



Alloy X / Inconel® HX / Hastelloy® X / 2.4665 / UNS N06002 - stop niklu NiCr22Fe18Mo

Alloy X (UNS N06002, 2.4665, NiCr22Fe18Mo, Hastelloy® X, Inconel® HX, Nicrofer® 4722 Co, NASHX, JIS NW6002) jest żaroodpornym i żarowytrzymałym stopem niklowo-chromowo-żelazowo-molibdenowym, umacnianym roztworowo. Zawiera nominalnie około 47% niklu, 22% chromu, 18% żelaza i 9% molibdenu. Łączy wysoką odporność na utlenianie i dobrą spawalność z właściwościami przydatnymi przy produkcji komór spalania, elementów turbin gazowych i wyposażenia pieców przemysłowych.

Materiały dostępne w Alfa-Tech - Alloy X / Hastelloy X / Inconel HX / 2.4665 / UNS N06002

[Pręty Alloy X / Hastelloy X / Inconel HX / 2.4665 - okrągłe, walcowane / łuszczone / ciągnięte](#)
[Płaskowniki Alloy X / Hastelloy X / Inconel HX / UNS N06002](#)
[Pręty kute Alloy X / Hastelloy X / 2.4665 / UNS N06002 - okrągłe, kwadratowe i płaskowniki kute](#)
[Odkuwki Alloy X / Inconel HX / UNS N06002 - swobodne, kostki, wały i pierścienie kute](#)
[Rury Alloy X / Hastelloy X / 2.4665 / UNS N06002 - bezszwowe i spawane](#)
[Blachy Alloy X / Inconel HX / 2.4665 / UNS N06002 - gorącowalcowane / zimnowalcowane](#)
[+48 63 2610519 kontakt@alfa-tech.com.pl](mailto:kontakt@alfa-tech.com.pl)

Skład chemiczny Alloy X - porównanie UNS N06002, 2.4665, Hastelloy X, Inconel HX i Nicrofer 4722 Co

Skład stopu X opiera się na wieloskładnikowym roztworze stałym niklu z chromem, żelazem, molibdenem i mniejszymi dodatkami kobaltu oraz wolframu. Poniższe zestawienie odróżnia wymagania graniczne od składu nominalnego publikowanego przez producenta. Przed zastosowaniem materiału jako zamiennika należy sprawdzić właściwą normę wyrobu i świadectwo odbioru.

Skład chemiczny - wartości procentowe masowe											
Gatunek stopu	Norma	Ni	Cr	Fe	Mo	Co	W	C	Mn	Si	Inne



Alloy X / Inconel HX / Hastelloy X / 2.4665 / UNS N06002

Alloy X / UNS N06002	UNS / ASTM	reszta	20,5-2 3,0	17,0-2 0,0	8,0-10, 0	0,5-2,5	0,2-1,0	0,05-0, 15	max 1,0	max 1,0	Cu max 0,5; P max 0,04; S max 0,03
Hastelloy® X	Haynes International	ok. 47	22,0	18,0	9,0	1,5	0,6	0,10	max 1,0	max 1,0	B max 0,008; Nb max 0,5; Al max 0,5; Ti max 0,15; wartości nominalne
Inconel® alloy HX	Special Metals	reszta	20,5-2 3,0	17,0-2 0,0	8,0-10, 0	0,5-2,5	0,2-1,0	0,05-0, 15	max 1,0	max 1,0	P max 0,04; wartości graniczne producenta
2.4665 / NiCr22Fe18Mo	DIN / EN	reszta	20,5-2 3,0	17,0-2 0,0	8,0-10, 0	0,5-2,5	0,2-1,0	0,05-0, 15	max 1,0	max 1,0	Cu max 0,5; P max 0,02; S max 0,015; Al max 0,5; B max 0,010
Nicrofer® 4722 Co	VDM / ThyssenKrupp	reszta	20,5-2 3,5	17,0-2 0,0	8,0-10, 0	0,5-2,5	0,2-1,0	0,05-0, 15	max 1,0	max 1,0	B max 0,005; historyczna karta VDM; porównaj wymagania
NASHX / NW6002	JIS / Nippon Yakin	ok. 47	ok. 22	ok. 18	ok. 9	ok. 1,5	ok. 0,6	wg JIS	wg JIS	wg JIS	Wartości typowe: 47Ni-22Cr-9Mo-18Fe-1,5Co-0 ,6W; granice według JIS
NiCr21Fe18Mo9 / SNI6002	ISO 18274 - spoiwo	reszta	20,5-2 3,0	17,0-2 0,0	8,0-10, 0	0,5-2,5	0,2-1,0	0,05-0, 15	max 1,0	max 1,0	Klasyfikacja materiału dodatkowego do spawania, nie norma wyrobu hutniczego

Uwaga: oznaczenie „reszta” wskazuje nikiel stanowiący pozostałą część składu po uwzględnieniu pozostałych pierwiastków; nie oznacza stałej zawartości procentowej. Wiersz Haynes przedstawia skład nominalny, a wiersz ISO 18274 dotyczy materiału dodatkowego do spawania. Poszczególne specyfikacje nie muszą mieć identycznych limitów pierwiastków śladowych.

