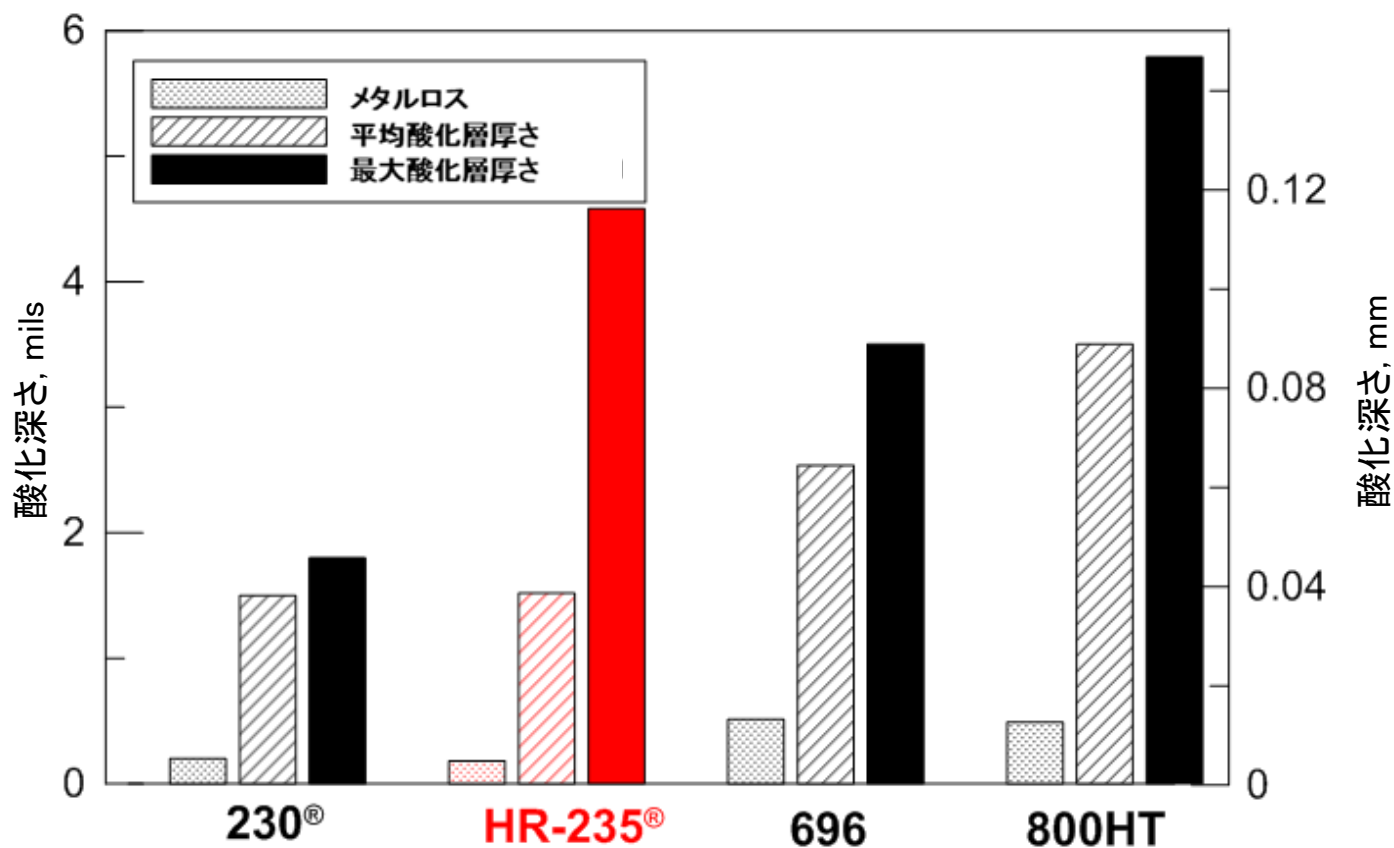
## 耐酸化性

HAYNES® HR-235® 合金は、以下の図に示すように、良好な耐酸化性も有しています。試験は、空気流(55.5 cm<sup>3</sup>/s) 中で1,008時間行い、168時間ごとに室温まで空冷しました。

