



Schweißzusätze für den Kraftwerksbau



ASME III NCA 3800



A
AREVA
KTA 1408



Foto: V&M TUBES

Foto: V&M TUBES



CE
EN 13479

TUV NORD

® LRQA DIN EN ISO 9001: 2000
ISO/TS 16949: 2002

® LRQA DIN EN ISO 14001: 2004



Schweißzusätze für warmfeste Rohrstähe des Kraftwerkbaus

Einleitung	4
16 Mo 3 und 13 CrMo 4-5 (EN 10028 T2)	6
15 NiCuMoNb 5-6-4 (WB 36) und 20 MnMoNi 5-5	6
15 CrMoV 5-10 / GS-17 CrMoV 5-11	7
10 CrMo 9-10; ASTM A 387, Gr. 22, Cl. 2	7
Neuartige Kesselrohrstähe 7 CrWVMoNb 9-6 (T/P23) und 7 CrMoVTiB 10-10 (T/P24)	8
Martensitische Stähle X20CrMoV 11-1; X10CrMoVNb 9-1 (P91); X11CrMoWVNb 9-1-1 (E911) und X10CrWVMoVNb 9-2 (P92)	11
Ein neuartiger 12%iger martensitischer Chromstahl – VM12-SHC (X12CrCoWVNb 11-2-2)	15
Ein neuer austenitischer warmfester Kesselrohrstahl – Super 304 H (18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N; ASME CC2328)	16
Qualitätssicherung, Kompetenz	16
Normung der Schweißzusätze für warmfeste Stähle	16
UP-Pulver für warmfeste Stähle	17
Referenzliste	17
Weiterführende Veröffentlichungen	18

Schweißzusätze für warmfeste Rohrstähe des Kraftwerkbaus

Einleitung

Die Entwicklung und Fertigung von Schweißzusätzen für warmfeste Stähle des Kraftwerkbaus bildet für T-Phoenix Union Thermanit (T-PUT) seit Jahrzehnten einen wichtigen Schwerpunkt des umfangreichen Produktprogramms. So liegen mannigfaltige Erfahrungen zu der Verarbeitung der breiten Palette an warmfesten Stählen vor. **Tabelle 1** gibt einen Überblick über die wichtigsten ferritisch / bainitischen, martensitischen und austenitischen Rohrstähe für fossil befeuerte Kraftwerke. Neben den bewährten warmfesten Stählen sind auch die neuesten Entwicklungen wie T/P23, T/P24, E91 I, P92, VM 12 und Super 304H aufgeführt. Mit diesen Stählen werden erhebliche Wirkungsgradsteigerungen fossil befeuerter Kraftwerke realisiert. Neben höherer Wirtschaftlichkeit führt der geringere Rohstoffverbrauch zu einer gleichzeitig verminderten CO₂-Emission. Zu diesen warmfesten und hitzebeständigen Rohrstähen hat T-PUT geeignete, erprobte und VdTÜV-zugelassene artgleiche Schweißzusätze im Programm. Die Auswahl der Schweißzusätze zu den in **Tabelle 1** aufgeführten Rohrstähen orientiert sich teilweise an den Langzeiteigenschaften, insbesondere bei Komponenten, die Temperaturen oberhalb etwa 450 °C ausgesetzt sind.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung bewährter und neu entwickelter warmfester Werkstoffe

Bezeichnung	Werkstoff-Nr.	ASTM Grade	Elemente in Massen %										Einsatz-temp. °C ¹⁾	
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Nb	Sonstige		
ferritische / bainitische Stähle	16 Mo 3	1.5415	T/P1	0,12-0,20	< 0,35	0,40-0,90	< 0,30	< 0,30	0,25-0,35	—	—	—	—	< 460
	13 CrMo 4-5	1.7335	T/P12	0,08-0,18	< 0,35	0,40-1,0	0,7-1,15	—	0,40-0,60	—	—	—	—	< 545
	15 CrMoV 5-10	1.7745	—	0,10-0,16	0,15-0,35	0,40-0,90	1,10-1,40	—	0,90-1,10	0,20-0,35	—	—	—	< 545
	15 NiCuMoNb 5 (WB 36)	1.6368	—	< 0,12	0,25-0,50	0,80-1,20	—	1,0-1,30	0,25-0,50	—	—	0,015-0,045	Cu 0,50-0,80	< 545
	20 MnMoNi 5-5	1.6310	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	< 545
	10 CrMo 9-10	1.7380	T/P22	0,08-0,14	< 0,50	0,40-0,80	2,0-2,5	—	0,90-1,10	—	—	—	—	< 545
	7 CrWVMoNb 9-6 (T23)	—	T/P23	0,04-0,10	< 0,50	0,30-0,60	1,90-2,60	—	< 0,30	0,20-0,30	1,45-1,75	0,02-0,08	N < 0,010 B < 0,006	< 550
7 CrMoVTiB 10-10 (T24)	1.7378	(T/P24)	0,05-0,095	0,15-0,45	0,30-0,70	2,20-2,60	—	0,90-1,10	0,20-0,30	—	—	N < 0,010 B 0,0015-0,0070 Ti 0,05-0,10	< 550	
martensitische Stähle (9-12% Cr-Stähle)	X 20 CrMoV 11-1 (X20)	1.4992	—	0,17-0,23	< 0,50	< 1,00	10,0-12,5	0,30-0,80	0,80-1,20	0,25-0,35	—	—	—	< 585
	X 10 CrMoVNb 9-1 (P91)	1.4903	T/P91	0,08-0,12	0,20-0,50	0,30-0,60	8,0-9,5	< 0,40	0,85-1,05	0,18-0,25	—	0,06-0,10	N 0,030-0,070	< 585
	X11CrMoWVNb 9-1-1 (E911)	1.4905	T/P911	0,09-0,13	0,10-0,50	0,30-0,60	8,50-9,50	0,10-0,40	0,90-1,10	0,18-0,25	0,90-1,10	0,06-0,10	N 0,05-0,09	< 625
	X10CrWVMoVNb 9-2 (P92)	—	T/P92	0,07-0,13	< 0,5	0,30-0,60	8,5-9,5	< 0,40	0,30-0,60	0,15-0,25	1,5-2,0	0,04-0,09	N 0,03-0,07 B 0,001-0,006	< 625
	VM12-SHC (X12CrCoWVNb 11-2-2)*	—	—	0,11	0,45	0,2	11,5	0,28	0,23	0,24	1,40	0,065	Co 1,3 N 0,055 B 0,003	< 625
austenitische Stähle	Super 304 H	—	ASME	0,07	< 0,30	< 1,0	17,0	7,5	—	—	—	0,30	Cu 2,5-3,5	< 650
	18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N	—	CC2328	0,13	—	—	19,9	10,5	—	—	—	0,60	N 0,05-0,12	< 650

¹⁾ konstruktiv sinnfällige Einsatztemperaturgenze in Kraftwerksbereichen

* Entwicklungsprogramm COST 536



Tabelle 2 gibt eine Zuordnung von Schweißzusätzen zu den verschiedenen Rohrwerkstoffen in Abhängigkeit der Schweißverfahren. **Tabelle 3** enthält die chemische Zusammensetzung der artgleichen Schweißzusätze am Beispiel Stabelektroden mit Angabe empfohlener Wärmebehandlungen (WBH) zur Erlangung ausreichender Kerbschlagzähigkeit.