Alloy X / Hastelloy X / Inconel HX - charakterystyka materiału

Alloy X jest stopem o osnowie austenitycznej i strukturze regularnej ściennie centrowanej (FCC). W przeciwieństwie do nadstopów niklu utwardzanych przez kontrolowane wydzielanie fazy γ' , takich jak niektóre gatunki turbinowe, w przypadku stopu X zasadniczą rolę odgrywa **umocnienie roztworowe**. Rozpuszczone w osnowie molibden, chrom i inne pierwiastki utrudniają przemieszczanie dyslokacji, pomagając utrzymać użyteczną wytrzymałość w podwyższonej temperaturze. Wysoka zawartość chromu sprzyja tworzeniu warstwy tlenku chromu ograniczającej utlenianie powierzchni. Nikiel odpowiada za stabilność osnowy i odporność na wiele środowisk chemicznych, a żelazo wpływa na własności materiału i strukturę ekonomiczną stopu. Molibden wraz z dodatkiem wolframu pomaga zwiększać odporność na odkształcenie w temperaturach, w których standardowe stale nierdzewne mogą tracić wytrzymałość. Cenną zaletą stopu są właściwości technologiczne: można go walcować, kuć, giąć i spawać przy zastosowaniu odpowiedniej technologii. Jednocześnie duża wytrzymałość na gorąco i umacnianie podczas odkształcenia oznaczają większe siły kształtowania oraz bardziej wymagającą obróbkę skrawaniem niż w przypadku wielu zwykłych stali konstrukcyjnych.



Znaczenie najważniejszych pierwiastków stopowych

- **Nikiel (Ni)** – tworzy austenityczną podstawę, podnosi stabilność strukturalną i wspiera odporność na różne rodzaje korozji.
- **Chrom (Cr)** – zapewnia zdolność do tworzenia ochronnej warstwy tlenkowej, kluczowej w atmosferach utleniających.
- **Żelazo (Fe)** – występuje w relatywnie wysokiej ilości około 18%, wpływając na charakter roztworu stałego i bilans składu.
- **Molibden (Mo)** – bardzo ważny dodatek umacniający roztworowo, sprzyja dobrej wytrzymałości przy wysokiej temperaturze.
- **Kobalt (Co) i wolfram (W)** – występują w mniejszych ilościach, współtworzą układ stopowy i wspomagają wysokotemperaturowe właściwości mechaniczne.
- **Węgiel (C)** – uczestniczy w tworzeniu węglików; zmiany ich rozmieszczenia podczas długiego wygrzewania mogą wpływać na udarność i plastyczność.

Oznaczenia, nazwy handlowe i odpowiedniki Alloy X

W dokumentacji handlowej można spotkać zarówno oznaczenia według norm, jak i marki poszczególnych hut. **Hastelloy X** i **Inconel HX** są nazwami handlowymi stopu z grupy UNS N06002; same nazwy nie potwierdzają jednak zgodności danej dostawy ze wszystkimi wymaganiami wyrobu.

Alloy X - oznaczenia i nazwy handlowe		
System / producent	Oznaczenie gatunku	Znaczenie przy zamawianiu
UNS	N06002	Podstawowy amerykański numer identyfikacyjny składu stopu X.
EN / DIN – numer materiału	2.4665	Europejski numer materiałowy stosowany na rysunkach i w atestach.
DIN – oznaczenie chemiczne	NiCr22Fe18Mo	Główne składniki stopu zapisane w nazwie chemicznej.
Haynes International	Hastelloy® X	Zastrzeżona marka producenta; zalecana kontrola stanu wyrobu i normy.
Special Metals	Inconel® alloy HX	Zastrzeżona nazwa handlowa grupy Special Metals.



VDM / ThyssenKrupp	Nicrofer® 4722 Co	Nazwa historyczna spotykana w kartach VDM.
Nippon Yakin / JIS	NASHX / NW6002	Oznaczenie producenta japońskiego i gatunku JIS dla wybranych wyrobów.
BS / historyczne	HR 204 / HR 6	Historyczne brytyjskie oznaczenia dla różnych postaci produktu.
AFNOR / historyczne	NC22FeD	Oznaczenie francuskie spotykane w archiwalnych kartach.
Chiny – nazwy spotykane w dokumentacji	GH3536 / GH536	Oznaczenia wymagające potwierdzenia konkretną specyfikacją GB/GJB; nie wystarczają same do stwierdzenia pełnej zamienności.
Jak interpretować tabelę: Rozróżnij oznaczenie składu, normę wyrobu i nazwę handlową. Przed zakupem sprawdź stan dostawy, badania wymagane przez klienta oraz potwierdzenie zgodności w świadectwie odbioru.		

Nie są odpowiednikami Alloy X: oznaczenie NiCr15Fe7TiAl i UNS N07750 dotyczą stopów z grupy X-750, a Super-Invar 32-S jest stopem o zupełnie innym przeznaczeniu. Nie należy dopisywać ich do wykazu zamienników Hastelloy X.

