Alloy 400 / MONEL® alloy 400 / 2.4360 / UNS N04400 – stop niklu i miedzi NiCu30Fe

Alloy 400 (MONEL® alloy 400, UNS N04400, 2.4360, NiCu30Fe, VDM® Alloy 400, Nicorros) jest odpornym na korozję stopem niklowo-miedzianym o jednofazowej strukturze austenitycznej. Łączy wysoką ciągliwość, bardzo dobre własności w niskich temperaturach i odporność na wiele środowisk redukujących. Zwykle zawiera co najmniej 63% niklu (łącznie z kobaltem), 28–34% miedzi i niewielkie ilości żelaza, manganu oraz innych pierwiastków. Materiał jest stosowany zwłaszcza w przemyśle morskim, chemicznym, rafineryjnym i energetycznym. W odróżnieniu od utwardzalnego wydzieleniowo stopu MONEL K-500, **Alloy 400 umacnia się przede wszystkim przez obróbkę plastyczną na zimno**. Ostateczny dobór stopu powinien uwzględniać rodzaj medium, zawartość tlenu, prędkość przepływu, temperaturę, obciążenie i stan materiału.

Materiały dostępne w Alfa-Tech – Alloy 400 / MONEL® 400 / 2.4360 / N04400

Pręty – Alloy 400 / MONEL® 400 / UNS N04400Płaskowniki i pręty płaskie – Alloy 400 / MONEL® 400 / UNS N04400Pręty kute, bloki i płyty kute – Alloy 400 / MONEL® 400 / UNS N04400Odkuwki swobodnie kute i elementy wykonywane na zamówienie – Alloy 400 / MONEL® 400 / UNS N04400Rury bezszwowe – Alloy 400 / MONEL® 400 / UNS N04400Blachy, płyty, taśmy i formatki – Alloy 400 / MONEL® 400 / UNS N04400

+48 63 261 05 19
kontakt@alfa-tech.com.pl

Skład chemiczny Alloy 400 / MONEL® 400 – UNS N04400, DIN 2.4360, BS NA13, ISO, JIS i GOST

Zestawienie obejmuje **wszystkie rodziny składów podane do porównania**, w tym odmiany europejskie, brytyjskie, ISO i rosyjski gatunek pokrewny. Zakresy zapisano w procentach masowych. **Przy odbiorze decyduje norma konkretnego wyrobu i jej wydanie, a nie samo podobieństwo nazwy**. Wiersz GOST opisuje

materiał o innych dopuszczalnych stężeniach pierwiastków; nie jest automatycznym zamiennikiem UNS N04400.

Skład chemiczny Alloy 400 / MONEL 400 / UNS N04400 – % masowe											
Gatunek stopu	**Norma**	**Ni**	**Cu**	**C**	**Fe**	**Mn**	**Si**	**S**	**Ti**	**Al**	**Inne**
Alloy 400 / N04400 / MONEL® 400	ASTM / UNS	min. 63,0	28,0–34,0	max. 0,30	max. 2,5	max. 2,0	max. 0,50	max. 0,024	—	—	Ni obejmuje Co; limity wyrobu wg ASTM
2.4360 / NiCu30Fe	DIN / EN	min. 63,0	28,0–34,0	max. 0,15	1,0–2,5	max. 2,0	max. 0,50	max. 0,020	max. 0,30	max. 0,50	Wymagania wg 2.4360; Co wg specyfikacji
NA13	BS 3072–3076	min. 63,0	28,0–34,0	max. 0,30	reszta / max. 2,5*	max. 2,0	max. 0,50	max. 0,020	—	—	
NiCu30 / NW4400*	ISO / JIS	min. 63,0	28,0–34,0	max. 0,15	1,0–2,5	max. 2,0	max. 0,50	max. 0,020	max. 0,30	max. 0,05	*NiCu30 – ISO; NW4400 – JIS
MONEL® alloy 400	Special Metals	min. 63,0	28,0–34,0	max. 0,30	max. 2,5	max. 2,0	max. 0,50	max. 0,024	—	—	Ni + Co ≥ 63,0; wartości graniczne producenta
VDM® Alloy 400 / Nicorros	VDM Metals	min. 63,0	28,0–34,0	max. 0,15	1,0–2,5	max. 2,0	max. 0,50	—	—	max. 0,50	Wiersz wg karty VDM 2020; S i Ti niewyszczególnione
НМЖКМц28-2,5-1,5 / NMZhMts28-2,5-1,5	GOST 492	65,6–69,8*	27,0–29,0	max. 0,20	2,0–3,0	1,2–1,8	max. 0,05	max. 0,01	—	—	*Ni+Co; P max. 0,005; gatunek pokrewny, nie pełny zamiennik

Uwaga: w wierszu BS zapis „Fe – reszta” i łączny wpis „ISO / JIS” zachowano jedynie do weryfikacji z dokumentacją historyczną. Potwierdzony skład bazowy N04400 określa przede wszystkim Ni+Co min. 63%, Cu 28–34%, Fe maks. 2,5%, Mn maks. 2%, C maks. 0,30%, Si maks. 0,50% oraz S maks. 0,024%. Oznaczenie 2.4361 spotyka się również w dokumentacji Special Metals, lecz nie należy przepisywać automatycznie składu 2.4360 na wszystkie odmiany i stany.

