



Stal do ulepszania cieplnego - konstrukcyjna stopowa

Cechy i zastosowanie

Stal do ulepszania cieplnego (12HN3A, 1.5752, 20HN3A, 30HGSNA, 30HGSA, 30H2N2M, 30CrNiMo8, 1.6580, 36HNM, 1.6773, 1.6511, 37HS, 40H2MF, 40HNMA, 40NiCrMo7, 1.6565, 45HN, 45HNMF) należy do grupy stali konstrukcyjnych stopowych, które stosuje się na odpowiedzialne części maszynowe. Charakteryzuje się połączeniem:

- dużej wytrzymałości (granica plastyczności, wytrzymałość na zmęczenie),
- znacznej ciągliwości,
- wysokiej udatności (odporność na kruche pękanie).

Stale do ulepszania cieplnego a proces ulepszania

Optymalne własności mechaniczne stali osiąga się poprzez zastosowanie struktury sorbitu, uzyskiwanej dzięki procesowi ulepszania cieplnego, który obejmuje:

- hartowanie,
- wysokie odpuszczanie.

Proces ten prowadzi do poprawy właściwości mechanicznych w porównaniu do stali surowej lub poddanej normalizowaniu. W przypadku stali normalizowanej nie zachodzą zmiany strukturalne związane z hartowaniem i odpuszczaniem.

Historia pojęcia „stale do ulepszania cieplnego”

Termin „stale do ulepszania cieplnego” pojawił się kilkadziesiąt lat temu, odnosząc się do stali stosowanych na odpowiedzialne części maszyn o wysokich wymaganiach wytrzymałościowych. Obecnie nazwa ta nie jest dostatecznie precyzyjna, ponieważ proces ulepszania cieplnego obejmuje również inne stale konstrukcyjne, np.:

- stale do pracy w niskich temperaturach.

Współczesne rozróżnienie terminów

Obecnie należy rozróżniać:



- **Stale ulepszane cieplnie** – stale poddane procesowi hartowania i odpuszczania, niezależnie od późniejszego zastosowania.
- **Stale do ulepszania** – tradycyjna nazwa grupy stali maszynowych o ściśle określonym przeznaczeniu.

Kryteria zaliczenia do stali do ulepszania cieplnego

Do grupy stali do ulepszania cieplnego zalicza się stale przeznaczone na odpowiedzialne części maszyn, które:

- mają w stanie użytkowania strukturę sorbitu, spełniają wymagania wytrzymałościowe w temperaturze otoczenia.

Stale, które nie należą do tej grupy

Do stali do ulepszania cieplnego **nie zalicza się** stali:

- przeznaczonych do pracy w temperaturach poniżej -10°C i powyżej $+300^{\circ}\text{C}$,
- wymagających zwiększonej odporności na korozję,
- o szczególnych właściwościach technologicznych (np. łatwe do spawania lub obróbki skrawaniem),
- poddawanych dodatkowym zabiegom po ulepszaniu cieplnym (np. azotowanie, hartowanie powierzchniowe).

Przykłady stali spoza grupy stali do ulepszania cieplnego

Stale niespełniające powyższych kryteriów zalicza się do odrębnych grup, takich jak:

- stale spawalne o podwyższonej wytrzymałości,
- stal automatowa,
- stal do hartowania powierzchniowego,
- stale do azotowania,
- stale do pracy w niskich temperaturach,
- [stal odporna na korozję](#).

Z grupy stali do ulepszania wyłącza się ponadto jeszcze niektóre stale o specjalnym zastosowaniu:

- [Stale sprężynowe](#) – tradycyjnie wyodrębniane, wyróżniające się od pozostałych stali do ulepszania większą zawartością węgla i niższą



temperaturą odpuszczania, co umożliwia uzyskanie większej wytrzymałości.

- **Stale przeznaczone na bardzo duże odkuwki** – charakteryzujące się dużą hartownością bainityczną, co umożliwia uzyskanie dobrych właściwości wytrzymałościowych nawet przy dużych przekrojach.

Stal do ulepszania cieplnego – definicja i skład

Po uwzględnieniu wszystkich ograniczeń, za **stale do ulepszania** uważa się tzw. stale ogólnego przeznaczenia ujęte w normach [PN-72/H-84030](#) oraz [PN-72/H-84035](#). Są to stale o średniej zawartości węgla (najczęściej $0,30 \div 0,40\%$ C), w większości **niskostopowe**, w których łączna zawartość pierwiastków stopowych nie przekracza **3%**, rzadziej **średniostopowe** o zawartości tych pierwiastków w zakresie **3-5%**, a tylko w wyjątkowych przypadkach przekraczające **5%**.

