K32Nb, 15NCuMNb, 15NiCuMoNb5-6-4, 1.6368 – stal kotłowa niklowo-miedziowo-molibdenowa do pracy w podwyższonych temperaturach

15NCuMNb (K32Nb) oraz **15NiCuMoNb5-6-4 (1.6368)** to niskostopowe stale kotłowe konstrukcyjne, wykorzystywane w energetyce, budowie urządzeń ciśnieniowych i instalacji parowych. Stale te zawierają dodatki stopowe, przede wszystkim nikiel, miedź, molibden i niob, które zapewniają korzystne połączenie wysokiej wytrzymałości mechanicznej, plastyczności oraz odporności na długotrwałe obciążenia w podwyższonych temperaturach. Polskie i europejskie oznaczenia tych stali często traktuje się jako odpowiedniki, jednak poszczególne normy mogą określać nieco inne dopuszczalne zakresy zawartości pierwiastków chemicznych.

Materiały dostępne w Alfa-Tech – stal 1.6368 / 15NiCuMoNb5-6-4

Pręty okrągłe gorącowalcowane 1.6368 / 15NiCuMoNb5-6-4
Pręty kute i płaskowniki 1.6368 / 15NiCuMoNb5-6-4
Odkuwki swobodne 1.6368 / 15NiCuMoNb5-6-4 kostki, wały i półwyroby na zapytanie
Rury bezszwowe 1.6368 / 15NiCuMoNb5-6-4
Blachy 1.6368 / 15NiCuMoNb5-6-4 gorącowalcowane

+48 63 2610519
kontakt@alfa-tech.com.pl

Skład chemiczny K32Nb, K32NbA, 15NiCuMoNb5-6-4 i gatunków porównawczych

Poniższa tabela składu chemicznego zawiera wartości udziałów masowych pierwiastków. Dla 1.6368 przyjęto układ składu wg EN 10028-2 (analiza wytopowa), z uwzględnieniem Al całkowitego min. 0,015.

Norma	Gatunek stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	Ti	Al	Cu	N
PN	15NCuMNb **K32Nb**	≤ 0,17	0,80–1,20	0,25–0,50	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,30	0,25–0,40	1,00–1,30	0,020–0,060	–	≤ 0,015	0,50–0,80	–
PN	15NCuMNbA **K32NbA**	0,13–0,17	0,95–1,20	0,25–0,50	≤ 0,030	≤ 0,030	≤ 0,30	0,25–0,40	1,00–1,30	0,020–0,060	–	≤ 0,015	0,50–0,80	–
PN	18CuNMT	≤ 0,20	0,70–1,00	0,30–0,50	≤ 0,040	≤ 0,040	≤ 0,30	0,25–0,32	1,00–1,20	–	0,030–0,050	–	0,90–1,20	–
EN / DIN	15NiCuMoNb5-6-4 **1.6368**	≤ 0,17	0,80–1,20	0,25–0,50	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,30	0,25–0,50	1,00–1,30	0,015–0,045	–	≥ 0,015	0,50–0,80	≤ 0,020
BS	BS 591	0,10–0,17	0,80–1,20	0,25–0,50	≤ 0,030	≤ 0,030	≤ 0,30	0,25–0,50	1,00–1,30	0,045–0,050	–	≤ 0,045	0,50–0,80	≤ 0,020
ISO	9NiMnMoNb5-4-4	≤ 0,17	0,80–1,20	0,25–0,50	≤ 0,030	≤ 0,030	≤ 0,30	0,25–0,40	1,00–1,30	0,015–0,045	–	≤ 0,020	0,50–0,80	–

Znaki „≤” i „≥” wskazują odpowiednio maksymalny lub minimalny udział masowy, znak „–” oznacza brak podanej wartości w zestawieniu. **K32Nb, K32NbA, BS 591, 18CuNMT i 9NiMnMoNb5-4-4** potraktowano jako oznaczenia historyczne lub porównawcze; dla konkretnej dostawy należy przyjąć wymagania jej specyfikacji. Szczególną uwagę zwracają różnice w P, S, Mo, Nb, Cu i Al.

