

Marlena Garczewska, Katarzyna Książek

Migracja niklu ze stopów metali szlachetnych do roztworu imitującego płyn fizjologiczny

Nikiel, jako srebrzystobiały połyskujący metal od 1751 roku zachwyca pięknem i wytrzymałością na korozję i ścieranie. W czystej postaci stosowany od 1804 roku do tworzenia błyszczących powłok na sztucach, kranach i innych powierzchniach stalowych. Nadaje otoczeniu uroku i zabezpiecza przed rdzewieniem wielu elementów z żelaza i stali. Dodawany jako domieszka do stopów metali, uszlachetnia je i pozwala zmienić barwę otrzymanego stopu. Ze stopów niklu z miedzią tworzy się monety i sztucce. Doceniono własności niklu przy produkcji opravek okularów, dentystyce i złotnictwie. Po wieloletnim użytkowaniu, okazało się, że w niewielkim stopniu nikiel migruje do organizmu ludzkiego. Stopień migracji zwiększa się, gdy kontaktowi niklu z organizmem ludzkim towarzyszy pot ludzki. Dawka migracji jest niewielka, jednak należy ją kontrolować. W celu ograniczenia złego wpływu niklu na zdrowie zostały opracowane normy wchłaniania niklu do organizmu. Każdy produkt zawierający nikiel należy skontrolować i sprawdzić czy norma dopuszcza go do publicznego użytku. Szczególnie, że nikiel zawierają również elementy dekoracyjne (metalowe guziki, klamry od pasków, biżuteria itp.) stosowane często przez człowieka. Ciągły kontakt z produktami zawierającymi nikiel jest przyczyną reakcji alergicznych na ten pierwiastek u wielu osób. Alergia na nikiel jest poważnym problemem zdrowotnym. Stwierdzono ją u 8 % dzieci, 10 % nastolatków i u 13 % dorosłych. Nadwrażliwość na nikiel jest związana z zbyt częstym używaniem produktów zawierających ten pierwiastek. Może on być wchłaniany na różne sposoby do organizmu np. przez skórę, drogi oddechowe, a także przez przewód pokarmowy. Alergia na nikiel jest jedną

z możliwych przyczyn odrzucania implantów ortopedycznych i stomatologicznych. Z literatury wiadomo, że kontakt błony śluzowej jamy ustnej z niklem obniża ryzyko późniejszego rozwoju nadwrażliwości skórnej na ten pierwiastek. Czyli wcześniejszy kontakt organizmu z niklem uodparnia ciało ludzkie na ten pierwiastek^{1,2}.

Ponieważ jednym z elementów zawierających nikiel są produkty jubilerskie ze złota białego podjęto współpracę z PZ Stelmach. Przeprowadzono badania migracji niklu do organizmu ludzkiego pod wpływem sztucznego potu dla produktów firmy. W ramach współpracy Uniwersytetu Opolskiego z firmą zostały udostępnione obrączki z białego złota oraz laboratorium firmy. Sztuczny pot miał stężenie imitujące efekt 2-letniego noszenia obrączki z białego złota.

Skład produktów jubilerskich

Poszukując w sklepach jubilerskich złotych, srebrnych, czy platynowych produktów należy mieć świadomość, że nie mamy do czynienia z czystym chemicznie złotem, srebrem czy platyną. W czystej postaci te metale mają własności mechaniczne niekorzystne do eksploatacji: np. są miękkie, podatne na rysowanie czy łamanie. Dlatego w większości przypadków stosuje się stopy metali szlachetnych z domieszkami, które poprawiają własności fizyczno-mechaniczne i artystyczne (zmieniają kolor). Aby przybliżyć własności fizyczne materiału jubilerskiego zapoznać się należy z własnościami jego składników, czyli metali. Dla przemysłu jubilerskiego ważna jest struktura krystaliczna metalu, jego reaktywność i rozszerzalność objętościowa. Obecnie obrączka nie jest produkowana z jednego typu stopu. Bardzo popularne są wyroby jubilerskie składające się z różnego koloru złota, czyli składa się z różnych stopów metali szlachetnych połączonych ze sobą. W takim przypadku bardzo ważna jest informacja dotycząca własności fizyko-mechanicznych. Należy tak dobrać materiał, aby w trakcie eksploatacji połączone elementy stanowiły całość. Aby poznać własności fizyczne należy określić typ wiązania międzyatomowego i strukturę krystaliczną.

