

X10CrMoVNb9-1 (P91)

Werkstoff-Nr. 1.4903 · Hochwarmfester martensitischer Chromstahl

Werkstoffgruppe: Hochwarmfester martensitischer Stahl (9 % Cr)

Werkstoff-Nr. (EN): 1.4903

EN-Kurzname: X10CrMoVNb9-1

Handelsname: P91 · T91 · COST F91 (hohe Reinheit)

ASTM/ASME-Pendant: Rohre: A/SA 335 P91 · Fittings: A/SA 234 WP91 · Flansche: A/SA 182 F91

Einsatztemperatur: bis 650 °C (Dauerbetrieb) · kurzzeitig bis 700 °C möglich

Besonderheit: Höchste Kriechfestigkeit der Cr-Mo-Stähle – Standard im modernen Kraftwerksbau

Lieferformen (Nirotec): Rohrbogen · T-Stücke · Reduzierungen · Kappen · Flansche · Lohnfertigung

Normbezug Rohre: EN 10216-2 · A/SA 335 P91 · A/SA 213 T91

Normbezug Fittings: EN 10253-2 · ASME B16.9 · A/SA 234 WP91

1 Werkstoffäquivalente & Vergleichswerkstoffe

P91 ist der weltweit am häufigsten eingesetzte hochwarmfeste Stahl im modernen Kraftwerksbau. Die folgende Übersicht zeigt die gängigen nationalen Entsprechungen sowie häufig eingesetzte Alternativwerkstoffe.

Nationale Entsprechungen

Norm / Region	Bezeichnung	Werkstoff-Nr. / Grade	Bemerkung
EN (Europa)	X10CrMoVNb9-1	1.4903	Aktuelle europäische Bezeichnung
ASTM/ASME (USA)	A/SA 335 Grade P91	–	Nahtlose Rohre, Hochtemperatur
ASTM/ASME (USA)	A/SA 234 Grade WP91	–	Fittings
ASTM/ASME (USA)	A/SA 182 Grade F91	–	Flansche und Schmiedestücke
ASTM/ASME (USA)	A/SA 213 Grade T91	–	Nahtlose Wärmetauscherrohre
BS (UK)	Grade 91	–	Nach BSEN 10216-2
JIS (Japan)	STPA 28	–	Japanische Äquivalenz

Werkstoffalternativen nach Temperatur und Anforderung

Werkstoff	Werkstoff-Nr.	Max. Einsatztemp.	Vorteil ggü. P91
10CrMo9-10	1.7380	~600 °C	Günstiger, leichter schweisbar
X11CrMoWVNb9-1-1 (P92)	1.4901	~650 °C	Höhere Kriechfestigkeit, geringere Wanddicken
X20CrMoV11-1	1.4922	~600 °C	Ältere Alternative, höhere Festigkeit RT
VM12-SHC	1.4915	~650 °C	Verbesserte Oxidationsbeständigkeit
HR3C / Super304H	1.4910	~700 °C	Austenitisch – für noch höhere Temperaturen

2 Chemische Zusammensetzung

Angaben in Massenprozent (%). Nach EN 10216-2 / ASTM A335. P91 ist ein präzise legierter Stahl – die engen Toleranzen der Legierungselemente sind für die Kriechfestigkeit entscheidend.

Schmelzen- und Stückanalyse nach EN 10216-2

Element	Symbol	Min. (Schmelze)	Max. (Schmelze)	Max. (Stück)	Funktion im Werkstoff
Kohlenstoff	C	0,08	0,12	0,14	Mischkristallhärtung, Karbidbildung
Silizium	Si	0,20	0,50	0,55	Desoxidation, Oxidationsschutz
Mangan	Mn	0,30	0,60	0,65	Desoxidation, Festigkeit
Phosphor	P	–	0,020	0,025	Verunreinigung – Grenzwert
Schwefel	S	–	0,010	0,012	Verunreinigung – Grenzwert
Chrom	Cr	8,00	9,50	9,70	Oxidations- u. Korrosionsschutz, Kriechfestigkeit
Molybdän	Mo	0,85	1,05	1,10	Mischkristall- u. Karbidhärtung, Kriechfestigkeit
Vanadium	V	0,18	0,25	0,27	Feinkornelement, Karbidausscheidung
Niob	Nb	0,06	0,10	0,11	Feinkornelement, Kriechfestigkeit
Stickstoff	N	0,03	0,07	0,08	Nitrideausscheidung, Feinkornung
Nickel	Ni	–	0,40	0,45	Zähigkeit – Restgehalt kontrolliert
Aluminium	Al	–	0,02	0,025	max. – verhindert AlN-Ausscheidung
Titan	Ti	–	0,01	0,012	max. – Restgehalt
Zirkonium	Zr	–	0,01	0,012	max. – Restgehalt

Wichtiger Hinweis: Aluminium ist auf max. 0,02 % begrenzt, da AlN-Ausscheidungen die Kriechfestigkeit deutlich verschlechtern. Dies ist ein wesentlicher Qualitätsparameter bei der Schmelzenauswahl.

