# دليل
# اختيار المواد

إحدى عشرة درجة مادة لشاشات السلك الإسفيني — الخصائص والحدود والتطبيقات النموذجية، مستمدة من قاعدة البيانات الهندسية وراء معالج اختيار المواد لدينا.

مقدمة

# اختيار المادة يعني مطابقة أربع حقائق تشغيلية.

تعمل شاشات السلك الإسفيني في محطات معالجة المياه، وخطوط معالجة المعادن، والأوعية المخصصة للأغذية، والمفاعلات الكيميائية، والواجهات المعمارية. كل بيئة تحمّل مادة الشاشة بشكل مختلف. تُقيَّم كل درجة في هذا الدليل مقابل أربعة محاور — استخدمها لتضييق الخيار قبل قراءة الصفحات التفصيلية التي تليها.

## التعرض للكلوريد

تخترق أيونات الكلوريد طبقة الأكسيد الخاملة على الفولاذ المقاوم للصدأ وتبدأ التآكل النقري أو التشقق التآكلي الإجهادي. يتنبأ **الرقم المكافئ لمقاومة التنقير** (PREN = %Cr + 3.3·%Mo + 16·%N) بمدى مقاومة الدرجة لهجوم الكلوريد. يتحمّل 18 PREN نحو 200 ppm من $Cl^-$ في درجة الحرارة المحيطة؛ ويتعامل 24 PREN مع 1000 ppm؛ ويتجاوز الدوبلكس والسوبر دوبلكس من 3 600 إلى 50 000 ppm.

## درجة حرارة التشغيل

تثير درجات الحرارة العالية ثلاثة أنماط فشل: ترسيب الكربيدات عند مناطق اللحام (التحسيس)، وانخفاض مقاومة الكلوريد، والزحف. فوق 400 °C تمنع الدرجات المثبَّتة بالتيتانيوم (**SS 316Ti, SS 321**) التحسيس. تُحدّ سبائك الدوبلكس عند 300 °C — منطقة التقصّف عند 475 °C تُدهور طور الفريت فوق ذلك.

## الحمل الكاشط

تبري المواد الصلبة المتحركة عبر وجه الشاشة السلك الإسفيني. يُقيَّم الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنيتي بدرجة 1 على مقياس البري رباعي النقاط لدينا. ويُقيَّم الدوبلكس بدرجة 2. للبري الشديد — دقائق التعدين، الركام — يوفّر **S700** أو **Hardox 450/500** ثلاثة إلى أربعة أضعاف العمر الخدمي، مع قبول المقايضة بانعدام مقاومة التآكل.

## التكلفة & التصنيع

تُعبَّر التكلفة كمؤشر نسبةً إلى (1.00) SS 304. يقع SS 316L عند **1.30**. ويقترب Super Duplex 2507 من 2×. تتراوح الفولاذات الإنشائية بين 0.35–0.55، وHardox نحو 0.70. تتراكم تعقيدات التصنيع فوق ذلك: يتطلب الدوبلكس والسوبر دوبلكس إجراءات لحام مؤهلة، والتي تميل إلى زيادة مهلة التسليم أكثر من علاوة المادة الخام نفسها.

لمحة سريعة

# كل الدرجات الإحدى عشرة على صفحة واحدة.

خصائص مجمّعة من قاعدة بيانات المواد. حدود الكلوريد للخدمة في درجة الحرارة المحيطة؛ قسّمها على اثنين للتعرض للكلوريد الساخن. يستخدم مؤشر التكلفة 1.00 = SS 304 كخط أساس.