Właściwości fizyczne Alloy X / 2.4665

Właściwości fizyczne określają zachowanie stopu podczas nagrzewania, przewodzenia ciepła, rozszerzalności termicznej i obciążenia. Przy projektowaniu elementów pieców przemysłowych oraz turbin szczególnie istotne jest połączenie małej przewodności cieplnej, znacznej rozszerzalności i zmniejszającego się z temperaturą modułu sprężystości.

Alloy X – podstawowe właściwości fizyczne		
Parametr i właściwość fizyczna	Wartość orientacyjna	Warunki pomiaru i znaczenie techniczne
Gęstość materiału	ok. 8,22–8,23 g/cm ³	Parametr niezbędny do obliczania masy blach, prętów i elementów wykonanych z nadstopu.
Zakres temperatur topnienia	1260–1355°C	Przedział solidus–likwidus; nie jest dopuszczalnym zakresem eksploatacji konstrukcji.
Rezystywność elektryczna	ok. 1,15–1,18 μΩ·m	Wartość w temperaturze pokojowej; jest znacznie większa niż dla stali niestopowych.



Przewodność cieplna	ok. 9,1-9,7 W/(m·K)	Przy temperaturze pokojowej; rośnie wraz z ogrzewaniem stopu.
Ciepło właściwe	ok. 460-490 J/(kg·K)	Wartości zależą od dokumentacji producenta i warunków pomiaru.
Moduł sprężystości podłużnej E	ok. 205 GPa	Dane w temperaturze pokojowej; parametr sztywności sprężystej, nie wytrzymałość na rozciąganie.
Liczba Poissona ν	ok. 0,32	Wielkość bezwymiarowa określająca związek odkształcenia poprzecznego z podłużnym.
Przenikalność magnetyczna względna	około 1,0	Austenityczna osnowa wykazuje bardzo słabe właściwości magnetyczne.
Jak interpretować tabelę: Wszystkie liczby należy traktować jako dane reprezentatywne; przy obliczeniach krytycznych korzystaj z karty właściwego producenta i jego zakresów temperaturowych.		

Właściwości fizyczne Alloy X w podwyższonej temperaturze

Wraz ze wzrostem temperatury stop z reguły lepiej przewodzi ciepło, zwiększa się też jego ciepło właściwe i średni współczynnik rozszerzalności. Jednocześnie maleje moduł sprężystości, dlatego kompensatory, cienkościenne kanały i osprzęt piecowy muszą uwzględniać termiczne wydłużenie oraz możliwe odkształcenia.

Alloy X - przewodność cieplna, ciepło właściwe i rozszerzalność			
Temperatura / zakres	Przewodność λ [W/(m·K)]	Ciepło właściwe c_p [J/(kg·K)]	Średni współczynnik α [$10^{-6}/K$]
20-26°C	9,7	486	13,9 (26-100°C)
100°C	11,1	—	13,9 (26-100°C)
300-315°C	14,7	498 (315°C)	—
500°C	—	—	15,0 (26-500°C)
600-650°C	20,6 (600°C)	582 (650°C)	15,3 (26-600°C)
700°C	22,8	—	15,7 (26-700°C)
800-870°C	25,0 (800°C)	699 (870°C)	16,0 (26-800°C)
900°C	27,4	—	16,4 (26-900°C)



975-1095°C	—	858 (1095°C)	16,6 (26-975°C)
Jak interpretować tabelę: Wartości w jednym wierszu nie zawsze odnoszą się do identycznej temperatury; zakres określono w komórce. α jest średnią dla przedziału od temperatury początkowej, nie wartością punktową.			

Dane cieplne na podstawie zestawień producentów i danych źródłowych. „—” oznacza brak wartości w tym zestawieniu, a nie zerową wielkość fizyczną.

Moduł Younga i wpływ temperatury na sztywność

Moduł sprężystości wzdłużnej E stopniowo maleje wraz z temperaturą, co należy uwzględnić w obliczeniach drgań, ugięć i naprężeń. Dane dla pomiaru statycznego lub dynamicznego mogą się różnić; dlatego wartości z różnych kart nie powinny być zestawiane bez sprawdzenia metody badania.

Alloy X - moduł sprężystości w funkcji temperatury		
Temperatura T [°C]	Moduł E [GPa]	Praktyczna interpretacja
20	196	Wartość odniesienia dla wskazanego badania blachy po przesycaniu.
100	193	Niewielka zmiana sztywności w stosunku do temperatury pokojowej.
200	185	Malejąca sztywność ma znaczenie w cienkościennych elementach.
300	179	Wymaga uwzględnienia w obliczeniach odkształcenia sprężystego.
400	172	Wzrost temperatury ogranicza efektywną sztywność konstrukcji.
500	164	Dla obciążonych elementów należy analizować także granicę plastyczności.
600	158	Długotrwała praca wymaga oceny pełzania.
700	150	Oprócz E istotne są naprężenia termiczne i relaksacja.
800	143	Nie traktować modułu jako dopuszczalnego naprężenia.
900	134	Rosnące ryzyko trwałej deformacji obciążonych detali.
1000	126	Konieczna weryfikacja wytrzymałości długotrwałej.



