Alloy K-500 / Monel® K-500 / 2.4375 / UNS N05500 / NiCu30Al – stop niklu i miedzi

Alloy K-500 (Monel® alloy K-500, UNS N05500, 2.4375, NiCu30Al, VDM® Alloy K-500, Nicorros Al, NA 18, NW5500, NS6500) jest odpornym na korozję stopem niklowo-miedziowym utwardzanym wydzieleniowo. Zawiera co najmniej 63% niklu łącznie z ewentualną zawartością kobaltu w wymaganiu UNS, około 27–33% miedzi oraz kontrolowane dodatki aluminium i tytanu. Łączy odporność chemiczną charakterystyczną dla Alloy 400 z dużo wyższą wytrzymałością po starzeniu.

Materiały dostępne w Alfa-Tech – Alloy K-500 / Monel K-500 / 2.4375 / UNS N05500

Pręty Alloy K-500 / Monel K-500 / 2.4375Płaskowniki Alloy K-500 / Monel K-500 / 2.4375 – wymiary i stan materiału do uzgodnieniaPręty kute Alloy K-500 / Monel K-500 / 2.4375/ NiCu30Al – okrągłe, kwadratowe i płaskieOdkuwki Alloy K-500 / UNS N05500 – swobodne, pierścienie, tulejeRury Alloy K-500 / Monel K-500 / 2.4375 – bezszwowe, wymiary na zapytanieBlachy, płyty i taśmy Alloy K-500 / Monel K-500 / 2.4375+48 63 2610519kontakt@alfa-tech.com.pl

Skład chemiczny Alloy K-500 / Monel K-500 – porównanie, UNS N05500, 2.4375, NiCu30Al, VDM Alloy K-500, Nicorros Al, NA 18, NW5500, NS6500

Skład chemiczny – udział masowy pierwiastków [%]											
Gatunek stopu	**Norma / producent**	Ni	Cu	Al	Ti	C	Mn	Fe	Si	S	**Inne**
Alloy K-500 / UNS N05500	ASTM / UNS	min. 63,0*	27,0–33,0	2,30–3,15	0,35–0,85	max. 0,25	max. 1,50	max. 2,00	max. 0,50	max. 0,010	Ni + Co*
Monel® alloy K-500	Special Metals	min. 63,0*	27,0–33,0	2,30–3,15	0,35–0,85	max. 0,25	max. 1,50	max. 2,00	max. 0,50	max. 0,010	Ni + Co*
VDM® Alloy K-500 / Nicorros Al	VDM Metals	min. 63,0	27,0–33,0	2,30–3,15	0,35–0,85	max. 0,18	max. 1,50	0,50–2,00	max. 0,50	max. 0,010	P ≤0,020; Pb ≤0,006; Sn ≤0,006; Zn ≤0,020

2.4375 / NiCu30Al	EN / DIN	min. 63,0	27,0–34,0	2,20–3,50	0,30–1,00	max. 0,20	max. 1,50	0,50–2,00	max. 0,50	max. 0,015	Skład wg EN
NA 18	BS	min. 63,0*	27,0–33,0	2,30–3,20	0,35–0,85	max. 0,25	max. 1,50	max. 2,00	max. 0,50	max. 0,010	Zakres reprezentatywny; obowiązuje BS danego wyrobu
NW5500 / NiCu30Al3Ti	ISO	63,0–70,0	reszta	2,30–3,15	0,35–0,85	max. 0,25	max. 1,50	max. 2,00	—	—	Oznaczenie stopu; wartości porównawcze
NS6500 / H05500	GB/T 15007	min. 63,0	27,0–33,0	2,30–3,15	0,35–0,85	max. 0,25	max. 1,50	max. 2,00	max. 0,50	max. 0,010	Chińskie oznaczenia materiału

* W zestawieniach UNS/Special Metals minimum 63% odnosi się do sumy Ni + Co; kobalt nie jest obowiązkowym dodatkiem. Pozycje BS i ISO przedstawiają porównanie oznaczeń i zakresów spotykanych w dokumentacji handlowej, nie zastępują oryginalnej normy. Wiersz VDM pokazuje własny, bardziej rygorystyczny limit C. Kreska „—” oznacza brak osobno podanego limitu, nie zerową zawartość. Dla odbioru obowiązuje konkretna norma wyrobu, jej wydanie i świadectwo 3.1.

Alloy K-500 / Monel K-500 – charakterystyka materiału

Monel K-500 jest stopem na osnowie niklu, którego głównym drugim składnikiem jest miedź. Typowa mikrostruktura ma sieć regularną ściennie centrowaną (FCC). Stop został opracowany jako rozwiązanie do zastosowań, w których odporność korozyjna Alloy 400 jest wystarczająca, ale jego wytrzymałość i twardość okazują się zbyt małe.Kluczową rolę odgrywają dodatki **aluminium (Al) i tytanu (Ti)**: podczas kontrolowanego starzenia powodują wydzielanie drobnych cząstek fazy γ′, opisywanej w dokumentacji jako $Ni_3(Ti,Al)$. Wydzielenia utrudniają przemieszczanie dyslokacji i podnoszą granicę plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie i twardość. Obróbka przesycająca rozpuszcza część wydzieleń, a następnie starzenie ponownie je wytwarza w kontrolowanym rozkładzie.Wysoka wytrzymałość, praktycznie niemagnetyczny charakter, dobra odporność na wodę morską oraz korzystna trwałość zmęczeniowa sprawiają, że materiał znajduje zastosowanie na wały pomp, elementy zaworów, sprężyny i oprzyrządowanie odwiertowe. Nie jest jednak stopem odpornym na każdą postać korozji: środowisko stagnującej wody, naprężenia, kontakt galwaniczny i wodór mogą stawiać dodatkowe ograniczenia.

