Alloy 601 / Inconel® 601 / 2.4851 / UNS N06601 / Nicrofer® 6023 H – stop niklu NiCr23Fe

Alloy 601 (UNS N06601, 2.4851, NiCr23Fe, NiCr23Fe15Al, Inconel® 601, VDM® Alloy 601, Nicrofer® 6023 H, BS NA49, JIS NCF601) to żaroodporny stop niklowo-chromowo-żelazowy, zawierający około 58–63% niklu, 21–25% chromu i 1,0–1,7% aluminium. Łączy wysoką odporność na utlenianie, również przy wielokrotnym nagrzewaniu i chłodzeniu, z dobrą podatnością na kształtowanie i spawanie. Wykorzystuje się go w piecach przemysłowych, aparaturze chemicznej, układach spalinowych i energetyce.

Materiały dostępne w Alfa-Tech – Alloy 601 / Inconel 601 / 2.4851 / UNS N06601

Pręty Alloy 601 / Inconel 601 / 2.4851 / UNS N06601 – okrągłe i sześciokątne, walcowane / łuszczone / ciągnionePłaskowniki Alloy 601 / Inconel 601 / 2.4851 / NiCr23FePręty kute Alloy 601 / Inconel 601 / 2.4851 – okrągłe / kwadratoweOdkuwki Alloy 601 / Inconel 601 / 2.4851 – wały, kostki, odkuwki swobodneRury Alloy 601 / Inconel 601 / 2.4851 – bezszwowe i spawane według wymaganej normyBlachy Alloy 601 / Inconel 601 / 2.4851 – arkusze, płyty, blachy gorąco- i zimnowalcowane

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

Skład chemiczny Alloy 601 – porównanie norm, oznaczeń UNS N06601, 2.4851, Inconel 600, NW6601, NA49, NCF601

Skład chemiczny – wartości w procentach masowych											
Gatunek stopu	**Norma**	**Ni**	**Cr**	**Fe**	**Al**	**Mn**	**Cu**	**Si**	**C**	**S**	**Inne**
Alloy 601 / UNS N06601	ASTM / UNS	58,0–63,0	21,0–25,0	reszta	1,0–1,7	max. 1,0	max. 1,0	max. 0,5	max. 0,10	max. 0,015	P nie wyszczególniono
Inconel® 601	Special Metals	58,0–63,0	21,0–25,0	reszta	1,0–1,7	max. 1,0	max. 1,0	max. 0,5	max. 0,10	max. 0,015	P brak odrębnego limitu w karcie

2.4851 / NiCr23Fe	EN 10095	58,0–63,0	21,0–25,0	max. 18,0	1,0–1,7	max. 1,0	max. 0,5	max. 0,5	0,03–0,10	max. 0,015	P max. 0,020; Co max. 1,5; Ti max. 0,5; B max. 0,006
NW6601 / Ni6601	ISO (oznaczenie)	58,0–63,0	21,0–25,0	reszta / wg spec.	1,0–1,7	max. 1,0	max. 1,0	max. 0,5	max. 0,10	max. 0,015	P max. 0,030; Co max. 1,0
NiCr23Fe15Al	ISO 9722	58,0–63,0	21,0–25,0	reszta	1,0–1,7	max. 1,0	max. 1,0	max. 0,5	max. 0,10	max. 0,015	P wg normy; Co max. 1,5
NA49	BS 2901	58,0–63,0	21,0–25,0	reszta	1,0–1,7	max. 1,0	max. 1,0	max. 0,5	max. 0,10	max. 0,015	P max. 0,030; Co max. 1,0
NCF601	JIS G 4901 / 4902	58,0–63,0	21,0–25,0	reszta	1,0–1,7	max. 1,0	max. 1,0	max. 0,5	max. 0,10	max. 0,015	P max. 0,030
H06601 / HNS3103 / NS3103	GB/T – oznaczenia katalogowe	58,0–63,0	21,0–25,0	reszta	1,0–1,7	max. 1,0	max. 1,0	max. 0,5	max. 0,10	max. 0,015	P max. 0,030; Co wg GB/T
VDM® Alloy 601 / Nicrofer 6023 H	VDM Metals	58,0–63,0	21,0–25,0	max. 18,0	1,0–1,7	max. 1,0	max. 0,5	max. 0,5	0,03–0,10 (EN)	max. 0,015	P max. 0,020; Co max. 1,5; Ti max. 0,5; B max. 0,006

Uwaga do porównania: wartości dla Special Metals i VDM oparto na kartach producentów, a wartości EN na zestawieniu składu 2.4851. Wiersze ISO/BS/JIS/GB/T przedstawiają porównanie oznaczeń i limitów spotykanych w zestawieniach katalogowych; nie zastępują tekstu konkretnej normy, jej wydania ani świadectwa odbioru. Znak „reszta” oznacza udział żelaza wynikający z bilansu składu. W EN zawartość kobaltu może być zaliczana do niklu w granicach ustalonych dla danego wyrobu.

Alloy 601 / Inconel 601 – charakterystyka materiału

Alloy 601 to stop na osnowie niklu ze stabilną strukturą austenityczną (regularną ściennie centrowaną, FCC). Nikiel stabilizuje strukturę i zapewnia dobre właściwości w szerokim przedziale temperatur. Chrom wspiera tworzenie ochronnej warstwy tlenkowej, a aluminium zwiększa jej przyczepność i trwałość, co ma szczególne znaczenie podczas cyklicznego nagrzewania i stygnięcia.

