

HAYNES® 242® 合金

主な特徴

優れた高温強度、低熱膨張特性、および良好な耐酸化性

HAYNES® 242® 合金 (UNS N10242) は、時効硬化時に長距離秩序反応により強度を引き出す時効硬化型ニッケル - モリブデン - クロム合金です。この合金は、時効硬化状態で高い延性がありながら、1200~1300°F (649~704°C) 以下では固溶強化型合金の2倍程度の引張およびクリープ強度特性があります。242®合金の熱膨張特性は、他のほとんどの合金の熱膨張特性よりもずっと低く、1500°F (816°C) 以下では非常に良好な耐酸化性があります。他の魅力的な特徴には、優れた低サイクル疲労特性、非常に良好な熱安定性、および高温フッ素およびフッ化物環境に対する耐性などがあります。242®合金の進化型として、低熱膨張特性を有しているだけでなく、1400°F (760°C) まで高い引張およびクリープ特性があるHAYNES® 244合金が開発されました。

HAYNES® 242®合金は、再鍛造ビレット、棒材、厚板、薄板、ワイヤー溶接製品の形態で、さまざまなサイズで製造されています。他の形態も、ご要求に応じて製造することができます。

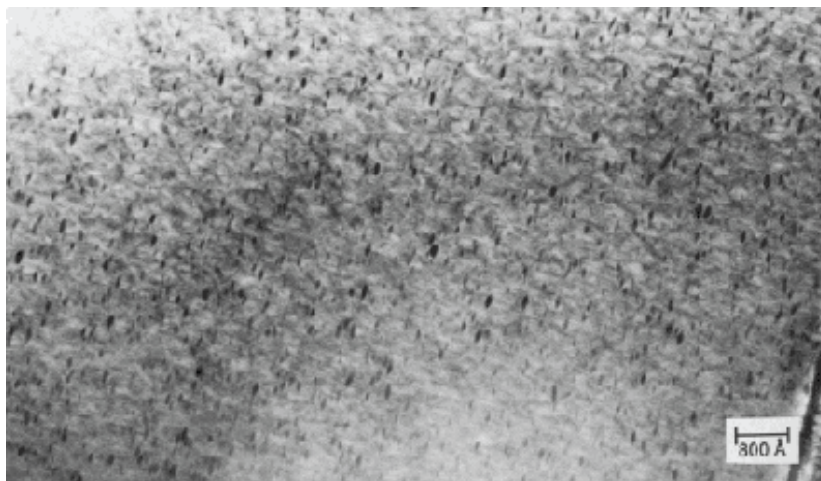
用途

HAYNES® 242®合金は、航空および産業用ガスタービンエンジンのさまざまな部品用途に理想的な特性を兼ね備えています。この合金は、シールリング、コンテインメントリング、ダクトセグメント、ケーシング、締結部品、ロケットノズル、ポンプ、およびその他多くに使用されます。化学プロセス産業においては、242®合金は、当該環境への優れた耐性の結果として、高温のフッ化水素酸蒸気を含むプロセスに使用されます。この合金はまた、高温のフッ化物塩混合物に対して優れた耐性があります。242®合金の高強度および耐フッ素環境性は、押出スクリューなどのフッ素エラストマープロセス装置で非常に役立つことも示されています。

新しい長距離強化メカニズム

HAYNES® 242®合金は、ユニークな長距離秩序反応により時効硬化強度を生み出し、それによって優れた延性を維持しながら、強度を非時効時の強度の基本的に2倍にします。規則正しいNi₂(Mo,Cr)型領域は、数百オングストローム未満の大きさであり、電子顕微鏡を用いてのみ見ることができます。

主な特徴(続き)



透過型電子顕微鏡写真は、242[®]合金の長距離秩序領域(黒っぽいレンズ形の粒子)を示しています。(写真は、Cincinnati 大学の Dr. Vijay Vasudevan のご厚意により提供されたものです)。試料は、2012F(1100°C)で溶体化処理し、1200F(649°C)で100時間かけて時効処理しました。

標準組成

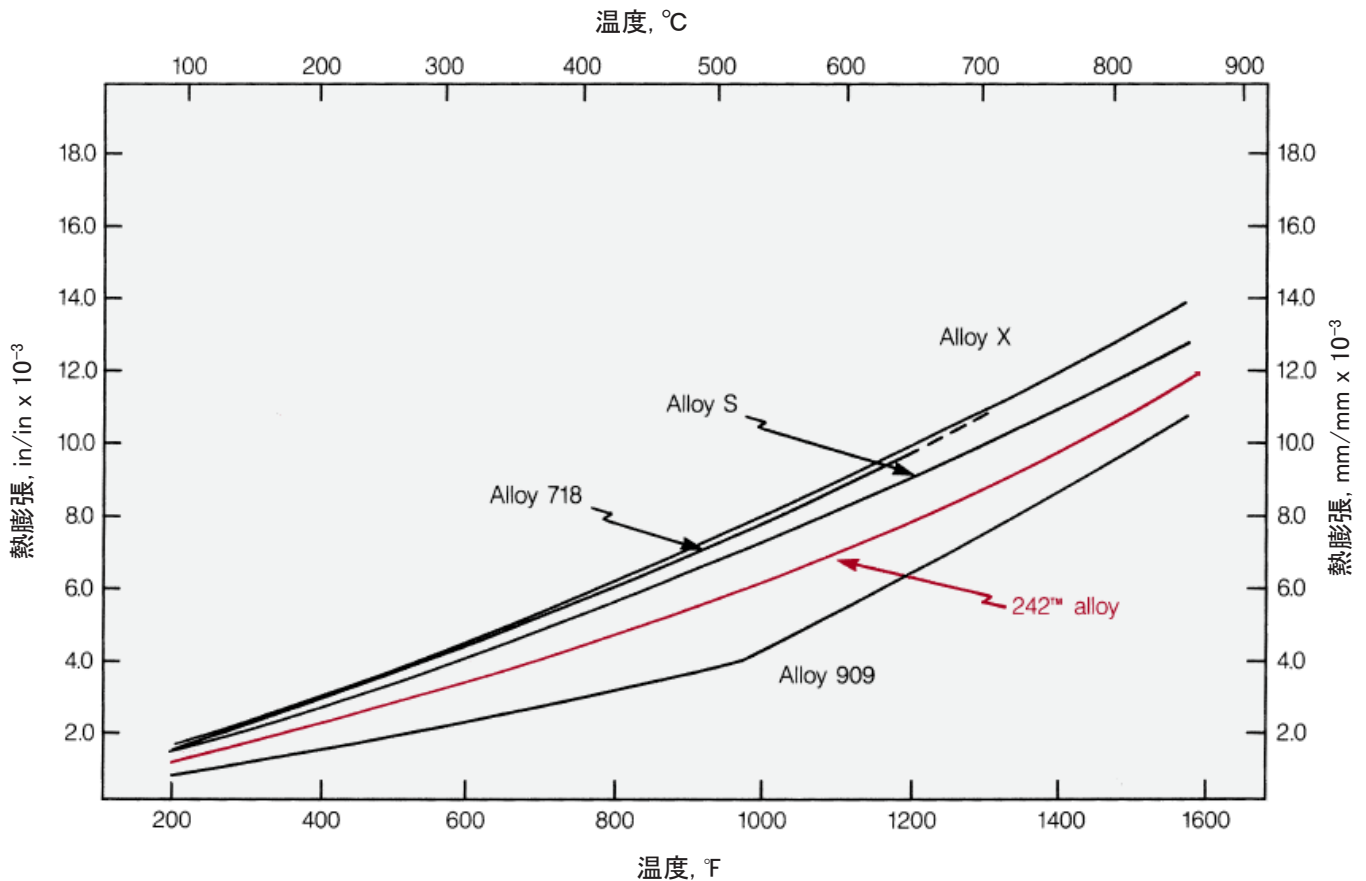
重量 %

| | |
|------------|------------|
| ニッケル: Ni | 65 Balance |
| モリブデン: Mo | 25 |
| クロム: Cr | 8 |
| 鉄: Fe | 2 max. |
| コバルト: Co | 1 max. |
| マンガン: Mn | 0.8 max. |
| ケイ素: Si | 0.8 max. |
| アルミニウム: Al | 0.5 max. |
| 炭素: C | 0.03 max. |
| ホウ素: B | 0.006 max. |