Wpływ podstawowych pierwiastków na właściwości Monel K-500

Alloy K-500 – funkcja pierwiastków stopowych		
Pierwiastek	**Zakres lub rola w składzie**	**Wpływ na właściwości**
Nikiel (Ni)	Co najmniej 63% w ujęciu Ni + Co wg UNS	Stanowi podstawę osnowy; odpowiada za ciągliwość, odporność na wiele środowisk redukujących i stabilną strukturę w bardzo niskiej temperaturze.
Miedź (Cu)	27–33% w podstawowym składzie UNS	Współdecyduje o odporności na wodę morską i niektóre media chemiczne. Stopu Ni-Cu nie należy utożsamiać ze stalą nierdzewną.
Aluminium (Al)	2,30–3,15% wg UNS	Razem z tytanem odpowiada za umacnianie wydzieleniowe γ′ i zwiększenie wytrzymałości po starzeniu.
Tytan (Ti)	0,35–0,85% wg UNS	Uczestniczy w powstawaniu fazy γ′. Kontrola jego zawartości i obróbki cieplnej wpływa na odpowiedź materiału na starzenie.
Żelazo, mangan, krzem i węgiel	Pierwiastki limitowane	Współkształtują przetwarzalność i mikrostrukturę; ich zawartość jest ograniczana wymaganiami specyfikacji, zwłaszcza w wyrobach specjalnych.
Jak interpretować tabelę: Wysoką wytrzymałość daje jednoczesne spełnienie wymagań składu i właściwego cyklu obróbki. Sam symbol N05500 nie określa stanu przesycenia lub starzenia.		

Oznaczenia, odpowiedniki i nazwy handlowe Monel K-500

W praktyce handlowej ten sam stop występuje pod nazwami producentów, numerami materiałowymi i oznaczeniami w krajowych systemach normalizacyjnych. Zgodność oznaczenia ogólnego nie zwalnia z porównania wymagań konkretnego wyrobu.

Monel K-500 – nazwy handlowe i identyfikacja materiału		
System / producent	**Nazwa lub oznaczenie**	**Co oznacza w dokumentacji technicznej**
Nazwa ogólna	Alloy K-500 / Alloy K500	Określenie grupy materiałowej Ni-Cu-Al-Ti; nie jest nazwą jednego dokumentu normatywnego.

UNS	N05500	Podstawowy numer identyfikacyjny stopu w systemie amerykańskim.
EN / DIN	2.4375 / NiCu30Al	Europejski numer materiałowy i symbol chemiczny.
Special Metals	Monel® alloy K-500	Zastrzeżona nazwa handlowa producenta; znak ® dotyczy marki Monel.
VDM Metals	VDM® Alloy K-500 / Nicorros Al	Nazwa handlowa i historyczna identyfikacja stopu.
BS	NA 18	Historyczne oznaczenie brytyjskie, występujące m.in. z numerami BS 3075/3076.
ISO	NiCu30Al3Ti / NW5500	Oznaczenia spotykane w międzynarodowych zestawieniach materiałowych.
GB/T	NS6500 / H05500	Chińskie oznaczenia, spotykane w dokumentacji wg GB/T 15007.
Historyczne marki	Nickelvac K-500, CarTech K500	Nazwy spotykane w dawnych katalogach; wymagana identyfikacja rzeczywistego stopu.
Dokumentacja rosyjska / TU	K-Monel, Н65Д29ЮТ	Oznaczenia zbliżonej rodziny, lecz nie należy deklarować bezwarunkowej zamienności bez porównania wymagań TU.
Jak interpretować tabelę: Oznaczenie stopu identyfikuje rodzinę składu, a specyfikacja produktu definiuje dopuszczalny zakres, stan dostawy, właściwości mechaniczne i badania odbiorcze. Unikamy deklarowania zgodności samą nazwą handlową.		

Monel K-500 – podstawowe właściwości fizyczne

Monel K-500 ma stosunkowo dużą gęstość, niską przenikalność magnetyczną i przewodność cieplną istotnie niższą od czystej miedzi. W przeciwieństwie do parametrów chemicznych nie wszystkie wielkości fizyczne pozostają stałe po starzeniu: szczególnie rezystywność może zależeć od historii cieplnej materiału.

Monel K-500 / 2.4375 – właściwości fizyczne w temperaturze pokojowej		
Parametr i jednostka	**Wartość typowa**	**Znaczenie techniczne i ograniczenia**
Gęstość ρ	8,44 g/cm³; VDM podaje ok. 8,5 g/cm³	Przydatna do obliczania masy elementów; różnice wynikają z zaokrągleń i rzeczywistego składu.

Zakres topnienia	1315–1350°C	Przedział solidus–likwidus; nie stanowi dopuszczalnej temperatury roboczej konstrukcji.
Moduł Younga E	około 179 GPa (20°C)	Stosowany w obliczeniach ugięcia i odkształceń sprężystych, nie jest granicą plastyczności.
Moduł Kirchhoffa G	około 65 GPa	Parametr sztywności postaciowej, stosowany przy skręcaniu i ścinaniu.
Liczba Poissona ν	około 0,32	Zależność pomiędzy odkształceniem poprzecznym i wzdłużnym przy małych odkształceniach.
Ciepło właściwe c_p	około 420 J/(kg·K)	Parametr do obliczeń energii nagrzewania i chłodzenia elementów.
Przewodność cieplna λ	około 17,4 W/(m·K)	Wskazuje szybkość przewodzenia ciepła przez materiał; zmienia się z temperaturą.
Rezystywność elektryczna ρ_e	około 0,61 µΩ·m	Wartość zależy od stanu struktury i historii cieplnej, nie tylko od temperatury pomiaru.
Względna przenikalność magnetyczna μ_r	około 1,001–1,002	Praktycznie niemagnetyczny w warunkach badania; stan powierzchni może przejściowo wpłynąć na pomiar.
Temperatura Curie	około −135°C po przesyceniu; około −100°C po starzeniu	Dotyczy stanu strukturalnego. Nie oznacza silnego ferromagnetyzmu stopu w temperaturze pokojowej.
Jak interpretować tabelę: Wartości typowe służą do wstępnego projektowania. Dla obliczeń krytycznych należy przyjąć parametry w temperaturze pracy oraz stan potwierdzony dokumentacją producenta.		