Wiązania sieci krystalicznej atomów w metalu są nazywane wiązaniami metalicznymi³, a ich atomy układają się w dość proste struktury krystaliczne:

- A1 (regularna ściennie centrowana (fcc), o liczbie najbliższych sąsiadów równej $K = 12$); np.: Ag, Al, Au, Co $_{\beta}$, Cr $_{\beta}$, Cu, Fe $_{\gamma}$, Ni, Pb, Pt,

¹ E. Czarnobilska, K. Obtulowicz, K. Wsołek, J. Piętowska, R. Śpiewak, Mechanizmy alergii na nikiel, *Przegląd Lekarski* 64 (2007) 7-8

² K. Woźniak, D. Ratuszek-Sadowska, M. Śniegocki, Skórna reakcja alergiczna na stymulator rdzenia kręgowego (SCS), *Journal of Education, Health and Sport* 6 (2016) 587-594

³ L. Kalinowski, *Fizyka metali*, Warszawa 1970

- A2 (regularna przestrzennie centrowana (bcc), o liczbie najbliższych sąsiadów równej $K = 8$), np.: Cr_α, Fe_α, K, Li_α, Mo, Na, Nb, Ti_β, V, W,
- A3 (heksagonalna zwarta, o liczbie najbliższych sąsiadów równej $K = 12$), np.: Cd, Co_α, Li_β, Mg, Ti_α, Zn.

Biorąc pod uwagę reaktywność można wyodrębnić grupę metali szlachetnych, półszlachetnych i nieszlachetnych.

Metale szlachetne charakteryzują się dużą odpornością na korozję, nie utleniają się i są odporne na działanie wszystkich kwasów z wyjątkiem wody królewskiej (woda królewska jest mieszaniną stężonego kwasu solnego i azotowego w stosunku objętościowym 3:1). Do tej grupy należy złoto (Au), srebro (Ag), platyna (Pt), ruten (Ru), rod (Rh), pallad (Pd), osm (Os) i iryd (Ir). Stosuje się je głównie w elektronice i elektrotechnice, w protetyce stomatologicznej. Metale szlachetne są bardzo często wykorzystywane w jubilerstwie. Do wyrobu biżuterii, przedmiotów artystycznych, monet, medali, naczyń oraz sztucców używa się głównie: Au, Ag, Pt, Rh i Pd⁴.

Metale półszlachetne i **nieszlachetne** charakteryzują się odpowiednio małą i dużą reaktywnością. W jubilerstwie najczęściej spotykanymi metalami półszlachetnymi są miedź i nikiel. Niektóre źródła podają, że nikiel jest metalem nieszlachetnym. Metalem spotykanym w jubilerstwie jest również cynk, który zaliczany jest do metali nieszlachetnych ze względu na dużą reaktywność z kwasami.

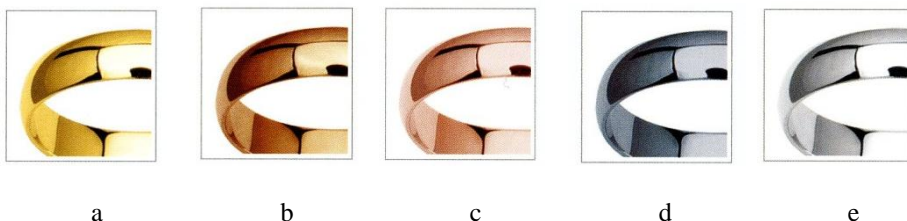
W celu uzyskania odpowiednich własności, optymalnych dla codziennego użytkowania wytworzonego produktu, wymienione metale wykorzystujemy do produkcji stopu. Stopy metali, które zawierają powyżej 10% metali szlachetnych w swoim składzie⁵ nazywamy stopami metali szlachetnymi (np. stopy ze złota, srebra, platyny i palladu). Ustawa Prawa probierczego Dz.U. 2011 nr 92 poz. 529 z dnia 1 kwietnia 2011 określa dokładne próby dla stopów metali szlachetnych znajdujących się na polskim rynku złotniczym. Wynoszą one odpowiednio dla platyny – 0,999; 0,950; 0,850 dla palladu – 0,999; 0,850; 0,500 dla złota – 0,999; 0,960; 0,750; 0,585; 0,500; 0,375; 0,333 i dla srebra – 0,999; 0,925; 0,875; 0,830; 0,800. Określają one procentową zawartość danego pierwiastka w stopie. W przypadku platyny próba zawiera informację o łącznej zawartości platyny, irydu, osmu, rodu i rutenu, jeśli występują one w danym