Materiał występuje jako stal na blachy kotłowe, rury bezszwowe, pręty walcowane i kute, tuleje, wały oraz odkuwki. W zależności od rodzaju produktu, grubości ścianki, stanu obróbki i dokumentacji materiałowej może być stosowany w zakresie temperatur właściwym dla urządzeń ciśnieniowych, w wybranych rozwiązaniach rozpatrywanym do około **500°C**. Właściwości wytrzymałościowe i pełzaniowe zawsze rozpatruje się w związku z rzeczywistą temperaturą oraz czasem pracy.

Znaczenie dodatków stopowych

Pierwiastek	Wpływ na właściwości stali kotłowej
Nikiel (Ni)	Zwiększa hartowność i może poprawiać ciągliwość oraz zachowanie przy obciążeniach udarowych; szczególnie ważny w elementach grubościennych.
Miedź (Cu)	Uczestniczy w mechanizmach umocnienia stali; jej zawartość jest jednym z wyróżników tej grupy materiałów.
Molibden (Mo)	Sprzyja zachowaniu wytrzymałości w podwyższonych temperaturach i ogranicza tendencję do mięknięcia podczas długotrwałej eksploatacji.

Pierwiastek	Wpływ na właściwości stali kotłowej
Niob (Nb)	Pierwiastek mikrostopowy; poprzez kontrolę ziarna i wydzielenia wpływa na umocnienie oraz strukturę stali.
Mangan (Mn)	Wpływa na hartowność i wytrzymałość; jego ilość współdecyduje o właściwościach po obróbce cieplnej.
Fosfor (P) i siarka (S) / S	Ograniczane jako domieszki niepożądane ze względu na wpływ na ciągliwość, udarność i jakość połączeń spawanych.

Właściwości mechaniczne blach 1.6368 wg EN 10028-2

Wyniki zależą od grubości nominalnej t. Zamiast podawania jednego zakresu dla wszystkich wyrobów przedstawiono zestawienie wg EN 10028-2:2003: **ReH** – minimalna górna granica plastyczności, **Rm** – wytrzymałość na rozciąganie, **A** – wydłużenie po zerwaniu oraz **KV** – energia łamania w próbie Charpy’ego.

Grubość t	Stan	ReH min. [MPa]	Rm [MPa]	A min.	KV −20°C [J]	KV 0°C [J]	KV +20°C [J]
t ≤ 40 mm	+NT	460	610–780	16%	27	34	40
40 < t ≤ 60 mm	+NT / +QT	440	600–760	16%	27	34	40
60 < t ≤ 100 mm	+NT / +QT	430	600–760	16%	27	34	40
100 < t ≤ 150 mm	+NT / +QT	420	590–740	16%	27	34	40
150 < t ≤ 200 mm	+QT	410	580–740	16%	27	34	40

Stan +NT oznacza normalizowanie i odpuszczanie, natomiast +QT – hartowanie i odpuszczanie. Wymagania udarności zapisano w dżulach (J), zgodnie z tabelą energii łamania; nie należy zastępować ich jednostką J/cm² bez określenia innego sposobu wyznaczania udarności.

Rury bezszwowe 15NiCuMoNb5-6-4 wg EN 10216-2

Dla rur przeznaczonych do pracy ciśnieniowej charakterystyka materiału jest ustalana osobno według EN 10216-2. W kartach dostaw spotyka się stan +NT i wytrzymałość Rm rzędu 610–780 MPa, granicę plastyczności około 440 MPa lub

wyższą, wydłużenie co najmniej około 19% oraz energię KV w temperaturze pokojowej rzędu 40 J. Wartości należy przypisać do konkretnej grubości ścianki, kierunku próby i wydania normy, a nie przenosić bez zmian z tabeli blach.