Dane zestawione na podstawie kart Special Metals i VDM Metals; poszczególne wartości mogą różnić się w zależności od stanu oraz składu wytopu.

Właściwości cieplne i elektryczne Alloy K-500 w funkcji temperatury

Poniższe zestawienie pokazuje temperaturę jako wspólną zmienną, co ułatwia analizę zarówno nagrzewania, jak i rozszerzalności części współpracujących z innymi metalami. Dane cieplne i mechaniczne pochodzą z porównywalnych zestawień producenta, ale mogą dotyczyć różnych stanów obróbki.

Alloy K-500 – ciepło właściwe, przewodność, rezystywność i rozszerzalność

Temperatura [°C]	c_p [J/(kg·K)]	λ [W/(m·K)]	ρ_e [µΩ·m]	Średnia α [µm/(m·K)]
-130	323	13,3	—	12,3
20	420	17,4	0,61	—
100	454	19,4	0,62	13,7
200	480	20,9	0,63	14,6
300	491	25,1	0,65	14,9
400	500	27,8	0,65	15,2
500	517	30,5	0,65	15,5
600	538	33,1	0,66	16,0
700	567	35,7	0,66	16,6
800	613	37,4	0,67	17,0
900	685	41,2	0,68	17,5
Jak interpretować tabelę: Ciepło właściwe i przewodność opisują zdolność magazynowania i przenoszenia ciepła; α podano jako średni współczynnik od ok. 20°C do temperatury wskazanej. Przy temperaturach poniżej punktu odniesienia stosuje się osobne wartości średnie. Dane rezystywności trzeba odnosić do historii starzenia.				

Wartości według danych VDM Metals. Są to wielkości materiałowe, a nie współczynniki wymiany ciepła dla konkretnej instalacji.

Moduł sprężystości Monel K-500 a temperatura

Alloy K-500 – zmiany sztywności sprężystej		
Temperatura badania	**Moduł Younga E [GPa]**	**Znaczenie dla obliczeń konstrukcyjnych**
20°C	179	Punkt odniesienia przy projektowaniu sztywności w temperaturze otoczenia.
100°C	178	Zmiana nieznaczna przy umiarkowanym wzroście temperatury.
200°C	176	Wraz z temperaturą sztywność stopu stopniowo maleje.
300°C	173	Przy pasowaniach i połączeniach ważna jest także rozszerzalność cieplna.

400°C	168	W obliczeniach termomechanicznych nie należy stosować wartości E z 20°C.
500°C	164	Długotrwałe obciążenie wymaga dodatkowej oceny pełzania.
600°C	162	Spadek E nie oznacza równoważnego spadku Rm; to różne wielkości.
700°C	158	Dane E nie świadczą o dopuszczalności wieloletniej pracy obciążonego elementu.
Jak interpretować tabelę: Moduł E opisuje wyłącznie sztywność sprężystą i nie wyznacza bezpośrednio dopuszczalnego naprężenia roboczego, które zależy również od wytrzymałości, pełzania i stosowanego kodu konstrukcyjnego.		

Właściwości magnetyczne i stabilność wymiarowa

Niska przenikalność magnetyczna umożliwia wykorzystywanie Alloy K-500 w aparaturze pomiarowej, elementach instrumentów i niektórych urządzeniach podmorskich. Podczas wygrzewania może tworzyć się powierzchniowa warstwa bogata w nikiel, wykazująca większą odpowiedź magnetyczną niż osnowa; jej usunięcie odpowiednią technologią oczyszczania może przywrócić oczekiwane zachowanie powierzchni.Starzenie powoduje niewielkie zmiany wymiarów związane z wydzielaniem fazy umacniającej. Z tego względu dla precyzyjnych tulei, osi, trzpieni i gniazd uszczelnień należy przewidzieć kontrolę wymiarów po obróbce cieplnej, zwłaszcza przed finalnym szlifowaniem.

Właściwości mechaniczne Monel K-500 – pręty, blachy, rury, druty i taśmy

Różnice pomiędzy stanem wyżarzonym a starzonym są na tyle duże, że podawanie jednej „typowej” twardości lub wytrzymałości dla całego gatunku byłoby mylące. Poniższe zakresy służą do porównania postaci i stanów; nie należy traktować ich jako gwarantowanych wartości odbiorczych.