Jak interpretować tabelę: To konkretna seria danych materiału i metody pomiarowej. Oddzielaj moduł E od wytrzymałości Rm, wydłużenia A i odporności na pełzanie.

W innych kartach producentów moduł dynamiczny może wynosić około 205 GPa w temperaturze pokojowej; różnica wynika między innymi z metody badania.

Właściwości mechaniczne Alloy X - Rm, Rp0,2, wydłużenie i twardość

Właściwości mechaniczne Hastelloy X zależą od postaci wyrobu, grubości przekroju, historii obróbki plastycznej i stanu cieplnego. Dane dla blach po przesycaniu nie są automatycznie odpowiednie dla odkuwek ani prętów. Wytrzymałość na rozciąganie i granica plastyczności są odrębnymi parametrami; twardość HB lub HRB stanowi kolejną niezależną charakterystykę.

Alloy X - przykładowe własności mechaniczne w temperaturze pokojowej				
Wyrób / stan dostawy	Rm [MPa]	Rp0,2 [MPa]	A [%]	Co wynika z danych
Blacha po przesycaniu - dane Haynes	ok. 783	ok. 376	ok. 46,5	Wysoka ciągliwość przy stosunkowo dużej wytrzymałości; dane typowe.
Płyta po przesycaniu - dane Haynes	ok. 760	ok. 340	ok. 48,9	Wartości typowe dla opublikowanego pomiaru.
2.4665 - wartości minimalne wg zestawienia handlowego	min. 690	min. 270	min. 30	Są to odrębne wymagania przykładowego zestawienia; właściwa norma produktu może określać inne minima.
Twardość - przykład materiału 2.4665	do ok. 180 HB	—	—	Twardość nie jest równoważna granicy plastyczności ani wydłużeniu.
Jak interpretować tabelę: Rm to wytrzymałość na rozciąganie, Rp0,2 to umowna granica plastyczności, a A to wydłużenie po zerwaniu. „Typowe” nie oznacza wartości gwarantowanych przy odbiorze.				

Zmiana wytrzymałości stopu w wysokiej temperaturze

Alloy X zachowuje użyteczną wytrzymałość w temperaturach charakterystycznych



dla komór spalania i urządzeń piecowych, lecz przy temperaturach bliskich 1000°C nie można pomijać spadku Rm, czasu obciążenia ani pełzania. Dane chwilowej próby rozciągania nie zastępują obliczeń trwałości czasowej.

Hastelloy X - własności rozciągania blachy według Haynes			
Temperatura badania [°C]	Rp0,2 [MPa]	Rm [MPa]	Wydłużenie A [%]
21	376	783	46,5
538	253	628	53,6
649	241	580	65,5
760	233	424	95,6
871	193	251	117,9
982	88	130	81,5
1093	43	65	50,6
Jak interpretować tabelę: Przedstawione wartości są wynikami charakterystycznymi prób krótkotrwałych. Wydłużenie przekraczające 100% jest możliwe w badaniu w wysokiej temperaturze i nie świadczy o przydatności materiału do nieograniczonej pracy pod obciążeniem.			

Udarność i wpływ długotrwałego wygrzewania Alloy X

Wysoka plastyczność w stanie przesyconym nie gwarantuje zachowania tej samej udarności po wieloletniej ekspozycji cieplnej. W określonych zakresach temperatur może dochodzić do wydzielania węglików i innych faz, które zmieniają zachowanie przy uderzeniu, mimo utrzymywania wysokich parametrów rozciągania.

Hastelloy X - udarność Charpy V po starzeniu cieplnym			
Stan i temperatura starzenia	Czas wygrzewania [h]	Udarność KV [J]	Znaczenie wyniku
Po przesycaeniu - bez starzenia	0	129	Wartość odniesienia dla tej serii próbek (płyta 12,7 mm).



649°C	1000	33	Istotny spadek udarności po ekspozycji.
649°C	4000	16	Przykład wzrostu podatności na utratę odporności na uderzenie.
649°C	8000	20	Wynik badania, nie gwarantowany próg materiałowy.
760°C	1000	14	Niska udarność po określonym starzeniu.
760°C	8000	11	Ważna ocena dla konstrukcji podlegających obciążeniom dynamicznym.
871°C	1000	20	Wartość z badań długotrwałej ekspozycji.
871°C	16000	16	Nie utożsamiać stabilności w próbie rozciągania z niezmienną udarnością.
Jak interpretować tabelę: Badania po starzeniu przeprowadzono na określonej partii i geometrii próbek z karbem V. Nie należy porównywać ich bezpośrednio z wynikami Charpy'ego wykonanymi dla innych rodzajów karbu.			

Alloy X - pełzanie i wytrzymałość czasowa

Wysokotemperaturowe pełzanie jest powolnym, postępującym odkształceniem przy długotrwałym obciążeniu. W przypadku elementów turbin, komór spalania i pieców przemysłowych może być ważniejsze od wytrzymałości uzyskanej w krótkotrwałej próbie rozciągania. Konieczne jest rozdzielenie naprężenia prowadzącego do zerwania po zadanym czasie od naprężenia powodującego osiągnięcie określonej deformacji.