Wpływ pierwiastków stopowych na właściwości Alloy 400

- **Ni (Ni)** – tworzy osnowę roztworu stałego, wspiera odporność na środowiska redukujące i dobrą plastyczność, również w niskich temperaturach.
- **Cu (Cu)** – odpowiada za zachowanie materiału w wielu roztworach soli, ługach oraz w określonych warunkach w kwasach nieutleniających; duży udział miedzi nie czyni materiału odpornym na wszystkie kwasy.
- **Fe (Fe)** – dodatek technologiczny, wpływa na właściwości mechaniczne i skład osnowy; jego limit różni się w wybranych specyfikacjach.
- **Mn (Mn)** – pomaga kontrolować proces metalurgiczny i może wiązać część

siarki; wpływa na czystość materiału.
- **C (C), Si (Si), S (S)** – ich zawartość jest ograniczana ze względu na mikrostrukturę, przeróbkę, spawalność i oczekiwaną odporność korozyjną.
- **Ti (Ti) i Al (Al)** – w podstawowym Alloy 400 są pierwiastkami ograniczanymi w części norm. Nie należy mylić go z MONEL K-500, gdzie aluminium i tytan służą do utwardzania wydzieleniowego.

MONEL® 400 – charakterystyka, mikrostruktura i rozwój stopu

MONEL 400 należy do historycznie najważniejszych przemysłowych stopów niklu i miedzi. Rozwijany od początku XX wieku, był jednym z pierwszych stopów niklu szeroko stosowanych w agresywnych warunkach eksploatacji. W nowoczesnych projektach jego znaczenie wynika z połączenia odporności chemicznej i korzystnej wytrzymałości, a nie tylko z tradycji stosowania w okrętownictwie.
Struktura stopu jest zasadniczo jednofazowa, typu FCC (regularna ściennie centrowana), a umocnienie wynika z roztworu stałego i zgniotu. Nie jest to odpowiednik stopów hartowanych lub utwardzanych starzeniem. Odpowiednio wyżarzony Monel zachowuje ciągliwość w temperaturach kriogenicznych i nie wykazuje typowej dla wielu stali ferrytycznych przemiany ciągliwo-kruchej.
Ważne rozróżnienie: MONEL® 400 / N04400, MONEL® R-405 / N04405 i MONEL® K-500 / N05500 to trzy różne odmiany. R-405 ma podwyższoną zawartość siarki dla łatwiejszej obróbki skrawaniem, natomiast K-500 utwardza się wydzieleniowo dzięki aluminium i tytanowi. Nie są zamiennikami bez kontroli normy, właściwości i przeznaczenia.

Zastosowania Alloy 400 / MONEL® 400 w przemyśle

- **Przemysł morski i offshore:** wirniki i wały pomp, wały napędowe, armatura, łączniki, elementy instalacji wody morskiej, strefy rozbryzgu; w zastojach trzeba ocenić ryzyko korozji szczelinowej.
- **Produkcja soli i odsalanie:** podgrzewacze solanki, parowniki, urządzenia do koncentracji i krystalizacji chlorków.
- **Przemysł chemiczny:** reaktory, wymienniki, zbiorniki, zawory i rurociągi pracujące w wybranych mediach redukujących i solnych.
- **Przeróbka fluorowodoru i alkilacja HF:** części instalacji zaprojektowanych

dla ściśle kontrolowanych warunków procesu; tlen i domieszki mogą zmienić szybkość korozji.
- **Petrochemia i rafinerie:** aparatura destylacyjna, układy transportowe i elementy narażone na wybrane media korozyjne.
- **Energetyka:** podgrzewacze wody zasilającej, przewody generatorów pary, wymienniki ciepła.
- **Produkcja paliwa jądrowego:** wybrane instalacje rafinacji i separacji izotopowej, zgodnie ze specyfikacją obiektu.
- **Elektrotechnika:** przewody, elementy sprężyste oraz komponenty wymagające specyficznej odporności chemicznej i stabilnych własności.