熱膨張特性

HAYNES® 242®合金は、室温から1600°F(871°C)までの温度範囲で、ほとんどのニッケル基耐熱合金よりも著しく低い熱膨張特性を示します。この合金の膨張は、1000°F(538°C)以下では合金909よりも大きいですが、それよりも高い温度ではその差はかなり狭くなります。

室温～昇温した温度までの総熱膨張



平均熱膨張係数

下記は、幾つかの合金の平均熱膨張係数を比較したものです:

| 合金 | 室温から下記温度までの平均熱膨張係数 | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| | 1000°F | 538°C | 1100°F | 593°C | 1200°F | 649°C | 1300°F | 704°C | 1400°F | 760°C |
| | in./in./ °F x10 ⁻⁶ | mm/mm- °C x10 ⁻⁶ | in./in./ °F x10 ⁻⁶ | mm/mm- °C x10 ⁻⁶ | in./in./ °F x10 ⁻⁶ | mm/mm- °C x10 ⁻⁶ | in./in./ °F x10 ⁻⁶ | mm/mm- °C x10 ⁻⁶ | in./in./ °F x10 ⁻⁶ | mm/mm- °C x10 ⁻⁶ |
| 909 | 5.0 | 9.0 | 5.4 | 9.7 | 5.8 | 10.4 | 6.2 | 11.2 | 6.6 | 11.9 |
| 242® | 6.8 | 12.2 | 6.8 | 12.3 | 7.0 | 12.6 | 7.2 | 13.0 | 7.7 | 13.9 |
| B | 6.7 | 12 | 6.7 | 12.0 | 6.7 | 12.0 | 6.9 | 12.4 | 7.1 | 12.8 |
| N | 7.3 | 13.1 | 7.4 | 13.3 | 7.5 | 13.5 | 7.6 | 13.7 | 7.8 | 14.0 |
| S | 7.4 | 13.2 | 7.5 | 13.5 | 7.6 | 13.7 | 7.8 | 14.0 | 8.0 | 14.4 |
| X | 8.4 | 15.1 | 8.5 | 15.3 | 8.6 | 15.5 | 8.6 | 15.7 | 8.8 | 15.8 |

引張特性

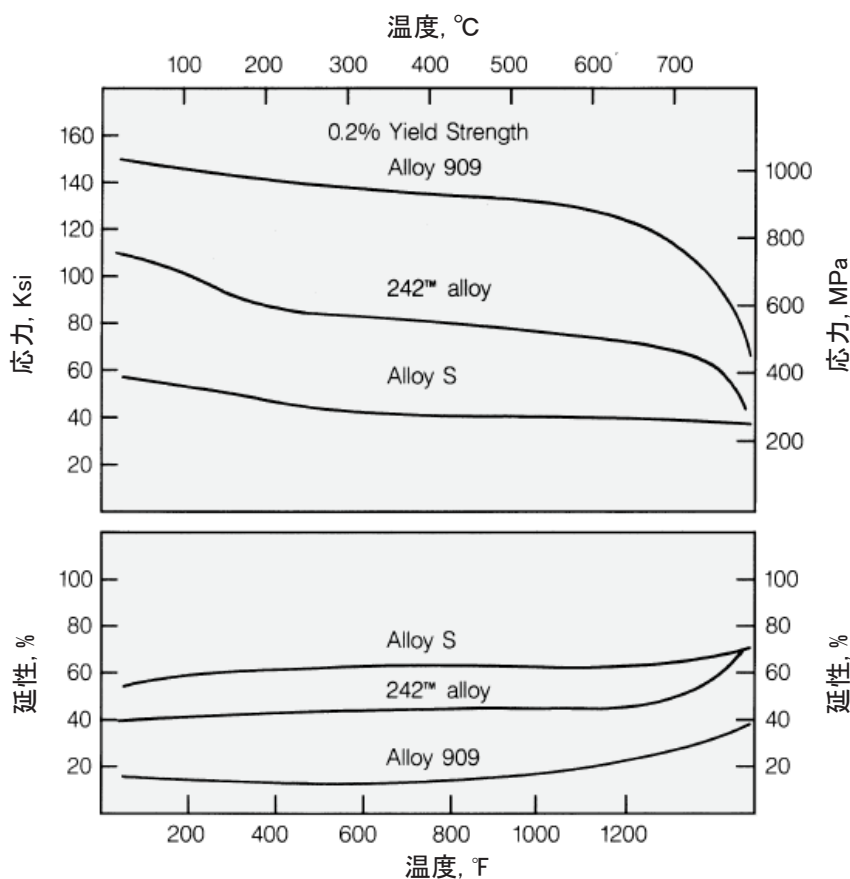
棒材およびリング材- アニールおよび時効処理

| 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 | 122.4 | 844 | 187.4 | 1292 | 33.7 | 45.7 |
| 200 | 93 | 110.4 | 761 | 180.7 | 1246 | 31.7 | 47 |
| 400 | 204 | 102.3 | 705 | 173.5 | 1196 | 33 | 51.8 |
| 600 | 316 | 96.5 | 665 | 168.6 | 1162 | 33.4 | 48.4 |
| 800 | 427 | 86.3 | 595 | 161.3 | 1112 | 37.6 | 45.9 |
| 1000 | 538 | 78.3 | 540 | 156.3 | 1078 | 38.3 | 49.9 |
| 1200 | 649 | 82.7 | 570 | 144.9 | 999 | 33.2 | 41.1 |
| 1400 | 760 | 44.9 | 310 | 106.2 | 732 | 44.3 | 54.1 |
| 1600 | 871 | 44.8 | 309 | 72.5 | 500 | 49.7 | 85.1 |
| 1800 | 982 | 30.6 | 211 | 42 | 290 | 54 | 97.8 |

RT= 室温

降伏強度および伸びの比較*

HAYNES® 242®合金は、HASTELLOY® S合金のような典型的な固溶強化型ニッケル基合金よりもはるかに高い降伏強度を示しますが、十分に熱処理された状態で優れた延性も有しています。このことは、特に、242®合金の低膨張係数と熱曝露後の優れた延性維持と組み合わせたときに、ガスタービンのリングおよびケーシングにとって優れたコンテインメント特性を有することにつながります。この特性の組み合わせは、1300°F (704°C) 以下の締結具およびボルト締め用途域にも良く適しています。



*厚板材料または製造業者のデータ

引張特性(続き)

熱間圧延した厚板 - アニールおよび時効処理^(a)

| 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 | 126 | 868 | 193 | 1330 | 36 | - |
| 400 | 204 | 101 | 696 | 176 | 1213 | 43 | 52 |
| 800 | 427 | 91 | 627 | 165 | 1137 | 45 | 52 |
| 1000 | 538 | 89 | 613 | 164 | 1130 | 44 | 51 |
| 1100 | 593 | 89 | 613 | 160 | 1102 | 44 | 51 |
| 1200 | 649 | 87 | 599 | 141 | 971 | 29 | 31 |
| 1300 | 704 | 73 | 503 | 118 | 813 | 28 | 30 |
| 1400 | 760 | 48 | 331 | 94 | 648 | 93 | 71 |

冷間圧延した薄板 - アニールおよび時効処理^(a)

| 試験温度 | | 0.2% 耐力 | | 極限引張強さ | | 伸び |
|------|-----|---------|-----|--------|------|----|
| °F | °C | ksi | MPa | ksi | MPa | % |
| RT | RT | 120 | 827 | 187 | 1288 | 38 |
| 1000 | 538 | 106 | 730 | 165 | 1137 | 31 |
| 1100 | 593 | 102 | 703 | 150 | 1034 | 18 |
| 1200 | 649 | 96 | 661 | 135 | 930 | 14 |
| 1300 | 704 | 83 | 572 | 109 | 751 | 10 |
| 1400 | 760 | 57 | 393 | 92 | 634 | 98 |