W przeciwieństwie do materiałów projektowanych głównie pod kątem odporności na korozję wodną, stop 601 wyróżnia się przede wszystkim odpornością na wysokotemperaturowe utlenianie, nawęglanie oraz zmiany atmosfery roboczej w piecu. Należy jednak oddzielać żaroodporność od żarowytrzymałości: dobre zachowanie warstwy ochronnej nie jest gwarancją wytrzymałości pod długotrwałym obciążeniem.
W składzie Alloy 601 dominują nikiel, chrom i żelazo, ale to kontrolowany dodatek aluminium odróżnia go od Alloy 600 i w dużym stopniu odpowiada za zachowanie zgorzeliny w warunkach zmian temperatury. Podczas pracy piecowej liczy się nie

tylko odporność samego metalu na reakcję z tlenem, lecz również przyczepność powstałych tlenków i ich zdolność do przetrwania wielu cykli grzania.
Przy doborze stopu warto rozróżnić cztery kryteria: temperaturę metalu, skład atmosfery, obciążenie mechaniczne i oczekiwaną żywotność. Materiał, który bardzo dobrze znosi utlenianie, nie musi być najbardziej odporny na siarkowanie, korozję w środowisku wodnym albo długotrwałe pełzanie pod obciążeniem.

- **Wysoka odporność na utlenianie:** w odpowiednio dobranych atmosferach nawet w temperaturach zbliżonych do 1200°C.
- **Odporność na cykle cieplne:** ograniczona tendencja do łuszczenia warstwy tlenkowej przy wielokrotnym nagrzewaniu i chłodzeniu.
- **Odporność na nawęglanie:** przydatność do elementów pieców i atmosfer procesowych o aktywności węgla.
- **Dobra podatność technologiczna:** możliwość walcowania, kucia, gięcia, spawania i obróbki skrawaniem, z uwzględnieniem właściwych parametrów.
- **Stabilność metalurgiczna:** zachowanie austenitycznej osnowy, przy możliwych wydzieleniach węglikowych po określonych ekspozycjach cieplnych.

Alloy 601 – zastosowania w przemyśle

Piece przemysłowe i instalacje obróbki cieplnej

Alloy 601 stosuje się na kosze wsadowe, tace, retorty, mufle, rury promieniujące, osłony płomienia, wsporniki, palniki, siatki przenośników oraz osprzęt pieców do wyżarzania, nawęglania, węgloazotowania i azotowania. Materiał jest ceniony w urządzeniach pracujących w cyklach nagrzewania i chłodzenia oraz w miejscach wymagających ograniczenia odpadania zgorzeliny.

Petrochemia i przemysł chemiczny

Stop znajduje zastosowanie w podgrzewaczach gazów, elementach reformerów amoniaku, osłonach izolacyjnych, regeneracji katalizatorów oraz zespołach wykorzystujących wysokotemperaturowe gazy procesowe. W instalacjach wytwarzania kwasu azotowego stosowany jest między innymi na podpory siatek katalitycznych i elementy komór spalania; o doborze decyduje jednak rzeczywista atmosfera procesu.

Energetyka, instalacje spalinowe i ochrona środowiska

W energetyce Alloy 601 wykorzystywany jest na podpory rur przegrzewaczy, osprzęt palenisk, elementy odpopielania oraz części instalacji do odzysku energii. W układach oczyszczania spalin i spalarniach odpadów może być stosowany na wybrane elementy komór spalania i reaktorów cieplnych po analizie zawartości siarki i halogenów.

Motoryzacja i lotnictwo

Przykładowe zastosowania obejmują osłony czujników i układów wydechowych, elementy palników, zapłonniki silników lotniczych oraz wybrane części komór spalania turbin. Nie oznacza to, że stop 601 zastępuje specjalistyczne nadstopy turbinowe w najbardziej obciążonych łopatkach.

Alloy 601 – właściwości fizyczne

Wartości zestawione poniżej pomagają przewidzieć masę elementu, nagrzewanie podczas pracy pieca, przewodzenie ciepła oraz przyrost wymiarów w trakcie rozruchu i chłodzenia. W projektowaniu instalacji wysokotemperaturowych trzeba korzystać z właściwości odpowiadających rzeczywistej temperaturze materiału, a nie tylko danym przy 20°C.

Podstawowe właściwości fizyczne Alloy 601		
Parametr i właściwość fizyczna	**Wartość orientacyjna**	**Warunki pomiaru i objaśnienie dla projektanta**
Gęstość	8,11 g/cm³	Masa objętościowa stopu w temperaturze pokojowej; Special Metals podaje 8,11 g/cm³, a VDM około 8,05 g/cm³ dla własnej wersji materiału.
Zakres topnienia	1360–1411°C	Przedział między początkiem a końcem topnienia stopu; Special Metals: 1360–1411°C, natomiast w danych VDM występuje około 1330–1370°C.
Ciepło właściwe	448 J/(kg·K)	Dane dla temperatury otoczenia, około 20–21°C; parametr potrzebny przy obliczaniu energii ogrzewania i chłodzenia elementów.