Alloy 400 – podstawowe właściwości fizyczne

MONEL® 400 / 2.4360 – właściwości fizyczne w temperaturze pokojowej	
Parametr	**Wartość orientacyjna**
Gęstość	8,80–8,82 g/cm³
Zakres topnienia	1300–1350°C
Struktura	Roztwór stały Ni–Cu, sieć FCC
Moduł sprężystości E	około 182 GPa
Moduł Kirchhoffa G	około 65,5 GPa (Special Metals)
Liczba Poissona ν	około 0,32
Ciepło właściwe w 20°C	około 427–452 J/(kg·K), zależnie od karty
Przewodność cieplna w 20°C	około 22–23 W/(m·K)
Rezystywność w 20°C	około 0,51 µΩ·m
Temperatura Curie	około 20–50°C
Właściwości magnetyczne	zależne od temperatury i składu partii
Jak interpretować tabelę: Temperatura Curie mieści się blisko temperatury otoczenia. Dlatego część wytopów może być w temperaturze pokojowej magnetyczna, a część praktycznie niemagnetyczna. Dla aparatury z wymaganiem stabilnie niskiej przenikalności magnetycznej nie wystarczy sam numer N04400. Dane gęstości i ciepła właściwego różnią się nieco pomiędzy publikacjami VDM i Special Metals.	

Przewodność cieplna, rozszerzalność, rezystywność i ciepło właściwe

Wraz ze wzrostem temperatury zmieniają się własności transportowe stopu. Dla projektowania wymienników ciepła, elementów mocujących i instalacji poddawanych cyklom rozgrzewania istotne są jednocześnie: przewodność cieplna, oporność elektryczna, ciepło właściwe oraz średni współczynnik rozszerzalności liniowej. Poniższe wartości pochodzą z karty VDM Alloy 400, dlatego tworzą spójny zestaw pomiarowy.

MONEL® 400 – właściwości fizyczne w funkcji temperatury (VDM)					
T [°C]	**c_p [J/(kg·K)]**	**λ [W/(m·K)]**	**ρ [µΩ·m]**	**α [10^{-6}/K]**	**E [GPa]**
20	452	23,0	0,513	—	182
100	461	25,4	0,540	13,8	180
200	473	28,7	0,555	14,5	177
300	484	31,9	0,575	14,9	170
400	495	34,7	0,585	15,2	165
500	523	38,4	0,600	15,6	150
600	544	41,2	0,618	16,0	—
700	555	43,1	0,635	16,4	—
800	566	45,1	0,655	16,8	—
900	577	47,5	0,675	17,3	—
1000	587	50,0	—	—	—
1150	603	52,9	—	—	—

Jak interpretować tabelę: W zestawieniu VDM przewodność cieplna rośnie z 23,0 W/(m·K) przy 20°C do 47,5 W/(m·K) przy 900°C, podczas gdy moduł E spada ze 182 GPa do 150 GPa już przy 500°C. Wartość α jest średnią rozszerzalnością w zakresie od temperatury odniesienia do temperatury badania; znak „—” oznacza, że dana wielkość nie została podana w cytowanej karcie, a nie jej zerową wartość. Dane powyżej 425–480°C nie stanowią automatycznie dopuszczenia do pracy zbiornika ciśnieniowego.

Właściwości mechaniczne Alloy 400 – wyżarzanie i

umocnienie na zimno

Wartości Rm, Rp0,2, A i twardości mogą znacząco się różnić w zależności od postaci wyrobu, wielkości przekroju, sposobu odkształcania oraz stanu dostawy. Przykładowo mocno odkształcony na zimno drut osiąga wysoką wytrzymałość kosztem znacznego spadku wydłużenia. Nie wolno traktować zestawienia różnych stanów jako jednej charakterystyki materiału.

MONEL® 400 – reprezentatywne zakresy według Special Metals				
Postać i stan	**Rp0,2 [MPa]**	**Rm [MPa]**	**A [%]**	**Twardość**
Pręty wyżarzone	172–345	517–620	25–50	110–149 HB
Pręty wykończone na gorąco	276–690	552–758	30–60	140–241 HB
Pręty ciągnione, odprężone	379–690	579–827	22–40	160–225 HB
Blachy grube gorącowalcowane, wyżarzone	193–345	482–586	35–50	110–140 HB
Blachy cienkie wyżarzone	207–310	482–586	35–45	65–80 HRB
Blachy cienkie twarde po walcowaniu na zimno	621–758	690–827	2–15	min. 93 HRB
Rury bezszwowe ciągnione, wyżarzone	172–310	482–586	35–50	maks. 75 HRB

Jak interpretować tabelę: Rozpiętości wynikają z połączenia wyników dla różnych wymiarów i stanów. Nie są jednocześnie obowiązującymi granicami odbiorczymi dla dowolnego zamówienia. W praktyce pręt po wyżarzaniu może wykazywać Rp0,2 około 172–345 MPa, podczas gdy po zgniocie i odprężaniu znacząco więcej. Jeżeli wymagane są wartości minimalne, trzeba przywołać właściwą normę wyrobu i świadectwo odbioru.