Tabelle 2: T-PUT Schweißzusatz-Empfehlungen

Grundwerkstoffe	Werkstoff-Nr.	ASTM-Grade	Schweißprozess					UP	
			LB-Hand	AWS A5.5	WIG	AWS A5.28		AWS A5.23	
16 Mo 3	1.5415	T/P1	Phoenix SH Schwarz 3 K	E7015-G	Union I Mo	ER80S-G	Union S 2 Mo UV 420 TT	EA2	
13 CrMo 4-5	1.7335	T/P12	Phoenix Chromo 1	E8018-B2	Union I CrMo	ER80S-G	Union S 2 CrMo UV 420 TT	EB2R	
15 NiCrMoV 5-10	1.7745	—	Phoenix SH Kupfer 3 K	E9015-G	—	—	—	—	
15 NiCuMoNb 5 (WB36)	1.6368	—	Phoenix SH Schwarz 3 K Ni	E9015-G	Union I Mo	ER80S-G	Union S 3 NiMo 1 UV 420 TT(R)	EG (E F3 mod.)	
20 MnMoNi 5-5	1.6310	—	Phoenix SH Schwarz 3 K Ni	E9018-G	Union I Mo	ER80S-G	Union S 3 NiMo 1 UV 420 TT(R)	EG (E F3 mod.)	
10 CrMo 9-10	1.7380	T/P22	Phoenix SH Chromo 2 KS	E9015-B3	Union I CrMo 9-10	ER90S-G	Union S 1 CrMo 2 UV 420 TTR	EB3R	
7 CrWVMoNb 9-6 (T/P23)		T/P23	Thermanit P23	—	Union I P23	ER90S-G	Union S P23 UV 430 TTR-W (UV 305)	EG	
7CrMoVTiB 10-10 (T/P24)	1.7378	T/P24 (Draft)	Thermanit P24	—	Union I P24	ER90S-G	Union S P24 UV 430 TTR-W (UV 305)	EG	
X20CrMoV 11-1	1.4922	—	Thermanit MTS 4	—	Thermanit MTS 4 Si	ER505(mod.)	Thermanit MTS 4 Marathon 543	EG	
X10CrMoVNB 9-1 (P91)	1.4903	T/P91	Thermanit Chromo 9 V Thermanit Chromo T91	E9015-B9	Thermanit MTS 3	ER90S-B9	Thermanit MTS 3 Marathon 543	EB9	
X11CrMoVNB 9-1-1 (E911)	1.4905	T/P911	Thermanit MTS 911	E9015-G (E9015-B9 mod.)	Thermanit MTS 911	ER90S-G	Thermanit MTS 911 Marathon 543	EG (B9 mod.)	
X10CrWVMoNb 9-2 (P92)		T/P92	Thermanit MTS 616	E9015G (E9015-B9 mod.)	Thermanit MTS 616	ER90S-G	Thermanit MTS 616 Marathon 543	EG (B9 mod.)	
VM12-SHC (X12CrCoWVNB 11-2-2) *		—	Thermanit MTS 5 CoT*		Thermanit MTS 5 CoT*	—	Thermanit MTS 5 CoT* Marathon 543		
Super 304 H (18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N)		ASME CC2328	Thermanit 304 H Cu*		Thermanit 304 H Cu*				

* derzeit in Entwicklung

Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung artgleicher Schweißzusätze (Stabelektroden) mit Angaben empfohlener Wärmebehandlung (WBH)

Grundwerkstoffe	Schweißzusätze gemäß EN 1599/1600	Artgleiche Schweißgutanalysen											Mechanische Eigenschaften (reines Schweißgut) bei RT				
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Nb	V	W	Co	N	WBH (°C / h*)	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	KV (ISO-V) (J)	
ferritisch – bainitisch	16 Mo 3	E Mo B 42	0,08	0,30	1,20	—	0,45	—	—	—	—	—	—	(620 / 1)	520	590	150
	13 CrMo 4-5	E CrMo 1 B 42	0,08	0,30	0,90	1,00	0,50	—	—	—	—	—	—	700 / > 2	470	580	150
	15 CrMoV 5-10	E CrMoV 1 B 42	0,09	0,35	1,1	1,2	1,0	—	—	0,27	—	—	—	720 / > 2	520	630	160
	GS-17 CrMoV 5-11	E 50 4 1 NiMo B 42 H5	0,06	0,30	1,25	0,20	0,40	1,0	(Cu = 0,08)	—	—	—	—	580 / 2	500	590	140
	10 CrMo 9-10	E CrMo 2 B 42	0,07	0,25	0,70	2,20	0,90	—	—	—	—	—	—	690 / > 2	510	620	180
	7 CrWVMoNb 9-6 (T 23)		0,06	0,27	0,54	2,1	0,08	0,05	0,04	0,21	1,72	—	—	740/2	509	625	136
7 CrMoVTiB 10-10 (T24)		0,09	0,3	0,52	2,5	1,0	—	0,04	0,22	—	—	—	740/2	577	689	150	
martensitisch	X20 CrMoWV 12-1	E CrMoWV 12 B 42	0,18	0,25	0,5	11,5	1,0	0,6	—	0,3	0,5	—	—	760 / > 4	600	750	40
	X10 CrMoVNB 9-1 (P 91)	E CrMo 9 B 42	0,09	0,22	0,65	9,0	1,1	0,80	0,05	0,20	—	—	0,04	760 / > 2	600	750	50
	X12 CrWVNB 12-2-2 (E 911)	EZ CrMoWV 9 11 B 42	0,09	0,20	0,57	8,85	0,92	0,83	0,047	0,21	1,0	—	0,05	760 / > 2	600	750	50
	X10 CrWVMoVNB 9-2 (P 92)	EZ CrMoWV 9 0,5 2 B 42	0,098	0,23	0,66	9,23	0,53	0,66	0,047	0,20	1,70	—	0,06	760 / > 2	600	750	45
VM12-SHC (X12 CrCoWVNB 11-2-2)	EZ CrCoW 11 2 2	0,11	0,45	0,65	11,15	0,30	0,70	0,06	0,25	1,50	1,6	0,035	770 / > 2	600	750	> 27	
austenitisch	Super 304 H	EZ 18 16 1 CuH	0,09	0,4	3,2	18	0,9	16,8	0,6	—	Cu 3,0	—	0,2	—	530	700	80

Anlassdauer richtet sich nach Wandstärke

Die Eigenschaften der Schweißzusätze müssen denen der Grundwerkstoffe entsprechen. Neben der optimierten Analyseneinstellung wird dies von den Schweißbedingungen maßgeblich beeinflusst. Daher wird im Folgenden kurz auf die Besonderheiten der schweißtechnischen Verarbeitung eingegangen.

16 Mo 3 und 13 CrMo 4-5 (EN 10028 T2)

Aus der Gruppe der klassischen warmfesten Stähle lässt sich der Werkstoff 16 Mo 3 problemlos nach dem bekannten Lichtbogenschweißverfahren verarbeiten. Der niedriglegierte warmfeste Stahl 13 CrMo 4-5 wird allgemein im vergütetem bzw. angelassenem Zustand unter Vorwärmung (etwa 250 °C) geschweißt. Zum Abbau von Eigenspannungen und zur Verbesserung der Kerbschlagzähigkeit des Schweißgutes werden die Schweißverbindungen im Anschluss an das Schweißen einer Spannungsarmglühung unterzogen.

15 NiCuMoNb 5 (WB 36) und 20 MnMoNi 5-5

Für Komponenten in Kraftwerken (auch Nuklear) sowie Chemiereaktoren mit Betriebstemperaturen oberhalb 350 °C werden hochfeste FK-Stähle mit Legierungskonzepten Ni-Mo und Ni-Cu-Mo seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt. Speziell der Werkstoff WB 36 hat durch die Normung im ASME-Code weltweit an Bedeutung gewonnen, speziell in Kraftwerken. 20 MnMoNi 5-5 wurde vorrangig für Druckbehälter entwickelt (Kernkraftwerke).

Aus Sicherheitsgründen werden an diese Werkstoffe und somit auch an die Schweißverbindungen hohe Zähigkeitsanforderungen gestellt. **Tabelle 4** enthält erprobte Schweißzusätze zu diesen beiden Stählen. Zu beachten ist, dass derartige Schweißverbindungen einer Wärmebehandlung (WBH), d. h. Spannungsarmglühung bedürfen. Dieser Zustand ist in der Norm EN 499 **nicht** berücksichtigt.

Bild 1 zeigt die Wärmeführung und den anschließenden Wärmebehandlungsverlauf nach dem Schweißen des WB 36.

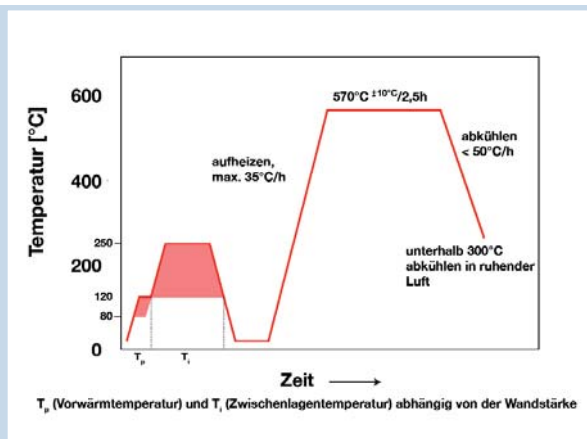


Bild 1:

Wärmeführung und anschließende WBH beim Schweißen des WB 36

Tabelle 4: Schweißzusätze für warmfeste Stähle 20 MnMoNi 5-5 und 15 NiCuMoNb 5 (WB 36)

