Pręt/Wałek aluminiowy okrągły EN AW-6082 T6/T6511 (PA4)

Specyfikacja

Opis Produktu

Pręty EN AW-6082 w stanach T6 i T6511 produkowane są przez wyciskanie (extrusion), a następnie obróbkę cieplną: przesycanie w temperaturze ok. 520–540°C, hartowanie w wodzie i sztuczne starzenie ok. 175°C przez 8–12 godzin. Stan T6511 różni się od T6 dodatkowym prostowaniem poprzecznym (stretching 1–3 %) po hartowaniu – redukuje to naprężenia wewnętrzne i poprawia prostość pręta, co jest istotne przy obróbce CNC głębokich otworów.

Stop 6082 (AlSi1MgMn) wyróżnia się wśród serii 6xxx podwyższoną zawartością manganu (do 1,0 %), który ogranicza rozrost ziarna i zwiększa wytrzymałość zmęczeniową. W porównaniu z popularnym 6061, stop 6082 osiąga wyższe Rm (≥ 310 vs. ≥ 260 MPa) przy zbliżonej spawalności i odporności na korozję. Jest stopem preferowanym w budownictwie, transporcie i przemyśle spożywczym na terenie Europy.

Kluczowe parametry

R m [MPa]	R p 0,2 [MPa]	Twardość HBW	Gęstość [g/cm³]	Anodowanie dekor.
≥ 310 MPa (T6)	≥ 260 MPa (T6)	95–100	2,71	5/5

SKŁAD CHEMICZNY

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Inne (każdy)	Inne (suma)	Al
0,70–1,30	max 0,50	max 0,10	0,40–1,0	0,60–1,20	max 0,25	max 0,20	max 0,10	max 0,05	max 0,15	reszta
krzem	żelazo	miedź	mangan	magnez	chrom	cynk	tytan	inne (każdy)	inne (suma)	glin

Norma bazowa: EN 573-3. Dominujące pierwiastki stopowe: Si 0,70–1,30 % i Mg 0,60–1,20 % – tworzą wydzielenia Mg_2Si odpowiedzialne za umocnienie wydzieleniowe w stanie T6. Mn 0,40–1,0 % ogranicza rozrost ziarna i zwiększa wytrzymałość zmęczeniową – to główna różnica vs. 6061 (Mn max 0,15 %). Niska Cu (max 0,10 %) zapewnia spawalność i odporność na korozję.

Specyfikacja techniczna

Parametr	T6	T6511

Wytrzymałość na rozciąganie Rm	270-310 MPa	≥ 310 MPa
Granica plastyczności Rp0,2	≥ 260 MPa	200-260 MPa
Twardość HBW	95	95
Wydłużenie A	6-8 %	6-8 %
Moduł sprężystości E	70 GPa	70 GPa

Tolerancje średnicy i dostępne wymiary dla prętów wyciskanych w EN AW-6082T6/T6511

Ø od [mm]	do , włącznie Ø [mm]	Warianty w sklepie [mm]	Tolerancja Ø [mm]
8	18	10,15	+/- 0,22
18	25	20, 25	+/- 0,25
25	40	30, 35, 40	+/- 0,30
40	50	50	+/- 0,35
50	65	60	+/- 0,40
65	80	70, 80	+/- 0,45
80	100	90, 100	+/- 0,55
100	120	110, 120	+/- 0,65
120	150	130, 140, 150	+/- 0,8
150	180	160,180	+/- 1,0
180	220	200, 210	+/- 1,15
220	270	230, 260	+/- 1,3
270	320	300	+/- 1,6

Tolerancja długości cięcia: -0 / +5 mm. Prostość: od ≤ 2 mm/m dla średnic od fi 8 do fi 120 mm poprzez ≤ 3 mm/m dla średnic od fi 120 do 200 mm i ≤ 6 mm/m dla średnic od fi 200 do 320 mm).