^(a)各製品形態の2ヒートに対して、1ヒート当たり2回の試験の平均。

溶体化処理 + 1200°F (649°C) で 48時間の時効処理。

冷間圧延した薄板 - 冷間圧延状態および冷間圧延+時効処理

HAYNES® 242® 合金は、冷間圧延して直接時効処理した製品状態で優れた強度と延性を有しています。この合金の低熱膨張特性と組み合わせることで、締結具やばね材料として優れた選択肢となります。

| 条件 | 試験温度 | | 0.2% 耐力 | | 極限引張強さ | | 伸び |
|-----------------------|------|-----|---------|------|--------|------|----|
| | °F | °C | ksi | MPa | ksi | MPa | % |
| M.A. | RT | RT | 65.3 | 450 | 137.6 | 950 | 47 |
| M.A. + 20% C.W. | RT | RT | 139.5 | 960 | 169.6 | 1170 | 20 |
| M.A. + 40% C.W. | RT | RT | 181.3 | 1250 | 217.9 | 1500 | 8 |
| M.A. + Age | RT | RT | 130 | 895 | 192 | 1325 | 32 |
| M.A. + 20% C.W. + Age | RT | RT | 173 | 1195 | 209.5 | 1445 | 21 |
| M.A. + 40% C.W. + Age | RT | RT | 219.7 | 1515 | 244.7 | 1685 | 11 |
| M.A. + 40% C.W. + Age | 1100 | 595 | 191.4 | 1320 | 201.9 | 1390 | 11 |
| M.A. + 40% C.W. + Age | 1200 | 649 | 145.9 | 1005 | 198.7 | 1370 | 8 |
| M.A. + 40% C.W. + Age | 1300 | 705 | 134.3 | 925 | 183.7 | 1265 | 11 |
| M.A. + 40% C.W. + Age | 1400 | 760 | 94.1 | 650 | 156 | 1075 | 32 |

RT = 室温

M.A. = 溶体化処理

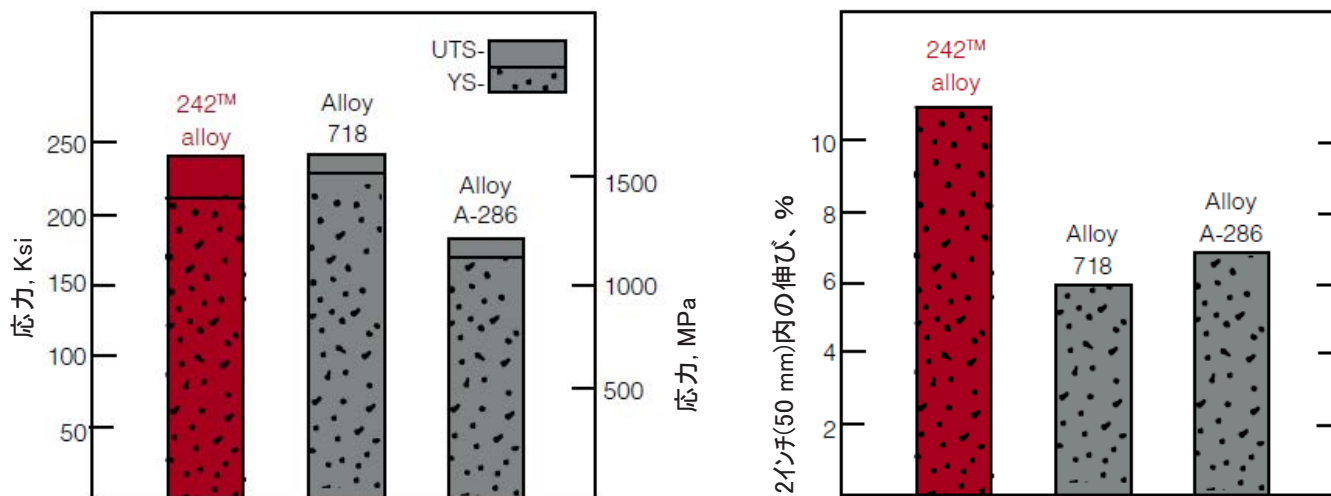
C.W. = 冷間加工

Age = 標準の時効処理

引張特性(続き)

締結用合金の引張特性の比較*

HAYNES® 242®合金は、他の冷間加工して直接時効処理した締結用合金と非常によく比較されます。以下のグラフは、40%圧下率の冷間圧延と時効処理を施した薄板製品の室温引張特性を比較して示しています。

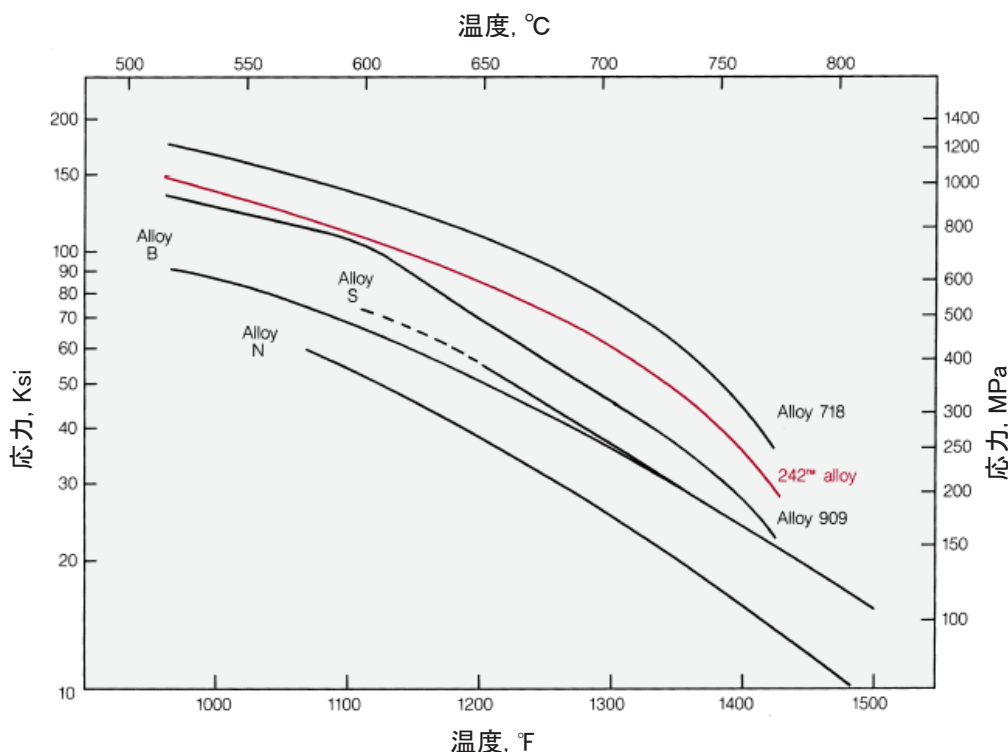


*合金の冷間圧延の圧下率は40%。242®合金の時効処理;1200°F(649°C)/24時間/空冷合金718の時効処理;1325°F(718°C)/8時間/1150°F(621°C)まで炉冷/8時間/空冷合金A-286の時効処理;1200°F(649°C)/16時間/空冷

クリープ・ラプチャー強度

HAYNES® 242®合金は、時効状態での優れた強度と延性、およびアニール状態での良好な加工性を兼ね備えた時効硬化型の材料です。1300°F(704°C)までの強度が制限された用途に特に有効で、この温度域では、典型的な固溶強化型合金の2倍の強度があります。もっと高い温度でも使用でき、その温度での固溶強化強度は依然として優れていますが、耐酸化性からは約1,500 - 1600°F(816 - 871°C)までの使用に制限されます。

100時間ストレスラプチャー強度の比較*



*Alloy B および Alloy N は薄板製品。その他は全て熱間鍛造材又は圧延した厚板、棒材、リング材。

クリープ・ラプチャー強度(続き)