	Chemische Zusammensetzung reines Schweißgut (%)									Mech. Gütewerte reines Schweißgut bei RT				
	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Mo	Nb	N	$R_{p0.2}$ (MPa)	R_m (MPa)	A5 (%)	KV (ISO-V) (J)	Bemerkung
Grundwerkstoff WB36	< 0,12	0,25 0,50	0,80 1,20		0,50 0,80	1,00 1,30	0,25 0,50	0,015 0,045	< 0,020	410 440	590 780	>16	0°C: 27	
Schweißzusätze gemäß: EN 499 - E 50 4 Mo B 42 (SH Schwarz 3 K)	0,06	0,35	0,90				0,45			U: 490 S: 480	U: 570 S: 550	U: 20 S: 21	U: 120 S: 120	für Wandstärken ≤ 30 mm
EN 499 - E 50 4 I NiMo B 42 HS (SH Schwarz 3 K Ni)	0,06	0,30	1,25	0,20	0,08	1,0	0,40			U: 540 S: 500	U: 620 S: 590	U: 20 S: 21	U: >140 S: >140	für Wandstärken >25 mm
EN 14295 - S 3 NiMo T (Union S 3 NiMo I / UV 420 TT (R))	0,08	0,25	1,55			0,90	0,55			U: 560 S: 550	U: 680 S: 660	U: 22 S: 22	U: 140 S: 140	
EN 12070 - W MoSi (Union I Mo)	0,10	0,60	1,15				0,50			U: 580	U: 570	U: 23	U: 110	

U = Schweißzustand

S = nach WBH 580 - 560 °C

15 CrMoV 5-10 / GS-17 CrMoV 5-11

In ostdeutschen Kraftwerken sind für temperaturbeanspruchte Rohrleitungen Rohre aus russischen Stählen zum Einsatz gekommen. Für Frischdampfleitungen wurde der Stahl 15 CrMoV 5-10 (15Ch1M1F) eingesetzt. Er ist als Rohrstaahlmodifikation vergleichbar mit dem Stahlguss GS-17 CrMoV 5-11, der sich in Deutschland in Turbinen- und Armaturengehäusen im Temperaturbereich bis 550 °C bewährt hat. Die artgleichen Schweißzusätze zum GS-17 CrMoV 5-11 sind auch für den Rohrwerkstoff 15 CrMoV 5-10 zugelassen. Das Schweißen erfolgt unter Vorwärmung von 200 °C und einer Zwischenlagentemperatur von 250 °C bis 300 °C. Eine Wärmebehandlung nach dem Schweißen ist erforderlich bei 710 bis 740 °C, wobei die Haltedauer 3 min/mm Wanddicke betragen soll. Bei Formstücken und Wanddicken > 45 mm ist die Wärmebehandlung aus der Schweißwärme obligatorisch.

10 CrMo 9-10; ASTM A 387, Gr. 22, Cl. 2

Dieser Stahl liegt wie 13 CrMo 4-5 und 15 CrMoV 5-10 im vergüteten Zustand vor und ist ebenfalls lufthärtend, worauf beim Schweißen besondere Rücksicht zu nehmen ist. In der Wärmeeinflusszone (WEZ) des Grundwerkstoffes, aber auch im Schweißgut selbst können durch Bildung von Martensit harte und spröde Zonen entstehen, die eine Rissbildung fördern. Es muss daher auf etwa 150 - 200 °C vorgewärmt und eine Zwischenlagentemperatur von 250 - 300 °C eingehalten werden. Ein nachträgliches Anlassglühen ist bei 690 - 730 °C durchzuführen. Für die artgleichen Schweißzusätze Phoenix SH Chromo 2 KS, Union I CrMo 9-10 und Union SI CrMo 2 / UV 420 TTR liegen Zeitstandwerte über 30.000 h vor. Dadurch ist es möglich, den Sicherheitsbeiwert zu reduzieren (Sicherheitsbeiwert 1,0 bei UP und 0,8 x Berechnungskennwert des Grundwerkstoffes bei Stabelektrode und WIG).



Neuartige Kesselrohrstähle 7 CrWVMoNb 9-6 (T/P23) und 7 CrMoVTiB 10-10 (T/P24)

Höhere Dampftemperaturen und -drücke erfordern auch höhere Kesseltemperaturen. Bislang wurden Membranrohrwände aus den Stählen 16 Mo 3 und 13 CrMo 4-5 gefertigt. Bei höheren Auslegungstemperaturen erfüllen die Werkstoffkennwerte dieser Stähle nicht die gestiegenen Anforderungen bezüglich Warmfestigkeit und Langzeiteigenschaften. Daher wurden die Grundwerkstoffe 7 CrWVMoNb 9-6 (T23) und 7 CrMoVTiB 10-10 (T24) für Membranwände entwickelt und qualifiziert.

Neben dem Einsatz als dünnwandiges Kesselrohr sind diese Stähle auch hervorragend geeignet für dickwandige Komponenten.

Bild 2 zeigt im Vergleich zu 10 CrMo 9-10 (P22) die wesentlich verbesserten Zeitstandfestigkeitswerte. Die Einsatztemperatur dieser 2 1/4 Cr-Stähle ist bis max. 560 °C zu begrenzen, da darüber hinaus mit starker Verzunderung zu rechnen ist.

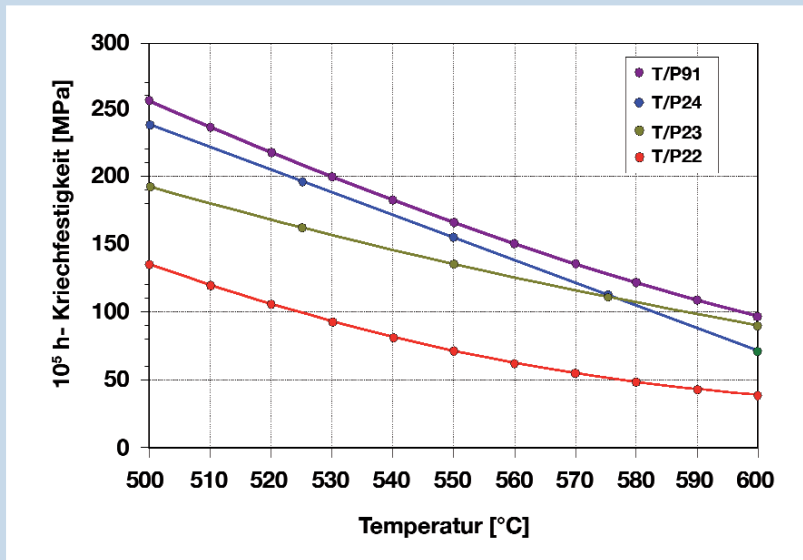


Bild 2:

100.000 h - Werte für die Zeitstandeigenschaften von T/P22, T/P23, T/P 24 und T/P91 bei verschiedenen Temperaturen

Bild 3 macht den wirtschaftlichen Nutzen des Einsatzes dieser neuen bainitischen Stähle am Beispiel eines T-Stückes deutlich.

Der Vorteil dieser beiden Stähle liegt bezüglich der Verarbeitung in der relativ niedrigen Aufhärtung in der WEZ nach dem Schweißen (Härte max. 350 HV). Auch für diese Stähle werden artgleiche Schweißzusatzwerkstoffe gefordert, wobei die Forderung nach ausreichender Zähigkeit an das Schweißgut im Schweißzustand gestellt wird. Ergebnisse zum artgleichen Schweißgut zu T/P23 sind in **Tabelle 5** aufgelistet.

WIG-Schweißverbindungen bei Wandstärken < 10 mm erfordern keine WBH.

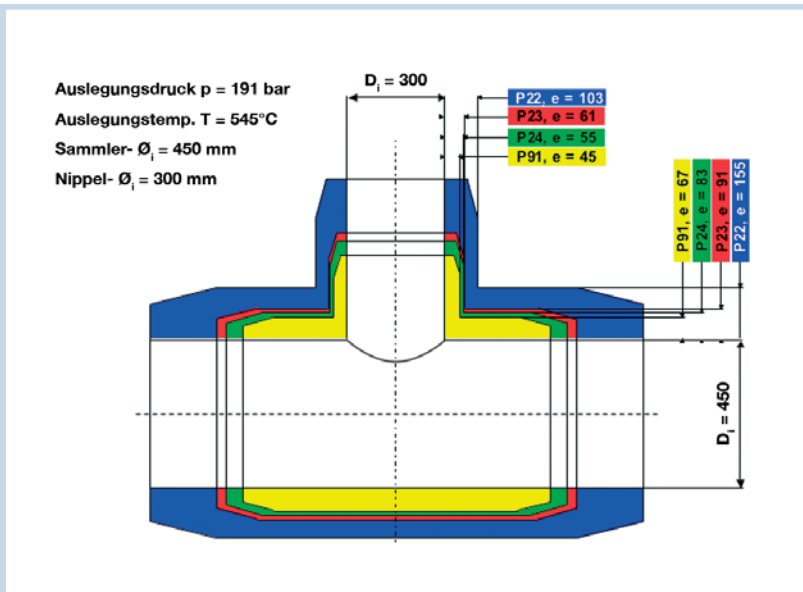


Bild 3:

Vergleich der Wanddicken von T-Stücken aus P22, P23, P24 und P91, gemäß Berechnung nach EN 13480-3

Dickwandigere Bauteile erfordern allerdings eine WBH, insbesondere beim Lichtbogenhand- und UP-Schweißen. Diese WBH sollte bei 740 bis 750 °C ausgeführt werden. Die Haltezeit richtet sich nach der Wandstärke und dem Schweißverfahren. **Bild 4** zeigt die empfohlene Wärmebehandlung beim Schweißen und nachfolgender WBH dieser beiden Stähle.