⁴ L.A. Dobrzański, Metaloznawstwo opisowe stopów metali nieżelaznych, Gliwice 2008

⁵ W. Kubiński, Materiałoznawstwo tom 1, Kraków 2012

stopie. Dodatkowo ustawa zawiera informację o jednorodności stopu (taka sama próba powinna być na powierzchni stopu jak i w środku)⁶.

W zależności od składu stopy metali szlachetnych różnią się od siebie kolorem. Złoto wykorzystywane w jubilerstwie występuje w 5 kolorach: żółtym, czerwonym, różowym, szarym i białym (Rys. 1).



Rysunek 1. Rodzaje produkowanego złota jubilerskiego w zależności od składu stopu metali szlachetnych: a – złoto żółte, b – złoto czerwone, c – złoto różowe, d - złoto szare, e – złoto białe.

Z wszystkich kolorów złota jedynie białe złoto zawiera nikiel, jako pierwiastek odbarwiający - nadający złotu biały kolor. W ofercie firmy PZ Stelmach występują dwa rodzaje białego złota. Jeden zawiera w swoim składzie nikiel, a drugi pallad. Oba stopy ze względu na różnicę w składzie różnią się także ceną. Produkty z białego palladowego złota są droższe od białego złota zawierającego w swoim składzie nikiel.

Ze względu na to, że nikiel jest przyczyną reakcji alergicznych taki stop musi być przebadany. Aby stwierdzić migrację niklu do organizmu zostały wykonane dwa rodzaje badań. Pierwsze było wykonane za pomocą fluorescencyjnej spektroskopii rentgenowskiej, a drugie za pomocą optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukowanej.

Metody badawcze i przygotowanie materiału badawczego

Badanie produktów firmy PZ Stelmach pod kątem migracji niklu do organizmu polegało na wytworzeniu roztworu imitującego płyny fizjologiczne tzw. sztucznego potu. Obrączki wykorzystywane do badania były poddawane działaniu sztucznego potu (były moczone w roztworze imitującym płyny fizjologiczne). Tygodniowe moczenie w tym płynie dawało efekt 2-letniego, codziennego noszenia obrączki. Część obrączek była moczona przez jeden, dwa oraz trzy tygodnie. Przed i po kolejnych moczeniach obrączki w sztucznym pocie przeprowadzano badania składu obrączek za pomocą fluorescencyjnej

⁶ Ustawa z dnia 1 kwietnia 2011, Prawo probiercze, Opracowano na podstawie Dz. U. z 2011r. Nr 92, poz. 529), Rozdział 4, art. 24,25