時効硬化処理した242® 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 | | | | | | | |
|------|-----|------|---------------------------|------|-----------|-----|-------------|-----|--------------|------|
| | | | 10 Hours | | 100 Hours | | 1,000 Hours | | 10,000 Hours | |
| °F | °C | % | ksi | MPa | ksi | MPa | ksi | MPa | ksi | MPa |
| 1000 | 538 | 0.5 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | R | 153 | 1055 | 138 | 952 | 122 | 841 | 109 | 752 |
| 1100 | 593 | 0.5 | - | - | - | - | - | - | 75 | 517 |
| | | 1 | - | - | - | - | - | - | 79 | 545 |
| | | R | 126 | 869 | 112 | 772 | 100 | 690 | 85 | 586 |
| 1200 | 649 | 0.5 | - | - | 82 | 565 | 62 | 427 | 38 | 262 |
| | | 1 | - | - | 85 | 586 | 66 | 455 | 42 | 290 |
| | | R | 105* | 724* | 91 | 627 | 75 | 517 | 48 | 331 |
| 1300 | 704 | 0.5 | 72 | 496 | 48 | 331 | 33 | 228 | 13* | 90* |
| | | 1 | 75 | 517 | 53 | 365 | 37 | 255 | 17* | 117* |
| | | R | 87* | 600* | 66 | 455 | 44 | 303 | 25 | 172 |
| 1400 | 760 | 0.5 | 24 | 165 | 12 | 83 | - | - | - | - |
| | | 1 | 27 | 186 | 15 | 103 | 8 | 55 | - | - |
| | | R | 46 | 317 | 29 | 200 | 18 | 124 | - | - |

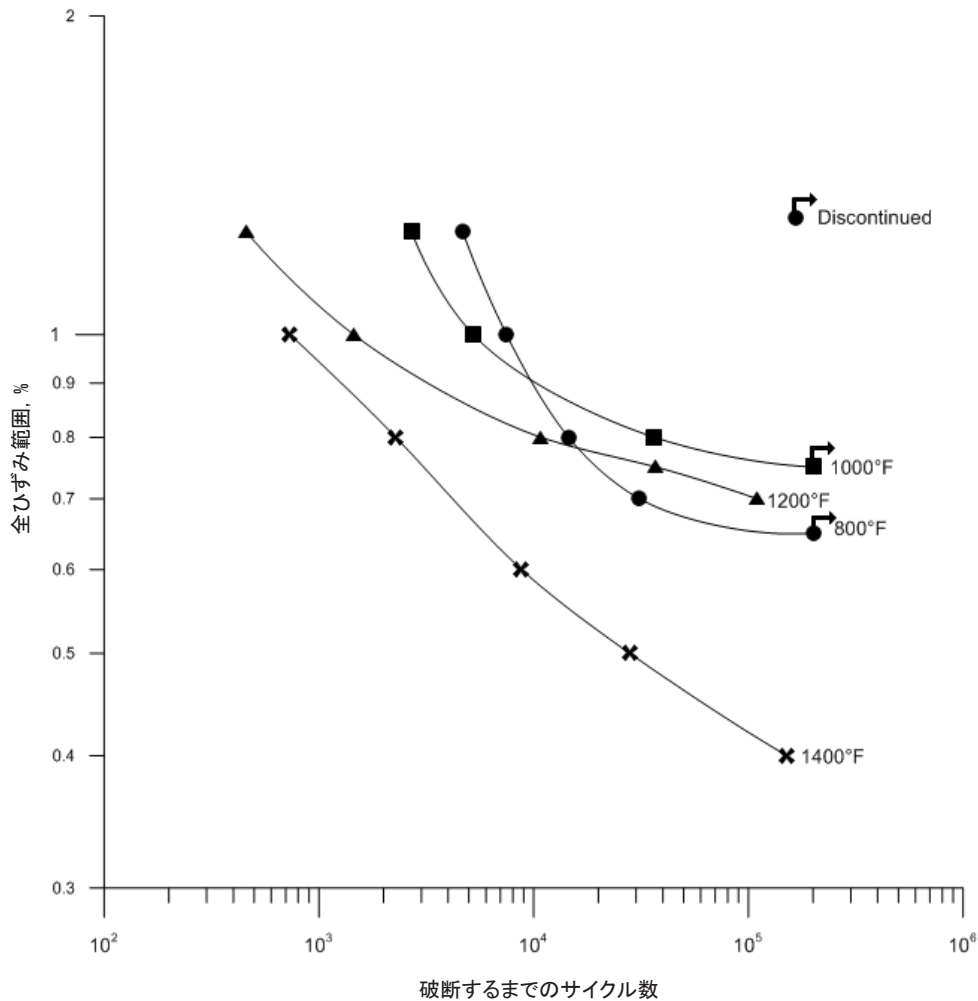
*Significant extrapolatio

時効硬化処理した242® 薄板

| 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 | | | | | |
|------|-----|------|---------------------------|------|-----------|-----|-------------|-----|
| | | | 10 Hours | | 100 Hours | | 1,000 Hours | |
| °F | °C | % | ksi | MPa | ksi | MPa | ksi | MPa |
| 1000 | 538 | 0.5 | - | - | - | - | - | - |
| | | 1 | - | - | - | - | - | - |
| | | R | - | - | 133 | 917 | 125 | 862 |
| 1100 | 593 | 0.5 | - | - | - | - | 97 | 669 |
| | | 1 | - | - | - | - | 102 | 703 |
| | | R | - | - | 117 | 807 | 110 | 758 |
| 1200 | 649 | 0.5 | - | - | 79 | 545 | 58 | 400 |
| | | 1 | - | - | 82 | 565 | 62 | 427 |
| | | R | 110* | 758* | 90 | 621 | 69 | 476 |
| 1300 | 704 | 0.5 | 59 | 407 | 44 | 303 | 33 | 228 |
| | | 1 | 64 | 441 | 47 | 324 | 35 | 241 |
| | | R | 80 | 552 | 57 | 393 | 41 | 283 |
| 1400 | 760 | 0.5 | 21 | 145 | 12* | 83* | - | - |
| | | 1 | 24 | 165 | 14 | 97 | - | - |
| | | R | 41 | 283 | 25 | 172 | 15 | 103 |

疲労特性

HAYNES® 242® 合金は、高温で優れた低サイクル疲労特性を示します。800~1400°F (427~760°C)の温度範囲で行われた、ひずみ制御試験の結果を以下に示します。試料は、厚板を機械加工したものです。試験は、周波数が20 cpm (0.33 Hz)で、完全両振り (R = -1) の条件で行いました。



応力制御切欠き部 LCF 特性 (熱間圧延したリング材)

以下の試験結果は、実際のガスタービンエンジン部品用途向けに設計された、熱間圧延して十分に熱処理されたリング材から得られたものです。試験は、2重切欠きがある丸棒試験片 (Kt=2.18)を用いて接線方向に行いました。応力比 R=0.05で荷重は一軸繰り返し、サイクル周波数は20 cpm (0.33 Hz)でした。

| 最大応力 | | 1200°F (649°C)での破断するまでのサイクル数, NF | |
|------|-----|----------------------------------|----------------|
| ksi | MPa | 242®合金 | 909合金 |
| 110 | 760 | 845 | 2,835 |
| 100 | 690 | 12,220 | 22,568 |
| 95 | 655 | 32,587 | 13,796 |
| 90 | 620 | 76,763 | 55,679; 40,525 |
| 85 | 585 | 297,848 | 47,707; 43,701 |
| 80 | 550 | 304,116* | 129,573** |