Granica plastyczności w podwyższonej temperaturze – 1.6368

W projektowaniu kotłów i aparatów ciśnieniowych nie wystarcza granica plastyczności zmierzona w temperaturze pokojowej. Poniższe minima Rp0,2 w MPa zestawiono dla wybranych temperatur na podstawie EN 10028-2:2003; pokazują one systematyczny spadek odporności na trwałe odkształcenie wraz ze wzrostem temperatury.

Grubość t	50°C	100°C	200°C	300°C	400°C	450°C
t < 40 mm	447	429	403	380	351	331
40 < t ≤ 60 mm	427	410	385	363	335	317
60 < t ≤ 100 mm	418	401	377	355	328	309
100 < t ≤ 150 mm	408	392	368	347	320	302
150 < t ≤ 200 mm	398	382	359	338	313	295

Granica pełzania i wytrzymałość na pełzanie stali 15NiCuMoNb5-6-4

Przy długotrwałym obciążeniu w podwyższonej temperaturze istotne staje się pełzanie, czyli narastanie odkształcenia w czasie. Rz/10 000 i Rz/100 000 odnoszą się do naprężeń prowadzących do zerwania po odpowiednio 10 tys. i 100 tys. godzin. R1/10 000 i R1/100 000 dotyczą naprężeń prowadzących do odkształcenia pełzaniowego rzędu 1% w tych okresach. Wszystkie poniższe wartości podano w MPa.

Temperatura	Rz / 10 000 h	Rz / 100 000 h	R1 / 10 000 h	R1 / 100 000 h
400°C	402	373	324	294
410°C	385	349	315	279
420°C	368	325	306	263
430°C	348	300	295	245
440°C	328	273	281	227
450°C	304	245	265	206
460°C	274	210	239	180

Temperatura	Rz / 10 000 h	Rz / 100 000 h	R1 / 10 000 h	R1 / 100 000 h
470°C	242	175	212	151
480°C	212	139	180	120
490°C	179	104	145	84
500°C	147	69	108	49

Tabela pokazuje różnicę między krótkookresową wytrzymałością a długotrwałą eksploatacją: np. przy 500°C wartości Rz maleją z 147 MPa dla 10 000 godzin do 69 MPa dla 100 000 godzin. Pełzanie i wytrzymałość na zerwanie są różnymi kryteriami. Przy obliczaniu urządzenia ciśnieniowego bierze się pod uwagę warunki obciążenia, wymagany okres użytkowania oraz właściwe reguły projektowe.

Obróbka cieplna 15NiCuMoNb5-6-4 / 1.6368

<Właściwości zależą nie tylko od składu chemicznego, ale również od przebiegu obróbki cieplnej. Dla blach w EN 10028-2:2003 podano zakres normalizowania 880–960°C i odpuszczania 580–680°C; inne, węższe zakresy spotyka się w starszych kartach technologicznych.

Proces	Zakres temperatur	Sposób prowadzenia i cel
Normalizowanie	880–960°C	Nagrzewanie i chłodzenie w powietrzu; wyrównanie struktury i przygotowanie wyrobu do uzyskania odpowiednich właściwości.
Hartowanie (+QT)	zwykle ok. 880–930°C w starszych zestawieniach	Chłodzenie w wodzie lub oleju w odpowiednio opracowanej technologii; następnie odpuszczanie. Dobór zależy m.in. od grubości.
Odpuszczanie	580–680°C (EN 10028-2:2003)	Ograniczenie naprężeń i uzyskanie wymaganej relacji wytrzymałości do udarności.
Wyżarzanie odprężające	zwykle ok. 580–630°C	Zmniejszenie naprężeń po procesach technologicznych; temperatura i czas muszą uwzględniać uzyskane właściwości mechaniczne.