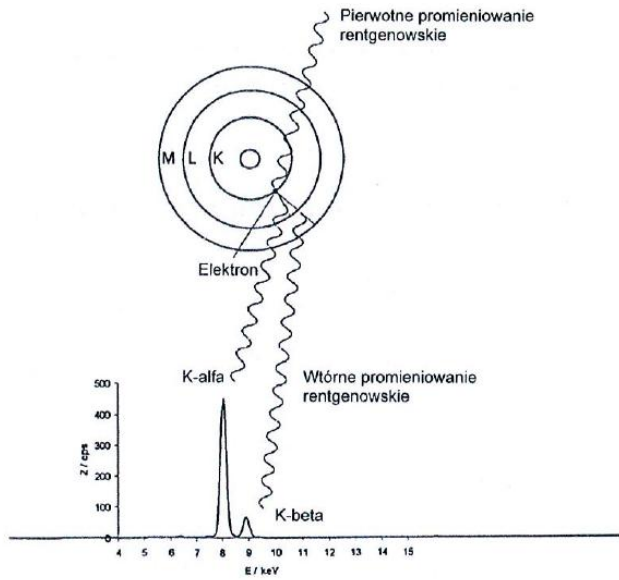
spektroskopii rentgenowskiej. Na tej podstawie określano ile niklu z obrączki ubyło. Poddano również badaniom sztuczny płyn fizjologiczny, za pomocą optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukowanej, sprawdzając zawartość niklu. Sztuczny płyn fizjologiczny imitujący pot ludzki przed moczeniem w nim obrączek nie zawierał niklu. Wyznaczony poziom niklu po moczeniu jest dowodem na migrację a jego poziom jest bardzo interesujący dla użytkowników wyrobów jubilerskich.

Pierwsza metoda badawcza wykorzystywana w badaniach migracji niklu polegała na wykonaniu analizy pierwiastkowej stopu złota za pomocą fluorescencyjnej spektrometrii rentgenowskiej spektrometrem FISCHERSCOPE® X-RAY® - 150. Działanie spektrometru oparte jest na metodzie fluorescencji rentgenowskiej z rozproszeniem energii. Fluorescencja rentgenowska jest generowana poprzez zjawisko fotoelektromagnetyczne (Rys. 2). Powstaje ona w wyniku oddziaływania kwantu promieniowania elektromagnetycznego o energii E_0 z elektronami atomu. Za pomocą metody fluorescencji rentgenowskiej opartej na rozpraszaniu energii (ED-XRF – energy dispersive X-Ray fluorescence) można dokładnie i w prosty sposób określić skład chemiczny różnych materiałów, a także ich grubość. Wykorzystując tą metodę można badać próbki stałe, sproszkowane lub ciekłe bez ich niszczenia. A także przed wykonaniem pomiaru nie ma potrzeby długich przygotowań wstępnych. Metoda ta obejmuje szeroki zakres pierwiastków od małych liczb atomowych do uranu o liczbie atomowej $Z = 92$ i jest zgodna z DIN 50987 i ISO 3497⁷. Rysunek 3 przedstawia przykładowy widok ekranu z pomiaru za pomocą spektrometru FISCHERSCOPE® X-RAY® - 150 stopu białego złota. Kolorem zielonym został zaznaczony nikiel.

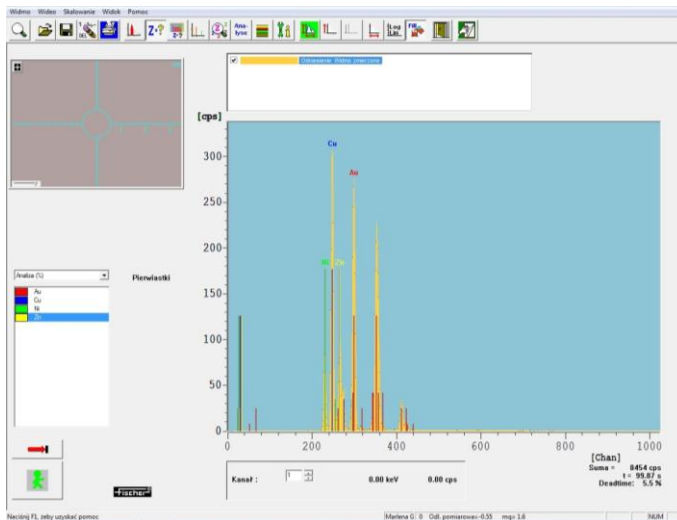
Druga metoda przeprowadzania pomiarów to metoda optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukowanej. Znalazła ona duże zastosowanie w analizie wielopierwiastkowej ze względu na szeroki zakres dynamiczny detektora i jego małą bezwładność. Polega ona na oznaczaniu pierwiastków na podstawie widm atomowych lub jonowych tych pierwiastków. Można za jej pomocą oznaczyć 70-80 pierwiastków. Oznaczanie polega na wykrywaniu pierwiastków w badanej próbce. Ograniczenia w tej metodzie są takie, że nie stosuje się jej do oznaczania pierwiastków promieniotwórczych ze względu na możliwość skażenia radioaktywnego, gazów szlachetnych, tlenu, wodoru, azotu i węgla⁸.

