

5. Azotowanie

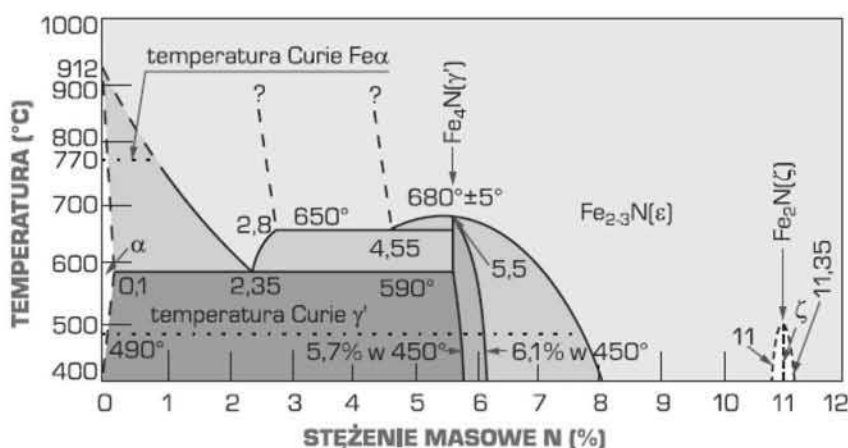
Azotowanie polega na nasycaniu warstwy powierzchniowej stali azotem podczas wygrzewania obrabianego przedmiotu przez określony czas w ośrodku zawierającym wolne atomy azotu. Operacja ta jest wykonywana w temperaturze niższej od A_{c1} .

Azotowanie może być:

- krótkookresowe, gdy czas jego trwania wynosi od kilkunastu minut do kilku godzin,
- długookresowe, gdy wynosi kilkadziesiąt godzin.

Przy stałej temperaturze azotowania struktura warstw wierzchnich obrabianej stali zależy od czasu tej operacji.

W wyniku azotowania długookresowego na powierzchni stali tworzy się ciągła strefa azotków typu ϵ w stali węglowej $Fe_{2-3}N$, a często węglikoazotków $Fe_2(C,N)_{1-x}$. W sprzyjających warunkach pod strefą azotków ϵ powstaje cienka strefa azotków γ' . Strefa ta przechodzi w wewnętrzną strefę dyfuzyjną ferrytu przesyconego z wydzieleniami azotków γ' i metastabilnych azotków $\alpha''-Fe_{16}N_2$. W stalach stopowych w strefie wewnętrznej występują ponadto bardzo drobne azotki i węglikoazotki, których struktura i ilość zależą od stężenia azotu i pierwiastków stopowych. Morfologia i skład fazowy warstwy azotowanej w stalach zależą od stężenia azotu w poszczególnych strefach (rys. 19 i plansza 1).

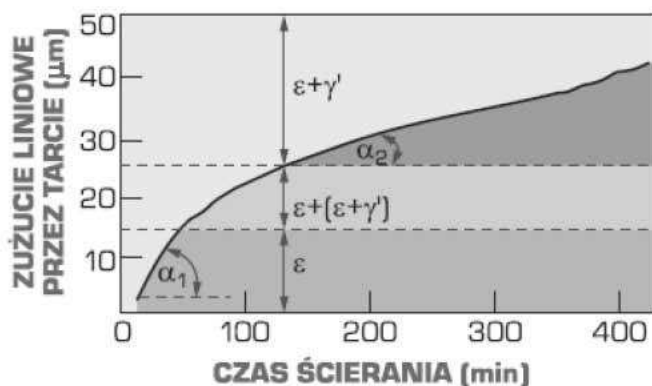


Rysunek 19. Fragment układu równowagi fazowej żelazo-azot (według D.T. Hawkinsa)

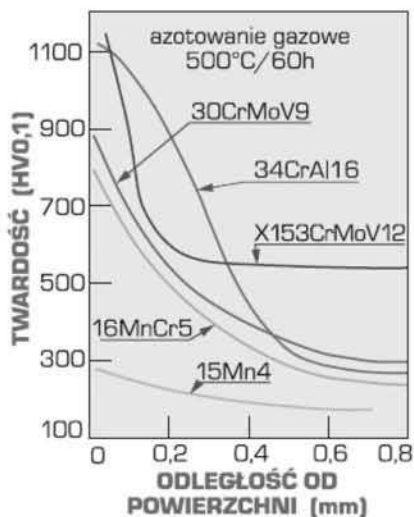
W przypadku azotowania krótkookresowego, zwłaszcza stali narzędziowych, w ciągu kilkunastu lub kilkudziesięciu minut, na powierzchni stali nie tworzy się ciągła strefa azotków, lecz jedynie strefa dyfuzyjna ferrytu przesyczonego azotem z wydzieleniami azotków i węglikoazotków γ' i α'' .