Monel K-500 – przykładowe zakresy właściwości według stanu i wyrobu				
Postać wyrobu i stan	**Rm [MPa]**	**Rp0,2 [MPa]**	**Wydłużenie A [%]**	**Twardość / uwagi**

Pręty gorąco wykańczane, wyżarzone	621–758	276–414	25–45	140–185 HB; ok. 75–90 HRB
Pręty gorąco wykańczane, starzone	965–1310	690–1034	20–30	265–346 HB; ok. 27–38 HRC
Pręty ciągnione, wyżarzone	621–758	276–414	25–50	140–185 HB; ok. 75–90 HRB
Pręty ciągnione, wyżarzone i starzone	896–1310	586–827	20–30	250–315 HB; ok. 24–35 HRC
Blachy zimnowalcowane, wyżarzone	621–724	276–448	25–45	do ok. 85 HRB
Taśmy zimnowalcowane, wyżarzone i starzone	896–1172	621–827	15–25	min. 24 HRC
Taśmy sprężynowe, starzone	1172–1517	896–1345	5–10	min. 34 HRC
Rury bezszwowe ciągnione, wyżarzone	621–758	276–448	25–45	maks. 90 HRB
Rury bezszwowe ciągnione, wyżarzone i starzone	896–1241	586–827	15–30	ok. 24–36 HRC
Drut ciągniony, wyżarzony	552–758	241–448	20–40	zależnie od średnicy
Drut sprężynowy, starzony	1103–1379	965–1310	3–8	zależnie od stopnia zgniotu

Jak interpretować tabelę: Wszystkie wartości są orientacyjnymi zakresami zbiorczymi z różnych przekrojów, a nie obowiązkowymi minimami specyfikacji. Rm to wytrzymałość na rozciąganie, Rp0,2 to umowna granica plastyczności, A to wydłużenie po zerwaniu. Nie porównuje się bezpośrednio HB, HRB i HRC bez odpowiedniej metody przeliczenia.

Zakresy na podstawie tabel właściwości materiałowych Special Metals. Wymagane minima dla zamówienia ustala się według ASTM B865, AMS 4676 lub specyfikacji klienta.

Pręty wg QQ-N-286 – przykład wymagań dla określonego przekroju

Monel K-500 – wybrane minimalne wymagania mechaniczne			
Postać / zakres wymiarów	**Rp0,2 min. [MPa]**	**Rm min. [MPa]**	**A min. [%]**

Pręty o wymiarach około 75–100 mm, po przesyceniu i starzeniu	655	930	20

Jak interpretować tabelę: Wymagania w tej tabeli odnoszą się do określonej postaci i zakresu wymiarowego według zestawienia VDM / QQ-N-286. Dla większych wymiarów producent wskazuje konieczność indywidualnego uzgodnienia właściwości.

Wpływ temperatury na wytrzymałość Monel K-500 po starzeniu

Alloy K-500 – krótkotrwała próba rozciągania a temperatura			
Temperatura [°C]	**Rp0,2 [MPa]**	**Rm [MPa]**	**Wydłużenie A [%]**
20	690	1100	24
100	670	1040	—
200	640	1020	—
300	620	980	—
400	600	890	—
500	570	750	—
600	490	620	—

Jak interpretować tabelę: Dane obejmują materiał w określonym stanie przesyconym i starzonym. Wartości krótkotrwałe nie zastępują wytrzymałości czasowej ani oceny pełzania przy długotrwałym nagrzewaniu. Kreska oznacza brak podanej wartości wydłużenia dla danej temperatury.

Wartości typowe wg VDM Metals – nie są dopuszczalnymi naprężeniami projektowymi.

Twardość Alloy K-500 a temperatura oraz zastosowania sprężynowe

Monel K-500 – twardość na gorąco po starzeniu		
Temperatura pomiaru	**Twardość HBW**	**Jak rozumieć spadek twardości**
20°C	331	Wysoka twardość na zimno dla podanego stanu gorąco wykończonego i starzonego.
370°C	311	Twardość maleje stopniowo, ale nie wystarcza to do prognozy trwałości elementu.

425°C	302	Ważne przy doborze pierścieni i elementów współpracujących ślizgowo.
480°C	293	Zależność istotna w analizie nacisków powierzchniowych.
540°C	255	Wysoka temperatura ogranicza właściwości użytkowe materiału.
595°C	229	Praca ciągła wymaga oceny czasu, naprężeń i zmian mikrostrukturalnych.
Jak interpretować tabelę: Twardość mierzona w wysokiej temperaturze nie jest równoznaczna z odpornością na ścieranie całego zespołu ani z dopuszczalną temperaturą pracy łożyskowania.		

Monel K-500 – zmęczenie, temperatura kriogeniczna i długotrwałe obciążenie

Stop ceniony jest za dobrą wytrzymałość zmęczeniową w stanie starzonym, co ma szczególne znaczenie dla wałów obciążanych zmiennym momentem, wirników pomp, sprężyn i elementów połączeń. Podczas zmęczenia korozja, wżery, stan powierzchni i jakość gwintu mogą jednak decydować o trwałości bardziej niż nominalna wytrzymałość statyczna.Monel K-500 zachowuje ciągliwość również w bardzo niskich temperaturach. Ze względu na stabilną osnowę FCC w opisie producenta nie wykazuje typowego przejścia ciągliwo–kruchego nawet w pobliżu temperatury ciekłego wodoru. Dobór elementów kriogenicznych wymaga mimo to odpowiednich badań i weryfikacji procesu wytwarzania.Przy obciążeniu przez wiele tysięcy godzin, zwłaszcza w wysokiej temperaturze, należy analizować pełzanie, starzenie lub przestarzenie, relaksację naprężeń oraz oddziaływanie środowiska. Z pojedynczej wartości Rm w temperaturze 500–600°C nie wolno wyznaczać dopuszczalnego obciążenia długotrwałego.

Odporność korozyjna Monel K-500 – woda morska, chlorki, kwasy i H_2S

Odporność chemiczna Monel K-500 jest zasadniczo porównywalna z Alloy 400. Materiał wykazuje korzystne zachowanie w licznych roztworach soli i środowiskach morskich, zwłaszcza w wodzie przepływającej. Nie istnieje jednak jeden współczynnik korozji opisujący wszystkie warunki – tempo uszkodzeń zależy od tlenu, temperatury, przepływu, zasolenia i kontaktu z innymi metalami.