* 198,030 サイクルで割れは発見されず。200,000 サイクルで 8 mil (200 μm)の割れを発見。

** 45,800 サイクルで割れは発見されず。47,770 サイクルで 8 mil (200 μm)の割れを発見。

衝撃強さ

| 製品形態 | 条件 | 試験温度 | | 衝撃強さ | |
|----------|-----------------|------|------|--------|-----|
| | | °F | °C | ft-lbf | J |
| プレート(厚板) | 溶体化処理 | RT | RT | 198 | 268 |
| プレート(厚板) | 溶体化処理 | -320 | -196 | 150 | 203 |
| 棒 | 溶体化処理 | RT | RT | 401 | 544 |
| 棒 | 溶体化処理 | -320 | -196 | 343 | 465 |
| プレート(厚板) | 時効硬化処理* | RT | RT | 91 | 123 |
| リング | 溶体化処理 + 時効硬化処理* | RT | RT | 51 | 69 |

*時効硬化処理条件: 1200°F (649°C) / 24 h / 空冷

高温硬度データ

以下は、標準真空炉高温硬度試験の結果です。元の値は DPH (ビッカース) 単位の計測値で、ロックウェル C/BW スケールは換算値です。

| 合金 | 800°F (423°C) | | 1000°F (538°C) | | 1200°F (649°C) | | 1400°F (760°C) | | 1600°F (871°C) | |
|-------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| | ビッカース | ロックウェル | ビッカース | ロックウェル | ビッカース | ロックウェル | ビッカース | ロックウェル | ビッカース | ロックウェル |
| 242® | 271 | 26 HRC | 263 | 24 HRC | 218 | 95 HRBW | 140 | 75 HRBW | 78 | - |
| 6B | 269 | 26 HRC | 247 | 22 HRC | 225 | 98 HRBW | 153 | 81 HRBW | 91 | - |
| 25 | 171 | 87 HRBW | 160 | 83 HRBW | 150 | 80 HRBW | 134 | 74 HRBW | 93 | - |
| 188 | 170 | 86 HRBW | 159 | 83 HRBW | 147 | 77 HRB | 129 | 72 HRBW | 89 | - |
| 230® | 142 | 77 HRBW | 139 | 76 HRBW | 132 | 73 HRB | 125 | 70 HRBW | 75 | - |
| 556® | 132 | 73 HRBW | 129 | 72 HRBW | 118 | 67 HRB | 100 | 56 HRBW | 67 | - |

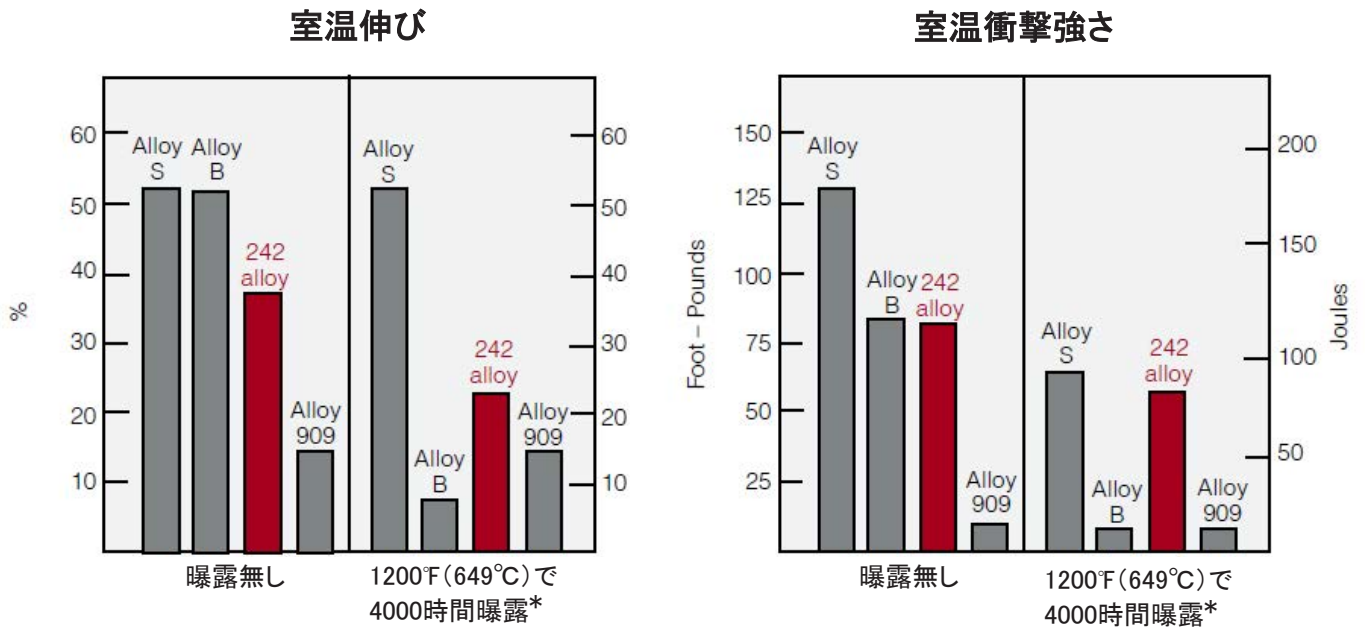
HRC = ロックウェル硬さ "C".

HRBW = ロックウェル硬さ "B", タングステンカーバイド球

熱安定性

HAYNES® 242®合金は、ある温度で長期間熱曝露された後でも優れた延性と衝撃強さを保持します。その高強度と低熱膨張特性とを組み合わせることにより、ガスタービンの静的構造物において非常に良好なコンテインメント特性が得られます。以下のグラフは、1200°F (649°C)で4000時間曝露した後の、242®合金と他の関連材料の室温での残留伸びおよび衝撃強さを示しています。

残留延性および衝撃強度の比較



*Alloy 909 のデータは1000時間での値

1200°F (649°C)で曝露した後の室温特性*

| 曝露時間 h | 0.2% 耐力 | | 極限引張強さ | | 伸び % | 絞り % | シャルピー 衝撃強さ | |
|-----------|---------|-----|--------|------|---------|---------|---------------|----|
| | ksi | MPa | ksi | MPa | | | ft.-lbs. | J |
| 0 | 110 | 758 | 179 | 1234 | 39 | 44 | 66 | 90 |
| 1000 | 119 | 820 | 194 | 1338 | 28 | 38 | 41 | 56 |
| 4000 | 122 | 841 | 196 | 1351 | 25 | 37 | 31 | 42 |
| 8000 | 121 | 834 | 193 | 1331 | 24 | 39 | 26 | 35 |