1600°F (871°C)における耐酸化性



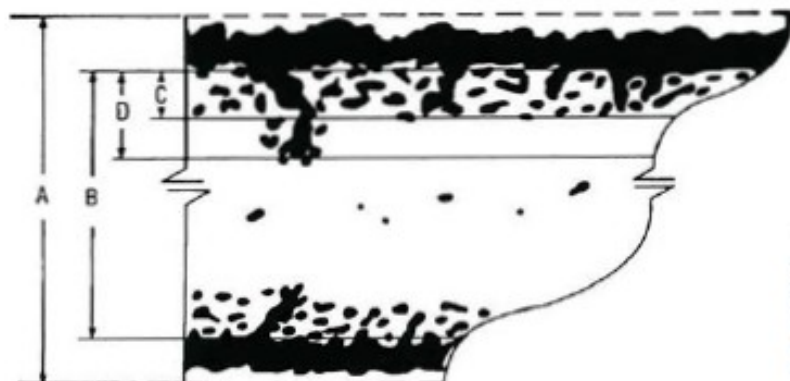
1800°F (982°C)における耐酸化性



## 耐酸化性(続き)

### 高温腐食損傷の測定

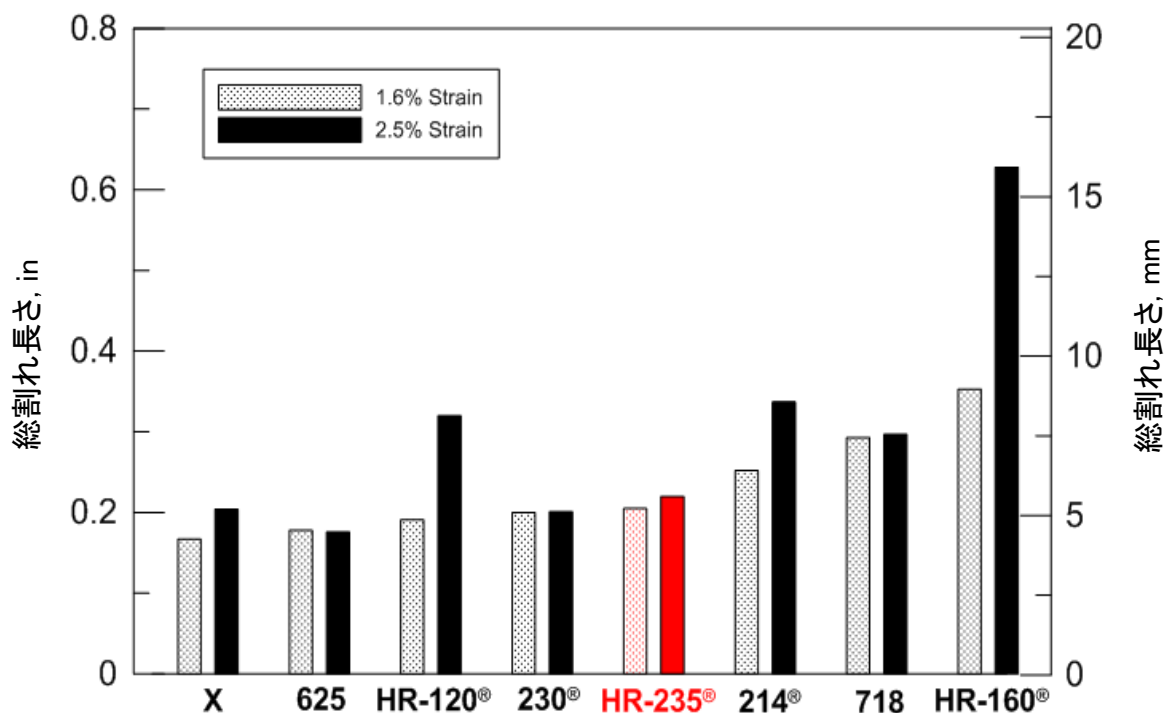
酸化によって引き起こされる材料の損傷の程度(内部および外部)を評価するために、金属組織学的技法を用いて以下の測定が行われます。ここで、Aは試料の元の厚さです。



## 耐溶接凝固割れ性

HAYNES® HR-235®合金は、VARESTRAINT溶接性試験での測定によれば、溶接凝固割れに強い合金です。HR-160®合金のように、ケイ素含有量がかなり多い材料は溶融範囲が広いので、このような形態の割れが発生しやすい傾向があります。ケイ素とアルミニウムの含有量が少ないHR-235®合金は、溶接凝固割れやひずみ時効割れに対して耐性があります。これは、耐メタルダスティング性を目的とした他の合金を上回る改良です。この合金は、同一組成の溶接ワイヤとしても入手できます。更なる情報が必要な場合は、当社の”溶接および加工”パンフレットをご覧ください。