Monel K-500 – zachowanie w typowych środowiskach eksploatacji		
Środowisko	**Charakter odporności**	**Ograniczenia i znaczenie praktyczne**
Woda morska o znacznym przepływie	Bardzo dobra odporność na korozję ogólną	Zastosowania obejmują wały pomp, tuleje i elementy osprzętu morskiego; ważna jest kontrola erozji, kawitacji i szczelin.
Woda morska stojąca lub o niewielkim przepływie	Możliwa korozja wżerowa	Osady i lokalne różnice natlenienia sprzyjają uszkodzeniom powierzchni mimo niewielkiej przeciętnej szybkości korozji.
Chlorki w roztworach wodnych	Wysoka odporność na typowe chlorkowe pękanie naprężeniowe	Nie oznacza absolutnej odporności na korozję miejscową, kruchość wodorową ani inne mechanizmy pękania.
Roztwory alkaliczne i sole	Dobra odporność na wiele mediów	Wysoka temperatura i duże stężenie mogą zmieniać mechanizm degradacji, dlatego potrzebne są parametry medium.
Wybrane kwasy redukujące	Możliwe zastosowanie po ocenie warunków	Nie należy przenosić ogólnej oceny odporności na wszystkie stężenia HCl, HF czy H_2SO_4.
Gorące pary kwasu fluorowodorowego	Podwyższone ryzyko pękania w stanie starzonym	VDM wskazuje na podatność przy dużych naprężeniach zbliżonych do granicy plastyczności.
Kontakty galwaniczne w środowisku morskim	Zależy od połączenia metali i ochrony katodowej	Przy niekorzystnych warunkach polaryzacji katodowej możliwe nasycanie wodorem i pękanie międzykrystaliczne.
Atmosfery zawierające H_2S	Stosowany w określonym wyposażeniu Oil & Gas	Wymaga spełnienia warunków NACE MR0175 / ISO 15156; stan i twardość stopu oraz funkcja części są krytyczne.
Jak interpretować tabelę: Opis ma charakter porównawczy i dotyczy mechanizmów korozji. Nie zastępuje tabel szybkości korozji ani kwalifikacji materiałowej do konkretnego medium. Odporność na chlorkowe SCC i odporność na uszkodzenia wodorowe to dwa różne zagadnienia.		

Monel K-500 w instalacjach wydobycia ropy i gazu – ograniczenia H_2S i NACE

Norma NACE MR0175 / ISO 15156 nie oznacza ogólnej odporności na dowolne warunki odwiertowe. Zależnie od kategorii urządzenia określa dopuszczalne stany materiału, maksymalną twardość i ograniczenia środowiskowe. Wartości i

dopuszczenia trzeba zawsze odnieść do właściwej części normy i jej aktualnego wydania.

Alloy K-500 – punkty kontroli przy doborze do środowisk kwaśnych		
Zagadnienie	**Wymóg lub obserwacja**	**Konsekwencja dla zamówienia**
Identyfikacja materiału	UNS N05500 i właściwa postać wyrobu	Podać zarówno gatunek, jak i normę wyrobu oraz wymagany stan obróbki.
Twardość	Dla określonych zastosowań norma przewiduje limit 35 HRC	Nie deklarować zgodności NACE wyłącznie na podstawie składu; sprawdzić rzeczywistą twardość i zakres normy.
Stan obróbki	Dopuszczalne stany mogą obejmować przesycanie, starzenie i odpowiednie wykończenie na gorąco	Proces obróbki cieplnej musi odpowiadać przeznaczeniu i zapisom zamówienia.
Ryzyko wodorowe	Udokumentowano pękanie niektórych elementów K-500 przy określonej polaryzacji katodowej	Ważne są obciążenia, gwinty, ochrona katodowa i kontakt galwaniczny.
Parametry medium	H_2S, pH, chlorki, temperatura i siarka elementarna	Wymagana kwalifikacja według warunków projektowych i odpowiednich tabel normy.
Jak interpretować tabelę: Sformułowanie „zgodny z NACE” jest niepełne, jeśli nie wskazuje wydania normy, części, funkcji komponentu, stanu i twardości materiału. Nie każda konfiguracja H_2S i chlorków została automatycznie dopuszczona.		

Monel K-500 a kruchość wodorowa – istotne ograniczenie

W elementach silnie obciążonych mechanicznie, szczególnie z gwintami, ochrona katodowa lub połączenie z innym metalem mogą w określonych sytuacjach sprzyjać pochłanianiu wodoru. Badania i analizy uszkodzeń wykazały, że również materiał spełniający pozornie korzystny limit twardości może podlegać pękaniu wodorowemu. Dlatego kontrola twardości jest konieczna, ale sama w sobie nie gwarantuje bezpieczeństwa.

Obróbka cieplna Alloy K-500 – przesycanie i starzenie

Monel K-500 odróżnia się od Alloy 400 zdolnością do znacznego umacniania przez

starzenie wydzieleniowe. Gdy wymagane są maksymalne właściwości, obróbka powinna zostać zaplanowana jako sekwencja zapewniająca odpowiednią strukturę początkową, kontrolę odkształcenia, starzenie i dobór szybkości chłodzenia.