Alloy X - orientacyjne naprężenie prowadzące do zerwania pełzaniowego, arkusz				
Temperatura [°C]	Po 10 h [MPa]	Po 100 h [MPa]	Po 1000 h [MPa]	Po 10 000 h [MPa]
650	462	331	234	170
760	221	155	109	77



870	117	73	45	28
980	45	26	14	8
1090	17	8	4	—

Jak interpretować tabelę: Im dłuższy wymagany czas pracy i im wyższa temperatura, tym mniejsze naprężenie prowadzące do zerwania. Wartości nie są naprężeniami dopuszczalnymi; dane dotyczą konkretnych prób z zestawienia źródłowego.

Pełzanie nie musi kończyć się zerwaniem: w wielu urządzeniach problemem konstrukcyjnym jest już niewielkie trwałe wydłużenie, deformacja uszczelnienia czy utrata ustawienia elementu. Poniższe zestawienie dotyczy średnich naprężeń początkowych potrzebnych do uzyskania odpowiednio 0,5%, 1% i 2% deformacji w czasie 1000 godzin.

Alloy X - naprężenia dla zadanej deformacji pełzaniowej po 1000 godzinach			
Temperatura [°C]	Pełzanie 0,5% [MPa]	Pełzanie 1,0% [MPa]	Pełzanie 2,0% [MPa]
650	121	145	155
760	45	62	74
870	21	25	30
980	6	7	8

Jak interpretować tabelę: Dla ustalonej temperatury większemu dopuszczonemu odkształceniu odpowiada wyższe naprężenie. Nie są to wielkości projektowe bez odpowiedniego współczynnika bezpieczeństwa.

Karty producentów mogą podawać dane trwałości czasowej dla różnych gatunków półwyrobu, stanów przesycania i metod badania. Przed przyjęciem wartości do projektu należy porównać serię danych z odpowiednim kodem konstrukcyjnym (np. ASME) oraz wymaganą żywotnością.

Odporność korozyjna Hastelloy X - utlenianie, nawęglanie i agresywne atmosfery

Odporność wysokotemperaturowa Alloy X to połączenie stabilności zgorzeliny, zachowania właściwości mechanicznych i odporności na określone reakcje gaz-metal. W atmosferach pieców i turbin liczą się nie tylko wartości maksymalnej



temperatury, ale także skład gazu, wilgotność, obecność siarki i soli oraz częstotliwość rozgrzewania i wychładzania.

Utlenianie statyczne i cykliczne

Chrom ułatwia tworzenie warstwy ochronnej, a właściwości technologiczne stopu sprzyjają wykorzystaniu go na skomplikowane osłony i cienkościenne elementy. Warto jednak odróżnić utratę metalu od łącznej głębokości uszkodzenia obejmującej penetrację wewnętrzną. Są to dwa różne parametry.

Hastelloy X - próba statycznego utleniania w przepływającym powietrzu przez 1008 h			
Temperatura [°C]	Ubytek metalu na stronę [mm]	Ubytek + penetracja wewnętrzna [mm]	Co pokazuje badanie
980	0,007	0,019	Niewielkie uszkodzenia w tej określonej próbie.
1095	0,038	0,069	Wyższa temperatura zwiększyła łączną degradację.
Jak interpretować tabelę: Podane liczby pochodzą z konkretnej procedury porównawczej. Nie opisują automatycznie korozji we wszystkich piecach przemysłowych. „Na stronę” oznacza jedną powierzchnię próbki.			

Nawęglanie w wysokiej temperaturze

Alloy X jest stosowany w wielu atmosferach nawęglających, ponieważ stabilna osnowa niklowa i chromowa warstwa ochronna mogą ograniczać dyfuzję węgla. Odporność zależy jednak od aktywności węgla, obecności wodoru, tlenu węgla, metanu, temperatury i czasu ekspozycji. W silnie nawęglającym środowisku mogą powstawać wydzielania węglkowe i lokalne strefy o odmiennych właściwościach. Nie ma podstaw do bezwarunkowego twierdzenia, że Hastelloy X ma „najwyższą na rynku” odporność na nawęglanie wśród wszystkich stopów niklu i kobaltu. Wybór materiału powinien wynikać z porównywalnych badań w tym samym środowisku i przy jednakowych warunkach.

Nasiarczanie, gorąca korozja i sole

Obecność siarki może prowadzić do korozji gorącej, zwłaszcza w obecności osadów soli i zanieczyszczeń paliwa. Stopy na osnowie niklu nie są automatycznie odporne na silnie siarkujące atmosfery. W instalacjach spalania paliw zanieczyszczonych



siarką i solami konieczne jest sprawdzenie zarówno stabilności zgorzeliny, jak i przebiegu korozji podosadowej.

Środowiska chlorujące, azotujące i korozja wodna

W atmosferach zawierających chlor lub chlorowodór o wysokiej temperaturze ochronna warstwa tlenkowa może ulegać destabilizacji. Z tego względu odporność w roztworach chlorkowych nie może być traktowana jako dowód odporności na gorące gazy chlorujące. Podobnie środowiska azotujące oraz mieszaniny zawierające amoniak wymagają indywidualnych danych korozyjnych. Hastelloy X może charakteryzować się dobrą odpornością na pękanie korozyjne naprężeniowe w określonych procesach petrochemicznych, lecz jest stopem projektowanym przede wszystkim do zastosowań wysokotemperaturowych. Do długotrwałej pracy w szczególnie agresywnych mokrych środowiskach kwasowych często rozważa się inne rodziny materiałów, np. Alloy C-276 lub Alloy C-22, w zależności od parametrów procesu.