Przewodność cieplna	11,2 W/(m·K)	Dane w 20°C; parametr określa szybkość przepływu ciepła przez materiał i ma znaczenie przy analizie gradientów temperatury.
Rezystywność elektryczna	1,180 µΩ·m	Dane w 20°C; parametr istotny dla elementów nagrzewanych prądem oraz oceny strat energii w urządzeniach elektrycznych.
Moduł Younga E	206,5 GPa	Wartość dynamiczna w 20°C; określa sztywność sprężystą przy rozciąganiu i zginaniu. W temperaturze wysokiej wyraźnie maleje.
Względna przenikalność magnetyczna	ok. 1,003	W przybliżeniu 1,003 przy około 24°C; materiał wykazuje bardzo słabe własności magnetyczne w temperaturze pokojowej.
Temperatura Curie	poniżej −196°C	Dla stopu nie obserwuje się typowego przejścia ferromagnetycznego w zwykłych warunkach eksploatacji; wielkość orientacyjna podana w karcie producenta.
Jak interpretować tabelę: Właściwości podano dla określonych stanów materiału, najczęściej w temperaturze pokojowej. Do obliczeń masy, przepływu ciepła i odkształceń należy przyjmować dane odpowiadające dostarczonemu materiałowi oraz temperaturze pracy.		

Wartości opisują określony materiał i metodę badawczą; różnice pomiędzy katalogami wynikają między innymi ze składu wytopu, obróbki cieplnej i metod pomiaru.

Wpływ temperatury na przewodność cieplną, rezystywność, ciepło właściwe i rozszerzalność

Wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się przewodność cieplna i ciepło właściwe stopu, natomiast wartość średniego współczynnika rozszerzalności liniowej zależy od przyjętego zakresu pomiarowego. Poniżej podano dane dla materiału wyżarzonego według Special Metals.

Alloy 601 / Inconel 601 – właściwości fizyczne w funkcji temperatury				
Temperatura materiału T [°C]	**Ciepło właściwe c_p [J/(kg·K)]**	**Przewodność cieplna λ [W/(m·K)]**	**Rezystywność elektryczna ρ_e [µΩ·m]**	**Średnia rozszerzalność liniowa α [µm/(m·K)]**
20	448	11,2	1,18	—

100	469	12,7	1,192	13,75
200	498	14,3	1,207	14,36
300	523	16,0	1,22	14,58
400	548	17,7	1,229	14,83
500	578	19,5	1,239	15,19
600	603	21,0	1,247	15,62
700	632	22,8	1,249	16,11
800	657	24,4	1,249	16,67
900	686	26,1	1,259	17,24
1000	712	27,8	1,262	17,82

Jak interpretować tabelę: Wraz ze wzrostem temperatury z 20 do 1000°C przewodność cieplna w tym zestawieniu zwiększa się z 11,2 do 27,8 W/(m·K), a ciepło właściwe z 448 do 712 J/(kg·K). Współczynnik α oznacza średnią rozszerzalność w zadanym zakresie temperatur, nie chwilową rozszerzalność w pojedynczym punkcie.

α oznacza średni współczynnik rozszerzalności liniowej od temperatury odniesienia około 27°C do wskazanej temperatury, a nie lokalny współczynnik przy jednej temperaturze. λ według Special Metals obliczono na podstawie rezystywności.

Moduł sprężystości E, moduł Kirchhoffa G i liczba Poissona ν

W podwyższonej temperaturze Alloy 601 staje się mniej sztywny sprężyście. Dla konstrukcji pieców, rur i elementów mocujących spadek modułów sprężystości może mieć istotny wpływ na ugięcie, naprężenia cieplne i stateczność części.

Alloy 601 / Inconel 601– parametry sprężyste w funkcji temperatury			
Temperatura badania T [°C]	**Moduł Younga E – sprężystość podłużna [GPa]**	**Moduł Kirchhoffa G – sprężystość poprzeczna [GPa]**	**Liczba Poissona ν [–]**
20	206,5	81,2	0,272
100	202,4	79,2	0,278
200	196,8	76,5	0,286

300	191,2	73,8	0,296
400	184,8	71,2	0,299
500	178,2	68,1	0,308
600	170,8	64,3	0,327
700	161,3	60,2	0,340
800	150,2	55,6	0,350
900	137,9	50,3	0,370
1000	124,7	44,7	0,395

Jak interpretować tabelę: Dla temperatury 20°C wartość E wynosi 206,5 GPa, a przy 1000°C spada do 124,7 GPa. Przy obliczaniu ugięć, kompensacji wydłużeń cieplnych i sztywności zamocowań nie wolno więc korzystać wyłącznie z parametrów pokojowych.

Źródło: Special Metals. Liczba Poissona została wyznaczona na podstawie wartości modułów sprężystości. Dane opisują badania dynamiczne, nie gwarantowane charakterystyki projektowe.

Alloy 601 – właściwości mechaniczne

Nie należy utożsamiać typowej wytrzymałości próbek laboratoryjnych z wartością gwarantowaną dla zamawianej partii. Przy zakupie liczą się postać wyrobu, stopień odkształcenia, obróbka cieplna oraz warunki normy wyrobowej.
Parametry wytrzymałościowe zależą od stanu odkształcenia i obróbki cieplnej. Pręt po walcowaniu na gorąco może wykazywać wyższą granicę plastyczności niż materiał po przesycaniu, a taśmy umocnione na zimno osiągają dużą wytrzymałość przy mniejszym wydłużeniu. W tabeli zestawiono orientacyjne zakresy w temperaturze pokojowej według Special Metals.