Wyżarzanie przesycające, odprężanie i starzenie K-500

Alloy K-500 – orientacyjne parametry obróbki cieplnej		
Zabieg i stan wsadu	**Temperatura i czas**	**Chłodzenie i cel technologiczny**
Wyżarzanie / przesycanie według VDM	850–1000°C, preferencyjnie około 980°C; czas zależny od grubości	Szybkie chłodzenie w wodzie lub w odpowiednio cienkich przekrojach przyspieszone chłodzenie powietrzem; ograniczenie niepożądanych wydzieleń.
Odprężanie po obróbce mechanicznej	300–350°C przez 1–2 h, według celu operacji	Zwykle chłodzenie powietrzem. Usunięcie części naprężeń własnych przed dalszą obróbką.
Starzenie materiału miękkiego	około 593–607°C przez 16 h	Chłodzenie piecowe około 8–14°C/h do ok. 480°C, następnie chłodzenie powietrzem; umocnienie wydzieleniowe.
Starzenie materiału umiarkowanie zgniotanego	około 593–607°C przez 8–16 h	Dostosowanie czasu do stanu umocnienia wstępnego; chłodzenie piecowe do ok. 480°C.
Starzenie materiału silnie zgniotanego	około 527–538°C przez co najmniej 6 h	Chłodzenie kontrolowane do ok. 480°C; wariant stosowany m.in. dla taśm sprężynowych.
Starzenie ogólne według VDM	580–610°C; zależnie od postaci ok. 3–16 h	Dobór cyklu do przekroju i stanu; chłodzenie w piecu ok. 12°C/h do 480°C.
Jak interpretować tabelę: Są to różne, opublikowane przez producentów warianty, a nie jeden uniwersalny cykl. Właściwy program zależy od formy wyrobu, grubości, zgniotu, wymaganej twardości i specyfikacji odbiorczej.		

Uwaga: nie wolno bez analizy zastępować pełnego procesu przesycania krótkim odprężaniem. Nieprawidłowe chłodzenie może zmniejszyć późniejszą podatność stopu na starzenie.

Przestarzenie i niestabilność podczas długotrwałego grzania

W pewnych zakresach temperatur i czasów może dojść do „przestarzenia”: wydzielenia zmieniają wielkość i rozmieszczenie, a materiał traci część korzyści osiągniętych podczas prawidłowego starzenia. Jeżeli komponent został przestarzony, samo powtórzenie cyklu starzenia często nie pozwoli odzyskać

pierwotnej wytrzymałości – konieczne może być ponowne przesycenie, a następnie poprawne starzenie.

Kucie, walcowanie i obróbka plastyczna Monel K-500

Dobre własności plastyczne stopu nie oznaczają niewielkich sił kucia. Wysoka odporność na odkształcenie wymaga odpowiedniej temperatury wsadu i kontroli chłodzenia. Po wykończeniu na gorąco materiał może zostać przesycony, następnie starzony lub w razie potrzeby formowany na zimno.

Alloy K-500 – technologie obróbki plastycznej		
Technologia	**Warunki i zalecenia**	**Znaczenie dla struktury i jakości**
Kucie na gorąco	Około 900–1150°C według VDM; odpowiednia redukcja przekroju i kontrola czasu wygrzewania	Zapewnienie jednorodnego odkształcenia oraz ograniczenie wad wewnętrznych i gradientów struktury.
Końcowe operacje kucia	Wg VDM odkształcenie końcowe co najmniej około 25% poniżej 1050°C w opisywanej technologii	Właściwe rozdrobnienie i ujednorodnienie struktury wpływa na udarność i właściwości wyrobu.
Chłodzenie po obróbce na gorąco	Szybkie chłodzenie, zwykle wodą, według zaleceń producenta	Ogranicza przypadkowe wydzielanie faz podczas powolnego chłodzenia.
Walcowanie i gięcie na zimno	Zalecany stan wyżarzony; odpowiedni dobór siły, promieni gięcia i narzędzi	Stop umacnia się zgniotowo, zwiększając wytrzymałość i jednocześnie zmniejszając zapas plastyczności.
Odkształcenie na zimno + starzenie	Stosowane dla wyrobów o wysokich wymaganiach wytrzymałościowych	Pozwala uzyskać efekt kombinowany, ale parametry nie mogą być przenoszone bezpośrednio między różnymi przekrojami.
Jak interpretować tabelę: Zakresy temperatur są wskazówką procesu, nie kompletną instrukcją produkcyjną. Kucie dla odkuwek krytycznych wymaga technologii uwzględniającej wsad, wielkość przekroju i wymagania badań.		

Obróbka skrawaniem Alloy K-500

Obróbka skrawaniem Monel K-500 jest bardziej wymagająca niż wielu

standardowych stali konstrukcyjnych. Stop łatwo umacnia się pod wpływem odkształceń, dlatego należy unikać tarcia ostrza bez zbierania wióra. Do obróbki zgrubnej korzystny jest stan wyżarzony, a wykańczanie i kontrolę tolerancji często przeprowadza się po umocnieniu i ewentualnym odprężeniu.

Monel K-500 – praktyczne wskazówki dla toczenia i wiercenia		
Etap	**Zalecenie technologiczne**	**Uzasadnienie**
Toczenie zgrubne	Sztywny układ obrabiarka–narzędzie–przedmiot, dodatnia geometria ostrza, stabilna głębokość skrawania	Ogranicza drgania i przetarcie, które mogą powodować miejscowe umocnienie oraz przyspieszone zużycie ostrza.
Toczenie wykańczające	Dobrane do twardości po starzeniu, niewielki pozostawiony naddatek i konsekwentny posuw	Ułatwia osiągnięcie wymiarów i wymaganej chropowatości po zmianach termicznych.
Wiercenie	Narzędzia o odpowiedniej geometrii, ciągłe efektywne skrawanie, skuteczne odprowadzanie wiórów	Zmniejsza ryzyko przegrzania i narastania umocnionej warstwy na dnie otworu.
Chłodzenie	Obfity dopływ odpowiedniego chłodziwa, jeśli technologia przewiduje	Utrzymanie temperatury skrawania i stabilności procesu; ograniczenie uszkodzeń powierzchni.
Kontrola końcowa	Sprawdzenie średnic, bicia, współosiowości, twardości i stanu powierzchni	Szczególnie ważne dla wałów pomp, trzpieni zaworów i połączeń gwintowych.
Jak interpretować tabelę: Nie podajemy uniwersalnej prędkości skrawania dla wszystkich stanów stopu. Wartości należy dobrać do materiału narzędzia, jego powłoki, sztywności maszyny i stanu materiału.		