| الدرجة | التسمية | أقصى حرارة | PREN | حد Cl⁻ | مؤشر التكلفة | اللحام | الأفضل لـ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الفولاذات المقاومة للصدأ الأوستنيتية | | | | | | | |
| **SS 304** | 1.4301 · S30400 | 800 °C | 18.0 | 200 ppm | 1.00 | جيد | ترشيح المياه العذبة العام، البيئات المتحكَّم بها |
| **SS 304L** | 1.4307 · S30403 | 800 °C | 18.0 | 200 ppm | 1.00 | ممتاز | تجميعات السلك الإسفيني الملحومة، الخدمة المعيارية |
| **SS 316** | 1.4401 · S31600 | 800 °C | 24.2 | 1 000 ppm | 1.30 | جيد | المياه المعالَجة بالكلور، الأحماض الخفيفة، الأجواء البحرية |
| **SS 316L** | 1.4404 · S31603 | 800 °C | 24.2 | 1 000 ppm | 1.30 | ممتاز | معيار الصناعة · متوافق مع FDA, 3-A, EHEDG |
| **SS 316Ti** | 1.4571 · S31635 | 900 °C | 24.2 | 1 000 ppm | 1.35 | جيد | خدمة الكلوريد الساخن، التدفقات البتروكيماوية |
| **SS 321** | 1.4541 · S32100 | 900 °C | 18.0 | 200 ppm | 1.10 | جيد | الخدمة الساخنة الخالية من الكلوريد (العادم، الفرن، أتون الحرق) |
| الدوبلكس والسوبر دوبلكس | | | | | | | |
| **Duplex 2205** | 1.4462 · S32205 | 300 °C | 35.0 | 3 600 ppm | 1.22 | متوسط | المياه قليلة الملوحة، البحرية، الكلوريد > 1 000 ppm |
| **Super Duplex 2507** | 1.4410 · S32750 | 300 °C | 42.5 | 50 000 ppm | 1.96 | متوسط | الغمر الكامل في مياه البحر، التحلية |
| إنشائية & مقاومة للبري | | | | | | | |
| **S355** | EN 10025-2 | 400 °C | — | — | 0.35 | ممتاز | الأطر الإنشائية المطلية، الشاشات الداخلية الجافة |
| **S700** | EN 10149-2 | 300 °C | — | — | 0.55 | متوسط | شاشات التعدين عالية الحمل، الطبقات الاهتزازية |
| **Hardox 450/500** | SSAB proprietary | 250 °C | — | — | 0.70 | محدود | البري الشديد، معالجة المعادن الجافة |

**حدود الكلوريد.** القراءات المعروضة عند درجة الحرارة المحيطة؛ تقلّل خدمة الكلوريد الساخن الحد بعامل أربعة تقريبًا (ينخفض SS 316L من 1 000 إلى 250 ppm عند درجات الحرارة المرتفعة). للخدمة المجمّعة بالحرارة والكلوريد فوق 60 °C، ارتقِ إلى SS 316Ti أو درجات الدوبلكس.

الفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ — الجزء 1

# عائلتا 304 و316.

## SS 304

S30400 · 1.4301

### أوستنيتي للأغراض العامة

| PREN | CL⁻ | أقصى حرارة | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| 18.0 | ppm 200 | C° 800 | 1.00 |

الفولاذ المقاوم للصدأ الأكثر فعالية من حيث التكلفة. موثوق في المياه العذبة والبيئات المحمية. يفقد مقاومة التآكل بسرعة في الخدمة المعالَجة بالكلور أو قليلة الملوحة.

**نقاط القوة**

- أقل تكلفة بين الفولاذات المقاومة للصدأ
- قابلية تشكيل جيدة
- توافر واسع للمقاطع

**الحدود**

- تنقير فوق 200 ppm من Cl⁻
- غير مناسب للتجميعات الملحومة (يُفضَّل 304L)

## SS 304L

S30403 · 1.4307

### 304 منخفض الكربون للتجميعات الملحومة

| PREN | CL⁻ | أقصى حرارة | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| 18.0 | ppm 200 | C° 800 | 1.00 |

الدرجة المفضّلة للسلك الإسفيني الملحوم بالمقاومة. يمنع محتوى الكربون المنخفض ترسيب كربيد الكروم عند مناطق اللحام، مبقيًا مقاومة التآكل الكاملة على امتداد كل وصلة.

**نقاط القوة**

- لا تحسيس لحام
- نفس سعر SS 304
- أفضل نسبة تكلفة–أداء للخدمة العامة

**الحدود**

- نفس سقف الكلوريد لدرجة 304
- إجهاد خضوع أقل قليلًا

## SS 316

S31600 · 1.4401

### حامل للموليبدينوم، قادر على تحمّل الكلوريد

| PREN | CL⁻ | أقصى حرارة | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| 24.2 | ppm 1 000 | C° 800 | 1.30 |

تضيف نسبة 2–3 % من الموليبدينوم لرفع PREN من 18 إلى 24. مناسب لمياه العمليات المعالَجة بالكلور، والأجواء الساحلية، والتدفقات الكيميائية الخفيفة.

**نقاط القوة**

- تحمّل كبير للكلوريد
- مقاومة جيدة للأحماض
- قادر على تحمّل الأجواء البحرية

**الحدود**

- خطر تحسيس اللحام
- استخدم 316L للتجميعات الملحومة

## SS 316L

S31603 · 1.4404

### معيار الصناعة للسلك الإسفيني

| PREN | CL⁻ | أقصى حرارة | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| 24.2 | ppm 1 000 | C° 800 | 1.30 |

الدرجة الافتراضية لمعظم شاشات السلك الإسفيني. يجمع بين قابلية اللحام منخفضة الكربون ومقاومة الكلوريد بالموليبدينوم، ويفي بمتطلبات FDA و3-A وEHEDG لخدمة الأغذية والأدوية.