Właściwości fizyczne

Parametr	Wartość
Gęstość	2,70 g/cm³
Moduł sprężystości E	70 GPa
Moduł sprężystości G	26,4 GPa

Przewodność cieplna	170–180 W/mK
Rozszerzalność cieplna	23,1 µm/mK
Ciepło właściwe	893 J/kgK
Temperatura pracy ciągła / chwilowa	120°C / 160°C
Przewodność elektryczna	43–47 % IACS
Zakres topnienia (solidus/likwidus)	582 / 651 °C

PARAMETRY TECHNOLOGICZNE (SKALA 1–5)

Parametr	Ocena
Skrawalność	4 / 5
Anodowanie twarde (hard anodizing)	4 / 5
Anodowanie ochronne (Alodine / chromianowanie)	5 / 5
Anodowanie dekoracyjne	5 / 5
Polerowalność	4 / 5
Stabilność kształtu po obróbce CNC	4 / 5
Stabilność kształtu po gięciu	3 / 5
Odporność na korozję (ogólna)	4 / 5
Odporność na korozję (atmosferyczna)	5 / 5
Odporność na korozję (morska)	3 / 5
Kontakt z żywnością	TAK
Spawalność – WIG (TIG)	5 / 5
Spawalność – MIG	5 / 5
Spawalność – rezystancyjne	3 / 5
Zgrzewanie tarciowe (FSW)	5 / 5
Powtarzalność wymiarowa (produkcja seryjna)	5 / 5

Objaśnienie skali:

1 – brak możliwości / brak przydatności technologicznej

2 – ograniczone zastosowanie, wymaga ściśle kontrolowanych środków ostrożności

3 – średnia przydatność (standardowe trudności obróbcze)

4 – dobra charakterystyka (zalecane do większości zastosowań)

5 – charakterystyka wybitna (materiał optymalizowany pod dany proces)

OZNACZENIA I NORMY

Norma europejska – skład chemiczny	EN 573-3 (AlSi1MgMn)
Werkstoffnummer	3.2315
UNS (ameryk.)	A96082
Oznaczenie stanu	T6 (przesycony + sztuczne starzenie) / T6511 (prostowany + T6)
Norma własności mechanicznych	EN 755-2
Norma ASTM (odpowiednik)	ASTM B221 / Alloy 6082
Nazwa handlowa / skrót	PA4, 6082-T6, aluminium konstrukcyjne
Tolerancja długości cięcia	-0 / +5 mm
Prostość	2-6 mm/m (zależnie od zakresów średnic)
Formaty fabryczne (długości)	3000-6000 mm(najczęściej ok. 3000 mm)
Temperatura przesycania	520–540 °C / hartowanie w wodzie
Temperatura starzenia	~175 °C / 8–12 godz. (stan T6)

ZASTOSOWANIA

Budownictwo i konstrukcje	Słupy, belki, kratownice, balustrady, wiaty – jedna z wyższych Rm w 6xxx, spawalność 5/5 TIG/MIG.
Transport i pojazdy	Ramy pojazdów, elementy zawieszenia, osie, wałki napędowe – stosunek wytrzymałości do masy.
Przemysł spożywczy i farmaceutyczny	Wałki transportowe, wałki podajnikowe, korpusy pomp – kontakt z żywnością dopuszczony (Rozp. (WE) 1935/2004 / FDA 21 CFR).
Obróbka CNC	Wałki, tuleje, elementy maszyn, sworznie – skrawalność 4/5, dobra jakość powierzchni po toczeniu.
Morskie i offshore (ograniczone)	Maszty, reling, elementy wyposażenia – odporność korozyjna 3/5 (mniej niż 5083; wymagane anodowanie w ciężkich warunkach).
Architektura i design	Poręcze, słupki, elementy fasad, elementy ozdobne – anodowanie dekoracyjne 5/5, jednolita barwa.

Energetyka i OZE	Konstrukcje wspornikowe paneli fotowoltaicznych, elementy turbin wiatrowych – wytrzymałość + korozja atmosferyczna 5/5.