*試料は曝露した厚板を機械加工。2回の繰り返し試験。

物理的特性

| 物理的特性 | 英国单位 | | メートル単位 | |
|-------|-------------|---|-------------|--|
| 密度 | RT | 0.327 lb/in ³ | RT | 9.05 g/cm ³ |
| 溶融温度 | 2350-2510°F | - | 1288-1377°C | - |
| 電気抵抗 | RT | 48.0 μohm-in | RT | 122.0 μohm-cm |
| | 200°F | 48.5 μohm-in | 100°C | 123.4 μohm-cm |
| | 400°F | 49.3 μohm-in | 200°C | 125.1 μohm-cm |
| | 600°F | 50.0 μohm-in | 300°C | 126.7 μohm-cm |
| | 800°F | 50.6 μohm-in | 400°C | 128.0 μohm-cm |
| | 1000°F | 51.1 μohm-in | 500°C | 129.5 μohm-cm |
| | 1200°F | 51.7 μohm-in | 600°C | 130.6 μohm-cm |
| | 1400°F | 52.4 μohm-in | 700°C | 132.0 μohm-cm |
| | 1600°F | 51.3 μohm-in | 800°C | 132.4 μohm-cm |
| | 1800°F | 50.4 μohm-in | 900°C | 129.8 μohm-cm |
| | - | - | 1000°C | 127.6 μohm-cm |
| 熱拡散率 | RT | 4.7 x 10 ⁻³ in ² /s | RT | 30.5 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | 200°F | 5.1 x 10 ⁻³ in ² /s | 100°C | 32.9 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | 400°F | 5.6 x 10 ⁻³ in ² /s | 200°C | 35.9 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | 600°F | 6.1 x 10 ⁻³ in ² /s | 300°C | 39.0 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | 800°F | 6.6 x 10 ⁻³ in ² /s | 400°C | 41.9 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | 1000°F | 7.2 x 10 ⁻³ in ² /s | 500°C | 45.0 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | 1200°F | 7.9 x 10 ⁻³ in ² /s | 600°C | 48.1 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | 1400°F | 7.2 x 10 ⁻³ in ² /s | 700°C | 51.2 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | 1600°F | 7.0 x 10 ⁻³ in ² /s | 800°C | 44.2 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | 1800°F | 7.6 x 10 ⁻³ in ² /s | 900°C | 46.6 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| | - | - | 1000°C | 49.6 x 10 ⁻³ cm ² /s |
| 熱伝導率 | RT | 75.7 Btu-in/ft ² -hr-°F | RT | 11.3 W/m-°C |
| | 200°F | 83.6 Btu-in/ft ² -hr-°F | 100°C | 12.6 W/m-°C |
| | 400°F | 96.1 Btu-in/ft ² -hr-°F | 200°C | 14.2 W/m-°C |
| | 600°F | 108.5 Btu-in/ft ² -hr-°F | 300°C | 15.9 W/m-°C |
| | 800°F | 120.9 Btu-in/ft ² -hr-°F | 400°C | 17.5 W/m-°C |
| | 1000°F | 133.3 Btu-in/ft ² -hr-°F | 500°C | 19.2 W/m-°C |
| | 1200°F | 145.7 Btu-in/ft ² -hr-°F | 600°C | 20.9 W/m-°C |
| | 1400°F | 158.2 Btu-in/ft ² -hr-°F | 700°C | 22.5 W/m-°C |
| | 1600°F | 170.6 Btu-in/ft ² -hr-°F | 800°C | 24.2 W/m-°C |
| | 1800°F | 183.0 Btu-in/ft ² -hr-°F | 900°C | 25.8 W/m-°C |
| | - | - | 1000°C | 27.5 W/m-°C |

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 | |
|---------|-----------|--------------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| 比熱 | RT | 0.092 Btu/lb-°F | RT | 386 J/Kg-°C |
| | 200°F | 0.097 Btu/lb-°F | 100°C | 405 J/Kg-°C |
| | 400°F | 0.100 Btu/lb-°F | 200°C | 419 J/Kg-°C |
| | 600°F | 0.103 Btu/lb-°F | 300°C | 431 J/Kg-°C |
| | 800°F | 0.106 Btu/lb-°F | 400°C | 439 J/Kg-°C |
| | 1000°F | 0.110 Btu/lb-°F | 500°C | 451 J/Kg-°C |
| | 1200°F | 0.118 Btu/lb-°F | 600°C | 470 J/Kg-°C |
| | 1400°F | 0.144 Btu/lb-°F | 700°C | 595 J/Kg-°C |
| | 1600°F | 0.146 Btu/lb-°F | 800°C | 605 J/Kg-°C |
| | 1800°F | 0.150 Btu/lb-°F | 900°C | 610 J/Kg-°C |
| | - | - | 1000°C | 627 J/Kg-°C |
| 平均熱膨張係数 | 70-200°F | 6.0 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-100°C | 10.8 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-400°F | 6.3 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-200°C | 11.3 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-600°F | 6.5 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-300°C | 11.6 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-800°F | 6.7 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-400°C | 11.9 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-1000°F | 6.8 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-500°C | 12.2 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-1100°F | 6.8 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-600°C | 12.3 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-1200°F | 6.9 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-650°C | 12.4 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-1300°F | 7.2 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-700°C | 13.0 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-1400°F | 7.7 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-750°C | 13.7 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-1600°F | 8.0 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-800°C | 14.0 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | 70-1800°F | 8.3 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | 25-900°C | 14.5 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| | - | - | 25-1000°C | 15.0 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ |
| 動弾性係数 | RT | 33.2 x 10 ⁶ psi | RT | 229 GPa |
| | 200°F | 32.7 x 10 ⁶ psi | 100°C | 225 GPa |
| | 400°F | 31.8 x 10 ⁶ psi | 200°C | 219 GPa |
| | 600°F | 30.8 x 10 ⁶ psi | 300°C | 213 GPa |
| | 800°F | 29.7 x 10 ⁶ psi | 400°C | 206 GPa |
| | 1000°F | 28.6 x 10 ⁶ psi | 500°C | 199 GPa |
| | 1200°F | 27.6 x 10 ⁶ psi | 600°C | 193 GPa |
| | 1400°F | 25.7 x 10 ⁶ psi | 700°C | 185 GPa |
| | 1600°F | 24.0 x 10 ⁶ psi | 800°C | 172 GPa |
| | 1800°F | 22.4 x 10 ⁶ psi | 900°C | 163 GPa |
| | - | - | 1000°C | 152 GPa |

RT= 室温

耐酸化性

HAYNES® 242®合金は、1500°F(816°C)以下の温度で非常に良好な耐酸化性を示し、これらの温度での連続または断続的な使用のための保護コーティングは必要ありません。この合金は、もっと高い温度での使用に対しては特別に設計されてはいませんが、短期間の曝露に耐えることができます。

1500°F(816°C)の空気流中に1008時間曝露させたときの耐酸化性の比較*

| 合金 | メタルロス | | 平均酸化層厚さ | |
|-------------|----------|----------|------------|-----------|
| | mils | µm | mils | µm |
| 242® | 0 | 0 | 0.5 | 13 |
| S | 0 | 0 | 0.5 | 13 |
| X | 0.1 | 3 | 1.1 | 28 |
| N | 0.4 | 10 | 1.2 | 30 |
| B | 7.2 | 183 | 8.2 | 208 |
| 909 | 4.4 | 112 | 19.4 | 493 |

*試験片は、試料を 7.0 ft/min (2.1m/min)の流速で通過する空気流中に曝露させました。試料は、1日に1回のサイクルで室温まで冷却しました。

空気流中に10か月間(7200h)、2か月に1回のサイクル**で曝露させたときの耐酸化性の比較

| 合金 | 800°F (427°C) | | | | 1000°F (538°C) | | | | 1200°F (649°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 |
| 718 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 3 | 0 | 0 | 0.2 | 5 |
| 242® | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 3 | 0 | 0 | 0.3 | 8 |
| 263 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 3 | 0 | 0 | 0.3 | 8 |

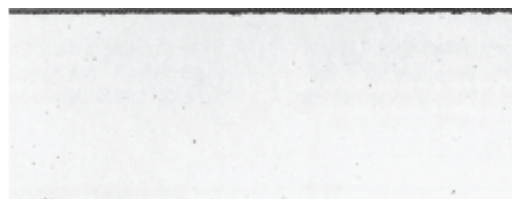
**試験片は、試料を 7.0 ft/min (2.1m/min)の流速で通過する空気流中に曝露させました。試料は、2か月に1回のサイクルで室温まで冷却しました。

1400°F(760°C)で500時間のバーナーリグ耐酸化性の比較***

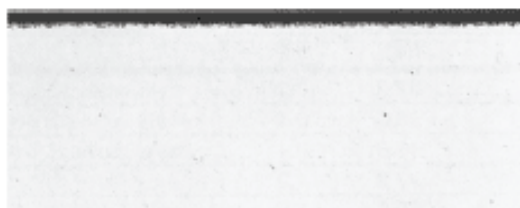
| 合金 | メタルロス | | 平均酸化層厚さ | |
|-------------|------------|-----------|------------|-----------|
| | mils | µm | mils | µm |
| N | 0.7 | 18 | 0.8 | 20 |
| 242® | 1.1 | 28 | 1.2 | 30 |
| B | 1.8 | 46 | 2.6 | 66 |
| 909 | 0.3 | 8 | 10.8 | 275 |

***バーナーリグ試験では、3/8 in x 2.5 in x 特定厚さ(9.5mm x 63.5mm x 特定厚さ)の複数の試料を回転する保持装置に取付け、No. 2燃料油を約50:1の空燃比で燃焼させてできる燃焼ガス中に曝しました。(燃焼ガスの流速は、マッハ数が約0.3でした。)試料は30分毎に自動的に燃焼ガス流から取り出され、ファンで外気温度付近まで冷却された後、燃焼ガス流中に戻されました。