**نقاط القوة**

- متوافق مع FDA / 3-A / EHEDG
- قابلية لحام ممتازة
- قابل للصقل الكهربائي من أجل النظافة الصحية

**الحدود**

- غير مناسب للغمر طويل الأمد في مياه البحر

الأوستنيتي — الجزء 2 & الدوبلكس

# الأوستنيتي عالي الحرارة، بالإضافة إلى عائلة الدوبلكس.

## SS 316Ti

S31635 · 1.4571

**خدمة الكلوريد عالية الحرارة**

| PREN | CL⁻ | أقصى حرارة | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| 24.2 | 1 000 ppm | 900 °C | 1.35 |

يمنع التثبيت بالتيتانيوم ترسيب الكربيدات فوق 400 °C، مبقيًا مقاومة الكلوريد عند درجة الحرارة المرتفعة. يُحدَّد للتدفقات البتروكيماوية ومعالجة غازات المداخن حيث تتزامن الحرارة والكلوريد.

**نقاط القوة**

- خدمة مستدامة عند 900 °C
- مقاومة الكلوريد محفوظة على الساخن
- خصائص زحف جيدة

**الحدود**

- أغلى من 316L
- توافر محدود للمقاطع

## SS 321

S32100 · 1.4541

**عالي الحرارة، خالٍ من الكلوريد**

| PREN | CL⁻ | أقصى حرارة | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| 18.0 | 200 ppm | 900 °C | 1.10 |

درجة مثبَّتة بالتيتانيوم للبيئات الساخنة الخالية من الكلوريد. شائعة في شاشات غازات العادم وتطبيقات الفرن أو أتون الحرق. أرخص من 316Ti لكن دون موليبدينوم — يتنقّر في خدمة الكلوريد.

**نقاط القوة**

- قادر على تحمّل 900 °C
- تكلفة أقل من 316Ti
- مقاومة جيدة للأكسدة

**الحدود**

- لا موليبدينوم — غير مناسب للكلوريد

## Duplex 2205

S32205 · 1.4462

**قادر على تحمّل مياه البحر، ضعف إجهاد خضوع 316L**

| PREN | CL⁻ | أقصى حرارة | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| 35.0 | 600 3 ppm | 300 °C | 1.22 |

بنية مجهرية ثنائية الطور من الأوستنيت زائد الفريت تقدّم إجهاد خضوع 450 MPa و35 PREN. مقاطع أرفع ممكنة، مما يخفّض الوزن والتكلفة معًا. درجة الحرارة محدودة عند 300 °C بسبب منطقة التقصّف عند 475 °C.

**نقاط القوة**

- ضعف إجهاد خضوع 316L
- مقاوم للتشقق التآكلي الإجهادي
- قادر على تحمّل مياه البحر

**الحدود**

- حدّ صارم عند 300 °C
- تتطلب إجراءات لحام مؤهلة

## Super Duplex 2507

S32750 · 1.4410

**أقصى مقاومة للتآكل**

| PREN | CL⁻ | أقصى حرارة | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| 42.5 | 50 000 ppm | 300 °C | 1.96 |

الدرجة المخصصة للغمر الكامل في مياه البحر وخدمة الكلوريد العدوانية. يتيح PREN 42.5 وإجهاد خضوع 550 MPa الخدمة حيث لا تصمد أي درجة أوستنيتية — مآخذ التحلية، والمنصات البحرية.

**نقاط القوة**

- أعلى مقاومة للتنقير
- إجهاد خضوع 550 MPa
- عمر تصميمي يتجاوز 25 سنة في مياه البحر

**الحدود**

- أعلى تكلفة مادة
- لحام معقّد

إنشائية & مقاومة للبري

# فولاذات كربونية وسبائكية للحمل، لا للتآكل.

لا تقاوم أيٌّ من الدرجات الثلاث أدناه التآكل بمفردها. تُحدَّد حيث يهيمن الحمل الميكانيكي أو البري وتكون الشاشة مطلية، أو مثبَّتة بالبراغي كلوح بري قابل للاستبدال، أو مشغَّلة في خدمة جافة.

## S355

EN 10025-2

**فولاذ كربوني إنشائي مطلي**

| إجهاد الخضوع | أقصى حرارة | البري | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| MPa 355 | C° 400 | 4 / 1 | 0.35 |

فولاذ كربوني وفق EN 10025-2. لا مقاومة تآكل ذاتية — يتطلب الدهان أو الجلفنة أو الطلاء البلاستيكي. يُستخدم للشاشات الداخلية الجافة، والأطر الإنشائية، ونزع المياه قصير الخدمة حيث يكون الاستبدال مقبولًا.