Właściwości mechaniczne wyrobów Alloy 601 – zakresy orientacyjne				
Postać materiału oraz stan obróbki	**Wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa]**	**Granica plastyczności Rp0,2 [MPa]**	**Wydłużenie A [%]**	**Twardość HRB**
Pręty walcowane i wykończone na gorąco, bez wyrównującego wyżarzania	585–825	240–690	15–60	65–95

Pręty w stanie wyżarzonym, o zwiększonej plastyczności	550–790	205–415	40–70	60–80
Płyty grube po wyżarzaniu, do dalszej obróbki i zastosowań konstrukcyjnych	550–690	205–310	45–65	60–75
Blachy walcowane na zimno i umocnione odkształceniowo	790–1310	690–1205	2–20	—
Blachy po wyżarzaniu zmiękczającym	585–690	205–345	35–55	65–80
Rury ciągnione i następnie wyżarzone	550–760	205–415	35–65	70–95
Drut ciągniony na zimno o wysokim stopniu umocnienia	825–1415	690–1345	3–20	—
Różne formy wyrobów po przesycaniu i chłodzeniu	515–760	160–380	40–75	55–95
Jak interpretować tabelę: Zestawienie obrazuje wpływ postaci wyrobu oraz umocnienia odkształceniowego na Rm, Rp0,2 i plastyczność. Zakresy pochodzą z różnych wyrobów; nie należy traktować ich jako gwarancji wymagań odbiorczych dla każdej dostawy.				

Zakresy zestawiają różne wymiary i stany produktów i nie stanowią automatycznych wymagań odbiorczych. Dla wyrobu zamawianego według EN 10095 spotyka się wymagania rzędu Rp0,2 ≥ 205 MPa, Rm 550–750 MPa, A ≥ 30% i HB ≤ 220, zależnie od postaci i stanu dostawy.

Wytrzymałość pręta po wyżarzaniu w temperaturze 1090°C – wpływ temperatury badania

Przykładowy pręt walcowany na gorąco, wyżarzony 1090°C			
Temperatura przeprowadzenia próby [°C]	**Wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa]**	**Umowna granica plastyczności Rp0,2 [MPa]**	**Wydłużenie po zerwaniu A [%]**
20	741	290	47
100	701	250	44
200	687	236	43
300	674	221	46
400	654	219	45
500	640	203	45

Jak interpretować tabelę: W pokazanym badaniu pręta wzrost temperatury z 20 do 500°C obniżył Rm z 741 do 640 MPa oraz Rp0,2 z 290 do 203 MPa. Wyniki dotyczą konkretnej próbki i nie są projektowymi wartościami dopuszczalnymi.

Wyniki z jednego programu badań Special Metals (pręt o średnicy około 16 mm). Nie należy ich traktować jako wartości gwarantowanych dla wszystkich wymiarów.

Alloy 601 – pełzanie, wytrzymałość długotrwała i zmęczenie

Gdy element utrzymuje ciężar wsadu lub pracuje jako podpora w piecu, dobór wyłącznie na podstawie Rm i Rp0,2 w temperaturze pokojowej może prowadzić do błędnego wniosku. Pełzanie opisuje powolne odkształcanie pod stałym naprężeniem w czasie, a trwałość na zerwanie określa wynik badania w zadanej temperaturze i czasie. Są to dwa odrębne rodzaje danych.
W temperaturach wyższych niż około 540–550°C coraz większego znaczenia nabierają mechanizmy pełzania i trwałość pod obciążeniem długotrwałym. W tych zastosowaniach korzystny może być stan przesycony o odpowiednio dobranej wielkości ziarna. Do obliczeń konstrukcyjnych nie wystarcza krótkotrwała wytrzymałość na rozciąganie Rm; potrzebne są dane materiałowe dla określonego czasu i temperatury pracy.

Wykresy producenta przedstawiają zależność czasu do zerwania od temperatury i naprężenia. Tak zwane naprężenie powodujące zerwanie po 1000 lub 10 000 godzin nie jest równoznaczne z dopuszczalnym naprężeniem projektowym według ASME lub innych przepisów urządzeń ciśnieniowych.

Stabilność cieplna i udarność Charpy po wygrzewaniu

Próby Charpy prowadzone na prętach poddanych przesycaniu wskazują, że stop może zachowywać znaczną ciągliwość mimo długotrwałej ekspozycji. Nie jest to jednak dowód braku jakichkolwiek zmian strukturalnych w każdych warunkach.

Udarność KV po ekspozycji wysokotemperaturowej – pomiar w temperaturze pokojowej		
Temperatura wcześniejszego wygrzewania materiału	**Czas ekspozycji w tej temperaturze**	**Udarność Charpy KV [J] po wygrzewaniu**

Próbka odniesienia – bez wcześniejszego wygrzewania	—	176
Wygrzewanie w 540°C	100 h	117
Wygrzewanie w 540°C	1000 h	121
Wygrzewanie w 590°C	1000 h	126
Wygrzewanie w 650°C	1000 h	127
Wygrzewanie w 700°C	100 h	129
Wygrzewanie w 820°C	159 h	159
Wygrzewanie w 870°C	103 h	159
Jak interpretować tabelę: Dane dotyczą energii łamania próbek uprzednio wygrzewanych, a następnie badanych w temperaturze pokojowej. Nie są to wyniki badania KV przeprowadzanego bezpośrednio w temperaturze wygrzewania.		

Wartości odpowiadają badaniom określonego pręta w stanie przesyconym; część czasów ekspozycji w opracowaniach pierwotnych nie jest jednakowa, dlatego nie należy ich przedstawiać jako jednej krzywej zużycia.

Alloy 601 – odporność na korozję wysokotemperaturową

Ta sama temperatura nie oznacza identycznej korozyjności atmosfery. Powietrze, mieszaniny gazów spalania, amoniak, chlor i środowiska o dużej aktywności węgla oddziałują na stop różnymi mechanizmami. Dlatego wartości z prób w tabelach odnoszą się tylko do podanych warunków.