Zastosowanie Alloy X / Hastelloy X w przemyśle

Połączenie żaroodporności, wytrzymałości i formowalności czyni stop X szczególnie przydatnym tam, gdzie elementy są jednocześnie nagrzewane, obciążane i narażane na przepływ gorących gazów. W wielu konstrukcjach liczy się także możliwość wykonania szczelnych połączeń spawanych, wymiany fragmentów osłon lub kształtowania cienkościennych zespołów.

- **Turbiny gazowe i lotnictwo:** komory spalania, płomienice, kanały przejściowe, stabilizatory płomienia, dysze, osłony cieplne, dopalacze i elementy układów wydechowych.
- **Piece przemysłowe:** retorty, mufle, kosze, prowadnice, rolki piecowe, przegrody i osłony narażone na cykle cieplne.
- **Przemysł chemiczny i petrochemiczny:** osprzęt procesowy, elementy reaktorów, rury pirolityczne i wyposażenie aparatury pracującej w wysokiej temperaturze.
- **Energetyka:** wybrane kanały gorących gazów, osłony, kompensatory i inne elementy wymagające specjalnego materiału wysokotemperaturowego.
- **Inżynieria materiałowa i aparatura specjalna:** wyposażenie prób wysokotemperaturowych, oprzyrządowanie laboratoriów i urządzeń technologicznych.



Obróbka cieplna Alloy X - przesycanie, wyżarzanie i chłodzenie

Podstawową obróbką cieplną Hastelloy X jest wyżarzanie rozpuszczające (przesycanie), przywracające korzystny bilans wytrzymałości i plastyczności po operacjach kształtowania. Haynes podaje typową temperaturę około 1177°C, a producent NASHX wskazuje przedział 1149–1177°C dla określonych wyrobów. Po wygrzaniu zaleca się szybkie chłodzenie, aby ograniczać niepożądane wydzielanie faz wtórnych.

Alloy X - przykładowe zabiegi obróbki cieplnej i plastycznej		
Proces technologiczny	Temperatura / warunek	Cel i ważne ograniczenia
Przesycanie - Haynes	ok. 1177°C, następnie szybkie chłodzenie	Rozpuszczenie niekorzystnych wydzieliń i odtworzenie plastyczności po kształtowaniu; czas zależny od przekroju.
Przesycanie - NASHX	1149-1177°C, szybkie chłodzenie	Przedział zalecany dla określonych wyrobów producenta; kontrola struktury i właściwości.
Kucie / obróbka na gorąco	orientacyjnie 982-1177°C	Materiał musi być nagrzany równomiernie; parametry należy dobrać do przekroju i sił kształtowania.
Obróbka na zimno	w temperaturze otoczenia	Wzrost wytrzymałości na skutek umocnienia odkształceniowego; przy dużym zgnioście może być potrzebne wyżarzanie.
Spawanie	właściwa procedura WPS	Czysta powierzchnia i dobrany materiał dodatkowy; ograniczanie pęknięć na gorąco.
Obróbka skrawaniem	dobór Vc, posuwu i chłodzenia do narzędzia	Materiał umacnia się podczas skrawania, wymaga stabilnego mocowania i skutecznego odprowadzania ciepła.
Jak interpretować tabelę: Nie należy stosować jednego czasu przetrzymania dla wszystkich grubości. Czas zależy od postaci wyrobu, wymiaru, pieca i wymagań normy lub procedury produkcyjnej.		

Kucie i obróbka plastyczna na gorąco

Alloy X dobrze poddaje się kuciu po wyrównaniu temperatury wsadu. Nie należy jednak traktować temperatury 1095°C jako jedynej dopuszczalnej temperatury



kucia: stop może być kształtowany w szerszym zakresie technologicznie ustalonym przez producenta. Zbyt szybkie wychłodzenie przekroju podnosi opór plastyczny, natomiast przegrzanie może prowadzić do niekorzystnych zmian struktury.

Obróbka plastyczna na zimno i przygotowanie półwyrobów

Gięcie, tłoczenie i walcowanie na zimno są możliwe, choć wymagają dużych sił ze względu na wytrzymałość i skłonność stopu do umocnienia zgniotowego. Dla dużych odkształceń stosuje się kontrolowane operacje międzyoperacyjnego wyżarzania. Po finalnym kształtowaniu element przeznaczony do pracy wysokotemperaturowej może wymagać odtworzenia właściwej struktury przez przesycanie.