Spawanie Monel K-500 – materiały dodatkowe i ograniczenia

Spawanie stopów Ni-Cu jest możliwe, lecz Monel K-500 wymaga szczególnego uwzględnienia umocnienia wydzieleniowego. Zaleca się łączenie w stanie odpowiednio zmiękczonym; spawanie po pełnym starzeniu może prowadzić do zmniejszonej plastyczności w strefie wpływu ciepła. Dobór procesu i ewentualnej obróbki po spawaniu zależy od wymagań złącza.

Alloy K-500 – dobór technologii łączenia		
Zagadnienie	**Typowe rozwiązanie**	**Ważne ograniczenie**
GTAW / TIG	Metoda polecana do wielu połączeń stopu K-500	Zabezpieczenie gazowe i czystość powierzchni decydują o jakości spoiny.
Standardowe spoiwo Ni-Cu	ERNiCu-7 / MONEL filler metal 60	Stopiwo to nie podlega starzeniu tak jak materiał podstawowy K-500 i nie zapewnia automatycznie jego wytrzymałości po umocnieniu.
Spoiwo o składzie zbliżonym do K-500	Możliwe w specjalnie kwalifikowanych zastosowaniach	Wymaga indywidualnego doboru i procedury obróbki cieplnej, badań oraz potwierdzenia zgodności.
Stan materiału do spawania	Zwykle preferowany stan wyżarzony lub odpowiednio przygotowany	Starzony materiał może wykazywać ograniczoną podatność na odkształcenie w strefie połączenia.
Spawanie komponentów NACE	Kontrola twardości i właściwości spoiny oraz SWC	Zgodność bazowego materiału z NACE nie przenosi się automatycznie na złącze spawane.
Jak interpretować tabelę: Ostateczny materiał dodatkowy i obróbkę złącza należy zatwierdzić w WPS/PQR dla rzeczywistej konstrukcji i wymagań odbiorczych.		

Normy materiałowe i specyfikacje wyrobowe Alloy K-500

Monel K-500 – najważniejsze normy i zakresy zastosowań		
Norma / oznaczenie	**Rodzaj wyrobu lub wymagania**	**Uwagi przy zamawianiu**
ASTM B865 / ASME SB-865	Pręty, wyroby prętowe, drut, odkuwki i materiał do kucia ze stopu K-500	Norma wyrobowa; należy określić wymagany stan i badania.
SAE AMS 4676	Pręty, odkuwki i półwyroby według wymagań lotniczych	Zakres i wydanie ustalane na etapie zamówienia.
DIN 17743, 17752, 17754	Historyczne specyfikacje dotyczące odpowiednich wyrobów niklowych	Sprawdzić aktualny status i właściwą normę zastępującą.
ISO 9723, 9724, 9725	Specyfikacje dla niektórych postaci wyrobów z niklu i stopów niklu	Przed potwierdzeniem zgodności wskazać konkretną część i wydanie.

BS 3075 / BS 3076 – NA 18	Dawne brytyjskie określenia dla wybranych wyrobów	Numer NA 18 nie zastępuje specyfikacji wyrobu.
QQ-N-286	Historyczna federalna specyfikacja USA	Wymagania zależą od wydania, mogą obejmować badania specjalne.
NACE MR0175 / ISO 15156	Dobór i kwalifikowanie materiałów do środowisk zawierających H_2S	Nie jest normą składu chemicznego i nie stanowi samodzielnej aprobaty dla dowolnej instalacji.
NACE MR0103 / ISO 17945	Dobór materiałów do określonych środowisk H_2S w przemyśle rafineryjnym	Nie należy utożsamiać z zakresem MR0175 bez weryfikacji.
EN 10204 – 3.1	Świadectwo odbioru zgodnie z zamówieniem	Umożliwia porównanie wyników wytopu i badań z wymaganiami specyfikacji.
Jak interpretować tabelę: Lista łączy normy wyrobowe, oznaczenia historyczne i normy środowiskowe – mają różne role. Najpierw trzeba ustalić zastosowanie i wymagane wydanie normy, potem postać i stan materiału.		

Zastosowania Monel K-500 w przemyśle

Najważniejsze zastosowania wynikają z połączenia własności, których zwykły Monel 400 nie zapewnia w takim samym stopniu: wysokiej wytrzymałości po starzeniu, korzystnej trwałości zmęczeniowej i bardzo dobrej odporności na liczne środowiska morskie.

Przemysł morski i okrętowy

- wały pomp wody morskiej i wybrane wały napędowe;
- pierścienie uszczelniające, tuleje i elementy współpracujące ślizgowo;
- śruby, łączniki i elementy mocujące narażone na aerozol solny;
- sprężyny i elementy osprzętu, dla których wymagana jest wysoka wytrzymałość i odporność korozyjna.

Przemysł naftowy, gazowy i petrochemiczny

- elementy narzędzi odwiertowych, kołnierze i wyposażenie pomiarowe;
- wały, wirniki i elementy pomp procesowych;
- części armatury, trzpienie i pierścienie;
- elementy aparatury niemagnetycznej pracującej w wymagających środowiskach – po kwalifikacji według właściwych norm.