Die WBH ist sorgfältig auf die konstruktiven Gegebenheiten abzustimmen, insbesondere bei T/P23. T/P23 neigt zum „stress relief cracking“. Daher sollte bei großen Wanddickensprüngen unmittelbar aus der Schweißwärme eine Zwischenendspannung bei 500 bis 550 °C erfolgen. Bei gleicher

Wandstärke kann direkt aus der Schweißwärme die WBH erfolgen. In jedem Fall ist eine Abkühlung auf $\leq 250\text{ °C}$ notwendig, um mögliche Martensitbildung abzuschließen, bevor die WBH erfolgt. Die Ergebnisse einer P23-Rohrrundnahtschweißung sind in **Tabelle 6** zusammengefasst.

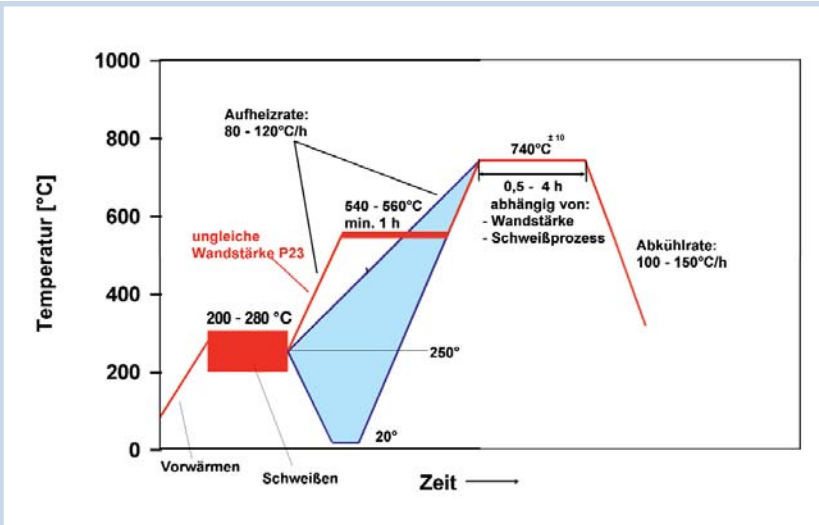


Bild 4:

Schematische Darstellung des Temperaturzyklus beim Schweißen von T/P23 bzw. T/P24

Tabelle 5: Chemische Zusammensetzung und Gütewerte des reinen Schweißgutes artgleicher Schweißzusatzwerkstoffe zu T/P23 für verschiedene Schweißverfahren

Chemische Zusammensetzung; reines Schweißgut in %								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Nb
WIG / LBH / UP	0,08	0,27	0,54	2,2	0,08	0,21	1,6	0,04
Mechanische Gütewerte des reinen Schweißgutes bei RT								
Schweißverfahren	WBH (°C/h)	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (%)	KV (ISO-V) (J)	Härte (HV10)		
WIG								
Union I P23	—	639	818	21,4	> 200	270		
Ø: 2,4 mm	740/2	520	620	20,2	> 250	250		
Stabelektrode								
Thermanit P23	740/2	509	625	19,9	> 120	227		
Ø: 4,0 mm								
UP								
Union S P23	740/2	615	702	18,1	> 150	237		
Pulver: UV 430 TTR-W								
Draht-Ø: 4,0 mm								

Tabelle 6: Ergebnisse einer P23-Rohrrundnahtschweißung mit artgleichen Schweißzusätzen

Rohrabmessung: Ø 219 mm x 30 mm
Schweißzusatz: Wurzel WIG
 2 Fülllagen Stabelektrode
 10 Fülllagen UP; Draht-Ø 3,2 mm
Vorwärmtemperatur: 250 °C; Zwischenlagentemperatur: max. 300 °C
UP: I₁ = 450 A (=/+); U₁ = 28 V; v₁ = 52 cm/min.; E = 14,5 kJ/cm

WBH (°C/h)	Prüftemperatur (°C)	R _m (MPa)	Bruchlage	Biegewinkel	KV (ISO-V) (J)	Härte (HV10)
740 / I	+20	580	GW	180°	120	<250
740 / I	+600	333	GW	—	—	—

Das WIG-Schweißgut hat im Schweißzustand eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig hoher Zähigkeit und eine Härte von < 300 HV. Dieses Schweißgut muss bei Wandstärken ≤ 10 mm nicht angelassen werden. Bei größeren Wandstärken ist aber auch hier eine WBH bei 740 °C/2 h notwendig.

Tabelle 7 enthält Ergebnisse zu artgleichen Schweißgütern zu T/P24. Hierbei ist zu bemerken, dass die Schweißzusätze anders als der Grundwerkstoff, nicht mit Ti, sondern mit Nb legiert sind, da Ti unkontrolliert im Lichtbogen abbrennt.

Auch diese Legierung zeigt beim WIG-Schweißgut eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig hoher Zähigkeit im reinen Schweißgut. Die Härte des WIG-Schweißgutes im Schweißzustand liegt ebenfalls unter 300 HV 10.

Die aufgeführten hohen WIG-Kerbschlagzähigkeitswerte im Schweißzustand sind nur reproduzierbar bei sehr dünn ausgebildeten Schweißraupen. Zeitstanduntersuchungen an reinen Schweißgütern und Schweißverbindungen werden derzeit durchgeführt. Es liegen bereits bei 550 °C Zeitstandsergebnisse > 25.000 h vor, wobei das Streuband des Grundwerkstoffes bereits erreicht ist.

Tabelle 8 enthält Ergebnisse aus einer Zulassungsschweißung an einem Rohr mit den Abmessungen ø 150 x 20 mm. Die Wurzel wurde WIG, 2 Fülllagen mit Stabelektroden und die restlichen Lagen UP-geschweißt. Die nachfolgende WBH wurde bei 740 °C/2h durchgeführt. Die Bruchlage der Quersugprobe lag im Grundwerkstoff. Die Kerbschlagzähigkeit im Schweißgut entspricht den hohen Werten des reinen Schweißgutes. Die Seitenbiegeproben zeigten bei 180° Biegewinkel keine Fehler. Die max. Härte lag unter 250HV10. **Bild 4** zeigt schematisch die Wärmeleitung und nachfolgende WBH (falls erforderlich). Die WBH kann direkt aus der Schweißwärme (falls ≤ 250 °C) erfolgen. **Tabelle 8** zeigt des Weiteren Ergebnisse aus einer dünnwandigen Kesselrohrverbindung. Bei derartigen WIG-Schweißungen an Wandstärken < 10 mm ohne nachfolgende WBH sind die Schweißer gezielt auf das Schweißen dünner Raupen zu schulen. Besonders die Decklage sollte dünn ausgeführt werden. Diese sollte die darunter liegenden Raupen „anlassen“. Für ein Kesselrohr mit 6 mm Wandstärke bedeutet das 3 Lagen. Zweilagige Schweißungen erfüllen nicht die Zähigkeitsanforderungen.

Die artgleichen Schweißzusätze zu T24 (WIG und E-Hand) wurden bereits in einem Wirbelschichtkessel für ein Kohlekraftwerk erfolgreich eingesetzt. Derzeit werden die Schweißzusätze zu T/P23 und T/P24 für weiteren Kraftwerkseinsatz in verschiedenen Projekten qualifiziert. Insbesondere werden dabei die Langzeiteigenschaften der Schweißgüter und Schweißverbindungen ermittelt.

Im Kraftwerk Scholven wurde im Rahmen des Projektes „Comtes 700“ durch Alstom ein Bypass für eine Dampftemperatur von 700 °C installiert. Ein Teil der Membranwand wurde aus T24 (Rohre und Stegbleche) gefertigt. Hierbei kamen die artgleichen Schweißzusätze von T-PUT zum Einsatz. Nach dem Schweißen erfolgte keine WBH.