Spawalność i obróbka technologiczna

Stal 15NiCuMoNb5-6-4 jest przystosowana do wykonywania konstrukcji spawanych, w tym rurociągów i elementów urządzeń ciśnieniowych. Jej umiarkowana zawartość

węgla ułatwia uzyskanie odpowiednich złączy, jednak dodatki stopowe i duża grubość wyrobów wymagają świadomego doboru parametrów spawania. Znaczenie mają w szczególności energia liniowa, temperatura międzyściegowa, ograniczenie wodoru dyfundującego, podgrzewanie wstępne oraz ewentualna obróbka po spawaniu (PWHT).

W przypadku walczaków, grubościennych króćców i odkuwek należy ocenić nie tylko wytrzymałość samej stali, lecz również właściwości strefy wpływu ciepła i metalu spoiny. Długie lub nadmierne odpuszczanie po spawaniu może prowadzić do spadku parametrów mechanicznych. Przy pracy w podwyższonej temperaturze należy dodatkowo uwzględnić zachowanie złączy w warunkach pełzania.

Zastosowanie przemysłowe i dobór materiału

Zastosowanie	Dlaczego stosuje się stal tej grupy
Walczaki kotłów i płaszcze zbiorników	Dobre połączenie wytrzymałości, udarności i możliwości wykonania konstrukcji spawanej; w starszej literaturze spotyka się walczaki pracujące w temperaturach około 375°C.
Instalacje parowe i rurociągi wysokoprężne	Wymagana odporność na ciśnienie i zmienne warunki cieplne, szczególnie w grubościennych elementach i na złączach.
Zbiorniki i aparatura chemiczna	Możliwość stosowania w aparatach pod ciśnieniem, jeśli wymagania dotyczące medium, korozji i badań materiałowych są spełnione.
Urządzenia energetyczne i wymienniki	Wysoka wytrzymałość w podwyższonej temperaturze oraz możliwość oceny trwałości długookresowej z wykorzystaniem danych pełzaniowych.
Odkuwki, króćce, pierścienie i tuleje	Możliwość wykonania elementów o większych przekrojach przy kontroli stanu obróbki cieplnej i badań odbiorczych.

Charakterystyka materiału i oznaczenia

Parametr	Opis
Grupa	Niskostopowa stal kotłowa / stal na urządzenia ciśnieniowe do pracy w podwyższonych temperaturach
Gatunek europejski	**15NiCuMoNb5-6-4**
Numer materiałowy	**1.6368**

Parametr	Opis
Dawne oznaczenia polskie	**15NCuMNb / K32Nb** oraz odmiana **15NCuMNbA / K32NbA**
Podstawowe dodatki stopowe	Ni 1,00–1,30; Cu 0,50–0,80; Mo 0,25–0,50; Nb 0,015–0,045 w zestawieniu EN dla 1.6368
Typowe stany dostawy	**+NT** – normalizowana i odpuszczona; **+QT** – hartowana i odpuszczona, zależnie od grubości i specyfikacji
Główne zastosowanie	Walczaki, zbiorniki wysokociśnieniowe, rurociągi pary i wody, elementy kotłów oraz instalacji energetycznych

Normy i zakres stosowania

Dokument	Zakres i zastosowanie
PN-75/H-84024	Historyczna polska dokumentacja normowa przywoływana dla stali kotłowych, w tym K32Nb i pochodnych
ZN-76/0648-11	Dokument branżowy przywoływany w starszych zestawieniach gatunków i wyrobów kotłowych
EN 10028-2	Wyroby płaskie ze stali na urządzenia ciśnieniowe, o określonych właściwościach w podwyższonej temperaturze; odnosi się do blach 1.6368
EN 10216-2	Rury stalowe bez szwu do celów ciśnieniowych, o określonych właściwościach w podwyższonej temperaturze
SEW 028 / VdTÜV WB 377	Dokumentacja materiałowa spotykana w zastosowaniach energetycznych i zestawieniach 15NiCuMoNb5-6-4

W oznaczeniu wyrobu należy rozróżnić gatunek stali, normę wyrobu i stan dostawy. Przykładowo wymagania mechaniczne dla blach wg EN 10028-2 nie są automatycznie identyczne z wymaganiami dla rur wg EN 10216-2. Podobnie sama zbieżność nazw K32Nb i 1.6368 nie jest potwierdzeniem pełnej zamienności w danej konstrukcji.