Właściwości mechaniczne według VDM i VdTÜV 263

Alloy 400 / N04400 – wymagania minimalne w wybranych stanach				
Postać i warunek	**Dokument**	**Rp0,2 min. [MPa]**	**Rm min. [MPa]**	**A min. [%]**
Blacha / płyta / pręt, wyżarzony	DIN / VdTÜV	175	450	30
Blacha / płyta / pręt, wyżarzony	ASTM / ASME	195	480	35
Blacha / płyta / pręt, odprężony	DIN	300	550	25
Blacha / płyta / pręt, odprężony	ASTM / ASME	275–415*	550–600*	20

Jak interpretować tabelę: Dla stopu 2.4360 oznaczenie stanu wyrobu ma zasadnicze znaczenie. W publikacji VDM wartości ASTM/ASME dla stanu odprężonego są podane jako zakresy zależne od postaci i wymiaru (*), dlatego nie są pojedynczym wymaganiem minimalnym. W przypadku VdTÜV liczby dotyczą wymiarów objętych kartą: m.in. blach do 50 mm oraz prętów o średnicy do 200 mm.

Granica plastyczności i wytrzymałość w podwyższonej temperaturze

Alloy 400 – właściwości w temperaturze według VdTÜV 263		
Temperatura [°C]	**Rp0,2 min. [MPa]**	**Rm min. [MPa]**
20	175	450
100	150	420
200	135	390
300	130	380
400	130	370
425	130	370

Jak interpretować tabelę: Wzrost temperatury obniża wartości przyjmowane dla warunków obliczeniowych: od 450 MPa Rm w temperaturze pokojowej do 370 MPa przy 425°C. Wartości te nie oznaczają automatycznie dopuszczalnego naprężenia roboczego, które zależy także od współczynników bezpieczeństwa, kategorii urządzenia i przepisów projektowych.

Twardość, udarność i niska temperatura

Special Metals zwraca uwagę, że wytrzymałość i twardość Alloy 400 zwykle rosną wraz z obniżaniem temperatury, a spadek ciągliwości jest niewielki. Stop jest wykorzystywany w niskotemperaturowych instalacjach procesowych, lecz dobór wymaganej udarności musi odnosić się do konkretnego rodzaju próbki i sposobu badania.

Alloy 400 – wybrane informacje o udarności i stanie		
Stan / parametr	**Wartość**	**Uwagi**
Stan wyżarzony, 20°C	ok. 150 J/cm²	Średnia udarność na próbkach z karbem V według danych VdTÜV
Stan odprężony, 20°C	ponad 100 J/cm²	Wartość podana przez VDM według VdTÜV

Temperatura ciekłego wodoru	brak typowego przejścia ciągliwo-kruchego	Obserwacja jakościowa Special Metals
Twardość blachy wyżarzonej	zwykle maks. 73 HRB	Dane porównawcze Special Metals; zależne od stanu i wyrobu
Jak interpretować tabelę: Wartość udarności w J/cm² jest energią odniesioną do pola przekroju i nie powinna być przepisywana jako bezpośrednia energia łamania KV w J. Dodatkowo udarność z próbki w temperaturze pokojowej nie zastępuje badań wymaganych dla urządzenia kriogenicznego.		

MONEL® 400 – odporność na korozję, wodę morską i kwasy

Kluczową cechą stopu jest bardzo dobra odporność na wiele roztworów soli, alkaliów i środowisk redukujących. W porównaniu z licznymi stalami nierdzewnymi może zapewnić korzystne zachowanie w wybranych instalacjach z fluorowodorem i kwasami mineralnymi. Jednak jego **brak dodatku chromu ogranicza odporność w silnie utleniających warunkach**. Nie należy określać go jako materiału odpornego na wszystkie media utleniające i redukujące.

Woda morska, stagnacja i kawitacja

W dobrze przepływającej wodzie morskiej MONEL 400 wykazuje zwykle bardzo małą korozję równomierną; jest wykorzystywany na elementy pomp, wały, osprzęt morski i części instalacji solankowych. W wodzie zastojowej, pod osadami i w szczelinach konstrukcyjnych rośnie jednak ryzyko lokalnych ubytków. Samo określenie „odporny na wodę morską” bez informacji o przepływie i geometrii może być więc mylące.

Kwas fluorowodorowy HF i środowiska redukujące

Stop Ni–Cu wykazuje wyjątkowo korzystną odporność na fluorowodór w wielu zakresach stężenia i temperatury, szczególnie w warunkach nieutleniających. To jedna z przyczyn stosowania go w instalacjach alkilacji HF. Obecność tlenu, obcych jonów, zanieczyszczeń i lokalnych szczelin może jednak istotnie zmienić zachowanie materiału — dlatego projektowanie wymaga danych korozyjnych dla konkretnego procesu, a nie wyłącznie nazwy kwasu.