Spawanie Hastelloy X / Inconel HX

Alloy X można łączyć metodami TIG (GTAW), MIG (GMAW), elektrodą otuloną (SMAW) oraz wybranymi metodami oporowymi. Dobra spawalność nie wyklucza wad przy nieodpowiedniej technologii: szczególnie ważne są czystość powierzchni, eliminacja olejów, środków znakujących i zanieczyszczeń zawierających siarkę oraz dobór parametrów i osłony gazowej. Haynes nie zaleca standardowego spawania łukiem krytym SAW dla tego stopu ze względu na wysoki dopływ ciepła i powolne chłodzenie, zwiększające ryzyko pęknięcia.

Alloy X - materiały dodatkowe i metody spawania		
Metoda / rodzaj spoiwa	Oznaczenie materiału dodatkowego	Zastosowanie i uwagi
TIG / MIG – drut lub pręt spawalniczy	ERNiCrMo-2 / INCO-WELD HX	Spoiwo odpowiednie do stopu UNS N06002; dobór zgodny z procedurą i kodem spawalniczym.
Elektroda otulona	ENiCrMo-2	Spawanie SMAW wybranych połączeń ze stopów z rodziny Hastelloy X.
System klasyfikacji ISO – drut	SNi6002 (NiCr21Fe18Mo9)	Oznaczenie spoiwa według ISO 18274, nie równoważne normie wymiarowej wyrobu.
Konstrukcje różnoimienne	dobór indywidualny	Przy połączeniu Alloy X ze stalą lub innym stopem niklu wymagane jest dopasowanie spoiwa do obu stron i warunków pracy.



Jak interpretować tabelę: Symbole ERNiCrMo-2 i ENiCrMo-2 opisują różne rodzaje materiałów dodatkowych. Sprawdzaj wymagane wydania AWS/ASME/EN ISO i zatwierdzony WPS.

Obróbka skrawaniem Alloy X - toczenie, wiercenie, frezowanie

Obróbka skrawaniem Alloy X jest trudniejsza niż w przypadku wielu stali niestopowych. Niska przewodność cieplna sprzyja koncentracji ciepła przy ostrzu, a powierzchnia szybko umacnia się zgniotowo. Zbyt mały posuw może powodować tarcie zamiast skrawania, zwiększając zużycie narzędzia i ryzyko pogorszenia jakości powierzchni.

- Stosować ostre narzędzia dobrane do stopów niklu oraz sztywne mocowanie, ograniczające drgania.
- Nie dopuszczać do długotrwałego tarcia narzędzia o powierzchnię bez efektywnego usuwania wióra.
- Dobierać prędkość skrawania i posuw do gatunku węgla lub stali szybko tnącej oraz do stanu dostawy półwyrobu.
- Zapewnić skuteczne chłodzenie i kontrolę wiórów, szczególnie podczas wiercenia głębokich otworów.
- Po obróbce krytycznych elementów sprawdzić wymagania dotyczące chropowatości, naprężeń własnych i ewentualnej obróbki cieplnej.

Normy ASTM, ASME, AMS i DIN dla Alloy X

Numer UNS N06002 identyfikuje stop, ale nie określa samodzielnie wszystkich wymagań dostawy. Normy wyrobowe definiują postać materiału, warunki badań, wymagania mechaniczne i dokumentację odbiorową. Nie należy utożsamiać normy dotyczącej rur z normą dotyczącą prętów.

Alloy X - podstawowe normy i specyfikacje wyrobów		
Norma lub specyfikacja	Postać wyrobu / zakres	Istotna uwaga
ASTM B435 / ASME SB435	Blachy, płyty i taśmy	Specyfikacja właściwa dla wyrobów płaskich ze stopu X.
ASTM B572 / ASME SB572	Pręty, kształtowniki prętowe i półwyroby	Właściwy punkt odniesienia dla prętów UNS N06002.



ASTM B622 / ASME SB622	Rury bezszwowe	Wymagania dla rur bezszwowych ze stopów niklu.
ASTM B619 / ASME SB619	Rury spawane	Nie jest normą prętów; dotyczy określonych rur spawanych.
ASTM B626 / ASME SB626	Rury spawane – tubing	Zakres obejmujący określone typy rur spawanych.
ASTM B366 / ASME SB366	Kształtki i łączniki rurowe	Zastosowanie wymaga doboru właściwej klasy wyrobu.
AMS 5536	Blachy, płyty i taśmy lotnicze	Wymagania dla wyrobów cienkościennych i płaskich.
AMS 5754	Pręty i odkuwki	Wykorzystywana w lotniczych zastosowaniach Alloy X.
AMS 5798	Druty i materiały do spawania	Specyfikacja dotycząca wybranych drutów.
DIN – 2.4665 / NiCr22Fe18Mo	Niemieckie oznaczenie materiału	W dostawach należy sprawdzić odpowiednią normę produktu, np. DIN 17742/17744 według archiwalnych dokumentów.
Jak interpretować tabelę: Normę dobiera się do postaci wyrobu. Odbiór materiału powinien opierać się na wymaganym świadectwie, wynikach badań i uzgodnionym stanie dostawy.		

Hastelloy X a inne stopy niklu – wybór materiału

Alloy X stanowi punkt odniesienia w grupie stopów przeznaczonych do urządzeń pracujących w gorących gazach. Nie wszystkie inne materiały niklowe są jednak przeznaczone do takich samych warunków; część została zoptymalizowana pod względem korozji mokrej, inne pod kątem obciążeń mechanicznych lub utleniania.