**نقاط القوة**

- أقل تكلفة مادة
- قابلية لحام ممتازة
- مخزون واسع

**الحدود**

- يجب أن يُطلى
- يصدأ في أي خدمة رطبة

## S700

EN 10149-2

**إنشائي فائق المتانة**

| إجهاد الخضوع | أقصى حرارة | البري | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| MPa 700 | C° 300 | 4 / 2 | 0.55 |

درجة EN 10149-2 بإجهاد خضوع MPa 700. تُستخدم حيث يقود الحمل الميكانيكي التصميم — طبقات شاشات التعدين الشاقة وأطر الشاشات الاهتزازية. تتيح مقاطع أرفع لكنها تضيف تعقيد قابلية اللحام.

**نقاط القوة**

- إجهاد خضوع MPa 700
- مقاطع أرفع، وزن أقل
- مصنّف للصدم

**الحدود**

- لا مقاومة تآكل
- يلزم تسخين مسبق للحام

## Hardox 450/500

SSAB proprietary

**مقاومة للبري الشديد**

| الصلادة | أقصى حرارة | البري | مؤشر التكلفة |
|---|---|---|---|
| HBW 500–425 | C° 250 | 4 / 4 | 0.70 |

لوح مقاوم للبري مملوك لـ SSAB، بصلادة سطح HBW 500–425. ثلاثة إلى أربعة أضعاف العمر الخدمي للفولاذ المعياري في البري العدواني — الفحم، الركام، معالجة المعادن. التوريد خاص بـ SSAB.

**نقاط القوة**

- عمر بري يتجاوز الفولاذ المعياري بـ 3–4×
- صلادة سطح HBW 500–425
- مقاوم للصدم رغم الصلادة

**الحدود**

- لا مقاومة تآكل
- قابل للحام فقط بإجراءات SSAB

التصنيع

# معظم السلك الإسفيني ملحوم بالمقاومة. الدرجة تقرّر ما يحدث بعد ذلك.

يلحم اللحام بالمقاومة السلك V بقضبان الدعم عند كل تقاطع، مما يجعل كل شاشة شبكة من آلاف مناطق اللحام الصغيرة. تشهد كل لحمة دورة حرارية وجيزة داخل نطاق درجة حرارة التحسيس. الدرجة — وكيفية معالجة كربونها أو التيتانيوم فيها — تحدّد ما إذا كانت طبقة أكسيد الكروم ستبقى.

## لماذا توجد الدرجات منخفضة الكربون (L)

أكثر مادتين شائعتين للسلك الإسفيني هما **SS 304L** و**SS 316L**، وكلتاهما محدودتان عند 0.03 % كربون. يمنع الكربون المنخفض ترسيب كربيد الكروم عند حدود الحبيبات أثناء الدورة الحرارية للحام. بدون ذلك، يُنتزع الكروم من المصفوفة قرب اللحام ويتبع ذلك تآكل بيني.

## التثبيت بالتيتانيوم

يحمل **SS 316Ti** و**SS 321** إضافة صغيرة من التيتانيوم تربط الكربون على شكل TiC. تبقى حدود الحبيبات نظيفة تحت الحرارة المطوّلة، فتحافظ هذه الدرجات على مقاومة التآكل فوق 400 °C حيث لا تستطيع الدرجات منخفضة الكربون ذلك.

### حدِّد الدرجات منخفضة الكربون (L) لكل تجميعة ملحومة

يحمل SS 304L وSS 316L علاوة تكلفة لا تُذكر مقارنةً بنظيريهما المعياريين ويلغيان تحسيس اللحام. للسلك الإسفيني الملحوم بالمقاومة، هذا ليس اختياريًا.

### طابق الحرارة مع بنية الدوبلكس

يعتمد الدوبلكس 2205 على توازن أوستنيت–فريت بنسبة 50 / 50 مضبوط في المصنع. يفضّل مدخل الحرارة القليل جدًا الفريت؛ والكثير جدًا يشكّل طور سيغما الهش. اتبع إجراءات اللحام المؤهلة (WPS / PQR) — الدوبلكس ليس درجة للارتجال فيها.

### اتبع بروتوكول SSAB للسوبر دوبلكس

يتطلب Super Duplex 2507 تحكمًا أدق في العملية: حماية الجذر بغاز خامل، وحدّ أقصى لدرجة حرارة ما بين التمريرات، ومدخل حرارة متحكَّم به. عقوبة التهاون هي وصلة مقصّفة بطور سيغما تفشل بعد التشغيل.