Utlenianie i odpadanie zgorzeliny

Najważniejszą cechą Alloy 601 jest wysoka odporność na utlenianie. Chrom i aluminium tworzą przyczepną warstwę ochronną, która ogranicza transport tlenu do podłoża. W wielu zastosowaniach korzyść jest szczególnie widoczna podczas nagłych i wielokrotnych zmian temperatury, kiedy mniej stabilne tlenki mogą pękać i odpadać.

Special Metals przedstawia badania cyklicznego utleniania przy 1095°C, 1150°C i 1200°C. Stop 601 może pracować w atmosferach utleniających w temperaturach

zbliżonych do 1200°C, jednak trwałość wyrobu zależy od czasu ekspozycji, obciążeń i obecności agresywnych składników gazów. Nie należy zatem używać 1200°C jako uniwersalnej dopuszczalnej temperatury konstrukcyjnej.

Alloy 601 / Inconel 601 – wyniki długotrwałego statycznego utleniania		
Temperatura próby [°C]	**Czas ekspozycji [h]**	**Średnia głębokość obszaru zaatakowanego [mm]**
980	1008	0,033
1095	1008	0,067
1150	1008	0,135
1205	1008	0,190
Interpretacja danych: Podano wyniki określonej próby statycznej po 1008 h ekspozycji. Głębokość zaatakowania nie jest tożsama z ubytkiem grubości wskutek samego złuszczania zgorzeliny; porównanie ma znaczenie wyłącznie przy zbliżonych warunkach testu.		

Nawęglanie i węgloazotowanie

Stop wykazuje dobrą odporność w wielu atmosferach nawęglających, stąd jego zastosowanie na kosze, tace i osprzęt piecowy. W atmosferach zawierających węgiel i azot wzajemne oddziaływanie składników może jednak wpływać na warstwę powierzchniową i fazy wydzieleniowe.

Przykładowe wyniki badań w atmosferze 2% CH_4 i 98% H_2		
Temperatura próbki [°C]	**Czas działania mieszaniny gazowej [h]**	**Zarejestrowany przyrost masy próbki [mg/cm²]**
925	100	2,72
980	100	4,32
1095	25	3,67
Jak interpretować tabelę: Podane wyniki dotyczą wyłącznie mieszaniny 2% CH_4 + 98% H_2 i wskazanych czasów ekspozycji. Przyrost masy nie jest bezpośrednią miarą dopuszczalnej szybkości nawęglania każdego elementu pieca.		

Dane z doświadczeń porównawczych Special Metals. Przyrost masy opisuje konkretny test i nie jest uniwersalną szybkością nawęglania we wszystkich piecach.

Azotowanie i oddziaływanie amoniaku

Alloy 601 wykazuje odporność w wielu przemysłowych atmosferach zawierających azot lub amoniak, jednak przy wysokich temperaturach możliwa jest dyfuzja azotu i powstawanie azotków, w tym azotków aluminium i tytanu. Szczególnie w instalacjach z amoniakiem nie należy utożsamiać dobrej odporności w jednym teście z całkowitym brakiem oddziaływań chemicznych.

Alloy 601 / Inconel 601 – porównanie wyników azotowania w różnych atmosferach			
Atmosfera oddziałująca na stop	**Temperatura badania [°C]**	**Czas ekspozycji [h]**	**Głębokość penetracji [mm]**
Amoniak (NH_3)	650	168	0,03
Amoniak (NH_3)	980	168	0,17
Amoniak (NH_3)	1090	168	ponad 0,58
Czysty azot (N_2)	980	168	1,55
Czysty azot (N_2)	1090	168	2,79
Czysty azot (N_2)	1204	168	3,81
Interpretacja danych: Liczby dotyczą wyłącznie wskazanych prób materiałowych. Nie należy oceniać odporności na azotowanie bez jednoczesnego uwzględnienia aktywności azotu, atmosfery i temperatury.			

Siarczkowanie, chlor i chlorowodór

Środowiska siarczkujące są potencjalnie niebezpieczne dla stopów wysokoniklowych: szczególnie atmosfery redukujące z aktywną siarką mogą przyspieszać degradację. Obecność tlenu, wodoru, pary wodnej i aktywnych halogenów może istotnie zmieniać zachowanie materiału. Dane z testów w chlorkach lub HCl odnoszą się zawsze do ściśle określonych warunków; dla spalin zawierających chlor i siarkę potrzebna jest osobna ocena korozji.

Alloy 601 / Inconel 601 – przykład odporności w mieszaninie argonu i chloru			
Atmosfera chlorująca	**Temperatura [°C]**	**Czas [h]**	**Utrata masy próbki [mg/cm²]**
Ar + 30% Cl_2	400	500	0,3
Ar + 30% Cl_2	500	500	3

Ar + 30% Cl_2	600	500	85–200
Ar + 30% Cl_2	705	500	215
Interpretacja danych: Przy wzroście temperatury szybko narasta utrata masy. Wyniki pokazują, że oceny odporności w chlorze nie wolno przenosić z temperatury 400–500°C na znacznie wyższą temperaturę bez dodatkowej weryfikacji.			

Korozja wodna i pękanie naprężeniowe

Alloy 601 wykazuje dobrą odporność na szereg środowisk wodnych oraz na niektóre mechanizmy pękania korozyjnego naprężeniowego, jednak został opracowany przede wszystkim do wysokotemperaturowej eksploatacji. Do długotrwałego kontaktu z agresywną wodą morską lub środowiskami chlorkowymi korzystniejszym wyborem może być materiał z dodatkiem molibdenu, na przykład Alloy 625, o ile potwierdzą to warunki projektowe.