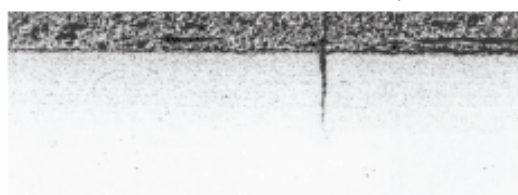
耐酸化性(続き)



HAYNES® 242® 合金
平均金属酸化層厚さ = 1.2 Mils(30 μm)



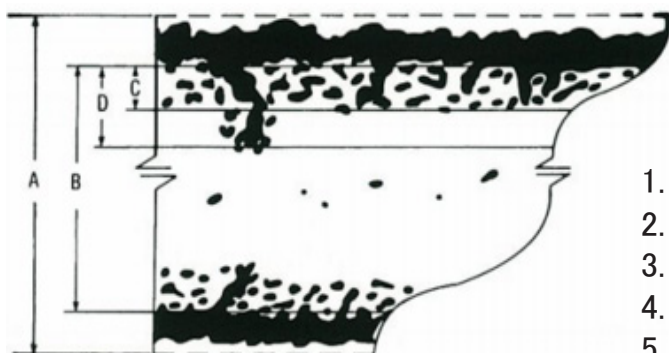
HASTELLOY® B 合金
平均金属酸化層厚さ = 2.6 Mils(66 μm)



合金 909
平均金属酸化層厚さ = 10.8 Mils(275 μm)

上に示したマイクロ組織は、評価した3つの材料に対して示したバーナーリグ酸化試験データと関連しています。242®合金および合金Bの写真上部の黒い領域は、試験中に消失した厚さを表しています。合金909は、明らかにわずかな厚さ損失しか示しませんでした。これは、試料が酸素を吸収して、曝露中に実際に膨潤した結果であると考えられます。試料はまた、非常に厚く、粗いスケールおよび広範囲の内部酸化を発生しました。合金909には、試験した試料が拘束されていないにもかかわらず、熱サイクルによる顕著な割れの証拠もありました。

酸化試験の評価に使用し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. 平均金属酸化層厚さ = $((A - B)/2) + C$
5. 最大金属酸化層厚さ = $((A - B)/2) + D$

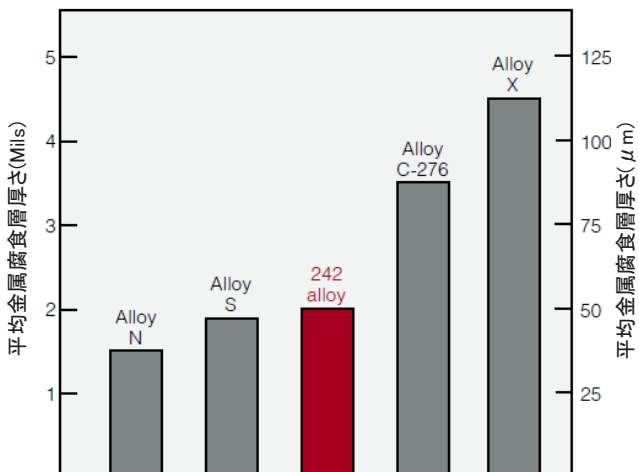
高温フッ素環境に対する耐性

高モリブデン含有量および低クロム含有量の材料が、一般に他の材料よりもフッ素含有環境での高温腐食に対する耐性に優れていることが研究によって示されています。HAYNES® 242® 合金はそのカテゴリーに属し、HAYNES® 242® 合金はそのカテゴリーに属し、フッ化ガスとフッ化塩環境の両方に優れた耐性を示します。

70% HF に対する 1670°F (910°C) で 136 時間での耐性の比較

| 合金 | 厚さ損失 | |
|-------------|-------------|------------|
| | mils | mm |
| 242® | 12.6 | 0.3 |
| S | 15.8 | 0.4 |
| N | 15.8 | 0.4 |
| 625 | 47.2 | 1.2 |
| 230® | 70.9 | 1.8 |
| C-22® | 78.7 | 2 |
| 600 | 141.7 | 3.6 |

KCl-KF-NaF 混合塩に対する耐性の比較



試料は、KCl-KF-NaF 混合塩に合計40 時間曝露
温度は、曝露の過程で1290~1650°F (699~
899°C) で周期的に変動。

溶融塩に対する耐性

試料は、1250°F(677°C)で1200時間、溶融フラックスに部分的に浸されました。フラックスは、ホウ酸、ホウ素元素、フッ化カリウム、四ホウ酸カリウム四水和物、ホウフッ化カリウム、二フッ化水素カリウム、および五ホウ酸カリウムで構成されていました。

| 合金 | 腐食速度 | |
|-------------|-------------|-----------|
| | mils / 24 h | μm / 24 h |
| 242® | 0.5 | 13 |
| N | 0.6 | 15 |
| C-276 | 0.9 | 23 |

耐窒化性

HAYNES® 242®合金は、窒化環境に対して非常に優れた耐性を持っています。試験は、アンモニア流中で、1800°F(982°C)で168時間行いました。吸窒量は、曝露前後の化学分析および試験片の曝露面積から決定しました。

| 合金 | 吸窒量 (mg/cm ²) |
|-------------|---------------------------|
| 214® | 0.3 |
| 242® | 0.7 |
| 600 | 0.9 |
| 230® | 1.4 |
| X | 3.2 |
| 800H | 4.0 |
| 316 SS | 6.0 |
| 304 SS | 7.3 |
| 310 SS | 7.7 |

塩水噴霧腐食に対する耐性

HAYNES® 242®合金は、1200°F(649°C)での硫酸ナトリウムを含んだ海水環境による腐食に対して優れた耐性を示します。試験は、試験片を300°F(149°C)に加熱し、海水を模擬した溶液を噴霧し、室温で1週間冷却および保管し、静止空气中で1200°F(649°C)に20時間加熱；室温まで冷却し、再び300°F(149°C)に加熱して噴霧し、室温で1週間保存する、という手順で実施しました。

| 合金 | メタルロス | | 最大腐食層厚さ | |
|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| | mils | µm | mils | µm |
| S | 0.1 | 2.5 | 0.2 | 5.1 |
| 242® | 0.15 | 3.8 | 0.3 | 7.6 |
| B | 0.2 | 5.1 | 0.3 | 7.6 |
| 909 | 0.4 | 10.2 | 0.2 | 30.5 |

耐水素脆性

水素および空気中で行われる切欠き付き室温引張試験は、242®合金が耐水素脆性において合金625とほぼ同等であり、多くの重要な材料よりも優れていることを示しています。試験は、MIL-P27201Bグレードの水素中において、0.005 in/min (0.13 mm/min)のクロスヘッド速度で行いました。

| 合金 | 水素圧力 | | 応力集中係数 Kt | 切欠き引張強度比 水素/空気 |
|-------------|--------------|-----------|--------------|-------------------|
| | psi | MPa | | |
| Waspaloy | 7,000 | 48 | 6.3 | 0.78 |
| 625 | 5,000 | 34 | 8 | 0.76 |
| 242® | 5,000 | 34 | 8 | 0.74 |
| 718 | 10,000 | 69 | 8 | 0.46 |
| R-41 | 10,000 | 69 | 8 | 0.27 |
| X-750 | 7,000 | 48 | 6.3 | 0.26 |