Tabelle 7: Chemische Zusammensetzung und mechanisch-technologische Gütwerte für verschiedene artgleiche Schweißzusätze zu T/P24

Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)									
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	N	B	Ti/Nb
WIG / LBH / UP	0,07	0,2	0,5	2,2	1,0	0,24	0,014	0,0020	0,04

Mechanische Eigenschaften; reines Schweißgut							
Verfahren	WBH (°C/h)	Prüftemperatur + (°C)	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	Dehnung (%)	KV (ISO-V) (J)	Härte (HV10)
WIG							
Union I P24	–	20	664	803	19	> 200	322
Ø: 2,4 mm	740/2	20	595	699	20	> 250	230
LBH							
Thermanit P24	740/2	20	577	689	18	> 120	233
Ø: 4,0 mm							
UP							
Union S P24	740/2	20	495	600	24	> 150	206
Pulver: UV 430 TTR-W [*]							
Draht-Ø: 4,0 mm							

* für das Schweißen der Membranwände UV 305

Tabelle 8: Mechanische Gütwerte einer P24 und einer T24 Rohrrundnahtschweißung bei RT

P24 (Rohrabmessungen: ø 159 x 20 mm)						
Schweißverfahren	WBH (°C/h)	R _m (MPa)	Bruchlage	KV (ISO-V) (J)	Härte (HV10)	Biegewinkel
WIG, LBH, UP	740/2	597	GW	200-290	< 250	180° o.k.

T24 (Rohrabmessungen: ø 38 x 6,3 mm)						
Schweißverfahren	WBH (°C/h)	R _m (MPa)	Bruchlage	KV (ISO-V) (J)	Härte (HV10)	Biegewinkel
WIG	–	639	GW	60-76	≤ 336	180° o.k.

Martensitische Stähle X20CrMoV 11-1; X10CrMoVNb 9-1 (P91); X11CrMoWVNb 9-1-1 (E911) und X10CrWMoVNb 9-2 (P92)

Martensitische Stähle werden benötigt für Frischdampf- und Überhitzerleitungen sowie als Sammlerwerkstoff. In Deutschland und Europa wurde zwischen 1960 bis etwa 1990 der Stahl X20CrMoV 11-1 eingesetzt. Ab etwa 1990 wurde dieser Stahl durch den 9 % Cr-Stahl P91 ersetzt. **Bild 5** zeigt die geringere Zeitstandfestigkeit des X20CrMoV 11-1 im Vergleich zu anderen martensitischen Stählen wie P91, E911 oder P92 sowie austenitischen Stählen und Ni-Basis Legierungen. Die 9 %igen Chromstähle P91, E911 und P92 haben aufgrund des niedrigen C-Gehaltes gegenüber X20CrMoV 11-1 schweißtechnische Vorteile, da die max. Härte nach dem Schweißen um etwa 200 HV 10 niedriger liegt (450 HV 10 zu 650 HV 10).

Bild 6 zeigt dickwandige Anschlussstutzen einer Frischdampfleitung aus P91.

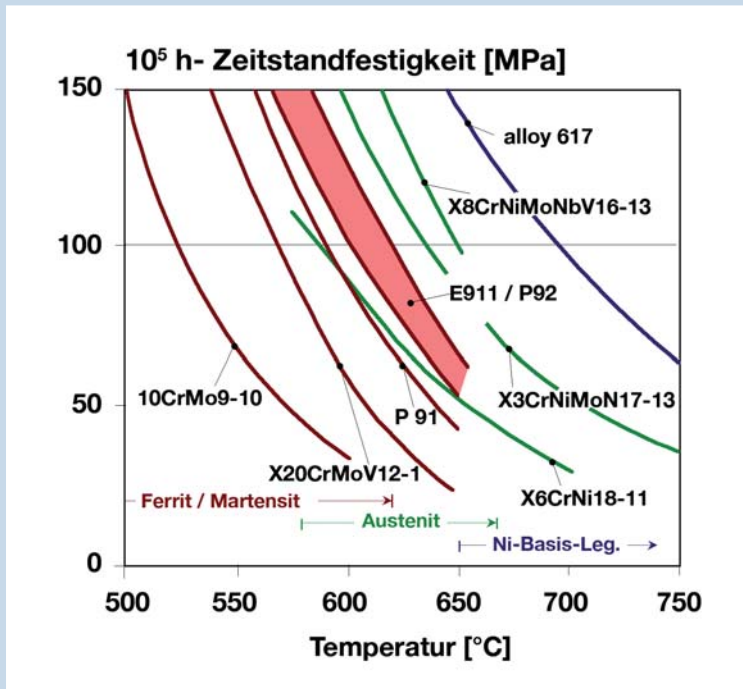


Bild 5:

Rohrwerkstoffe für den Einsatz in Frischdampf-Leitungen von Kraftwerken

Bild 6:

Dickwandige Anschlussstutzen einer Frischdampfleitung aus P91



Tabelle 9 enthält typische Analysenwerte und mechanische Güterwerte zu den artgleichen Schweißzusätzen zu P91. Die Zähigkeit der Schweißgüter bei RT hängt neben der optimierten Analyseneinstellung und den optimierten Schweißparametern (möglichst dünne Raupen) in starkem Maße von den WBH-Parametern ab.

Zunehmende WBH-Temperatur und -zeit führen zu höheren Zähigkeitswerten und niedrigerer Härte (**Bilder 7 u. 8**).

Tabelle 9: Chemische Zusammensetzung und mechanische Güterwerte artgleicher Schweißzusätze zu P91

Chemische Zusammensetzung (wt-%)											
Verfahren	Schweißzusatz	Ø (mm)	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Nb	N
LBH	Thermanit Chromo 9 V	3,2	0,09	0,23	0,65	9,1	1,0	0,76	0,20	0,06	0,03
WIG	Thermanit MTS 3	2,4	0,09	0,15	0,43	9,2	1,0	0,75	0,22	0,04	0,03
UP	Thermanit MTS 3 Pulver: Marathon 543	3,0	0,09	0,22	0,32	8,7	0,9	0,71	0,22	0,05	0,03

Mechanische Eigenschaften; WBH 760 °C/2h, Prüftemperatur +20 °C						
Verfahren	Schweißzusatz	Ø (mm)	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	Dehnung (%)	KV (ISO-V) (J)
LBH	Thermanit Chromo 9 V	3,2	621	729	19,4	65
WIG	Thermanit MTS 3	2,4	669	769	19,8	200
UP	Thermanit MTS 3 Pulver: Marathon 543	3,0	581	738	20,0	70

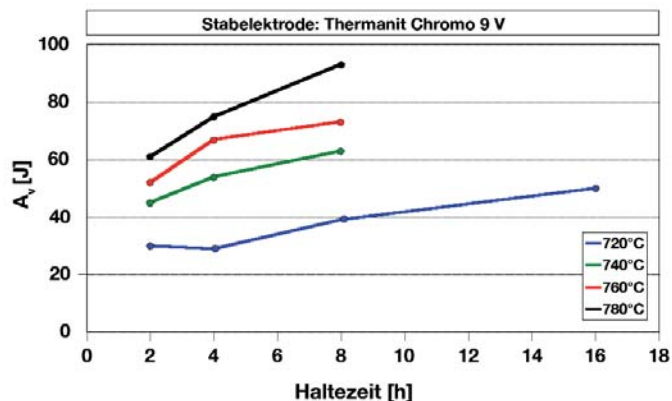


Bild 7:

Einfluss der WBH-Bedingungen auf die Kerbschlagzähigkeit des artgleichen Schweißgutes zu P91

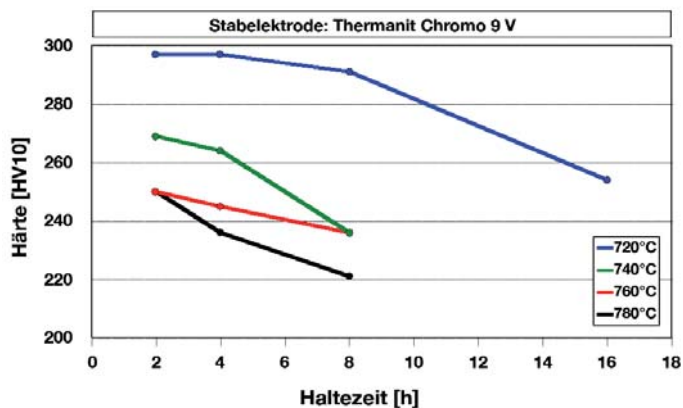


Bild 8:

Einfluss der WBH-Bedingungen auf die Härte (bei RT) des artgleichen Schweißgutes zu P91

In **Bild 9** ist die empfohlene Wärmeführung beim Schweißen und anschließender WBH für die 9 %igen Chromstähle P91, E911 und P92 skizziert. Die empfohlene WBH-Temperatur 760 °C sollte nicht wesentlich überschritten werden, da sonst die Gefahr besteht, während der WBH Austenit zu fördern, der anschließend zu nicht angelassenem Martensit führt.

