

1. Wstęp

Jednym z głównych zadań stających przed współczesną inżynierią materiałową jest podniesienie własności konwencjonalnych i opracowywanie nowych materiałów inżynierskich. W wielu przypadkach zadanie to można osiągnąć stosując metody obróbki polegające na łączeniu znanych już, klasycznych obróbek. W przypadku miedzi stopowej efekt ten można uzyskać w wyniku połączenia obróbki cieplnej (przesycanie i starzenie) z pośrednim odkształceniem plastycznym na zimno. W porównaniu do klasycznej obróbki cieplnej ta nowa, hybrydowa metoda skutkuje otrzymaniem bardziej korzystnej mikrostruktury oraz rozszerzeniem zakresu własności użytkowych materiałów. Stwierdzono, że związane to jest ze zmianą kinetyki rekrytalizacji i wydzielenia.

Zagadnienie wydzielenia i rekrytalizacji w miedzi stopowej oraz przemian im towarzyszących w zależności od obróbki podejmowano w Polsce już w latach sześćdziesiątych XX wieku. W latach 1965-79 wykonano szereg badań w Walcowni Metali „Łabędy”, na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie [1-3], w Instytucie Metali Nieżelaznych (IMN) w Gliwicach [4-6] oraz na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach [7, 8]. Na przełomie wieków XX i XXI prace te kontynuowano w IMN w Gliwicach [9]. Poza Polską badania nad stopami CuCr, CuFe, CuNiSi oraz CuTi wykonywano również w Japonii [10-12], Chinach [13, 14], Indiach [15-24] i USA [25-28]. Efektem tych prac są patenty [29, 30], aplikacje przemysłowe oraz przyczynek do dalszych badań nad polepszeniem już opracowanych stopów. Wyniki te są również punktem wyjścia badań, realizowanych w niniejszej monografii.

Spośród stopów miedzi najlepszymi własnościami wytrzymałościowymi, wysoką konduktywnością elektryczną a także odpornością na korozję i ścieranie charakteryzuje się miedź berylowa [31]. Jedną z najważniejszych zalet tych stopów jest brak skłonności do iskrzenia. Jednakże stopy miedzi z dodatkiem berylu są bardzo toksyczne. Podobnie miedź kadmowa, która powszechnie stosowana jest do wytwarzania przewodów trakcji elektrycznej czy systemów sieci trakcyjnej linii kolejowych, jest toksyczna. Z tego względu stosowanie stopów CuBe i CuCd nie jest zalecane [32-35]. Efektem poszukiwań alternatywnych zamienników stopów CuBe są między innymi stopy CuNiSi oraz CuTi. W porównaniu z brązami berylowymi charakteryzują się zbliżonymi własnościami elektrycznymi i porównywalnymi własnościami mechanicznymi [9, 36, 37]. Spowodowało to szerokie zainteresowanie tymi stopami i przyczyniło się do uruchomienia badań również w ośrodkach

krajowych. Znaczące wyniki prac i badań z tego zakresu zawarto w pracach [38, 39].

Miedź berylowa (CuBe₂), w zależności od parametrów obróbki, charakteryzuje się wytrzymałością na rozciąganie $R_m=410\div1480$ MPa i twardością HV=90÷450 oraz konduktywnością elektryczną $\gamma=8\div14$ MS/m. Natomiast miedź tytanowa (CuTi₄) $R_m=680\div700$ MPa HV=130÷280 i $\gamma=3\div9$ MS/m, miedź niklowo krzemowa (CuNi₂Si) $R_m=310\div740$ MPa, HV=60-220 i $\gamma\approx 22$ MS/m [9, 31, 40-42].

Stopy miedzi z niewielkim dodatkiem składnika stopowego umacniane mogą być przez cząstki wydzielone podczas obróbki cieplnej [43-47]. Procesy wydzielania w miedzi tytanowej zostały szczegółowo zbadane w odniesieniu do klasycznej obróbki cieplnej, a kinetyka tych procesów została opisana w pracach [3, 41, 48-50]. Po wygrzewaniu przed przesycaaniem, którego celem jest rozpuszczenie składnika stopowego w osnowie, w trakcie starzenia wydziela się faza, odpowiadająca za efekt umocnienie stopu - β' -Cu₄Ti- β .