Kwas siarkowy, solny i media utleniające

W rozcieńczonych kwasach mineralnych o charakterze redukującym Alloy 400 może wykazywać dobrą odporność, zwłaszcza przy ograniczonym napowietrzeniu. W warunkach utleniających szybkość korozji może silnie wzrosnąć. Szczególnej ostrożności wymagają stężone i napowietrzane roztwory, silnie utleniające sole oraz niektóre kwasy utleniające, np. kwas azotowy. Do takich mediów należy rozpatrywać inne stopy na podstawie rzeczywistych warunków pracy.

Pękanie korozyjne naprężeniowe

Alloy 400 jest znany z wysokiej odporności na pękanie wywołane jonami chlorkowymi w wielu środowiskach, jednak **nie jest wolny od wszystkich mechanizmów pękania naprężeniowego**. VDM wskazuje zagrożenia między innymi przy działaniu rtęci oraz wilgotnych, napowietrzonych par HF. W zastosowaniach podatnych na takie uszkodzenia należy kontrolować naprężenia własne i rozważyć właściwe odprężanie.

MONEL 400 – odporność korozyjna w zależności od środowiska		
Środowisko	**Charakterystyka odporności**	**Warunek / ograniczenie**
Przepływająca woda morska	bardzo dobra	Zastoje, szczeliny i osady zwiększają ryzyko korozji miejscowej
Obojętne i alkaliczne roztwory soli	bardzo dobra	Uwzględnić stężenie, temperaturę i obecność dodatków utleniających
HF i fluorowodór	często bardzo dobra	Zwłaszcza w środowiskach redukujących; tlen i zanieczyszczenia mogą pogorszyć odporność
Rozcieńczony HCl / H_2SO_4	dobra w wybranych warunkach	Zawartość tlenu i temperatura mają kluczowe znaczenie
Silnie utleniające kwasy / sole	ograniczona	Brak Cr; wymagana ocena innego materiału
Chlorkowe pękanie naprężeniowe	wysoka odporność w wielu środowiskach	Nie oznacza braku korozji wżerowej ani odporności na rtęć czy wilgotne opary HF
Jak interpretować tabelę: Dobra odporność na jedno środowisko nie przesądza o odporności na mieszankę mediów. Dla przykładu ten sam stop może zachowywać się korzystnie w płynącej wodzie morskiej, a wykazywać korozję szczelinową przy długotrwałym postoju instalacji. Równie ważne są temperatury, obecność tlenu i rozkład naprężeń.		

Spawanie Alloy 400 / MONEL® 400 – technologia i materiały dodatkowe

Alloy 400 może być spawany metodami TIG (GTAW), MIG (GMAW), plazmowymi i wybranymi procesami łukowymi. Podstawą trwałego złącza jest właściwe przygotowanie krawędzi i całkowite usunięcie tłuszczów, farb, markerów oraz zanieczyszczeń zawierających siarkę, ołów i inne pierwiastki szkodliwe. Do obróbki złącza należy stosować czyste narzędzia nieużywane wcześniej do stali węglowych. Według VDM zalecane jest spawanie w stanie wyżarzonym, ograniczona energia liniowa oraz temperatura międzyściegowa zasadniczo nieprzekraczająca 150°C. Podgrzewanie wstępne i obróbka cieplna po spawaniu nie są z reguły wymagane dla typowych złączy, choć specjalne warunki pracy mogą wymagać dodatkowego postępowania.

Alloy 400 – dobór materiałów dodatkowych do spawania		
Proces	**Oznaczenie materiału**	**Zastosowanie / uwagi**
TIG / MIG / SAW	ERNiCu-7; ISO 18274: S Ni 4060 (NiCu30Mn3Ti)	MONEL® Filler Metal 60; VDM® FM 60, nr 2.4377
Elektrody otulone (SMAW)	ENiCu-7	MONEL® Welding Electrode 190 – stopiwo o składzie zbliżonym do Ni–Cu
Przykładowe inne spoiwa	Nickel Filler Metal 61 / INCONEL Filler Metal 625	Możliwe dla określonych złączy różnoimiennych; nie są zamiennikami bez uzgodnienia technologii
Postępowanie technologiczne	właściwa osłona gazowa i czystość	Wykonać WPS/WPQR odpowiednio do wymagań projektu
Jak interpretować tabelę: Drut ERNiCu-7 i elektroda ENiCu-7 to dwa różne materiały dodatkowe przeznaczone do różnych procesów. Numer 2.4377 dotyczy spoiwa, a nie materiału podstawowego 2.4360. Parametry osłony i energii liniowej należy ustalić w kwalifikowanej technologii spawania; zestawienia producenta są wskazówką, nie gotową procedurą dla każdego złącza.		