3 Mechanische Eigenschaften

Raumtemperatur – Mindestanforderungen nach EN 10216-2 (Zustand: vergütet)

Eigenschaft	Symbol	Einheit	Mindestwert	Bemerkung
0,2%-Dehngrenze	Rp0,2	MPa	≥ 450	Zustand: Normalisieren + Anlassen
Zugfestigkeit	Rm	MPa	620 – 850	Gilt für Wanddicken ≤ 60 mm
Bruchdehnung	A	%	≥ 19	Längsproben
Kerbschlagarbeit (20 °C)	KV	J	≥ 40	Längsproben, Mittelwert
Kerbschlagarbeit (20 °C)	KV	J	≥ 28	Einzelwert Minimum
Härte nach Wärmebehandlung	HB	–	180 – 250	Typischer Bereich nach Vergüten

Warmstreckgrenze Rp0,2 in Abhängigkeit der Temperatur (nach EN 10216-2, Anhang B)

Temperatur	100 °C	200 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C	625 °C	650 °C
Rp0,2 (MPa)	415	390	370	360	350	340	315	285	240	210	175

Zeitstandfestigkeit (Kriechfestigkeit) – Rm/100.000h in MPa

Die Zeitstandfestigkeit ist der entscheidende Auslegungsparameter für Hochtemperaturanwendungen. P91 zeigt gegenüber den klassischen 2¼Cr-1Mo-Stählen (P22) deutlich höhere Werte.

Temperatur	500 °C	525 °C	550 °C	575 °C	600 °C	625 °C	650 °C
P91 – Rm/100.000h (MPa)	236	196	157	122	90	63	42
P22 (Vergleich, MPa)	140	108	79	56	38	24	–

4 Physikalische Eigenschaften

Eigenschaft	Symbol	20 °C	300 °C	500 °C	600 °C	Einheit
Dichte	ρ	7,75	7,63	7,54	7,49	g/cm³
Elastizitätsmodul	E	210	193	175	163	GPa
Wärmeleitfähigkeit	λ	29	28	27	28	W/(m·K)
Wärmeausdehnung (20°C–T)	α	11,8	12,3	12,8	13,0	10 ⁻⁶ /K
Spez. Wärmekapazität	cp	460	510	560	590	J/(kg·K)

5 Korrosionsverhalten

P91 enthält 8–9,5 % Chrom und bietet dadurch eine deutlich verbesserte Oxidationsschutzschicht gegenüber klassischen C-Stahl- und Mo-legierten Stählen. Dennoch ist P91 kein nichtrostender Stahl.

Medium / Umgebung	Bemerkung	Beständigkeit
Hochdruckdampf (trocken)	Typisches Einsatzmedium bis 650 °C	++
Heißgase / Rauchgas (schwefelfrei)	Trockene, nicht-sulfidierende Atmosphären	+
Oxidationsschutz bei Hochtemperatur	Cr ₂ O ₃ -Schutzschicht bis ~650 °C	+
Wasserstoff (H ₂)	Keine Nelson-Kurven-Probleme bis 540 °C / 100 bar	o
Kohlenwasserstoffe (trocken)	Nicht-korrosive Prozessgase	+
Schwefelhaltige Hochtemperaturgase	Sulfidierungskorrosion möglich ab ~450 °C	o
Atmosphäre / Feuchtigkeit	Oxidation / Anlaufrost wie C-Stahl	o
Säuren	Keine ausreichende Beständigkeit	-
Chloridhaltige Medien	Spannungsrissskorrosion möglich	-
Meerwasser / feuchte Chloridatm.	Nicht geeignet	-

++ sehr gut beständig

+ beständig

o bedingt beständig

- nicht beständig

Wichtig: P91 ist empfindlich gegenüber Wasserstoffversprodnung bei Raumtemperatur nach dem Schweißen (PWHT zwingend). Nicht für korrosive Medien ohne zusätzlichen Schutz geeignet.

6 Typische Einsatzbereiche

Branche / Anlage	Typische Anwendung	Betriebsbedingung
Kraftwerke (Kohle / Gas / Biomasse)	Hauptdampfleitungen, Überhitzerrohre, Dampfsammler	580–620 °C, 250–320 bar
GuD-Kraftwerke (CCPP)	Hochdruck-Dampf-Leitungen, HRSG-Systeme	bis 600 °C, Wechsellastbetrieb
Kernkraftwerke (Sekundärkreis)	Hochtemperaturdampfsysteme, Sonderprojekte	Qualifizierung nach ISO 19443
Industrie-Kraftwerke / CHP	Kraft-Wärme-Kopplung, Prozessdampfleitungen	bis 650 °C Dauerbetrieb
Petrochem. / Raffinerie	Hochtemperatur-Prozessleitungen (Hydrocracker)	H ₂ -haltige Medien, Hochdruck
Wärmetauscher / Apparatebau	Mantelrohre, Verbindungsleitungen in HRSG	Wechseltemperatur, hohe Ermüdungsanf.