長手方向のVARESTRAINT試験の結果



## 物理的特性

物理的特性	英国単位		メートル単位	
密度	RT	0.295 lb/in <sup>3</sup>	RT	8.16 g/cm <sup>3</sup>
溶融温度	2401-2437°F		1316-1336°C	
電気抵抗	RT	48.4 $\mu$ ohm-in	RT	1.23 $\mu$ ohm-m
	200°F	48.8 $\mu$ ohm-in	100°C	1.24 $\mu$ ohm-m
	400°F	49.2 $\mu$ ohm-in	200°C	1.25 $\mu$ ohm-m
	600°F	49.6 $\mu$ ohm-in	300°C	1.26 $\mu$ ohm-m
	800°F	50.4 $\mu$ ohm-in	400°C	1.27 $\mu$ ohm-m
	1000°F	50.8 $\mu$ ohm-in	500°C	1.29 $\mu$ ohm-m
	1200°F	50.4 $\mu$ ohm-in	600°C	1.29 $\mu$ ohm-m
	1400°F	50.4 $\mu$ ohm-in	700°C	1.28 $\mu$ ohm-m
	1600°F	50.4 $\mu$ ohm-in	800°C	1.28 $\mu$ ohm-m
	1800°F	50.4 $\mu$ ohm-in	900°C	1.28 $\mu$ ohm-m
	2000°F	51.2 $\mu$ ohm-in	1000°C	1.28 $\mu$ ohm-m
熱伝導率	RT	70 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	RT	10.0 W/m.°C
	200°F	77 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	100°C	11.0 W/m.°C
	400°F	89 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	200°C	12.5 W/m.°C
	600°F	101 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	300°C	14.2 W/m.°C
	800°F	114 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	400°C	15.8 W/m.°C
	1000°F	125 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	500°C	17.3 W/m.°C
	1200°F	137 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	600°C	18.9 W/m.°C
	1400°F	150 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	700°C	20.6 W/m.°C
	1600°F	153 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	800°C	21.6 W/m.°C
	1800°F	164 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	900°C	22.3 W/m.°C
	2000°F	174 BTU.in/h.ft <sup>2</sup> .°F	1000°C	23.5 W/m.°C
平均熱膨張係数	70-200°F	6.8 $\mu$ in/in.°F	25-100°C	12.3 $\mu$ m/m.°C
	70-400°F	7.1 $\mu$ in/in.°F	25-200°C	12.8 $\mu$ m/m.°C
	70-600°F	7.4 $\mu$ in/in.°F	25-300°C	13.2 $\mu$ m/m.°C
	70-800°F	7.5 $\mu$ in/in.°F	25-400°C	13.5 $\mu$ m/m.°C
	70-1000°F	7.7 $\mu$ in/in.°F	25-500°C	13.8 $\mu$ m/m.°C
	70-1200°F	8.1 $\mu$ in/in.°F	25-600°C	14.2 $\mu$ m/m.°C
	70-1400°F	8.4 $\mu$ in/in.°F	25-700°C	14.7 $\mu$ m/m.°C
	70-1600°F	8.7 $\mu$ in/in.°F	25-800°C	15.2 $\mu$ m/m.°C
	70-1800°F	9.0 $\mu$ in/in.°F	25-900°C	15.7 $\mu$ m/m.°C
	70-2000°F	9.3 $\mu$ in/in.°F	25-1000°C	16.2 $\mu$ m/m.°C