K32Nb / 15NCuMNb bywa traktowana jako polski odpowiednik 15NiCuMoNb5-6-4 / 1.6368, jednak w zestawieniach obu oznaczeń występują różne dopuszczalne zawartości P, S i Nb oraz różnice w warunkach technicznych. Odmiana K32NbA / 15NCuMNbA ma z kolei własny przedział węgla i manganu. Stal kotłowa 18CuNMT jest historycznym gatunkiem porównywanym pod kątem podobnych zastosowań,

ale wyróżnia się wyższą zawartością miedzi i obecnością tytanu zamiast podanego zakresu niobu.

Spotykane oznaczenia i zapisy wyszukiwawcze: 15NiCuMoNb5-6-4, 15NiCuMoNb564, 15NiCuMoNb5, 1.6368, K32Nb, 15NCuMNb, K32NbA, 15NCuMNbA, 18CuNMT, 9NiMnMoNb5-4-4. Zapis BS 591 występuje w niektórych zestawieniach porównawczych, lecz nie jest samodzielnym europejskim numerem materiałowym. Przy zamianie materiału w dokumentacji projektowej porównuje się normę wyrobu, stan +NT/+QT, parametry mechaniczne, grubość i atest wytopu.

Postacie dostawy – pręty, blachy, rury i odkuwki

Alfa-Tech oferuje możliwość przygotowania zapytania i oferty na wyroby w gatunkach K32Nb, 15NCuMNb, 15NiCuMoNb5-6-4 i 1.6368, zależnie od dostępności produkcyjnej: pręty gorącowalcowane i kute, odkuwki i wały, blachy gorącowalcowane oraz rury bezszwowe i tuleje. Dla realizacji zapytania najlepiej podać wymiary, ilość, gatunek, wymaganą normę i stan dostawy, a także zakres badań oraz rodzaj świadectwa odbioru, np. EN 10204 3.1.

Potrzebujesz stali K32Nb lub 1.6368? **Skontaktuj się z Alfa-Tech** albo napisz na kontakt@alfa-tech.com.pl. Przygotujemy propozycję materiału i formy dostawy do wskazanego zastosowania.

Pozostałe gatunki stali konstrukcyjnych kotłowych

15HM – stal chromowo-molibdenowa 13CrMo4-5, 13CrMo4-4, 1.7335
25HM 20HM – stal chromowo-molibdenowa 25CrMo4, 1.7218, 25CrMoS4, 1.7258
10H2M -stal chromowo-molibdenowa 10CrMo9-10, 1.7380
13HMF – stal chromowo-molibdenowo-wanadowa 14MoV6-3, 1.7715
21HMF – stal chromowo-molibdenowo-wanadowa 21CrMoV5-7, 21CrMoV5-11
26H2MF – stal chromowo-molibdenowo-wanadowa 24CrMo5-5
30H2MF – stal chromowo-molibdenowo-wanadowa 30CrMoV9, 31CrMoV9, 1.7707, 18519
34HN3M – stal chromowo-niklowo-molibdenowa
1.7711 – stal kotłowa chromowo-molibdenowo-wanadowa (40CrMoV4-6)

Zobacz również

stale wysokostopowe do pracy przy podwyższonych temperaturach

Pozostałe stale konstrukcyjne stopowe

stal konstrukcyjna stopowa do nawęglania
stal konstrukcyjna stopowa do azotowania
stal konstrukcyjna stopowa sprężynowa
stal konstrukcyjna stopowa łożyskowa
stal konstrukcyjna stopowa do ulepszania cieplnego
stal konstrukcyjna stopowa do pracy w podwyższonych temperaturach – stal kotłowa