Alloy 601 – obróbka plastyczna, cieplna i skrawaniem

Alloy 601 jest stopem austenitycznym o dużej odporności na deformację w podwyższonej temperaturze. W czasie kucia i walcowania wymaga właściwego doboru temperatury odkształcania, a przy skrawaniu należy uwzględnić umocnienie warstwy obrabianej i możliwość przyspieszonego zużycia narzędzi.

Obróbka na gorąco – kucie i walcowanie

Według Special Metals typowy zakres obróbki plastycznej na gorąco wynosi około 870–1230°C, przy czym duże odkształcenia przeprowadza się zwykle przy 1040–1230°C. W przedziale około 650–870°C materiał ma ograniczoną plastyczność i nie zaleca się prowadzenia intensywnego odkształcania. Dobór temperatury zależy od przekroju, tempa kucia, temperatury narzędzi i stopnia zgniotu.

Po obróbce na gorąco zaleca się odpowiednią szybkość chłodzenia przez zakres temperatur sprzyjających niepożądanym wydzieleniom. Przed nagrzewaniem trzeba usunąć zabrudzenia i stosować paliwo oraz atmosferę o niskiej zawartości siarki.

Wyżarzanie i przesycanie

Alloy 601 nie jest typowym stopem utwardzanym wydzieleniowo. Stan materiału można kształtować przez odkształcenie na zimno i następujące po nim wyżarzanie. Dla elementów, w których dominują własności wytrzymałościowe w niższej temperaturze, stosuje się wyżarzanie w zakresie około 1000–1100°C. Do zastosowań długotrwałych, w których krytyczna jest odporność na pełzanie, wykorzystuje się stan przesycony, zwykle w zakresie około 1100–1200°C. Dokładny cykl należy dobrać do wymagań normy, wymiarów i własności końcowych.

Przykładowe zakresy technologiczne – dane orientacyjne		
Zabieg technologiczny i zakres procesu	**Temperatura procesu lub zalecenie**	**Znaczenie technologiczne oraz ograniczenia**
Walcowanie i kucie na gorąco	870–1230°C	Dopuszczalny szerszy zakres obróbki plastycznej; zasadnicze, większe odkształcenia prowadzi się zwykle w górnej części tego przedziału (około 1040–1230°C).
Zakres ograniczonej plastyczności	ok. 650–870°C	W tym zakresie należy ograniczać intensywne odkształcanie, ponieważ plastyczność materiału może być mniejsza niż w temperaturach właściwego kucia.
Wyżarzanie	ok. 1000–1100°C	Służy do rekrystalizacji oraz regulacji właściwości po obróbce plastycznej; parametry cyklu zależą od przekroju i pożądanego stanu końcowego.
Przesycanie	ok. 1100–1200°C	Pozwala odpowiednio kształtować mikrostrukturę i wielkość ziarna, istotne przy długotrwałej pracy w wysokiej temperaturze.
Chłodzenie	według procedury	Szybkość chłodzenia dobiera się do przekroju, wymagań technologicznych i ograniczenia niepożądanych wydzieleń.
Jak interpretować tabelę: Przed użyciem tych temperatur w produkcji należy sprawdzić geometrię wyrobu, stan wejściowy materiału, dopuszczalne zmiany mikrostruktury i sposób chłodzenia. Podane przedziały nie stanowią uniwersalnego cyklu obróbki cieplnej.		

Obróbka na zimno

Materiał może być gięty, walcowany i ciągniony na zimno. Wraz ze wzrostem odkształcenia wzrasta wytrzymałość, ale maleje plastyczność. Przy znacznym stopniu zgniotu konieczne mogą być wyżarzania pośrednie; elementy o małych promieniach gięcia należy weryfikować pod kątem pęknięć i wymaganego stanu dostawy.

Obróbka skrawaniem

W porównaniu ze stalami niestopowymi obróbka Alloy 601 jest bardziej wymagająca ze względu na umacnianie materiału w warstwie skrawanej, wytrzymałość w podwyższonej temperaturze oraz zużycie narzędzi. Zalecane są sztywne mocowanie, ostre narzędzia, kontrola odprowadzania wióra i odpowiednio dobrany płyn obróbkowy. Parametry skrawania powinny wynikać z gatunku płytki, geometrii narzędzia, sztywności obrabiarki i stanu materiału; nie należy przenosić jednej prędkości toczenia na wszystkie wyroby.

Alloy 601 – spawanie i materiały dodatkowe

Do spawania elementów piecowych istotne są nie tylko własności złącza po wykonaniu spoiny, ale także odporność jego metalu na utlenianie podczas późniejszej eksploatacji. To jeden z powodów, dla których wybór drutu lub elektrody zależy od temperatury pracy i atmosfery.
Alloy 601 cechuje się dobrą spawalnością metodami TIG, MIG oraz elektrodami otulonymi, a także wybranymi procesami automatycznymi. Powierzchnie przed spawaniem muszą być czyste, bez olejów, siarki, farb i produktów obróbki. O powodzeniu połączenia decydują również ograniczenie dopływu zanieczyszczeń, właściwa energia liniowa i dobór spoiwa do temperatury pracy.