Podstawowe pierwiastki stopowe występujące w tych stalach to:

- mangan, krzem, chrom, nikiel,, molibden.

Rzadziej stosowane pierwiastki to: **wanad** i **wolfram**.

Skład chemiczny tych stali jest niekiedy podstawą do dalszego ich podziału, np.:

- **stale chromowo-niklowe,**
- **stal chromowo-molibdenowa,**
- **stale chromowo-niklowo-molibdenowe.**

Ograniczenia zawartości zanieczyszczeń

Ze względu na wysokie wymagania jakościowe – (według starszych norm PN), w stalach tych zawartość zanieczyszczeń jest ściśle kontrolowana. Ogranicza się zawartość:

- [fosforu](#) do max. **0,035%**, [siarki](#) do max. **0,035%**.

W niektórych przypadkach, szczególnie dla stali o wysokiej czystości metalurgicznej, takich jak stale przetapiane elektrożuźlowo, dopuszczalna zawartość fosforu i siarki jest jeszcze niższa i wynosi max. **0,025%** lub nawet mniej.



Struktura i właściwości stali do ulepszania

W definicji stali do ulepszania kluczowym elementem jest struktura uzyskana w wyniku procesu hartowania i odpuszczania, warunkująca osiągnięcie **optymalnych właściwości mechanicznych**.

Proces ulepszania cieplnego nie zawsze jednak prowadzi do uzyskania identycznych efektów strukturalnych. Stopień poprawy właściwości mechanicznych może być różny:

- **Efekt pełny** – odpowiada uzyskaniu struktury sorbitu, co zapewnia optymalne właściwości wytrzymałościowe.
- **Efekt niepełny** – powstaje, gdy struktura jest mieszkanką sorbitu i innych składników strukturalnych, takich jak odpuszczony dolny bainit. W tym przypadku nie osiąga się maksymalnych właściwości mechanicznych.

Zasięg tego efektu może być także **ograniczony powierzchniowo**, gdy podczas hartowania osiągnięto krytyczną szybkość chłodzenia jedynie w warstwach zewnętrznych materiału.

Zmienność struktury w stalach do ulepszania

Istotną cechą stali konstrukcyjnych do ulepszania cieplnego jest możliwość uzyskania różnorodnej struktury, zależnie od:

- składu chemicznego,
- hartowności,
- wymiarów hartowanego przedmiotu,
- sposobu chłodzenia podczas hartowania.

W konsekwencji, właściwości mechaniczne tych stali mogą charakteryzować się znaczną rozpiętością, co wpływa na ich różnorodne zastosowanie w przemyśle.

Struktura i własności wytrzymałościowe stali do ulepszania cieplnego

Optymalne własności mechaniczne stali do ulepszania cieplnego zależą od struktury powstałej w wyniku procesu hartowania i odpuszczania. Kluczowe znaczenie ma precyzyjne określenie warunków technologicznych, w jakich możliwe jest uzyskanie pożądanej struktury.



Cechy charakteryzujące stal konstrukcyjną do ulepszania cieplnego

Na możliwość uzyskania optymalnych właściwości mechanicznych wpływają dwie zasadnicze cechy stali:

- **Hartowność** – zdolność do tworzenia struktury martenzytycznej podczas hartowania, która zależy od składu chemicznego stali i jest określana na podstawie:
 - wykresów przemian austenitu,
 - krzywych hartowności,
 - średnic krytycznych.
- **Podatność martenzytu na odpuszczanie** – czyli zdolność struktury martenzytycznej do zmiany swoich właściwości mechanicznych pod wpływem odpuszczania.

Wpływ struktury na właściwości wytrzymałościowe

Właściwości mechaniczne stali po hartowaniu mogą się znacznie różnić w zależności od:

- hartowności stali, wielkości przekroju hartowanego przedmiotu, sposobu chłodzenia.

Na tej podstawie można wyróżnić trzy najbardziej charakterystyczne przypadki:

1. Struktura martenzytyczna z dominującym sorbitem

Jeżeli po hartowaniu w stali dominuje struktura martenzytyczna lub występuje ona w przeważającym udziale, to po odpuszczeniu powstaje **struktura sorbityczna**. Charakteryzuje się ona optymalnym połączeniem:

- **dużej wytrzymałości** na rozciąganie (R_e , R_m),
- **wysokiej ciągliwości** (A , Z , K).