Obróbka plastyczna, wyżarzanie i skrawanie MONEL® 400

Monel 400 jest łatwiejszy do formowania niż wiele wysokostopowych stopów niklu, ale umacnia się podczas zgniotu. Przy głębokim tłoczeniu, walcowaniu i ciągnieniu mogą być konieczne wyżarzania międzyoperacyjne. Podczas obróbki na gorąco należy unikać niepotrzebnie długich przetrzymań w piecu oraz zabrudzeń powierzchni, ponieważ mogą prowadzić do defektów i pogorszenia własności.

Alloy 400 – typowe przedziały obróbki cieplnej i plastycznej		
Operacja	**Zakres temperatur / warunek**	**Znaczenie technologiczne**
Obróbka plastyczna na gorąco	800–1200°C (VDM)	Zakres ogólny; intensywne odkształcanie wykonywać odpowiednio wysoko
Ciężkie kucie / gięcie na gorąco	około 1025–1200°C	Dla dużych odkształceń przed spadkiem temperatury do dolnego zakresu
Odprężanie	około 540–650°C, zależnie od procesu	Ogranicza naprężenia bez pełnej rekrystalizacji; po obróbce na zimno
Wyżarzanie zmiękczające	około 700–900°C	Przywrócenie plastyczności zależne od wcześniejszego zgniotu
Wyrównanie naprężeń	około 300°C, określony czas	Zabieg specjalny, zależny od celu i stanu elementu
Chłodzenie	według wybranej technologii	Dla tego stopu szybkość chłodzenia nie jest podstawowym mechanizmem utwardzania

Jak interpretować tabelę: Wybór cyklu cieplnego powinien odpowiadać grubości i stopniowi zgniotu. Zbyt wysokie temperatury i długie wygrzewanie mogą powodować rozrost ziarna, natomiast zbyt niska temperatura wyżarzania może nie usunąć umocnienia. Nie należy utożsamiać odprężania z klasycznym odpuszczaniem stali hartowanej — Alloy 400 nie jest hartowany martenzytycznie.

Obróbka skrawaniem Alloy 400

W stanie wyżarzonym materiał bywa ciągliwy i może tworzyć długie wióry, a powierzchnia umacnia się pod narzędziem. Zaleca się odpowiednio sztywne mocowanie, ostre narzędzia, stały posuw i takie parametry, aby ostrze nie tarło po strefie uprzednio utwardzonej zgniotem. Ciecze chłodząco-smarujące należy dobrać również z uwagi na czystość powierzchni i późniejsze spawanie.
Gdy ważna jest seryjna obróbka automatowa, rozważa się MONEL R-405 (UNS N04405) o zwiększonej zawartości siarki poprawiającej łamliwość wióra. Ta odmiana ma jednak własne ograniczenia technologiczne i nie może być przyjęta zamiast N04400 bez kontroli specyfikacji.

Alloy 400 – normy wyrobowe, dokumentacja i formy dostaw

Samo oznaczenie N04400 identyfikuje rodzinę stopu, lecz nie określa sposobu wytwarzania, stanu, tolerancji wymiarowych ani zakresu badań. Przy zamówieniu należy podać także normę właściwą dla postaci wyrobu, np. blachy, rury lub odkuwki, oraz wymagane świadectwo odbioru.

Alloy 400 / N04400 – najważniejsze specyfikacje		
Wyrób / dziedzina	**Norma i oznaczenie**	**Uwagi**
Blachy / płyty / taśmy	ASTM B127 / ASME SB-127; AMS 4544	Zależnie od postaci i stanu dostawy
Pręty / druty	ASTM B164 / ASME SB-164	N04400; wymagania zależne od wymiaru i stanu
Rury bezszwowe	ASTM B165 / ASME SB-165	Rury i przewody ciśnieniowe
Rury wymiennikowe	ASTM B163 / ASME SB-163	Rury do kondensatorów i wymienników
Rury spawane	ASTM B725; ASTM B730	Odmienne typy oraz warunki obróbki
Odkuwki	ASTM B564 / ASME SB-564	Materiał na części kute i kołnierze
Elementy złączne / fittings	ASTM B366 / ASME SB-366	Elementy rurowe kształtowane
Niemieckie i europejskie	DIN 17743, DIN 17750–17754	Wskazywać odpowiednią postać i wydanie
Instalacje sour service	NACE MR0175 / ISO 15156, MR0103	Zgodność zależy od warunków pracy i stanu
Aparatura ciśnieniowa	VdTÜV 263, właściwe przepisy ASME	Wymagane zastosowanie aktualnej edycji dopuszczenia
Jak interpretować tabelę: ASTM B127 to specyfikacja blach, a ASTM B164 dotyczy prętów i drutów. Nie wolno przepisać B127 jako normy na pręty ani stosować jej do odkuwek. Normy NACE i karty VdTÜV określają dodatkowe warunki zastosowania, a nie zastępują normy wyrobu. W ofercie wymagane są także stan, wymiary i świadectwo EN 10204.		