7 Lieferformen bei Nirotec

Komponente	Norm (EN)	Norm (ASME/ASTM)	Bemerkung
------------	-----------	------------------	-----------

Rohrbogen	EN 10253-2	ASME B16.9 · A/SA 234 WP91	LR/SR, 90°/45°, Sonderwinkel auf Anfrage
T-Stücke	EN 10253-2	ASME B16.9 · A/SA 234 WP91	Gleichweit und reduzierter Abgang
Reduzierungen	EN 10253-2	ASME B16.9 · A/SA 234 WP91	KOR und EXR
Kappen	EN 10253-2	ASME B16.9 · A/SA 234 WP91	Halbkugelkappe
Vorschweißflansche	EN 1092-1 Typ 11	ASME B16.5 · A/SA 182 F91	PN 16–PN 400 / Class 150–Class 2500
Lohnfertigung	Nach Zeichnung	Nach Zeichnung / Spezifikation	Sonderformteile, Sonderdimensionen

8 Normen, Zulassungen & Regelwerke

Regelwerk / Norm	Titel / Anwendung
EN 10216-2	Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchung – legierte Stähle, Hochtemperatureigenschaften
EN 10253-2	Rohrleitungsformstücke zum Einschweißen – unlegierte und ferritische legierte Stähle
EN 1092-1	Flansche und ihre Verbindungen – Rund-Flansche
ASME B31.1	Power Piping – Hochdruckdampfleitungen, Kraftwerke
ASME B31.3	Process Piping – Prozessanlagen
ASME BPVC Sec. I	Power Boilers – Kesselbauvorschrift (ASME)
AD 2000-Merkblatt W10	Hochlegierte Stähle
PED 2014/68/EU	Druckgeräterichtlinie – Kategorie III / IV bei Hochdruck
ISO 19443	Kerntechnik – Qualitätsmanagementsystem für Lieferketten (Nirotec-zertifiziert)
EPRI TR-107433	Empfehlungen zu Schweißen, PWHT und Qualitätssicherung für P91 (US-Kraftwerksbranche)

9 Verarbeitungshinweise

Schweißbarkeit – KRITISCH

P91 ist schweißbar, erfordert jedoch zwingend die Einhaltung enger Verfahrensparameter. Fehler beim Schweißen oder der Wärmebehandlung können zu katastrophalem Kriechversagen führen.

Parameter	Vorgabe / Empfehlung	Begründung
Vorwärmtemperatur	200–300 °C	Verhindert Kaltrissbildung, H ₂ -Diffusion
Zwischenlagentemperatur	200–300 °C (NICHT überschreiten)	Härtespitzen in der WEZ vermeiden

Nachwarm vor PWHT	mind. 200 °C halten bis PWHT	Verhindert Martensitumwandlungsprobleme
PWHT-Temperatur	730–780 °C	Anlassen des Martensits, ZWINGEND
PWHT-Haltezeit	min. 1 h pro 25 mm Wanddicke, mind. 1 h	Vollständige Entspannung
Aufheiz-/Abkühlrate	max. 80 °C/h (ab 400 °C)	Verhindert Thermoschock und Wärmespannungen
Schweißzusatz	B9 (EN), 9Cr-1Mo-V (AWS)	Legierungsabgleich, typengeprüft
Härteprüfung nach PWHT	HV10: 200–275 (empfohlen)	Qualitätssicherung der Wärmebehandlung

Warnung: PWHT ist bei P91 NICHT optional. Unbehandelter Martensit in der Schweißnaht führt zu Sprödbruch. Alle Schweißnähte an P91-Bauteilen müssen wärmebehandelt werden.

Wärmebehandlung (Lieferzustand)

- Normalisieren: 1040–1080 °C, Luftabkühlung → vollmartensitisches Gefüge
- Anlassen: 730–780 °C, Luftabkühlung → angelassener Martensit mit feinen M23C6 und MX-Ausscheidungen
- Wiederholtes Anlassen erhöht Zähigkeit, verringert geringfügig die Kriechfestigkeit

10 Anfrage & Kontakt

Für eine projektspezifische Anfrage benötigen wir idealerweise:

- Norm und Ausführung (z. B. EN 10253-2 Rohrbogen LR 90° oder ASME B16.9 WP91)
- Abmessung: DN / NPS, Wanddicke oder Schedule
- Menge und Wunschliefertermin
- Erforderliche Dokumentation (EN 10204 Typ 3.1 / 3.2, ZfP, PWHT-Nachweis, ext. Abnahme)
- Ggf. projektspezifische Spezifikation (Schmelzenrestriktion, NACE, AI-Begrenzung etc.)

Nirotec GmbH & Co. KG

Otto-Hahn-Str. 4 · 59423 Unna · Deutschland
 Tel.: +49 (0) 02303 / 985-0 · info@nirotec.de · www.nirotec.de