Strefa azotków i węglikoazotków ϵ decyduje o **odporności na ścieranie** stali węglowych. W przypadku stali stopowych na własności te wpływa dodatkowo strefa dyfuzyjna. Warstwa azotowana wykazuje największą odporność na ścieranie, gdy jest twarda i nieporowata i gdy jej grubość wynosi $0,020 \div 0,025$ mm. Pod względem strukturalnym warstwa taka jest złożona z mieszaniny azotków i węglikoazotków $\epsilon + \gamma'$. W miarę wzrostu czasu azotowania narasta wyłącznie powierzchniowa strefa azotków i węglikoazotków ϵ , porowata i krucha. Jednocześnie następuje przesuwanie się w głąb strefy mieszaniny azotków i węglikoazotków $\epsilon + \gamma'$ o stałej grubości $0,020 \div 0,025$ mm, zwartej, bez porów i o dużej twardości $800 \div 1200$ HV_{0,05}. Z tego względu warstwy uzyskane w wyniku azotowania krótkookresowego cechują się wysoką odpornością na ścieranie.

Na rysunku 20 przedstawiono charakterystykę zużycia poszczególnych stref warstwy azotowanej. Kąt nachylenia stycznej do krzywej α charakteryzuje szybkość zużycia. Wyniki tych badań wskazują na największą szybkość zużycia strefy azotków ϵ i najmniejszą – mieszaniny azotków $\epsilon + \gamma'$. Wraz ze zmniejszeniem się stężenia azotu w warstwie azotowanej w kierunku rdzenia zmniejsza się twardość tej warstwy (rys. 21). Azotowanie powoduje zwiększenie **odporności stali na korozję** i zmniejszenie współczynnika tarcia. W wyniku azotowania następuje niewielki przyrost wymiarów, o $10^{-3} \div 10^{-2}$ mm.



Rysunek 20. Zużycie liniowe w funkcji czasu ścierania stali C45 azotowanej w amoniaku w temperaturze 580°C przez 8 h



Rysunek 21. Rozkład twardości na przekroju warstw naazotowanych w niektórych stalach

Azotowanie w proszkach jest stosowane bardzo rzadko. Proszek stosowany do takiego azotowania może zawierać 80% cyjamidu wapniowego $\text{CaC}(\text{CN})$, 15% węglanu sodowego Na_2CO_3 , 3% żelazomanganu i 2% węgla krzemu SiC . Temperatura operacji zależy od rodzaju stali oraz wymiarów obrabianego przedmiotu i wynosi $500\div 600^\circ\text{C}$. Czas azotowania w proszkach wynosi zwykle $0,5\div 10$ h w zależności od wymiarów i przeznaczenia obrabianego przedmiotu oraz gatunku stali.

Azotowanie gazowe odbywa się najczęściej w strumieniu zdysocjowanego amoniaku w temperaturze $500\div 600^\circ\text{C}$:



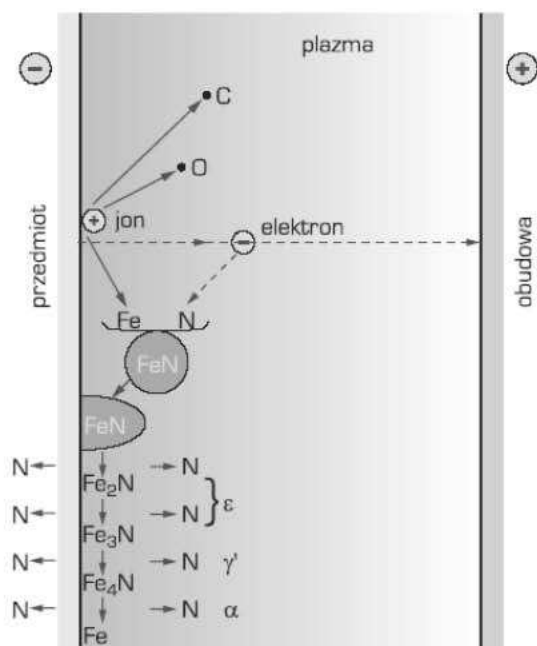
Żelazo działa katalitycznie na przebieg tej reakcji.