Porównanie Alloy X z innymi stopami niklu		
Stop niklu	Najważniejsza cecha	Kiedy warto go rozważyć
Alloy X / Hastelloy X	Równowaga wysokotemperaturowej wytrzymałości, żaroodporności i spawalności.	Komory spalania, elementy gorących kanałów i wyposażenie pieców.
Alloy 601 / Inconel 601	Bardzo dobra odporność na utlenianie, szczególnie cykliczne.	Osprzęt pieców i elementy pracujące w utleniających atmosferach.



Alloy 617 / Inconel 617	Wysoka wytrzymałość czasowa i odporność na utlenianie przy wysokiej temperaturze.	Elementy z istotnym długotrwałym obciążeniem i ryzykiem pękania.
Alloy 625 / Inconel 625	Wysoka odporność na wiele środowisk agresywnych i chlorkowych.	Aparatura chemiczna, środowiska morskie i napawanie ochronne.
Alloy C-276 / Hastelloy C-276	Bardzo dobra odporność na liczne agresywne media chemiczne.	Instalacje kwasowe i złożone procesy korozyjne.
Alloy 230 / Haynes 230	Żaroodporność oraz właściwości odpowiednie do wielu procesów wysokotemperaturowych.	Części pieców, komór spalania i instalacji wysokotemperaturowych.
Jak interpretować tabelę: Nie wybieraj gatunku na podstawie jednej maksymalnej temperatury. Porównaj medium, sposób i czas obciążenia, temperaturę oraz wymogi normowe i spawalnicze.		

Najczęściej zadawane pytania - Alloy X / Hastelloy X / Inconel HX

Czy Alloy X, Hastelloy X i Inconel HX to ten sam stop?

Nazwy te odnoszą się do rodziny stopu niklu o numerze UNS N06002 i europejskim numerze 2.4665. Hastelloy X jest marką Haynes, a Inconel HX marką Special Metals. Przy zamianie wyrobów różnych producentów sprawdza się jednak także normę, stan materiału i świadectwo odbioru.

Czy Hastelloy X jest stalą nierdzewną?

Nie. To stop o osnowie niklu, a nie żelaza. Zawiera dużo chromu i żelaza, ale technicznie należy do niklowych nadstopów wysokotemperaturowych.

Do jakiej temperatury można stosować Alloy X?

Materiały producentów opisują wysoką odporność na utlenianie przy temperaturach dochodzących do około 1200°C. Nie oznacza to jednak dopuszczalności takiej temperatury dla każdego elementu nośnego – trzeba uwzględnić pękanie, naprężenia, czas i atmosferę.



Jaka jest gęstość Alloy X?

Typowa gęstość wynosi około 8,22 g/cm³. Wartość może być nieco odmienna w zależności od składu konkretnego wytopu i danych producenta.

Jaką twardość ma Hastelloy X?

Twardość zależy od obróbki i postaci wyrobu. W określonych zestawieniach dla wyrobów w stanie po obróbce cieplnej podawane są wartości do około 180 HB. Nie należy przenosić jednej wartości na wszystkie wyroby i stany.

Czy Alloy X można spawać?

Tak. Materiał wykazuje dobrą spawalność i może być łączony metodami TIG, MIG lub elektrodami otulonymi. Typowe oznaczenia materiałów dodatkowych to ERNiCrMo-2 oraz ENiCrMo-2.

Czy Hastelloy X jest utwardzany wydzieleniowo?

Jest przede wszystkim stopem umacnianym roztworowo. Podczas ekspozycji cieplnej mogą wydzielać się fazy wpływające na twardość i plastyczność, ale nie jest to ten sam kontrolowany mechanizm umacniania co w typowych stopach starzonych wydzieleniowo.

Czy Alloy X można kuć i walcować?

Tak. Stop nadaje się do obróbki na gorąco i zimno, lecz wymaga doboru temperatury i większych sił odkształcania. Po znacznym zgnioście często stosuje się przesycanie z szybkim chłodzeniem.

Czy Hastelloy X jest odporny na nawęglanie?

Jest stosowany w wielu atmosferach nawęglających i wykazuje dobre właściwości w określonych warunkach. Odporność zależy jednak od aktywności węgla, temperatury, czasu i składu gazu.

Czym różni się Alloy X od Alloy 617?

Alloy X zawiera nominalnie ok. 47% Ni, 22% Cr, 18% Fe i 9% Mo; Alloy 617 zawiera



Alloy X / Inconel HX / Hastelloy X / 2.4665 / UNS N06002

więcej kobaltu oraz dodatek aluminium. Oba stosuje się w wysokiej temperaturze, lecz należy porównać wymagania dotyczące pełzania, spawania i odporności atmosferycznej.

Czy Alloy X nadaje się do kontaktu z wodą morską?

Nie należy uważać go za uniwersalny zamiennik stopów typowo morskich, takich jak Alloy 625. Hastelloy X projektowano przede wszystkim do warunków wysokotemperaturowych; odporność na środowiska chlorkowe trzeba sprawdzić dla konkretnego zastosowania.