⁷ Instrukcja obsługi FISCHERSCOPE® X-RAY XAN® - 150, Sindelfingen 2006

⁸ red. W. Żywnicki, J. Borkowska-Burnecka, E. Bulska, E. Szmyd, Metody analitycznej spektrometrii atomowej. Teoria i praktyka., Warszawa 2010.



Rysunek 2. Generowanie rentgenowskiego promieniowania fluorescencyjnego.



Rysunek 3. Okno programu WinFTM do analizy składu badanego stopu.

Materiałem badawczym wykorzystywanym do badania dyfuzji (migracji) niklu były obrączki produkowane w firmie PZ Stelmach, które wykonane były z białego oraz z białego i żółtego złota o próbie 585. W Pracowni Złotniczej PZ Stelmach obrączki są produkowane metodą wyciągania rur ze stopów metali szlachetnych domieszkowanych metalami ulepszającymi parametry stopu, takie jak twardość, odporność na zarysowania i kolor. W pierwszej kolejności wytapiane są sztabki stopu złota o określonym składzie. Po wytopieniu następuje pierwsza kontrola zachowania próby 585 materiału wsadowego do pieca, w którym wyciąga się rury. Kontrola jest wykonywana z pomocą spektrometru FISCHERSCOPE® X-RAY® - 150. Zbadany i jednorodny wsad o określonej próbie zostaje stopiony w komorze pieca. Jest on zabezpieczony od negatywnego wpływu powietrza na materiał wsadowy gazami szlachetnymi, tak, aby składniki stopu nie utleniały się. Bezpośrednio z komory, ciekły już stop o temperaturze ok. 1150 °C wypełnia tzw. tygiel będący przestrzenią pomiędzy rurą o wewnętrznej średnicy 32 mm, a walcem umieszczonym osiowo wewnątrz rury o średnicy 21 mm. Temperatura zewnętrzna na tyglu utrzymuje się w granicy 1000°C. Płynny stop metali szlachetnych zostaje schładzany etapowo ze stałą prędkością. Wytapianie rury odbywa się skokowo. Do wytopienia jednej takiej rury zużywa się ok. 4,5 kg stopu o żądanym składzie i trwa ono ok. 45 min. Po wytopieniu rury następuje ponowna kontrola, jakości i utrzymania próby 585 złota na całej jej długości. Tak otrzymana rura jest następnie przeciągana i stopniowego poddawana zmniejszeniu jej średnicy, aż do osiągnięcia wymaganej średnicy rury.

Podczas mechanicznego przeciągania materiału powstają w tym materiale dyslokacje liniowe, przez co ulega on utwardzeniu. Aby uzyskać materiał o jednolitej strukturze wolny od defektów, poddaje się go tzw. zdrowieniu, czyli wygrzewaniu w temperaturze 720°C przez ok. 20 min. Po uzyskaniu materiału o odpowiednich parametrach trafia on do dalszej obróbki mechanicznej: wycinania, polerowania, szlifowania, grawerowania itp. Każda obrączka zanim zostanie dopuszczona do sprzedaży uzyskuje certyfikat w zakładzie probierczym.