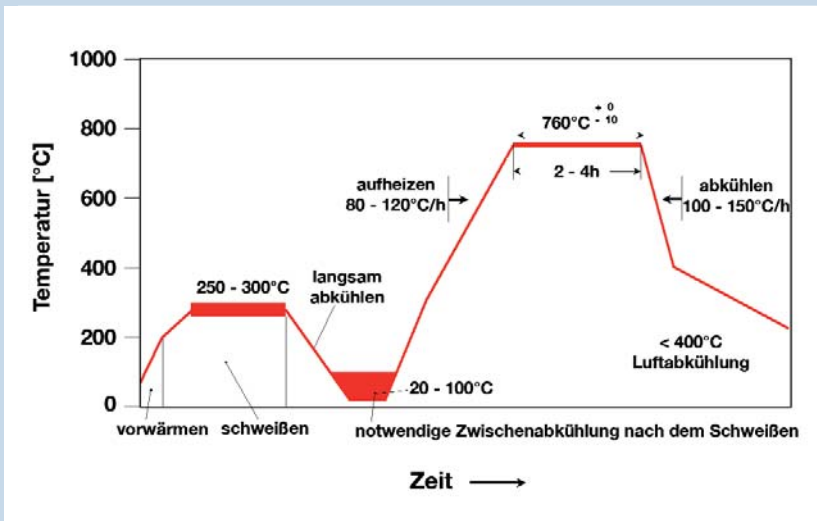


Bild 9:

Wärmeführung beim Schweißen und anschließende Wärmebehandlung martensitischer Stähle, P91, E911 und P92

Bei der Analyse zu artgleichen Schweißzusätzen zu P91, E911 und P92 sind besonders die Gehalte C, V, Nb, Mn und Ni wichtig im Hinblick auf ausreichende Zeitstandfestigkeiten. Der C-Gehalt sollte mindestens 0,08 % im reinen Schweißgut betragen. Hier ist beim UP-Schweißen auf die optimale Pulverauswahl zu achten, da die meisten UP-Pulver C abbrennen. Für die martensitischen Rohrstähe steht mit **Marathon 543** ein Pulver zur Verfügung, welches den C-Abbrand kompensiert.

Weitere Analyseneingrenzungen:

$$V = \min 0,18 \% ; Nb = \min 0,040 \% ; Mn + Ni \leq 1,5 \%$$

Die Grenzwerte V und Nb sind in Verbindung mit min 0,08 % C und min 0,03 % N wichtig, um ausreichend stabile Carbonitrid-Ausscheidungen zu bilden, die die Zeitstandfestigkeit sichern. Wichtig ist außerdem die Kontrolle des Mn- und Ni-Gehaltes. Dieser Wert darf 1,5 % nicht überschreiten, da sonst die empfohlene WBH-Temperatur 760 °C im Bereich des Umwandlungspunktes zum Austenit liegt.

Ergebnisse von Zeitstanduntersuchungen mit T-PUT-Schweißzusätzen an P91-Schweißungen bei 600 °C mit Versuchsdauer > 30.000 h zeigen, dass unsere Schweißzusätze den Anforderungen entsprechen. Die Ergebnisse am reinen Schweißgut liegen im Streuband des Grundwerkstoffes.

Die Forschungs- und Entwicklungsabteilung von T-PUT führt in Kooperation mit einem namhaften Rohrhersteller Langzeitversuche durch. Sie sind unerlässlich, um bei den hochbeanspruchten Bauteilen mit abgesicherten Kennwerten zu rechnen. Ergebnisse aus Kurzzeitversuchen (Iso-Stress Versuche) und anschließende Extrapolationen mit Larsen Miller Parametern auf 100.000 h ergeben unrealistisch hohe Werte, wie viele Gegenüberstellungen gezeigt haben.

Tabelle 10: Chemische Zusammensetzung und mechanische Gütwerte artgleicher Schweißzusätze zu E911 (P911)

Chemische Zusammensetzung (%); reines Schweißgut												
Verfahren	Schweißzusatz	Ø (mm)	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Nb	W	N
LBH	Thermanit MTS 911	4,0	0,11	0,21	0,61	8,96	0,97	0,60	0,18	0,040	0,94	0,06
WIG	Thermanit MTS 911	2,4	0,11	0,39	0,44	8,96	0,97	0,58	0,21	0,060	1,03	0,04
UP	Thermanit MTS 911 Pulver: Marathon 543	3,2	0,10	0,38	0,59	8,99	0,89	0,74	0,18	0,045	0,90	0,06

Mechanische Gütwerte bei RT; reines Schweißgut							
Verfahren	Schweißzusatz	WBH (°C/h)	Ø (mm)	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (%)	KV (ISO-V) (J)
LBH	Thermanit MTS 911	760/2	4,0	626	765	19,2	68
WIG	Thermanit MTS 911	760/0,5	2,4	698	813	19,4	94
UP	Thermanit MTS 911 Pulver: Marathon 543	760/4	3,2	685	798	19,8	53

Tabelle 10 enthält Analysen und mechanische Gütwerte artgleicher Schweißzusätze zu E911. Auch hierzu wurden Langzeitversuche > 30.000 h durchgeführt. Zeitstanduntersuchungen an reinen Schweißgütern und an E911-Verbindungsschweißungen haben ergeben, dass die Bruchpunkte entweder innerhalb des Streubandes des Grundwerkstoffes liegen, oder dass die Brüche innerhalb der WEZ erfolgten. Damit ist sichergestellt, dass die T-PUT Schweißzusätze den Anforderungen in vollem Umfang entsprechen.

Bild 10 zeigt ein Sammlerrohr aus P92. Hierbei handelt es sich um den ersten Einsatz von P92 in einem deutschen Kraftwerk (Reparaturmaßnahme 1997 durch Fa. Alstom). T-PUT lieferte die entsprechenden Schweißzusätze (**Tabelle 11**).

Mit diesen Schweißzusätzen wurden ebenfalls Zeitstanduntersuchungen > 30.000 h durchgeführt. Es konnte wieder nachgewiesen werden, dass die Schweißzusätze der T-PUT den Anforderungen des Grundwerkstoffes entsprechen.



Bild 10:

Frischdampfsammler aus P92

Tabelle 11: Chemische Zusammensetzung und mechanische Gütewerte artgleicher Schweißzusätze zu P92

Chemische Zusammensetzung (%); reines Schweißgut													
Verfahren	Schweißzusatz	Ø (mm)	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Nb	W	N	B
LBH	Thermanit MTS 616	4,0	0,11	0,27	0,65	8,95	0,53	0,70	0,19	0,044	1,72	0,045	+
WIG	Thermanit MTS 616	2,4	0,10	0,36	0,44	8,89	0,41	0,72	0,23	0,069	1,75	0,052	+
UP	Thermanit MTS 616 Pulver: Marathon 543	3,2	0,09	0,36	0,60	8,45	0,41	0,73	0,17	0,040	1,59	0,059	+

Mechanische Gütewerte bei RT; reines Schweißgut							
Verfahren	Schweißzusatz	WBH (°C/h)	Ø (mm)	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (%)	KV (ISO-V) (J)
LBH	Thermanit MTS 616	760/2	4,0	675	800	17,6	54
WIG	Thermanit MTS 616	760/0,5	2,4	751	854	19,6	64
UP	Thermanit MTS 616 Pulver: Marathon 543	760/4	3,2	621	742	20,8	53

Ein neuer 12 %iger martensitischer Chromstahl – VMI2-SHC (X12CrCoWVNb 11-2-2)

Die zuvor beschriebenen Grundwerkstoffe E911 und P92 werden nach allen bisherigen Erkenntnissen bis max. 620 °C eingesetzt. Der Grund liegt in der unzureichenden Zunderbeständigkeit bei höheren Temperaturen. Hier sind Werkstoffe mit höherem Cr-Gehalt notwendig. In dem europäischen Forschungsprogramm „COST 536“ wird ein von Vallourec & Mannesmann entwickelter 12 %iger Chromstahl (VM 12) für Anwendungstemperaturen bis max. 650 °C optimiert und ertüchtigt. Auch hier ist T-PUT in das Projekt maßgeblich eingebunden und entwickelt die artgleichen Schweißzusätze Thermanit MTS 5 CoT zu VM 12.

Die Entwicklung artgleicher Schweißzusätze zu den Schweißprozessen WIG und LBH kann für dünnwandige Komponenten (Kesselrohre; max. 10 mm) als abgeschlossen betrachtet werden. Kesselrohre bis 10 mm Wandstärke sind bezeichnet als VMI2-SHC, wobei SHC bedeutet: special high corrosion resistant. Bei dickwandigen Bauteilen läuft die Optimierung der Analyse bezüglich besserer Zeitstandfestigkeiten bei hoher Oxidationsbeständigkeit im Einklang mit der Grundwerkstoffentwicklung bei V&M. Das artgleiche Schweißgut zeichnet sich aufgrund des vorliegenden Legierungskonzeptes durch hohe Festigkeitswerte aus.