Przykłady doboru materiałów dodatkowych		
Metoda spawania i przewidziane zastosowanie złącza	**Przykładowy gatunek spoiwa lub elektrody**	**Warunki stosowania i kwestie wymagające sprawdzenia**
TIG / MIG – spoiwo zgodne ze stopem 601	ERNiCrFe-11 / Inconel Filler Metal 601	Preferowane przy wymaganej zgodności chemicznej i podwyższonej temperaturze

TIG / MIG – typowe warunki	ERNiCr-3 / Filler Metal 82	Zastosowanie po sprawdzeniu wymagań złącza
Elektrody otulone	ENiCrFe-3 / Electrode 182; Electrode 117	Dobór zależy od temperatury i środowiska
Wybrane warunki wysokotemperaturowe	Filler Metal 617	Rozważyć po weryfikacji wymagań dotyczących długotrwałej wytrzymałości
Jak interpretować tabelę: Dobór spoiwa musi uwzględniać warunki pracy złącza: temperaturę, atmosferę, naprężenia, podatność na pękanie oraz wymaganą dokumentację WPS/WPQR. Lista nie oznacza dowolnej zamienności wszystkich wymienionych spoiw.		

Materiały dodatkowe nie są automatycznie zamienne: Special Metals rozróżnia dobór spoiw m.in. dla pracy poniżej i powyżej około 980°C oraz dla atmosfer zawierających H_2S lub SO_2. W zastosowaniach odpowiedzialnych wymagane są WPS i kwalifikacja technologii.

Alloy 601 / 2.4851 – normy materiałowe i wyrobowe

Oznaczenie UNS N06601 identyfikuje skład stopu, natomiast normy wyrobowe opisują wymagania dla konkretnych produktów, stanów dostawy, badań i tolerancji. W ofertowaniu trzeba wskazać zarówno gatunek, jak i specyfikację wyrobu.

Przykładowe normy i odpowiadające im wyroby	
Norma wyrobu lub oznaczenie dokumentu	**Rodzaj wyrobu i praktyczny zakres zastosowania normy**
ASTM B166 / ASME SB-166	Pręty okrągłe, inne wyroby prętowe i drut. W zamówieniu należy określić średnicę, stan powierzchni oraz stan dostawy.
ASTM B168 / ASME SB-168	Blachy grube, blachy cienkie i taśmy ze stopu niklu, z wymaganiami dotyczącymi grubości i własności.
ASTM B167 / ASME SB-167	Rury bezszwowe; istotne są wymiary, tolerancje, stan dostawy oraz zakres wymaganych badań.
ASTM B163 / ASME SB-163	Wybrane rury bezszwowe do wymienników i skraplaczy; należy sprawdzić zakres stosowania właściwego wydania normy.
ASTM B564 / ASME SB-564	Odkuwki i półwyroby kute ze stopów niklu, przeznaczone do dalszej obróbki mechanicznej.

DIN 17750 / 17752 / 17753 / 17754	Historyczne normy DIN dotyczące odpowiednio materiałów płaskich, prętów, drutów i odkuwek; ich status wymaga sprawdzenia.
EN 10095	Wyroby płaskie i długie z żaroodpornych stali oraz stopów niklu; stan i wymagania należy odnieść do odpowiednich postanowień.
ISO 6207 / ISO 6208	Normy ISO dotyczące odpowiednio rur oraz wyrobów płaskich ze stopów niklu.
ISO 9723 / 9724 / 9725	Normy ISO dla prętów, drutów oraz odkuwek ze stopów niklu, stosowane zależnie od zamawianej postaci.
AMS 5715 / AMS 5870	Specyfikacje wykorzystywane w przemyśle lotniczym; należy sprawdzić, czy obejmują zamówiony wyrób i jego stan.
Jak interpretować tabelę: Norma wyrobowa określa postać materiału i wymagania odbiorcze. Sam symbol UNS N06601 identyfikuje stop, natomiast nie zastępuje określenia normy, stanu obróbki i wymagań kontroli jakości.	

Wymagane aktualne wydanie normy należy potwierdzić przy zamówieniu. Oznaczenia historyczne DIN nie zawsze odpowiadają obecnie obowiązującym dokumentom. Nie należy traktować samych numerów ASTM jako nazw zamienników gatunku.

Alloy 601 – nazwy handlowe, zamienniki i oznaczenia międzynarodowe

Potwierdzone oznaczenia Alloy 601	
Nazwa, symbol lub numer materiału	**Znaczenie oznaczenia i jego pochodzenie**
Alloy 601 / Inconel® 601	Nazwa stopu i chroniona marka Inconel® 601 stosowana przez Special Metals; nie jest osobną normą wyrobu.
UNS N06601	Jednolity numer materiałowy UNS, stanowiący podstawowe oznaczenie chemicznej klasy stopu.
2.4851 / NiCr23Fe	Europejski numer materiałowy 2.4851 i nazwa skrócona NiCr23Fe.
NiCr23Fe15Al	Oznaczenie składowe spotykane w systemie ISO; wskazuje nikiel, chrom, żelazo i aluminium.
NW6601	Oznaczenie stopu w numeracji ISO; stanowi identyfikator, a nie certyfikat właściwości wyrobu.

NA49	Historyczne brytyjskie oznaczenie gatunkowe BS NA49.
NCF601	Japońskie oznaczenie stopu klasy N06601 występujące w dokumentacji JIS.
NC23FeA	Historyczne francuskie oznaczenie stopu klasy Alloy 601.
VDM® Alloy 601 / Nicrofer® 6023 H	Nazwa handlowa VDM Metals oraz wcześniejsze oznaczenie Nicrofer® 6023 H.
GL5	Oznaczenie handlowe spotykane w katalogach producenta Valbruna.
Jak interpretować tabelę: Nazwy handlowe, systemy krajowe i numery materiałowe odnoszą się do klasy Alloy 601, ale przy dostawie trzeba zweryfikować konkretną specyfikację, tolerancje składu oraz stan wyrobu.	