Do badań migracji wykorzystano gotowe, mechanicznie obrobione obrączki o różnej powierzchni zewnętrznej. Do badania użyto obrączek z białego złota próby 585 o różnych kształtach i rozmiarach. Łącznie 48 obrączek - po 3 obrączki z każdego wzoru pochodzącego z katalogu firmy PZ Stelmach. Rozmiary tych obrączek w skali jubilerskiej zaczynały się od rozmiaru 7, a kończyły na rozmiarze 12. Oznacza to, że zewnętrzne średnice mieściły się w przedziale od 18,4 do 21,07 mm. W trakcie obróbki obrączki, powstają na niej wypukłości lub wklęsłości oraz zaokrąglenia na brzegach. Wszystkie te szczegóły realizowane są przez automatycznie sterowane wyrzynarki

i obrabiarki sterowane komputerowo i programowane przez operatora. Oprogramowanie maszyn oparte jest na podaniu parametrów kodu maszyn, które w rzeczywistości są promieniami krzywizny pozwalającymi zarówno zaokrąglić obrzeża, zewnętrzną i wewnętrzną powierzchnię. W związku z tym należało wymodelować kształt obrączki. Wykorzystano do tego już istniejące oprogramowanie RINGS, opracowane przez jednego z pracowników tego zakładu. Informacje uzyskane z tego programu wprowadzono do arkusza kalkulacyjnego, w którym zostały obliczone analitycznie i numerycznie powierzchnie obrączek przy użyciu metody przybliżonego całkowania. Uzyskane wartości powierzchni zostały podzielone na 2 przedziały: powierzchnie do 5 cm^2 i powyżej 5 cm^2 . Znajomość powierzchni badanych obrączek jest istotna w późniejszym etapie badań, podczas ustalania ilości płynu fizjologicznego (sztucznego potu), jakim będą zalewane obrączki.

Roztwór imitujący płyny fizjologiczne (sztuczny pot) składa się z wody dejonizowanej, chlorku sodu, kwasu mlekowego, mocznika oraz 1-molowego i 0,1-molowego roztworu wodorotlenku sodu. Sztuczny pot używany do badań migracji niklu powinien utrzymywać pH na poziomie $6,5 \pm 0,05$. Tak przygotowany sztuczny pot był wlewany do naczynia, w którym znajdowała się odłuszczona próbka. Według normy europejskiej EN 1811, 2011 produkty o powierzchni mniejszej niż 5 cm^2 były zalewane taką ilością płynu w ml co ich powierzchnia mierzona w cm^2 (w stosunku 1:1), a obrączki o powierzchni większej niż 5 cm^2 zalewane były 10 ml płynu. Obrączki dwukolorowe również były zalewane 10 ml płynu. Następnie naczynia z próbkami były zamykane i pozostawione na 168 ± 2 godziny w temperaturze $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Moczenie próbek w sztucznym pocie przez tydzień daje takie same efekty jak noszenie obrączek nieprzerwalnie przez 2 lata. Po tygodniu płyn pozostały po moczeniu obrączek był przelewany do 25 ml kolb laboratoryjnych i uzupełniony wodą dejonizowaną wraz z rozcieńczonym kwasem azotowym, aby końcowe stężenie HNO_3 wynosiło ok. 1% zgodnie z normą europejską⁹. Pomiary zawartości niklu w sztucznym pocie zostały wykonane w certyfikowanym laboratorium oraz w laboratorium Uniwersytetu Opolskiego.

Wyniki badań

Badania próbki za pomocą spektrometru FISCHERSCOPE® X-RAY® były wykonane dla obrączki moczonej i niemoczonej w sztucznym pocie. Z wykonanych pomiarów wynika, że koncentracja niklu w obrączce po moczeniu zmniejszyła się (Tab. 1). Różnice są na tyle małe, że uznano tę metodę za niewystarczającą do zbadania ilości niklu przedostającego się do sztucznego potu.

⁹ Norma europejska EN 1811, 2011.

Postanowiono wykonać badania płynu fizjologicznego, który przed moczeniem nie zawierał niklu. Ilość niklu znajdująca się w sztucznym pocie po moczeniu może pochodzić jedynie od obrączek i jest dowodem na migrację tego pierwiastka pod wpływem pH człowieka.