Gleichzeitig ergibt sich jedoch nur ein Zähigkeitsniveau in den Schweißzusätzen mit Werten um 40 J. Damit liegen sie unterhalb von den zuvor genannten Schweißzusätzen für die 9 - 10 % Cr-Stähle. Bei dieser Legierung hat sich auch gezeigt, dass eine Ni/Nb-Modifikation des Schweißgutes, wie sie bei den artgleichen Schweißzusätzen zu E911 und P92 erfolgreich angewandt werden konnte, keine Verbesserungen bewirkt. Dennoch ist das Zähigkeitsniveau ausreichend, da die geforderten Mindestwerte bei > 27 J liegen. Allerdings ist es erforderlich, dass beim Schweißen größtmögliche Sorgfalt gewährleistet sein muss (Einhalten geringer Wärmeeinbringung, richtig Wahl der Elektroden-Ø, Einhalten der zulässigen Lagendicke, etc.). Die WBH sollte bei 770 °C durchgeführt werden, da bei 760 °C keine ausreichend hohen Zähigkeitswerte garantiert werden können. Die A_{clb} -Temperatur des Schweißgutes liegt bei 800 °C. Die Wärmeführung beim Schweißen ist **Bild 11** zu entnehmen. Gegenüber E911 und P92 ist die Zwischenlagentemperatur auf max. 280 °C zu begrenzen, um ein Schweißen im martensitischen Bereich sicherzustellen. Der Martensitstartpunkt liegt für den Grundwerkstoff bei etwa 300 °C.

Die **Tabelle 12** enthält Ergebnisse für die Schweißverfahren WIG und Lichtbogenhand.

Gegenüber E911 und P92 ist diese Legierung höher im Cr-Gehalt legiert. Da hierdurch Ferrit gebildet wird, muss mit einem Austenitbildner gegengesteuert werden. Dieses wird mit Co realisiert. Co beeinflusst im Gegensatz zu Ni nicht den A_{clb} -Punkt.

Aus den Verbindungsschweißungen werden derzeit Zeitstandsuntersuchungen durchgeführt.

In neuen Kraftwerkprojekten in Deutschland werden der Stahl VMI2-SHC und die vorgestellten SZW bis Wandstärken ≤ 10 mm eingesetzt.

Tabelle 12: Chemische Zusammensetzung und mechanische Gütewerte artgleicher Schweißgüter (Thermanit MTS 5 CoT) zu einem neuen 12 %igen Cr-Stahl VMI2-SHC

Chemische Zusammensetzung (Gew.-%); Grundwerkstoff und reines Schweißgut

	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Nb	W	Co	N	B
WIG / LBH	0,14	0,5	0,35	11,3	0,3	0,5	0,22	0,06	1,41	1,6	0,04	0,003

Mechanische Eigenschaften bei RT; reines Schweißgut

Verfahren	Ø (mm)	WBH (°C/h)	$R_{p0,2}$ (MPa)	R_m (MPa)	Dehnung (%)	KV (ISO-V) (J)	Härte (HV10)
WIG	2,4	770/2	684	822	18	40	295
LBH	4,0	770/2	689	832	17	40	281

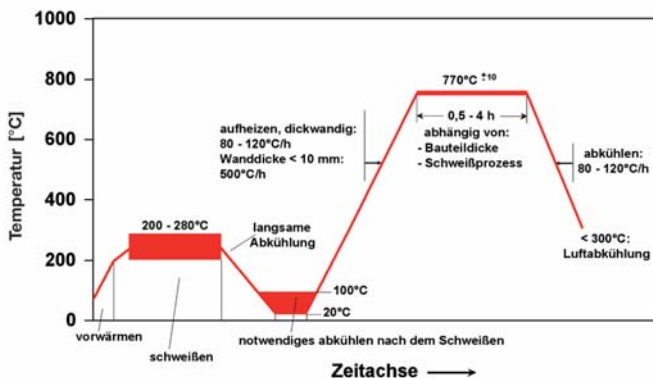


Bild 11:

Wärmeführung beim Schweißen des 12 %igen Chromstahles VMI2-SHC

Ein neuer austenitischer warmfester Kesselrohrstahl – Super 304 H (18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N; ASME CC2328)

Für superheater und reheater Kesselrohre werden bei den neuen Kraftwerken mit überkritischen Parametern neue Werkstoffe benötigt. Einige der vorgestellten Werkstoffe würden zwar den Festigkeitsanforderungen bis 650 °C genügen, aber nicht den Hochtemperaturkorrosionsbedingungen standhalten. Den Korrosionsangriffen von der befeuerten Seite (außen) und der Oxidationsbeanspruchung auf der Dampfseite (innen) muss besondere Beachtung geschenkt werden. Die Oxidschicht auf der Rohrinneiseite führt zu höheren Materialtemperaturen und beeinflusst die Zeitstandfestigkeit. Die äußere Hochtemperaturkorrosion reduziert die effektive Wandstärke. Für reheater und superheater Kesselrohre wurden neue austenitische Stähle entwickelt. Einer dieser neuen Werkstoffe ist Super 304 H. Die chemische Zusammensetzung ist in **Tabelle 1** aufgelistet. Dieser Kesselrohrwerkstoff findet Verwendung im Temperaturbereich 600 - 650 °C und wird derzeit in allen neuen Kraftwerken eingesetzt. Darüber hinaus sind noch weitere austenitische Stähle entwickelt worden, wie HR 3 C, DMV 310 N, 347 HFG, auf die in dieser Broschüre nicht weiter eingegangen wird. Diese austenitischen Stähle haben gegenüber den martensitischen Stählen einen höheren Cr-Gehalt, was die bessere Oxidationsbeständigkeit bei höheren Temperaturen bewirkt. Zu Super 304 H wurden artgleiche Schweißzusätze entwickelt. **Tabelle 13** enthält Angaben zur chemischen Zusammensetzung und mechanische Gütewerte für das reine WIG- und LB-Hand-Schweißgut.

Tabelle 13: Chemische Zusammensetzung und mechanische Gütewerte artgleichher Schweißgüter (Thermanit 304 H Cu) zu dem austenitischen warmfesten Kesselrohrstahl Super 304 H

Chemische Zusammensetzung								
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb	N
0,09	0,4	3,2	18	0,9	16,5	3	0,6	0,2

Mechanische Eigenschaften bei RT; reines Schweißgut					
Schweißverfahren	Prüftemperatur (°C)	R _p (MPa)	R _m (MPa)	Dehnung (%)	KV (ISO-V) (J)
WIG	RT	533	703	28	80
LBH	RT	541	711	30	80

Qualitätssicherung, Kompetenz

T-PUT ist seit Jahrzehnten ein kompetenter und verlässlicher Partner für Anwendungen im Kraftwerksbereich. Das gilt für die Lieferung von Schweißzusätzen wie auch für die Lösung von schweißtechnischen Problemstellungen.

Unsere Fertigung erfüllt alle Anforderungen seitens der Kraftwerksbetreiber und -erbauer. Unser zugelassener Betrieb ist zertifiziert gemäß DIN EN ISO 9001 und DIN EN ISO 14001, KTA 1408 sowie ASME III, NCA 3800 und Areva. Jahrelange Zusammenarbeit mit Rohrherstellern, Engineering-Firmen, Rohrleitungsfirmen und Apparatebauern haben zu entsprechendem Know-how in diesem anspruchsvollen Segment geführt. Wie kein anderer Hersteller von Schweißzusätzen führen wir intensive Entwicklungen zu den warmfesten und hitzebeständigen Schweißzusätzen durch. Dabei legen wir ganz besonders Wert auf breit angelegte Zeitstandsuntersuchungen, die den Verarbeitern eine große Sicherheit bei der Wahl der Schweißzusätze geben. Diese Erfahrungen nutzen unsere Kunden bei den anspruchsvollen und verantwortungsvollen Schweißaufgaben im Kraftwerksbau. Alle erwähnten Schweißzusätze sind TÜV-geprüft und somit für den Einsatz in druckführenden Bauteilen in Kraftwerken zugelassen.