## 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	0.108 ft <sup>2</sup> /h	RT	0.0279 cm <sup>2</sup> /s
	200°F	0.116 ft <sup>2</sup> /h	100°C	0.0299 cm <sup>2</sup> /s
	400°F	0.127 ft <sup>2</sup> /h	200°C	0.0328 cm <sup>2</sup> /s
	600°F	0.139 ft <sup>2</sup> /h	300°C	0.0356 cm <sup>2</sup> /s
	800°F	0.151 ft <sup>2</sup> /h	400°C	0.0382 cm <sup>2</sup> /s
	1000°F	0.162 ft <sup>2</sup> /h	500°C	0.0408 cm <sup>2</sup> /s
	1200°F	0.173 ft <sup>2</sup> /h	600°C	0.0434 cm <sup>2</sup> /s
	1400°F	0.183 ft <sup>2</sup> /h	700°C	0.0459 cm <sup>2</sup> /s
	1600°F	0.182 ft <sup>2</sup> /h	800°C	0.0470 cm <sup>2</sup> /s
	1800°F	0.191 ft <sup>2</sup> /h	900°C	0.0475 cm <sup>2</sup> /s
	2000°F	0.200 ft <sup>2</sup> /h	1000°C	0.0495 cm <sup>2</sup> /s
比熱	RT	0.105 BTU/lb.°F	RT	440 J/kg.°C
	200°F	0.109 BTU/lb.°F	100°C	456 J/kg.°C
	400°F	0.114 BTU/lb.°F	200°C	477 J/kg.°C
	600°F	0.119 BTU/lb.°F	300°C	494 J/kg.°C
	800°F	0.124 BTU/lb.°F	400°C	511 J/kg.°C
	1000°F	0.133 BTU/lb.°F	500°C	532 J/kg.°C
	1200°F	0.148 BTU/lb.°F	600°C	611 J/kg.°C
	1400°F	0.146 BTU/lb.°F	700°C	620 J/kg.°C
	1600°F	0.152 BTU/lb.°F	800°C	615 J/kg.°C
	1800°F	0.152 BTU/lb.°F	900°C	641 J/kg.°C
	2000°F	0.153 BTU/lb.°F	1000°C	624 J/kg.°C
動弾性係数	RT	29.0 x 10 <sup>6</sup> psi	RT	200 GPa
	200°F	28.5 x 10 <sup>6</sup> psi	100°C	196 GPa
	400°F	27.6 x 10 <sup>6</sup> psi	200°C	191 GPa
	600°F	26.7 x 10 <sup>6</sup> psi	300°C	184 GPa
	800°F	25.9 x 10 <sup>6</sup> psi	400°C	180 GPa
	1000°F	25.0 x 10 <sup>6</sup> psi	500°C	174 GPa
	1200°F	23.9 x 10 <sup>6</sup> psi	600°C	168 GPa
	1400°F	23.0 x 10 <sup>6</sup> psi	700°C	162 GPa
	1600°F	21.3 x 10 <sup>6</sup> psi	800°C	154 GPa
	-	-	900°C	144 GPa

## 引張特性

HAYNES® HR-235® の溶体化処理した厚板

温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	48.8	337	106.9	737	58
1000	538	29.5	203	81.6	562	63
1200	649	28.7	198	72.7	501	61
1400	760	27.7	191	56.5	389	67
1600	871	22.4	154	31.3	216	72
1800	982	11.3	78	16.4	113	72

## クリープおよびストレスラプチャー強度

HR-235® の溶体化処理した厚板\*

温度		クリープ	下記時間で所定のクリープを生じるおおよその初期応力:			
°F	°C	%	100 h		1000 h	
			ksi	MPa	ksi	MPa
1000	538	1	57	393	45	310
		Rupture	81	558	58	400
1100	593	1	40	276	30	207
		Rupture	56	386	38	262
1200	649	1	27	186	19	131
		Rupture	38	262	24	165
1300	704	1	17	117	11	76
		Rupture	25	172	15	103
1400	760	1	10	69	6	41
		Rupture	16	110	9	62
1500	816	1	6	41	4	28
		Rupture	10	69	6	41
1600	871	1	4	28	2	14
		Rupture	6	41	4	28
1700	927	1	2	14	1	7
		Rupture	4	28	2	14

\*準備段階のデータ

## 硬度および結晶粒サイズ

HAYNES® HR-235® 合金

形態	溶体化処理後の室温硬度	代表的なASTM結晶粒度
薄板(シート)	87 HRB	2-4
厚板(プレート)	85 HRB	2-4



## 熱処理

HAYNES® HR-235® 鍛造合金は、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、2100～2150°F (1149～1177°C) に厚さに見合った時間保持して溶体化処理され、特性を最適化するために急冷または水冷されます。

## 溶接

HAYNES® HR-235® 合金は、ガスタングステンアーク溶接 (GTAW) およびガスメタルアーク溶接 (GMAW) 溶接により容易に溶接できます。薄板の溶接および厚板のルートパス溶接には、GTAWを推奨します。厚板の溶接には、GMAWが好ましいです。GMAWに対しては、パルススプレー移行モード (GMAW-P) を強く推奨します。GMAW-P移行モードは、従来のスプレー移行よりも著しく低い平均電流レベルでの安定した低スパッタスプレー移行です。その結果、Ni基合金の材料特性を維持するために重要な溶接入熱が、低～中程度になります。サブマージアーク溶接 (SAW) は、このプロセスが母材への高い入熱および溶接部のゆっくりとした冷却を特徴としているので推奨できません。HR-235® 合金の溶接特性は、高溶接性の "C-タイプ" 合金に匹敵し、同じ一般的な溶接ガイドラインが適用されます。他の耐メタルダスティング性Ni基合金と比較して、HR-235® 合金は優れた溶接性を示します。溶接の詳細については、HR-235® 合金に適用可能な一般的な溶接ガイドラインが記載されている "溶接および加工" のパンフレットを参照してください。