Postęp techniczny objawiający się również rozwojem technik badawczych, umożliwia obecnie uzyskanie wyników, które jeszcze w latach siedemdziesiątych XX wieku były niemożliwe do osiągnięcia. Należy do nich zaliczyć możliwości, jakie daje mikroskopia skaningowa z powszechnie dziś wykorzystywanymi technikami EDS, WDS czy EBSD, wysokorozdzielczą elektronową mikroskopię transmisyjną, a także szerokie wykorzystanie metod komputerowych do modelowania procesów i przewidywania własności materiałów. Do niewyjaśnionych dotychczas aspektów w powyższym zagadnieniu zaliczyć można:

- ustalenie kolejności występowania procesów rekrystalizacji i wydzielania drugiej fazy podczas starzenia miedzi tytanowej walcowanej na zimno przed starzeniem,
- wartość energii aktywacji wydzielania i rozrostu ziarn,
- określenie wpływu walcowania na zimno po przesycaaniu na odporność trybologiczną finalnie starzonego stopu,
- możliwość potencjalnego wykorzystania sieci neuronowych do przewidywania twardości miedzi tytanowej w stanie finalnym na podstawie składu chemicznego i parametrów obróbki.

Skloniło to autora do podjęcia badań nad stopami CuTi po ich obróbce cieplno-plastycznej.

Z dotychczasowych badań wynika, że możliwość zapewnienia wysokich własności wytrzymałościowych stopów miedzi można osiągnąć poprzez połączenie zabiegów obróbki cieplnej i odkształcenia plastycznego na zimno wg kolejności:

przesycaanie → walcowanie na zimno → starzenie.

W niniejszej monografii dokonano przeglądu wpływu parametrów obróbki cieplnej i plastycznej na mikrostrukturę i własności miedzi tytanowej wg wyżej przedstawionego schematu. Z wielu gatunków miedzi stopowej wybrano stop CuTi4 ze względu na to, że tytan nie jest pierwiastkiem toksycznym. Ponadto uwzględniając własności mechaniczne jakimi charakteryzuje się stop można przypuszczać, że powinien on stanowić potencjalny zamiennik dla toksycznych gatunków miedzi stopowej jak CuBe czy CuCd. Zasadniczą uwagę w pracy zwrócono na możliwości rozszerzenia obszaru badań wpływu parametrów obróbki na kinetykę rekrytalizacji i wydzielenia w miedzi tytanowej po walcowaniu na zimno. Dotychczasowe badania nad tymi stopami prowadzono, stosując głównie bardzo czyste składniki stopowe, a eksperymenty badawcze wykonywane były w warunkach laboratoryjnych. Stąd interesującym było zweryfikowanie powyższych zależności w stopach technicznych.

W monografii przyjęto następujący porządek prezentacji wyników pracy. W rozdziale drugim przedstawiono charakterystykę miedzi tytanowej, począwszy od opisu struktury stopów oraz własności mechanicznych i fizycznych. Omówiono również mechanizmy wydzielenia i umocnienia, będące konsekwencją starzenia z uwzględnieniem rozpadu spinodalnego przesyconego roztworu stałego. Opisano efekty zmian struktury podczas walcowania na zimno i ich oddziaływanie na strukturę i własności podczas starzenia. Rozdział drugi zakończono omówieniem rekrytalizacji w stopach CuTi. Rozdział trzeci zawiera podsumowanie przeglądu literatury na podstawie którego w rozdziale czwartym określono cel i zakres pracy. Charakterystykę materiału do badań, sposób przygotowania próbek oraz metodykę badań przedstawiono w rozdziale 5. Wyniki badań i dyskusje zawarto w rozdziale 6, przyjmując następujący porządek prezentacji wyników dla stopów walcowanych i niewalcowanych:

- badania struktury:
 - metalografia,
 - analiza rentgenograficzna,
 - mikroskopia powierzchni,
 - mikroskopia transmisyjna;
- badania własności:
 - badania twardości,
 - badania konduktywności elektrycznej,
 - badania trybologiczne;
- zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do przewidywania twardości miedzi tytanowej.

W rozdziale 7 podsumowano wnioski będące wynikiem dyskusji oraz omówiono osiągnięte cele. Ostatni rozdział zawiera spis literatury.