WAŻNE OGRANICZENIA

⚠ **Utrata właściwości po spawaniu – strefa wpływu ciepła (HAZ)**

Stan T6 uzyskiwany jest przez obróbkę cieplną – spawanie łukowe TIG/MIG niszczy lokalnie tę strukturę w strefie wpływu ciepła (HAZ). W HAZ Rm spada typowo do poziomu stanu O/T4 (Rm ~130–160 MPa), czyli o ok. 50–60 % wytrzymałości bazowej. Konstrukcje spawane z 6082-T6 muszą być projektowane z uwzględnieniem tej obniżki lub poddane obróbce cieplnej T6 po spawaniu (co jest rzadko praktyczne dla dużych elementów). Spawanie FSW (zgrzewanie tarciowe) znacznie redukuje degradację – HAZ płytszy i węższy.

⚠ **Temperatura pracy – ograniczona do 80°C (ciągłe)**

Stop 6082-T6 NIE jest przeznaczony do pracy w podwyższonych temperaturach. Powyżej ok. 120°C (praca ciągła) następuje stopniowe nadstarzanie (overageing) i spadek właściwości mechanicznych. Przy chwilowych szczytach do 200°C dopuszczalne krótkotrwałe obciążenia. Do zastosowań w podwyższonej temperaturze rozważyć 2017A, 2024 lub stopy 7xxx. Nie stosować do elementów narażonych na ciepło silnika lub układów wydechowych bez weryfikacji.

⚠ **Gięcie – ograniczenia stanu T6**

Stan T6 jest twardy i mało plastyczny – gięcie na zimno prętów Ø > 30 mm jest niepraktyczne, pojawia się ryzyko pęknięcia. Dla prętów mniejszych (Ø 10–25 mm) minimalne promienie gięcia: 3×t dla T6 (vs. 1×t dla stanu O). Przy konieczności gięcia prętów o większych średnicach: wyżarzyć do stanu O (415°C), uformować, a następnie powtórzyć T6 jeśli wymagana wytrzymałość. Pręty w stanie T6511 mają nieco lepszą ciągliwość niż T6.

⚠ **Korozja w środowiskach morskich – wymaga ochrony**

Odporność na korozję morską 6082 wynosi 3/5 – lepsza niż stopy 2xxx i 7xxx, gorsza niż 5083. W warunkach zanurzenia w wodzie morskiej lub bezpośredniego kontaktu z chlorkami (bez anodowania lub powłoki) możliwa korozja wżerowa i korozja naprężeniowa. Do zastosowań morskich na stałe zanurzonych lub narażonych na aerozol chlorkowy – stosować 5083 lub 5086. 6082 dopuszczalne przy ochronie anodowaniem grubowarstwowym (≥ 20 µm) lub powłoką epoksydową.

Porównaj z innymi stopami

Właściwość	EN AW-6082-T6	EN AW-2017A-T4	EN AW-7075-T6	EN AW-2024-T4	EN AW-5083-H111
Rm [MPa]	270-310	360-400 ★	440-540 ★★	400-450★	260-270
Skrawalność	4 / 5	5 / 5 ★	5 / 5 ★	4 / 5	3 / 5

Spawalność TIG/MIG	5 / 5 ★	1 / 5	1 / 5	1 / 5	5 / 5 ★
Odporność na korozję	4 / 5	2 / 5	2 / 5	2 / 5	5 / 5 ★★
Anodowanie dekoracyjne	5 / 5 ★	2 / 5	2 / 5	3 / 5	4 / 5
Kontakt z żywnością	TAK ★	NIE	NIE	NIE	TAK ★
Masa właściwa [g/cm³]	2,70 ★	2,79	2,81	2,78	2,66 ★★
Wytrzymałość właściwa	~114 kN·m/kg	~140 kN·m/kg	~185 kN·m/kg ★★	~153 kN·m/kg ★	~102 kN·m/kg
Typowe zastosowanie	Konstrukcje, CNC, spożywczy	CNC, lotnictwo	CNC, zbrojenia	Morskie, zbiorniki	lotnictwo

★ = najlepsza ocena w danej kategorii spośród porównywanych stopów. ★★ = wyróżniająco wyższa wartość. Dane wg EN 573-3, EN 755-2 i specyfikacji producentów.