耐水溶液腐食性

242[®]合金は、耐水溶液腐食性を必要とする用途に特化して設計されたものではありませんが、ある種の媒体の中で、従来の耐食合金と比較して勝るとも劣らない耐性を示します。242[®]合金に対する以下のデータは、ミルアニール(溶体化処理)状態の試料で試験したものです。

| 腐食媒体 | 温度 | | 曝露時間 h | 腐食速度, Mils/year (mm/year) | | | | | | | |
|------------------------------------|-----|----|-----------|---------------------------|-------|------|------|-------------------|-------|------|------|
| | °F | °C | | 242 [®] | | B-2 | | C-22 [®] | | N | |
| | | | | mils | mm | mils | mm | mils | mm | mils | mm |
| 5% HF | 175 | 79 | 24 | 14 | 0.36 | 12 | 0.3 | 25 | 0.64 | 20 | 0.51 |
| 48% HF | 175 | 79 | 24 | 32 | 0.81 | 25 | 0.64 | 27 | 0.69 | 31 | 0.79 |
| 70% HF | 125 | 52 | 24 | 35 | 0.89 | 66 | 1.68 | 32 | 0.81 | 48 | 1.22 |
| 10% HC | 沸騰 | | 24 | 22 | 0.56 | 7 | 0.18 | 400 | 10.16 | 204 | 5.18 |
| 20% HCl | 沸騰 | | 24 | 41 | 1.04 | 15 | 0.38 | 380 | 9.65 | - | - |
| 55% H ₃ PO ₄ | 沸騰 | | 24 | 3 | 0.08 | 4 | 0.1 | 9 | 0.23 | - | - |
| 85% H ₃ PO ₄ | 沸騰 | | 24 | 4 | 0.1 | 4 | 0.1 | 120 | 3.05 | - | - |
| 10% H ₂ SO ₄ | 沸騰 | | 24 | 2 | 0.05 | 2 | 0.05 | 11 | 0.28 | 46 | 1.17 |
| 50% H ₂ SO ₄ | 沸騰 | | 24 | 5 | 0.13 | 1 | 0.03 | 390 | 9.91 | - | - |
| 99% ACETIC | 沸騰 | | 24 | <1 | <0.03 | 1 | 0.03 | - | 無し | - | - |

溶体化処理材の引張特性

溶体化処理した状態の材料の室温引張特性

| 形態 | 0.2% 耐力 | | 極限引張強さ | | 伸び % | 絞り % |
|----|---------|-----|--------|-----|---------|---------|
| | ksi | MPa | ksi | MPa | | |
| 薄板 | 60.7 | 419 | 131.8 | 909 | 65.6 | - |
| 厚板 | 60.3 | 416 | 131.1 | 904 | 65.5 | 71.6 |
| 棒 | 60.5 | 417 | 131.0 | 903 | 66.5 | 77.1 |

硬度および結晶粒度

溶体化処理時の室温硬度

| 形態 | 硬さ, HRBW | 典型的な ASTM 結晶粒度 |
|----|----------|----------------|
| 薄板 | 92 | 5 - 6.5 |
| 厚板 | 94 | 4 - 6.5 |
| 棒 | 90 | 3.5 - 6 |

HRBW= ロックウェル硬さ "B", タングステンカーバイド球

加工および溶接

HAYNES® 242® 合金は、優れた成形および溶接特性を備えています。ピース全体を一様な温度にするのに十分な時間浸した場合、約1800~2250°F (982~1232°C) の範囲の温度で熱間加工することができます。最初のブレークダウンは通常、温度範囲の上限で行い、仕上げは通常、結晶粒を微細化するためにより低い温度で行います。

その良好な延性の結果として、242® 合金は冷間加工によっても容易に成形できます。熱間または冷間加工した部品はすべて、最良の特性バランスを引き出すために、1200°F (649°C) で時効処理する前に、1900~2050°F (1037~1121°C) でアニールし、空冷またはより速い速度で冷却しなければなりません。

この合金は、ガスタングステンアーク、ガスマタルアーク、およびシールドメタルアークなどの様々なプロセスによって溶接することができます。サブマージアークや酸素アセチレン溶接などの高熱入力プロセスは推奨できません。

溶接手順

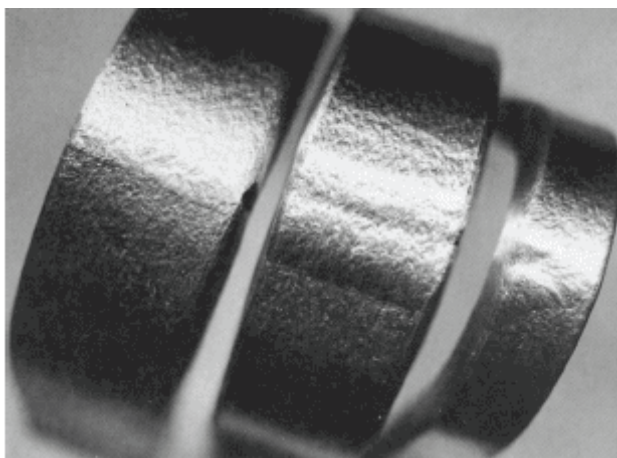
ほとんどの耐熱ニッケル基合金に共通の溶接手順を推奨します。これには、ストリンガービードの使用と、200°F (93°C) 未満のパス間温度が含まれます。予熱は必要ありません。清潔であることが重要で、溶接前にグリース、オイル、クレヨンの痕、作業場の汚れなどの除去に注意を払う必要があります。この合金はニッケル含量量が多いため、溶接パドルは鋼材と比較して幾分”動きがのろく”なります。溶融不足と不完全な溶け込み欠陥を避けるために、ルートの開口部および傾斜部は十分に開いていなければなりません。

溶加材

HAYNES® 242® 合金は、同一組成の溶加材を使用して接合しなければなりません。シールドメタルアーク溶接を用いる場合は、HASTELLOY® W 合金の被覆アーク溶接棒を推奨します。

溶接後の熱処理

HAYNES® 242® 合金は、通常、完全に時効した状態で使用されます。しかしながら、最良の接合および全体的な機械的特性を引き出すために、成型および溶接に引き続いて、時効処理する前に完全溶体化処理することを推奨します。



同一組成の溶加材を用いて溶接した、厚さ 0.5 in (13 mm) の 242® 合金厚板の典型的なルート、フェイス、および横曲げ(写真の左から右)。曲げ半径は、1.0 in (25 mm)。

機械加工

HAYNES® 242®合金は、溶体化処理あるいは時効処理状態のいずれの状態でも機械加工することができます。超硬工具の使用を推奨します。アニールした状態(典型的な硬度:HRB 95-100)では、この合金はやや”ゴム状”です。時効硬化した状態(典型的な硬度:HRC 35-39)で機械加工すれば、より良い結果が得られるかも知れません。仕上げのターニングは、超硬工具を使用して、切込深さを 0.010-0.020 in (0.25-0.51 mm)の範囲、回転速度を 200-400 rpm、40-80 sfm とし、水性潤滑剤を使用することで問題なく行うことができます。

適合規格および基準

規格

| HAYNES® 242® 合金 (N10242) | |
|-----------------------------|---|
| 薄板、厚板および帯板 | SB 434/B 434 P= 44 |
| ビレット、ロッドおよび棒 | SB 573/B 573 B 472 P= 44 |
| 被覆アーク溶接棒 | - |
| 裸溶接棒およびワイヤ | SFA 5.14, F= 44 (ERNiMo-12) A 5.14 (ERNiMo-12) |
| 継目なしパイプおよびチューブ | SB 622/B 622 P= 44 |
| 溶接パイプおよびチューブ | SB 619/B 619 SB 626/B 626 P= 44 |
| 継手類 | SB 366/B 366 P= 44 |
| 鍛造材 | SB 564/B 564 P= 44 |
| DIN | - |
| その他 | - |

適合規格および基準(続き)

基準

| HAYNES® 242® 合金 (N10242) | | | |
|-----------------------------|--------------|----------|-----------------------------|
| ASME | Section I | - | |
| | Section III | Class 1 | - |
| | | Class 2 | - |
| | | Class 3 | - |
| | Section IV | HF-300.2 | - |
| | Section VIII | Div. 1 | 1000°F (538°C) ¹ |
| | | Div. 2 | - |
| | Section XII | - | |
| | B16.5 | - | |
| | B16.34 | - | |
| | B31.1 | - | |
| B31.3 | - | | |
| MMPDS | - | | |

¹承認された材料形態: 厚板、薄板、棒、鍛造材、継手類、溶接パイプ/チューブ、継目なしパイプ/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。