W starszych katalogach można spotkać także nazwy EMVAC 601, VAT 601, NY 601, Nicrimphy 601, Coralloy 601 oraz NRX 601. Nie należy jednak traktować każdej z nich jako automatycznie zweryfikowanej nazwy handlowej identycznej specyfikacji. Przy doborze zamiennika ważniejszy od nazwy jest potwierdzony skład UNS N06601, stan dostawy, wymagania normy i świadectwo kontroli.

Porównanie Alloy 601 z Alloy 600, Alloy 617 i Alloy 625

Wstępny dobór stopów niklu – istotne różnice		
Gatunek i oznaczenie materiałowe	**Najważniejsze pierwiastki i różnice składu**	**Podstawowe zastosowanie lub przewaga techniczna**
Alloy 600 / 2.4816	Ni–Cr–Fe; Cr ok. 14–17%	Stosowany w wybranych środowiskach chemicznych i w podwyższonej temperaturze; nie jest odpowiednikiem 601 w każdym piecu.
Alloy 601 / 2.4851	Ni–Cr–Fe–Al; Cr 21–25%, Al 1,0–1,7%	Wysoka odporność na utlenianie i cykliczne zmiany temperatury, szczególnie ważna przy wyposażeniu pieców przemysłowych.
Alloy 617 / 2.4663	Ni–Cr–Co–Mo–Al	Przeznaczany do pracy pod obciążeniem w wysokiej temperaturze, gdy istotne są wytrzymałość i trwałość na pełzanie.

Alloy 625 / 2.4856	Ni–Cr–Mo–Nb	Wysoka odporność na liczne agresywne środowiska chemiczne, szczególnie na korozję lokalną w obecności chlorków.
Jak interpretować tabelę: Wstępne porównanie nie przesądza o zamienności stopów. Odporność na utlenianie, odporność na korozję wodną i wytrzymałość na pełzanie to różne kryteria projektowe.		

Takie porównanie służy do wstępnego wyboru materiału. W rzeczywistym projekcie należy uwzględnić temperaturę, czas, naprężenia, atmosferę i dostępność wymaganej postaci produktu.

Najczęściej zadawane pytania – Alloy 601 / Inconel 601

Czy Alloy 601 i Inconel 601 to ten sam materiał?

Tak. Alloy 601 oznacza stop klasy UNS N06601 / 2.4851, natomiast Inconel® 601 jest nazwą handlową firmy Special Metals. Przy zakupie należy jednak zawsze sprawdzić stan i normę wyrobu.

Czy Alloy 601 jest stalą nierdzewną?

Nie. Jest stopem na osnowie niklu, a nie żelaza, mimo że zawiera istotny udział żelaza i wykazuje dobrą odporność na korozję.

Do jakiej temperatury można stosować Alloy 601?

W odpowiednich atmosferach utleniających materiał wykazuje dużą odporność na utlenianie aż do około 1200°C. Dopuszczalna temperatura obciążonego elementu zależy jednak od naprężeń, czasu pracy i warunków środowiskowych.

Czy Alloy 601 zawiera aluminium?

Tak. Zwykle zawiera 1,0–1,7% Al. Dodatek ten zwiększa trwałość ochronnej warstwy tlenkowej i poprawia zachowanie w wysokiej temperaturze.

Jaka jest gęstość Alloy 601?

Według Special Metals około 8,11 g/cm³. VDM Metals dla swojej odmiany podaje około 8,05 g/cm³. Wartość do dokładnych obliczeń masy należy przyjąć z danych producenta konkretnego materiału.

Jaka jest twardość Alloy 601?

W stanie wyżarzonym dla wielu wyrobów typowe wartości wynoszą około 60–95 HRB, natomiast w niektórych specyfikacjach EN maksymalna twardość określana jest jako 220 HB. Twardość zależy od stanu i formy wyrobu.

Czy Alloy 601 można spawać?

Tak. Stop jest dobrze spawalny. Stosuje się między innymi drut ERNiCrFe-11 lub ERNiCr-3, lecz wybór spoiwa zależy od temperatury pracy i składu środowiska.

Czy Alloy 601 można hartować i odpuszczać?

Nie w sposób charakterystyczny dla stali ulepszanych cieplnie. Stosuje się wyżarzanie, przesycanie i obróbkę plastyczną na zimno. Nie jest to typowy stop utwardzany wydzieleniowo.

Czym różni się Alloy 601 od Alloy 600?

Alloy 601 zawiera więcej chromu i kontrolowany dodatek aluminium, dlatego zwykle lepiej sprawdza się w zastosowaniach wymagających odporności na wysokotemperaturowe utlenianie oraz na cykle cieplne.

Czym różni się Alloy 601 od Alloy 625?

Alloy 601 jest często wybierany do pracy w utleniających atmosferach pieców. Alloy 625 dzięki zawartości molibdenu i niobu zapewnia wyższą odporność na wiele środowisk korozyjnych, szczególnie sprzyjających korozji lokalnej.

Czy Alloy 601 nadaje się na elementy pieców do nawęglania?

Tak, należy do materiałów stosowanych na kosze i osprzęt pieców pracujących w atmosferach nawęglających. O trwałości decydują stężenia gazów, temperatura,

liczba cykli i obciążenie mechaniczne.

Alloy 601 / Inconel 601 / 2.4851 – zapytanie ofertowe Alfa-Tech

Potrzebujesz Alloy 601 w formie pręta, płaskownika, odkuwki, rury lub blachy?
Podaj wymiar, ilość, oczekiwaną normę, stan dostawy i warunki zastosowania. Alfa-Tech pomoże zweryfikować właściwy materiał oraz możliwość jego dostarczenia. Dostępność i terminy realizacji są potwierdzane indywidualnie.

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