Cechy sorbitu:

- **Wysoki stosunek R_e : R_m** , wynoszący około **90%**, niezależnie od składu chemicznego stali.
- **Niska temperatura przejścia w stan kruchy**, zależna od:
 - składu chemicznego, szybkości chłodzenia po odpuszczaniu, innych



czynników technologicznych.

Właściwości mechaniczne zależą od temperatury odpuszczania – wyższa temperatura powoduje obniżenie twardości, ale zwiększenie plastyczności i udurości.

2. Struktura mieszana (martenzyt, bainit, perlit, ferryt)

W miarę zmniejszania udziału martenzytu w strukturze hartowania i zwiększania udziału innych składników strukturalnych (bainit dolny, bainit górny, perlit, ferryt), przy tej samej temperaturze odpuszczania, wytrzymałość na rozciąganie ulega stopniowemu obniżeniu.

Cechy struktury mieszanej:

- **Zmniejszenie wartości stosunku $R_e : R_m$** , zależne od ilości i rodzaju niemartenzytycznych składników:
 - dla bainitu: **74-85%**, dla struktury ferrytyczno-perlitycznej: **60-70%**, a czasem mniej.
- **Podwyższenie przejściowej temperatury kruchości** do około **0°C** lub powyżej, co skutkuje pogorszeniem udurości w temperaturze pokojowej w porównaniu do sorbitu.
- **Brak poprawy plastyczności** – wydłużenie (A) i przewężenie (Z) nie ulegają istotnej poprawie, pomimo zmniejszenia wytrzymałości na rozciąganie.

Struktura ta charakteryzuje się pogorszeniem wytrzymałości dynamicznej, co ogranicza jej zastosowanie w elementach narażonych na udary i obciążenia cykliczne.

3. Struktura bainityczna dla dużych przekrojów

W przypadku bardzo dużych przekrojów, gdy nie jest możliwe uzyskanie pełnej struktury martenzytycznej z powodu ograniczonej szybkości chłodzenia, stosuje się struktury bainityczne.

Cechy struktury bainitycznej:

- W standardowych stalach do ulepszania cieplnego powstają niemartenzytyczne składniki o:
 - **niskiej twardości,**



- **niskiej granicy plastyczności** (poniżej **40 kG/mm²**, tj. ok. **30 N/mm²**).
- Przy modyfikacji składu chemicznego można uzyskać **bainit dolny** powstający z austenitu w temperaturach zbliżonych do przemiany martenzytycznej.
- Struktura bainitu dolnego wykazuje zbliżone właściwości mechaniczne do martenzytu, z wysoką wytrzymałością po odpuszczeniu:
 - **Granica plastyczności Re** do **7 kG/mm²** (ok. **690 N/mm²**).
 - **Dostateczna ciągliwość**, obejmująca dobrą udarność, wydłużenie (A) i przewężenie (Z).

Przykład: Taki zespół właściwości wytrzymałościowych osiąga tylko część stali do ulepszania, np. **25H2N4WA**, natomiast jest on typowy dla tzw. **stali bainitycznych**, przeznaczonych na ciężkie odkuwki o dużej wytrzymałości (wg normy **BN-65/0661-01**).

Struktura martenzytyczna z sorbitem

daje optymalne połączenie wytrzymałości i ciągliwości. **Struktura mieszana** obniża wytrzymałość i udarność, zwłaszcza przy obecności ferrytu i perlitu.

Struktura bainityczna stosowana jest dla dużych przekrojów, gdzie nie można uzyskać martenzytu, jednak zapewnia dobrą równowagę między wytrzymałością a plastycznością.

Dobór odpowiedniej struktury zależy od wymagań wytrzymałościowych i technologicznych dla danego zastosowania, a kontrola procesu hartowania i odpuszczania odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu końcowych właściwości stali do ulepszania cieplnego.

Symbol gatunku stali według PN w oznaczeniu gatunku: cyfra na początku oznacza średnią zawartość węgla w setnych częściach %, następnie litery oznaczające:

[H - Chrom](#)

[G - Mangan](#)

[S - Krzem](#)

[N - Nikiel](#)

[M - Molibden](#)

[F - Wanad](#)