Alloy 400 – oznaczenia, odpowiedniki i nazwy handlowe

Alloy 400 / 2.4360 – klasyfikacja i nazewnictwo		
System / producent	**Oznaczenie**	**Status i komentarz**
UNS / nazwa ogólna	N04400 / Alloy 400	Główne oznaczenie materiałowe
Special Metals	MONEL® alloy 400	Zastrzeżona nazwa handlowa
Europa / DIN	2.4360 / NiCu30Fe	Związane ze sobą oznaczenia materiałowe
Special Metals – materiały historyczne	2.4361	Występuje w dokumentach jako inny numer W.Nr.; sprawdzić stan i wymagania
VDM Metals	VDM® Alloy 400 / Nicorros	Oznaczenia handlowe; odpowiada N04400 przy zgodnej specyfikacji
BS	NA13	Historyczny brytyjski symbol

ISO / JIS	NiCu30 / NW4400	Nie identyfikować bez podania właściwego systemu normatywnego
Francja	NU30	Oznaczenie spotykane w starszej dokumentacji AFNOR
GOST	НМЖКМц28-2,5-1,5	Materiał pokrewny, o odmiennych limitach składu
Odmiana automatowa	MONEL® R-405 / N04405	Inny stop – wyższa siarka
Odmiana umacniana wydzieleniowo	MONEL® K-500 / N05500	Inny stop – dodatki Al i Ti

Jak interpretować tabelę: Nie wszystkie nazwy katalogowe są równoważnikami normatywnymi. Na przykład rosyjski НМЖКМц28-2,5-1,5 ma węższy zakres miedzi i wyższą minimalną zawartość żelaza niż klasyczne N04400. Z kolei odmian K-500 i R-405 nie wolno zastępować zwykłym Alloy 400 tylko na podstawie wspólnej rodziny MONEL.

Porównanie MONEL 400, R-405 i K-500

Monel – różnice między popularnymi gatunkami			
Gatunek	**Numer UNS**	**Charakter umocnienia**	**Wyróżnik technologiczny**
Alloy 400	N04400	roztworowy i zgniot	uniwersalna odmiana odporna na korozję
Alloy R-405	N04405	roztworowy i zgniot	podwyższona S; lepsza skrawalność, inne wymagania
Alloy K-500	N05500	utwardzanie wydzieleniowe	Al i Ti; wyższa wytrzymałość po starzeniu

Jak interpretować tabelę: K-500 jest właściwym kierunkiem poszukiwań, gdy wymagana jest większa granica plastyczności przy podobnej rodzinie chemicznej, ale wymaga kontroli warunków korozyjnych i wytrzymałości. R-405 wybiera się ze względów obróbczych, a nie dlatego, że ma identyczne własności do N04400.

Zapytanie ofertowe Alfa-Tech – Alloy 400 / MONEL® 400

Poszukujesz prętów, odkuwek, blach, rur albo taśm ze stopu MONEL® 400? W zapytaniu podaj UNS N04400 lub 2.4360, wymagane wymiary, ilość, formę, stan materiału, normę wyrobu oraz warunki zastosowania. Jeśli materiał ma pracować w wodzie morskiej, fluorowodorze albo w instalacji ciśnieniowej, określ temperaturę, medium, obciążenie i wymagane świadectwo. Dobór właściwego gatunku i stanu dostawy pozwala uniknąć kosztownego błędu przy eksploatacji.

Najczęściej zadawane pytania – Alloy 400 / MONEL® 400

Czy Alloy 400 i Monel 400 to ten sam materiał?

Tak: oznaczenie ogólne Alloy 400 i nazwa handlowa MONEL® alloy 400 dotyczą stopu N04400. W europejskiej dokumentacji zwykle spotyka się numer 2.4360 oraz NiCu30Fe. Należy jednak kontrolować wymagania dla konkretnego wyrobu.

Czy Monel 400 jest stalą nierdzewną?

Nie. To stop na osnowie niklu i miedzi, a nie stal żelazowa. Jest odporny na wiele mediów korozyjnych, lecz nie ma dodatku chromu typowego dla stali nierdzewnych.

Czy Monel 400 jest niemagnetyczny?