Normung der Schweißzusätze für warmfeste Stähle

Stabelektroden	EN 1599	bzw.	AWS A 5.5
Drahtelektroden / Stäbe	EN 12070	bzw.	AWS A 5.28
Fülldrähte	EN 12071	bzw.	AWS A 5.28
UP-Pulver	EN 760		
UP-Drähte	EN 12070	bzw.	AWS A 5.23

UP-Pulver für warmfeste Stähle

UV 305:	zur Herstellung von Membranwänden (16 Mo 3 - T23/T24)
UV 306:	16 Mo 3
UV 420 TT:	16 Mo 3; 13 CrMo 4-5; 10 CrMo 9-10
UV 420 TTR:	16 Mo 3; 13 CrMo 4-5; 10 CrMo 9-10
UV 430 TTR-W:	P23; P24
Marathon 543:	X20 CrMoV 11-1; P91; E911; P92; VM 12

Referenzliste

ABB Sae Sadelmi, Vereinigte Arabische Emirate	Doosan Heavy Industries Ltd., Südkorea	Performance Mechanical Construction, USA
Alborg Industries A/S, Dänemark	Dongfang Boiler Works, China	Rafako, Polen
Al Hassan Engineering Co. S.A.O.G, Oman	Dongfang Electric Corporation, China	Reliance Industries Ltd., Indien
Alstom Portugal S.A., Portugal	Eisenbau Krämer mbH, Deutschland	Remak, Polen
Alstom Power Boiler GmbH, Deutschland	Energomontaz, Polen	S&B Constructors, USA
Alstom Power Boilers, Tschechien	ENSA, Spanien	Sefako, Polen
Alstom Power Boilers, Indien	Erndtebrücker Eisenwerk GmbH & Co. KG, Deutschland	SETImace, Slowakai
Alstom Power Boilers, Polen	Essener Hochdruck und Rohrleitungsbau, Deutschland	Shanghai Boiler Works Co. Ltd., China
Anhui Electricity Construction Co. Ltd., China	E.ON, Deutschland	Shandong No. 1 Electricity Co. Ltd., China
Ansaldo Energia S.p.A., Italien	Foster Wheeler, Polen	Shandong No. 2 Electricity Co. Ltd., China
Azco, USA	AREVA, Frankreich	Shandong No. 3 Electricity Co. Ltd., China
Babcock Power Espana S.A., Spanien	Gulf Piping Co., Vereinigte Arabische Emirate	Siemens AG Görlitz, Deutschland
Babcock Borsig Power, Deutschland	Haerbin Boiler (Group) Co. Ltd, China	Skoda Energo, Tschechien
Babcock Borsig Power, Vereinigte Arabische Emirate	Hang Zhou Boiler Works Co. Ltd., China	Sonntag Rohrkomponenten GmbH, Deutschland
Babcock Borsig Service, Deutschland	Hitachi Europe GmbH, Deutschland	Sung Jin Geotec Co. Ltd., Südkorea
Babcock & Wilcox Beijing Co. Ltd, China	Il Sung, Südkorea	Steinserv GmbH, Deutschland
Bechtel Construction, USA	Kiewit Corp., USA	Tianjin Electricity Construction Co. Ltd., China
Beijing Electricity Construction Co. Ltd., China	Kraftanlagen München GmbH, Deutschland	Thermax Babcock Wilcox Ltd., Indien
Bharat Heavy Electricals Ltd, Indien	Meeraner Dampfkesselbau GmbH, Deutschland	Zachry Construction Corp., USA
Boiler Works A/S, Dänemark	Modranska Potrubni, Tschechien	Zhejiang Electricity Construction Co. Ltd., China
Bopp und Reuther GmbH, Deutschland	National Thermal Power Corp., Indien	Z&J Technologies GmbH, Deutschland
Dodsal Pte Ltd., Vereinigte Arabische Emirate		ZRE, Polen

Weiterführende Veröffentlichungen zu den vorgestellten Werkstoffen und Schweißzusätzen:

- [1] Hahn, B.; Vandenbergh, B.; Vaillant, J.C.; Bendick, W.: The WB 36 Book, 2002; Vallourec & Mannesmann Tubes.
- [2] Haarmann, K.; Vaillant, J.C.; Vanderberghe, B.; Bendick, W.; Arab, A.: The T91/P91 Book, 2002, Vallourec & Mannesmann Tubes.
- [3] Richardot, D.; Vaillant, J.C.; Arab, A.; Bendick, W.: The T92/P92 Book, 2000, Vallourec & Mannesmann Tubes.
- [4] Arndt, J.; Haarmann, K.; Kottmann, G.; Vaillant, J.C.; Bendick, W.; Deshayes, F.: The T23/T24 Book, Vallourec & Mannesmann Tubes 1998.
- [5] Heuser, H.; Jochum, C. und Hahn, B.: Properties of Matching Filler Metals for E911 and P92; 28. MPA-Seminar Stuttgart, 10./11.10.2002, Tagungsband Vol. 2.
- [6] Blume, R.; Heuser, H.; Leich, K.E.; Meyer, F.: Verbesserungen der mechanisch-technologischen Eigenschaften von Schweißverbindungen an CrMoVNb-Stählen mit 9 % Cr durch Optimierung von Schweißzusätzen und Schweißparametern; DVS Bericht 162, S. 206 - 210.
- [7] Heuser, H.; Bendick, W.; Melzer, B.; Zschau, M.; Cerjak, H.; Letofsky, E.: Ermittlung der Langzeiteigenschaften artgleicher Schweißgüter neuer warmfester Stähle. Forschungsbericht P297; Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, Dezember 2000.
- [8] Cerjak, H.; Letofsky, E.; Hanus, R.; Heuser, H.; Jochum, C.: The behaviour of weldings in large 9 % Cr alloy castings; Parsons 2000 conference „Advanced Materials for 21st Century Turbines and Power Plants“; Book 736; S. 386-398; ISBN 1-86125-113-0, The University Press Cambridge.
- [9] Heuser, H. Stracke, E.: Schweißen der neuen Generation martensitischer Stähle für konventionell befeuerte Kraftwerke; 7. Internationales Aachener Schweißtechnik Kolloquium; Shaker, Aachen 2001; ISBN 3-8265-8759-6.
- [10] Heuser, H.; Bendick, W.; Melzer, B.; Zschau, M.; Cerjak, H.; Letofsky, E.: Ermittlung der Langzeiteigenschaften artgleicher Schweißgüter neuer warmfester Stähle; Forschungsbericht P297; Studiengesellschaft Stahlanwendung, Düsseldorf; ISBN 3-934238-21-1, Dezember 2000.
- [11] Heuser, H.: Schweißzusätze für das Schweißen warmfester Stähle, Jahrbuch Schweißtechnik 2003; S. 72 - 90; DVS-Verlag, Düsseldorf; ISSN 0935-0292.
- [12] Fuchs, R.; Heuser, H.; Jochum, C.: Properties of matching filler metals for the advanced martensitic steels P91, P92 and VM 12; Fourth International Conference on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants; October 25-28, 2004; Hilton Head Island; SC, USA.
- [13] Hahn, B.; Bendick, W.; Heuser, H.; Jochum, C.; Vaillant, J.C.; Weber, J.: Use of modern heat resistant steels like T/P91; T/P23; T/P24 for the retrofitting of power station components - experience, welding and application potential. 2nd International Conference „Integrity of High Temperature Welds“; 10.-12. November 2003, London; ISBN 1-86125-160-2.
- [14] Fuchs, R.; Hahn, B.; Heuser, H.; Jochum, C.: Affect of inexpert working of heat resistant steels to the serviceability; EPRI-Conference; June 16-18, 2004; Sandestin, Florida, USA.
- [15] Adam, W.; Heuser, H.; Jochum, C.: Neuartige Schweißzusätze für bainitische und martensitische Stähle; DVS Bericht 237.
- [16] Vaillant, J.C.; Vanderberghe, B.; Hahn, B.; Heuser, H.; Jochum, C.: T/P23, 24, 911 and 92: New grades for advanced coal-fired power plants – properties and experience; ECC-Conference; 12.-14. September 2005; London, UK.
- [17] Adam, W.; Bendick, W.; Hahn, B.; Heuser, H.; Jochum, C.: Ausführung von Mischverbindungen neuwertiger Kraftwerkstähle; DVS-Berichte Band 240; S. 198 - 205; DVS-Verlag, Düsseldorf; ISBN-13: 978-3-87155-699-9.
- [18] Bendick, W.; Hahn, B.; Heuser, H.; Jochum, C.: Rohrstähle für moderne Hochleistungskraftwerke – Werkstoff- und Verarbeitungseigenschaften – Einsatzempfehlungen; DVS-Berichte Band 239; S. 29 - 45; DVS-Verlag, Düsseldorf; ISBN-13: 978-3-87155-698-2.
- [19] Bendick, W.; Gollnick, J.; Hahn, B.; Heuser, H.; Jochum, C.: Anforderungen an die schweißtechnische Verarbeitung hochwarmfester Kraftwerkstähle; 10. Internationales Aachener Schweißtechnik Kolloquium, Eurogress Aachen; 24.-25. Oktober 2007; ISBN 978-3-8322-6644-8; S. 425 - 445.



Böhler Schweisstechnik

Deutschland GmbH

Unionstr. 1

D-59067 Hamm

Tel.: +49(0)2381-271-02

Fax: +49(0)2381-271-402

www.t-put.com

Überreicht durch:

