

4. Nawęglanie

Nawęglanie polega na nasycaniu warstwy powierzchniowej stali w węgiel podczas wygrzewania obrabianego przedmiotu w ciągu określonego czasu w ośrodku zawierającym węgiel atomowy. Nawęglanie odbywa się najczęściej w temperaturze $900 \div 950^{\circ}\text{C}$.

O grubości warstwy nawęglonej, która zwykle osiąga $0,5 \div 2$ mm, decyduje czas nawęglania, który dobiera się tak, aby skład fazowy warstwy powierzchniowej odpowiadał strukturze stali eutektoidalnej (plansza 1).

W **warstwie nawęglonej** stali węglowych można wyróżnić kilka stref:

- nadeutektoidalną – o strukturze perlitu z cementytem, w niektórych przypadkach występującego w postaci szkodliwej siatki na granicach ziarn perlitu,
- eutektoidalną – o strukturze perlitycznej,
- podeutektoidalną – o strukturze perlityczno-ferrytycznej.

W stalach stopowych w warstwie nawęglonej występują ponadto węgliki stopowe.

Nawęglanie w ośrodkach stałych, obecnie praktycznie nie stosowane, odbywa się w proszku węgla drzewnego, często wymieszanego ze sproszkowanymi węglanami sodu, wapnia, litu lub baru, zwykle w temperaturze ok. 900°C . W wyniku reakcji spalania przy niedomiarze tlenu powstaje CO, z którego tworzy się CO_2 i węgiel atomowy, nasycający powierzchnię stali. Do nawęglania mogą być również wykorzystywane pasty zawierające np. 50% sadzy, 20% węglanu baru, 20% węglanu sodu i 10% żelazocyjanku potasu lub 50% sadzy, 40% węglanu sodu, 10% żelazochromu, związane melasą. Sposób ten umożliwia otrzymanie warstw nawęglonych na niektórych wybranych powierzchniach obrabianego przedmiotu.

Nawęglanie wykonywano również przez zanurzanie obrabianych przedmiotów w **roztopionych solach**, zwykle mieszaninach węglanów, chlorków lub cyjanków metali alkalicznych, zawierających np. 47,5% węglanu sodu, 47,5% chlorku potasu i 5% węglika wapnia lub 60% węglanu sodu, 5% węglanu baru, 20% chlorku sodu i 15% węglika krzemu. Temperatura nawęglania w tym ośrodku wynosi $830 \div 850^{\circ}\text{C}$.

Podczas **nawęglania gazowego**, często stosowanego obecnie, odbywającego się w temperaturze ok. 920°C w atmosferze tlenku węgla, metody otrzymywania ośrodka nawęglającego mogą polegać na:

- otrzymywaniu tlenku węgla w piecu – w wyniku spalania węglowodorów w powietrzu,
- wytwarzaniu atmosfery nawęglającej z ciekłych związków organicznych, np. nafty, metanolu lub acetonu, rozkładających się w temperaturze ok. 700°C na węgiel i wodór.

Gazy nawęglające są specjalnie oczyszczane, co zapobiega niekorzystnemu osadzaniu się sadzy na powierzchni obrabianych przedmiotów, utrudniającej adsorpcję węgla. Poza temperaturą i czasem nawęglania o wynikach procesu decyduje potencjał węglowy i natężenie przepływu ośrodka nawęglającego.

Nawęglanie, podobnie jak inne rodzaje obróbki cieplno-chemicznej, może być wykonywane w **złożu fluidalnym**. Złoże fluidalne jest tworzone przez cząstki ciała stałego, np. piasku lub tlenku aluminium, utrzymywane w zawieszeniu przez gorący gaz nasycający przepływający przez złoże od dołu ku górze. Przedmioty obrabiane cieplno-chemicznie zanurza się w złożu fluidalnym, podobnie jak w cieczy.

Nawęglanie może odbywać się także pod obniżonym ciśnieniem w atmosferze metanu, propanu i innych gazów. W metodzie tej atomowy węgiel jest uzyskiwany w wyniku reakcji rozpadu wymienionych gazów. **Nawęglanie próżniowe** zapewnia lepszą adsorpcję węgla z atmosfery o niskim ciśnieniu i mniejsze zużycie gazu.

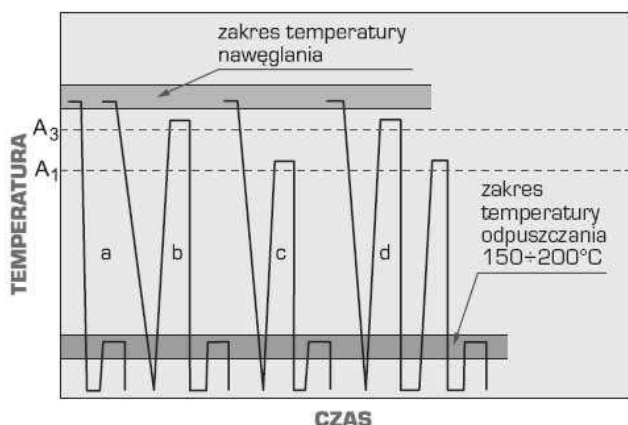
Stosowane jest **nawęglanie jonizacyjne** (metoda ta zyskała szczególnie duże znaczenie w przypadku azotowania). Polega ono na wygrzewaniu stali w piecu próżniowym w atmosferze węglowodorów o niskim ciśnieniu z jednoczesnym przyłożeniem wysokiego napięcia stałego między obrabianym przedmiotem, który stanowi katodę, a anodą. W warunkach tych następuje wyladowanie jarzeniowe i wytworzenie plazmy. W wyniku aktywacji plazmą powstają jony węgla, przyspieszane w polu potencjału w pobliżu obrabianego materiału, który jest przez nie bombardowany, co znacznie ułatwia adsorpcję węgla przez metal. Metoda ta zapewnia wysoką wydajność procesu, umożliwia regulację grubości i struktury warstwy nawęglonej.

Twardość stali węglowej nawęglonej i chłodzonej w powietrzu wynosi ok. 250÷300 HBW, a jej własności mechaniczne są stosunkowo niskie ze względu na rozrost ziarn zachodzący w czasie procesu. W celu poprawienia własności stal nawęgloną poddaje się dalszej obróbce cieplnej; w szczególności dąży się do:

- otrzymania struktury drobnolistwowego martenzytu z węglnikami w postaci ziarnistej w warstwie powierzchniowej,
- zwiększenia twardości stali na powierzchni do ok. 60 HRC,
- zapewnienia znacznej ciągliwości, odporności na dynamiczne działanie obciążeń oraz wymaganych własności wytrzymałościowych w nienawęglonym rdzeniu.

Obróbka cieplna stali nawęglonej polega na hartowaniu z temperatury właściwej dla rdzenia – wyższej od A_{c3} – i ponownym hartowaniu z temperatury wyższej od A_{c1} , właściwej dla nawęglonej warstwy powierzchniowej (rys. 18). Nowoczesne stale stopowe do nawęglania (odporne na rozrost ziarn austenitu podczas nawęglania) umożliwiają stosowanie jednokrotnego hartowania elementów maszyn bezpośrednio z temperatury nawęglania gazowego, co znacznie upraszcza proces technologiczny (rys. 18a). Przedmioty nawęglone i zahartowane poddaje się niskiemu odpuszczaniu w temperaturze $160 \div 180^\circ\text{C}$ przez $1,5 \div 2$ h.

Nawęglanie bez następnego hartowania i odpuszczania jest błędem technologicznym i staje się niecelowe.



Rysunek 18. Schemat obróbki cieplnej stali po nawęglaniu; a – hartowanie bezpośrednie z temperatury nawęglania i niskie odpuszczanie, b – jednokrotne hartowanie z temperatury właściwej dla rdzenia, c – jednokrotne hartowanie z temperatury właściwej dla warstwy powierzchniowej, d – dwukrotne hartowanie z niskim odpuszczaniem

Nawęglanie z następnym hartowaniem i niskim odpuszczaniem zapewnia dużą twardość powierzchni obrobionych elementów, dużą odporność na ścieranie i naciski powierzchniowe, znaczną wytrzymałość zmęczeniową. Rdzeń stali po takich operacjach obróbki cieplno-chemicznej i cieplnej wykazuje dużą ciągliwość, sprężystość i odporność na dynamiczne działanie obciążeń.

W celu zapewnienia wymienionych własności **nawęglanie jest stosowane** między innymi w procesach technologicznych kół zębatach, wałków zębatach i z wielowypustami, wałków rozrządu, sworzni tłokowych i kulistych, pierścieni i wałków łożysk tocznych o dużych wymiarach.