### 熱処理

特に指定のない限り、鍛造形態のHR-235® 合金は、溶体化処理した状態で提供されており、この状態で溶接する必要があります。冷間加工された材料の溶接は、第二相の析出を促進し、残留応力を生じるため、極力避けてください。そのような場合は、特定の要求に応じて 2100～2150°F (1149～1177°C) の範囲で完全溶体化処理を行い、引き続いて急速空冷または水冷することを推奨します。溶接する前に厚肉部品や冷間加工された構造物をアニールする場合は、水冷することをお勧めします。

### 母材の準備

接合面および隣接する領域は、溶接する前に完全にクリーンにする必要があります。グリース、オイル、クレヨンの痕、硫黄化合物、その他の異物はすべて取り除かなければなりません。接合部が、銅または銅含有材料と接触することは避けてください。溶接時に合金が溶体化された状態にあることが好ましいですが、必須ではありません。

### 溶加金属の選定

GTAW および GMAWに対しては、HR-235® の裸溶接ワイヤをお勧めします。HR-235® 合金と異種金属の溶接については、推奨できる溶加金属を Haynes International にご相談ください。

## 溶接(続き)

### 予熱、中間パス温度、および溶接後の熱処理

予熱する必要はなく、通常は室温として指定されています。溶接する母材の温度が32°F(0°C)以上である場合は、予熱しないでください。溶接の熱で影響を受ける領域における第二相の析出を最小限に抑えるため、HR-235®合金に対しては、最大中間パス温度は 200°F (93°C) を推奨します。汚染物質を巻き込むことがないのであれば、必要に応じて、溶接パス間に補助冷却手段を使用してもかまいません。HR-235®合金に対しては、溶接後の熱処理は通常必要なく、推奨もしていません。応力除去のような他の理由のために、溶接加工物の熱処理が必要とされるかもしれません。

### 溶接金属の引張特性

#### 横方向の引張 – GTAW 溶接した薄板

温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	88.1	607	105.3	726	30
200	93	43.6	300	94.0	648	43
400	204	43.1	297	99.5	686	42
600	316	38.8	268	82.6	570	26
800	427	35.3	243	76.5	527	27
1000	538	37.6	259	86.1	594	38
1200	649	32.8	226	65.1	449	25
1400	760	28.2	194	54.3	374	22
1600	871	22.1	152	29.6	204	31
1800	982	11.0	76	15.9	110	34
2000	1093	5.3	37	7.7	53	37

#### 横方向の引張 – GTAW 溶接した厚板

温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	65.3	450	112.3	774	51
200	93	56.2	387	89.8	619	19
400	204	48.2	332	96.4	665	41
600	316	45.6	314	90.0	621	40
800	427	42.3	292	89.1	614	44
1000	538	44.1	304	74.2	512	23
1200	649	38.1	263	73.5	507	30
1400	760	37.1	256	60.8	419	13
1600	871	23.9	165	33.1	228	25
1800	982	12.3	85	17.9	123	17
2000	1093	7.2	50	9.8	68	19

## 溶接(続き)

AWM (全溶接金属) の引張特性 - GTAW

温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%
RT	RT	80.0	552	115.3	795	26	30
200	93	69.2	477	101.2	698	31	32
400	204	66.7	460	98.3	678	27	27
600	316	67.0	462	94.4	651	26	35
800	427	63.0	434	89.9	620	30	30
1000	538	58.9	406	82.5	569	29	37
1200	649	52.0	359	71.6	494	22	31
1400	760	48.3	333	64.8	447	16	24
1600	871	26.3	181	36.3	250	21	23
1800	982	15.3	105	20.7	143	15	10
2000	1093	9.1	63	12.0	83	20	15

# 適合規格およびコード

## 規格

HAYNES® HR-235® 合金 (N06235)	
薄板、厚板および帯板	ASTM B168
ビレット、ロッドおよび棒	ASTM B166
被覆アーク溶接棒	-
裸溶接棒およびワイヤ	-
継ぎ目なしパイプおよびチューブ	ASTM B167
溶接パイプおよびチューブ	ASTM B619 ASTM B626
継手類	-
鍛造材	-
DIN	-
TÜV	-
その他	-

## コード

HR-235® 合金 (N06235)			
ASME	Section I	-	-
	Section III	Class 1	-
		Class 2	-
		Class 3	-
	Section VIII	Div. 1	1600°F (871°C) <sup>1</sup>
		Div. 2	-
	Section XII	-	-
	B16.5	-	-
	B16.34	-	-
	B31.1	-	-
	B31.3	-	-
VdTÜV (doc #)		-	-

<sup>1</sup>ASME コード事例 3058: プレート(厚板), シート(薄板), 帯板, 棒, ロッド, 継手類, 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:

Hanes 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。