Przemysł chemiczny, papierniczy i precyzyjny

- wybrane elementy zaworów i pomp chemicznych;
- noże zgarniające, skrobaki i listwy do urządzeń papierniczych;
- czujniki, osłony i komponenty oprzyrządowania;
- sprężyny, elementy mocujące i części mechanizmów precyzyjnych.

Monel K-500 a Monel 400 – podstawowe różnice

Monel K-500 i Alloy 400 – porównanie dla doboru materiału		
Cecha	**Monel 400 / Alloy 400**	**Monel K-500 / Alloy K-500**
Skład i mechanizm umocnienia	Stop Ni-Cu bez celowego dodatku Al i Ti do starzenia	Stop Ni-Cu-Al-Ti, przeznaczony do umacniania wydzieleniowego.
Obróbka cieplna	Nie uzyskuje typowego efektu utwardzania wydzieleniowego	Po przesyceniu i starzeniu otrzymuje znacznie wyższą twardość i wytrzymałość.
Wytrzymałość mechaniczna	Niższa w typowych miękkich stanach dostawy	Może być istotnie wyższa; zależy od przekroju i procesu starzenia.
Odporność na korozję wodną	Bardzo dobra w licznych środowiskach morskich i chemicznych	Zasadniczo zbliżona, ale stan starzony może być bardziej podatny na określone formy pękania.
Spawanie i obróbka po spawaniu	Zwykle mniej złożona technologia	Należy uwzględnić utratę lub zróżnicowanie efektu starzenia w strefie złącza.
Typowe zastosowanie	Osprzęt chemiczny, armatura, wymienniki i części odporne na korozję	Wysoko obciążone wały, sprężyny, elementy morskie i wyposażenie odwiertowe.
Jak interpretować tabelę: Nie wolno automatycznie zastępować Monel 400 materiałem K-500 albo odwrotnie. Zmienią się wymagania dotyczące obróbki, wytrzymałości złącza i kwalifikacji środowiskowej.		

Najczęściej zadawane pytania – Alloy K-500 / Monel K-500

Czy Alloy K-500 i Monel K-500 to ten sam stop?

Tak. Alloy K-500 to ogólne oznaczenie stopu UNS N05500 / 2.4375, natomiast

Monel® alloy K-500 jest nazwą handlową Special Metals. Nazwa handlowa i numer materiału identyfikują stop, ale nie przesądzają o stanie dostawy.

Czy Monel K-500 jest stalą nierdzewną?

Nie. To stop niklu i miedzi, a nie stop żelaza należący do grupy stali nierdzewnych. Jego odporność na korozję i właściwości mechaniczne wynikają z innego składu i mechanizmów umacniania.

Czym różni się Monel K-500 od Monel 400?

Monel K-500 zawiera aluminium i tytan, dzięki którym można go starzyć i uzyskać znacznie wyższą wytrzymałość i twardość. Oba stopy mają zbliżoną odporność na wiele środowisk, ale K-500 wymaga większej uwagi podczas spawania i w środowiskach sprzyjających pękaniu.

Jaką twardość ma Monel K-500?

W stanie wyżarzonym niektóre pręty mają orientacyjnie 140–185 HB, natomiast po umocnieniu wydzieleniowym wartości mogą sięgać np. 265–346 HB lub około 27–38 HRC dla określonego stanu i przekroju. Twardość trzeba zawsze odnosić do konkretnej normy wyrobu.

Czy Monel K-500 można hartować?

Stosuje się szybkie chłodzenie po obróbce przesycającej, ale nie jest to klasyczne hartowanie martenzytyczne stali. Główny wzrost twardości uzyskuje się w kolejnym procesie starzenia wydzieleniowego.

Czy Monel K-500 można spawać?

Tak, ale najlepiej dobierać spawanie do stanu wyżarzonego oraz kwalifikować technologię. ERNiCu-7 jest typowym materiałem dodatkowym, jednak spoina z takim spoiwem nie utwardza się identycznie jak stop K-500.

Czy Monel K-500 jest odporny na wodę morską?

W licznych zastosowaniach tak, szczególnie w przepływającej wodzie morskiej. W wodzie stojącej lub pod osadami możliwa jest korozja wżerowa; znaczenie mogą

mieć również kawitacja i niekorzystny kontakt galwaniczny.

Czy Monel K-500 nadaje się do środowiska H_2S?

Może być stosowany w określonych zastosowaniach dopuszczonych przez NACE MR0175 / ISO 15156, lecz ważne są funkcja elementu, stan materiału, twardość i środowisko. Nie istnieje automatyczne, nieograniczone dopuszczenie tylko dlatego, że materiał nosi oznaczenie N05500.

Czy Monel K-500 jest magnetyczny?

W temperaturze pokojowej jest zasadniczo niemagnetyczny, a typowa przenikalność względna pozostaje bliska jedności. Podczas nagrzewania może powstać warstwa powierzchniowa o odmiennej odpowiedzi magnetycznej.

Do jakiej temperatury może pracować Monel K-500?

Producent podaje wysoką wytrzymałość w badaniach krótkotrwałych do około 600–650°C dla określonego stanu. Dopuszczalna temperatura konkretnego elementu zależy od naprężeń, czasu, pełzania, środowiska i norm projektowych.

Czy K-500 nadaje się do temperatur kriogenicznych?

Tak, ma stabilną osnowę austenityczną i zachowuje ciągliwość w niskich temperaturach. Ostateczny dobór wymaga jednak badań odpowiednich dla konkretnej części i zakresu temperatur.

Jak zamawiać Monel K-500 w Alfa-Tech?

W zapytaniu najlepiej podać UNS N05500 / 2.4375, postać wyrobu, wymiary, ilość, normę, stan przesycenia i starzenia, wymagania twardości oraz ewentualną zgodność z NACE/ISO i świadectwo 3.1.