Nie zawsze. Temperatura Curie leży w przybliżeniu między 20 a 50°C, a jej wartość zmienia się wraz ze składem. Wytopy mogą różnić się zachowaniem w temperaturze pokojowej.

Czy Monel 400 nadaje się do wody morskiej?

Tak, zwłaszcza przy przepływie. Przy stagnacji, osadach i szczelinach może pojawić się korozja miejscowa. Należy projektować geometrię instalacji i sposób eksploatacji z uwzględnieniem tego ryzyka.

Czy stop Alloy 400 można hartować?

Nie stosuje się typowego hartowania i odpuszczania martenzytycznego ani utwardzania przez starzenie; wytrzymałość zwiększa się głównie przez zgniot. Jeżeli potrzebna jest odmiana utwardzana wydzieleniowo, rozpatruje się MONEL K-500.

Czy Monel 400 nadaje się do kwasu fluorowodorowego?

Często tak, szczególnie w kontrolowanych warunkach redukujących. Dobór zależy jednak od zawartości tlenu, zanieczyszczeń, stężenia, temperatury, przepływu i naprężeń. Nie należy zakładać pełnej odporności we wszystkich mieszaninach.

Jakie materiały spawalnicze stosuje się do Alloy 400?

Do TIG i MIG typowo używa się ERNiCu-7 / MONEL® Filler Metal 60, a do spawania elektrodą otuloną ENiCu-7 / Welding Electrode 190. Dobór zależy od procesu i warunków pracy.

Do jakiej temperatury można stosować stop 2.4360?

VDM wskazuje dopuszczenia dla aparatury ciśnieniowej w określonych warunkach do 425°C według VdTÜV 263 oraz do 480°C w odniesieniu do ASME. Temperatury zastosowania nie można określać bez wymagań projektowych i obciążenia.

Czym różni się Alloy 400 od Alloy K-500?

Alloy 400 jest umacniany roztworowo i przez zgniot; K-500 zawiera więcej aluminium i tytanu, dzięki czemu może być umacniany wydzieleniowo. Stopy różnią się wytrzymałością i stanami dostawy.

Stopy niklu

Inconel® – superstopy niklu i chromu

- Inconel® 22 / Alloy C-22 – UNS N06022, W.Nr. 2.4602
- Inconel® 230 / Alloy 230 – UNS N06230 / W.Nr. 2.4733
- Inconel® 600 / Alloy 600 – UNS N06600, W.Nr. 2.4816
- Inconel® 601 / Alloy 601 – UNS N06601, W.Nr 2.4851
- Inconel® 617 / Alloy 617 – UNS N06617, W.Nr. 2.4663
- Inconel® 625 / Alloy 625 – UNS N06625, W.Nr. 2.4856
- Inconel® 718 / Alloy 718 – UNS N07718, W.Nr. 2.4668
- Inconel® C-276 / Alloy C-276 – UNS N10276, W.Nr. 2.4819
- Inconel® HX / Alloy X – UNS N06002, W.Nr. 2.4665

Incoloy® – stopy niklu, żelaza i chromu

- Incoloy® 800, Incoloy® 800 H/HT Alloy 800, Alloy 800H/HT -UNS N08800, W.Nr 1.4876,
- Incoloy® 825 / Alloy 825 – UNS N08825, W.Nr.2.4858
- Incoloy® 020 / Alloy 20 – UNS N08020, W.Nr. 2.4660

Nimonic® – superstopy wysokotemperaturowe

Hastelloy® / Haynes® – stopy niklu odporne na korozję i wysokie temperatury

- Hastelloy® C-22 / Alloy C-22 – UNS N06022, 2.4602, NiCr21Mo14W
- Hastelloy® X / Alloy X – UNS N06002, W.Nr. 2.4665
- Haynes® 230 / Alloy 230 – UNS N06230, W.Nr. 2.4733, NiCr22W14Mo
- Haynes® 617 / Alloy 617 – UNS N06617, W.Nr. 2.4663, NiCr23Co12Mo
- Haynes® 625 / Alloy 625 – UNS N06625, W.Nr. 2.4856, NiCr22Mo9Nb
- Haynes® 718 / Alloy 718 – UNS N07718, W.Nr. 2.4668, NiCr19Fe19Nb5Mo3

Udimet® / Waspaloy® – superstopy do ekstremalnych obciążeń

Monel® i czysty nikiel

- Nickel 200 / Nickel 201 / Alloy 200 / Alloy 201 – UNS N02200, UNS N02201 W.Nr. 2.4066, 2.4068
- Monel® Alloy 400 / Alloy 400 – UNS N04400, W.Nr. 2.4360
- Monel® Alloy K-500 / Alloy K-500 – UNS N05500 / NiCu30Al / W.Nr. 2.4375

Stopy specjalne – Invar®, Kovar®, Permalloy