Podczas azotowania gazowego stężenie azotu w warstwie powierzchniowej zmienia się w sposób niekontrolowany. Potencjał atmosfery azotującej utworzonej w wyniku dysocjacji amoniaku może być regulowany przez rozcieńczenie czystym azotem. Umożliwia to kontrolowanie składu warstwy powierzchniowej w stali azotowanej, gdyż w danej temperaturze nasywanie tej warstwy przebiega znacznie wolniej niż podczas azotowania w czystym amoniaku.

Azotowanie jonizacyjne odbywa się w atmosferze zjonizowanego azotu w urządzeniu składającym się ze szczelnej retorty, pompy próżniowej, urządzenia dozującego gaz oraz zasilacza. Azotowane przedmioty, odizolowane od ścianek retorty, są umieszczane w retorcie,

stanowiącej anodę, i podłączane do bieguna ujemnego. Przyłożone napięcie wynosi $0,5 \div 1,5$ kV, a ciśnienie azotu lub mieszaniny z wodorem w retorcie jest obniżane do $10^{-2} \div 1$ Pa.

Wysokie napięcie powoduje jonizację gazu w wąskiej strefie spadku napięcia przy katodzie (rys. 22). W wyniku zderzeń jonów azotu z powierzchnią obrabianego przedmiotu wydzielą się ciepło, a obrabiany przedmiot nagrzewa do temperatury wystarczającej do azotowania. Atomy żelaza wybite z powierzchni tworzą azotki FeN, ulegające następnie kondensacji na powierzchni metalu i rozkładowi z wykorzystaniem azotu atomowego dyfundującego w głąb metalu. Zjawiska te można regulować przez zmianę napięcia, ciśnienia oraz składu chemicznego gazu. Umożliwia to regulowanie struktury warstwy powierzchniowej i uzyskanie na powierzchni albo ciągłej strefy azotków $\epsilon + \gamma'$, lub samej strefy dyfuzyjnej. Warstwy powierzchniowe wytworzone w tym procesie odznaczają się wysoką odpornością na ścieranie i wytrzymałością zmęczeniową oraz znacznie większą ciągliwością w porównaniu z warstwami uzyskiwanymi podczas azotowania innymi metodami.



Rysunek 22. Schemat mechanizmu azotowania jonizacyjnego (według B. Edenhofera)

Podobnie jak nawęglanie (porównaj rozdz. 4) azotowanie może odbywać się w **złożach fluidalnych**.

Azotowanie jest ostatnią operacją w procesie technologicznym. Dlatego azotowaniu poddaje się przedmioty zahartowane i odpuszczone, najkorzystniej w temperaturze wyższej od temperatury azotowania. W niektórych przypadkach operacja odpuszczania może być połączona z operacją azotowania. Ze względu na małą grubość warstwy azotowanej przedmioty azotowane nie mogą być poddawane szlifowaniu.

Azotowanie jest stosowane do elementów ze stali niestopowych i stopowych, maszynowych i narzędziowych, narażonych podczas pracy na zużycie ściernie, do elementów narażonych na korozję w środowisku wodnym lub wilgotnej atmosfery, a także do narzędzi skrawających. Azotowaniu są poddawane bardzo liczne elementy silników i pomp wytwarzanych w przemyśle lotniczym, okrętowym i motoryzacyjnym, np. wały korbowe, korbowody, tuleje cylindrowe, koła zębate, walki, tłoki, pierścienie i sworznie tłokowe, cylindry, nurniki pomp. W przemyśle obrabiarkowym azotowanie znalazło zastosowanie np. do śrub pociągowych, wrzecion, kół zębatach, elementów przekładni ślimakowych i sprzęgieł elektromagnetycznych. Do narzędzi poddawanych azotowaniu należą np. matryce kuźnicze, ciągnadła i inne narzędzia do obróbki plastycznej, formy do tworzyw sztucznych oraz elementy wtryskarek i wytłaczarek, narzędzia skrawające ze stali szybko tnących, takie jak frezy, wiertła, gwintowniki i narzędzia do obróbki kół zębatach.