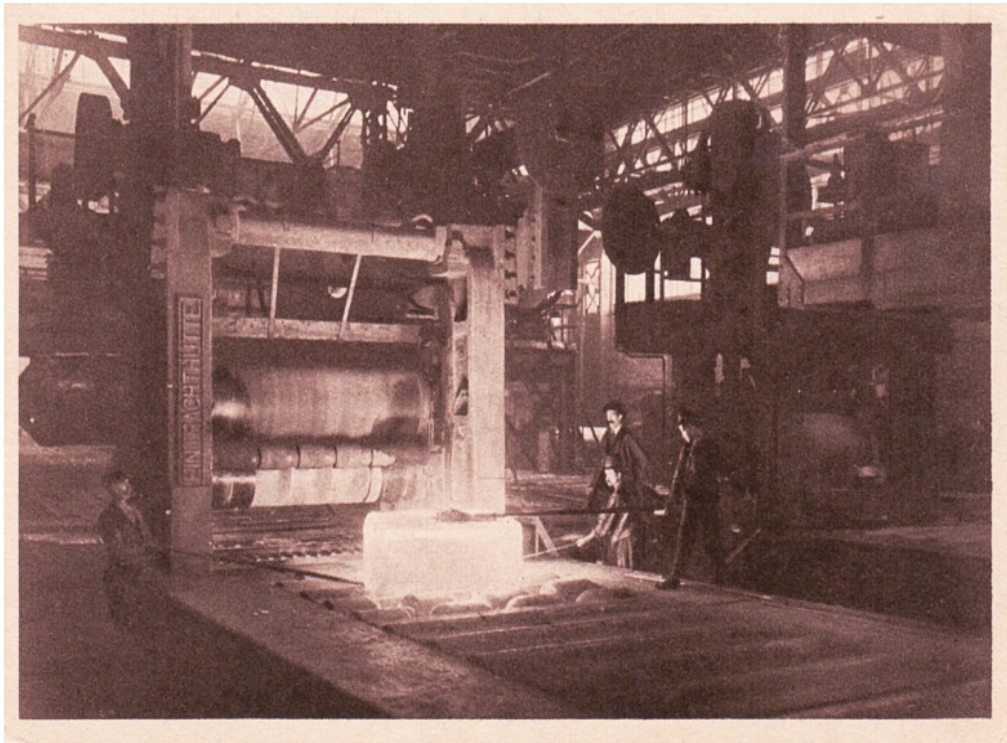
[W - Wolfram](#)

następnie jeśli występują cyfry po literach oznaczają średnią zawartość danego składnika w %. Jeśli występuje litera A na końcu znaku stali, oznacza wyższą jakość czyli zmniejszoną zawartość [siarki](#) i [fosforu](#) np 35HGSA, 30HGSA, 30HGSNA,



Stal do ulepszania cieplnego 30HGSA, 1.6511, 1.6773, 1.6510

12HN3A, 20HN3A, 40HN3A



Stal konstrukcyjna do ulepszania cieplnego (gatunki według PN, odpowiedniki i zamienniki stali, składy chemiczne i charakterystyka wg norm GOST, EN, DIN, ASTM i inne)

[12HN3A – stal chromowo-niklowa 1.5752, 16NiCrMo12, 15CrNi13](#)

[20HN3A – stal do ulepszania chromowo-niklowa](#)

[30HGSA – stal do ulepszania 35HGSA, 35HGS](#)

[30HGSNA – stal do ulepszania chromowo-manganowo-krzemowo-niklowa](#)

[30H2N2M – stal chromowo-niklowo-molibdenowa 30CrNiMo8, 1.6580](#)

[30HM – stal chromowo-molibdenowa 34CrMo4, 1.7220](#)

[36HNM – stal chromowo-niklowo-molibdenowa 36CrNiMo4, 36NiCrMo16, 1.6773, 1.6511](#)

[37HS – stal do ulepszania chromowo-krzemowa](#)

[40H2MF – stal do ulepszania chromowo-molibdenowo-wanadowa](#)

[40HNMA – stal chromowo-niklowo-molibdenowa \(AISI 4340, 40NiCrMo6, 40NiCrMo7, 36NiCrMo16, 1.6565 \)](#)

[45HN – stal do ulepszania chromowo-niklowa](#)

[45HNMF / 45HNMFA -stal do ulepszania cieplnego chromowo-niklowo-molibdenowo-wanadowa](#)



Stal do ulepszania cieplnego 30HGSA, 1.6511, 1.6773, 1.6510

Pozostałe stale konstrukcyjne stopowe

[stale konstrukcyjne stopowe do nawęglania](#)

[stal konstrukcyjna stopowa do azotowania](#)

[stal konstrukcyjna stopowa sprężynowa](#)

[stale konstrukcyjne stopowe łożyskowe](#)

[stal konstrukcyjna stopowa do ulepszania cieplnego](#)

[stal konstrukcyjna stopowa do pracy w podwyższonych temperaturach - stal kotłowa](#)

Telefon: [+48 63 2610519](tel:+48632610519)
kontakt@alfa-tech.com.pl