### سخّن S700 مسبقًا لتفادي التشقق الهيدروجيني

الدرجات الإنشائية عالية المتانة عرضة للتشقق المدعوم بالهيدروجين عند اللحام على البارد. يتحكم التسخين المسبق عند 100–150 °C والأقطاب منخفضة الهيدروجين في معدل التبريد ويمنعان تشقق خط اللحام.

### تعامل مع Hardox كلوح بري مثبَّت بالبراغي

يقلّل اللحام الصلادة في المنطقة المتأثرة بالحرارة. تنشر SSAB إجراءات خاصة بكل درجة — قلِّل مدخل الحرارة، استخدم مواد استهلاكية منخفضة الهيدروجين، لا وصلات كاملة الاختراق في وجه البري. يُركَّب Hardox على أفضل وجه كلوح قابل للاستبدال مثبَّت بالبراغي على إطار S355 أو S700.

مصفوفة القرار

# طابق البيئة، ثم نقِّح حسب التكلفة والتصنيع.

نقطة انطلاق لتحديد درجة المادة مقابل العامل المجهد المهيمن. للبيئات المركّبة (الكلوريد الساخن، البري التآكلي)، اختر أسوأ حالة وتحقَّق مقابل المحاور الأخرى.

## حسب جودة المياه

| | |
|---|---|
| مياه عذبة (Cl⁻ < 200 ppm) | **SS 304L · SS 316L** |
| قليلة الملوحة (200–3 000 ppm) | **SS 316L** |
| كلوريد مرتفع (< 3 000 ppm) | **Duplex 2205** |
| مياه البحر / المحلول الملحي | **Super Duplex 2507** |
| مأخذ التحلية | **Super Duplex 2507** |

## حسب درجة الحرارة

| | |
|---|---|
| من المحيطة إلى 150 °C | **أي درجة أوستنيتية** |
| 150–400 °C، بوجود كلوريد | **SS 316Ti** |
| 400–900 °C، دون كلوريد | **SS 321** |
| 400–900 °C، بوجود كلوريد | **SS 316Ti** |
| تبريدي (< −50 °C) | **SS 304L · SS 316L** |

## حسب الحمل الكاشط

| | |
|---|---|
| خفيف (مياه العمليات، الأغذية) | **سلسلة SS 304 / 316** |
| متوسط، رطب & تآكلي | **Duplex 2205** |
| شديد، جاف (دقائق التعدين) | **S700 · Hardox 450/500** |
| شديد، رطب & تآكلي | **Super Duplex 2507** |
| أطر الطبقات الاهتزازية | **S355 · S700** |

## حسب النظام التنظيمي

| | |
|---|---|
| تماس غذائي FDA, 3-A, EHEDG | **SS 316L** |
| أدوية عالية النقاء | **SS 316L مصقول كهربائيًا** |
| خدمة حامضية NACE | **Duplex 2205 · 2507** |
| التحكم بالرمل في النفط & الغاز | **Super Duplex · Inconel 625/825** |
| مأخذ US CWA 316(b) | **SS 316L · Super Duplex** |
| بنية تحمل علامة CE | **S355 · S700** |

**ما وراء الدرجات الإحدى عشرة — التحكم بالرمل & الخدمة الحامضية.** لشاشات التحكم بالرمل في النفط & الغاز في الآبار الحامضية، حيث يتجاوز الكلوريد و$H_2S$ ودرجة الحرارة حدود السوبر دوبلكس، تُحدَّد سبائك النيكل **Inconel 625** وInconel 825 عند الطلب — مصنّعة وفق API 15LE / ISO 17824 وNACE MR0175.

الخطوة التالية

# اربط بيئة تشغيلك بمواصفة درجة المادة.

يقيّم المعالج التفاعلي على موقعنا كل الدرجات الإحدى عشرة مقابل معاملات عمليتك — الكلوريد، ودرجة الحرارة، ودرجة الحموضة، والحمل الكاشط — ويعيد قائمة مختصرة مرتّبة مع بيانات مقارنة كاملة. للإرشاد الخاص بالتطبيق، تواصل مع فريق الهندسة مباشرةً.

---

أداة الويب

Material Selection Wizard

**adenwedgewire.com/material-selection-wizard**

تقييم تفاعلي عبر أكثر من 25 خاصية مادة.

جهة الاتصال الهندسية

استشارة فنية حول الدرجات المخصصة وبيئات العوامل المجهدة المركّبة.

**info@adenwedgewire.com**

الرد خلال يوم عمل واحد.

---