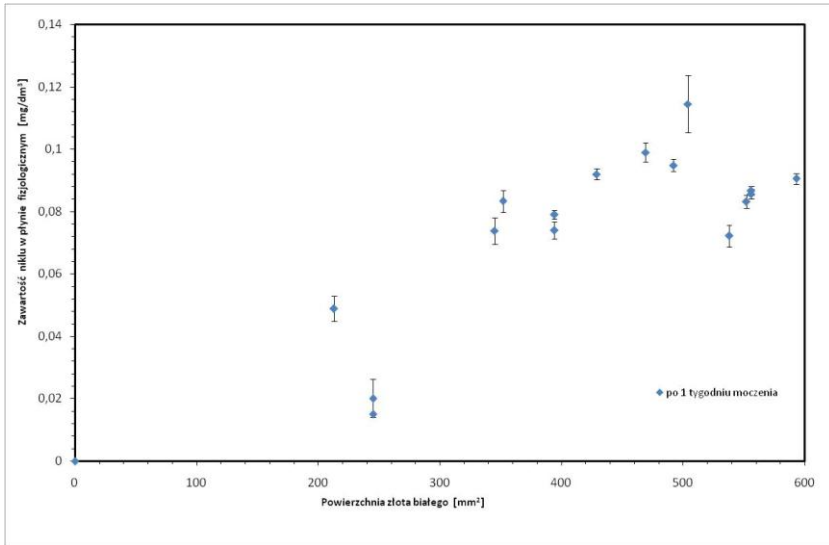
Tabela 1

Zestawienie uzyskanych wartości niklu (w %) dla próbek moczonych i niemoczonych w płynie fizjologicznym

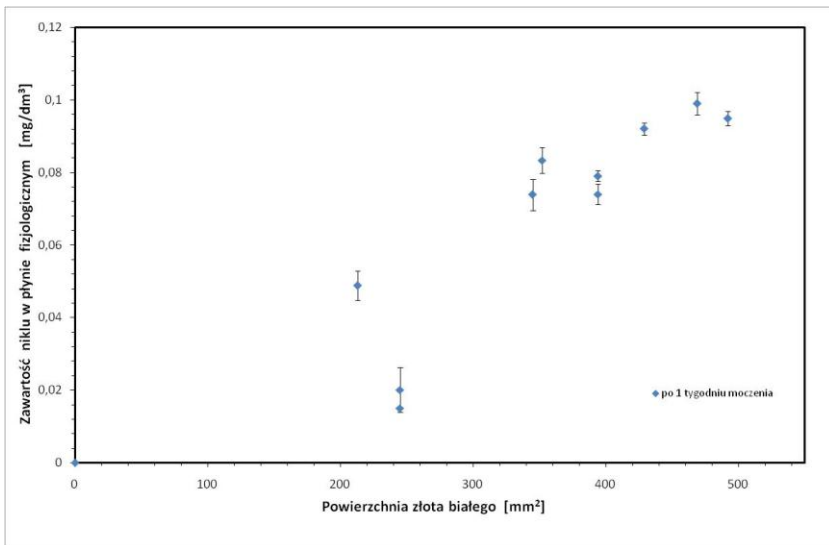
	Obrączka moczona w sztucznym pocie [%]	Obrączka niemoczona w sztucznym pocie [%]
Średnia ilość Ni	88,25 ± 0,05 $\sigma\%=0,06\%$	88,60 ± 0,05 $\sigma\%=0,08\%$

Wykonano badania płynu fizjologicznego za pomocą spektrometru ICP-OES w certyfikowanym laboratorium i wykonano zależności ilości niklu w płynie fizjologicznym od czasu moczenia obrączek. Należy sobie zdawać sprawę, że nikiel będzie migrował z obrączki do ciała ludzkiego tylko na powierzchni, która ma bezpośredni kontakt z ciałem ludzkim. Nie ma możliwości precyzyjnego oszacowania, jaka powierzchnia styku będzie stosowana podczas eksploatacji obrączki. Pewne jest, że wewnętrzna strona obrączki będzie miała ciągły kontakt z ciałem ludzkim podczas noszenia. Nie można wykluczyć również kontaktu zewnętrznej strony obrączki, podczas wykonywania czynności podpierania się, głaskania itp.. Zgodnie z normą europejską wyznaczono maksymalną możliwą ilość niklu, który przedostał się do organizmu ludzkiego, biorąc pod uwagę powierzchnię zewnętrzną całej obrączki. Należy mieć świadomość, że rzeczywista ilość będzie mniejsza.

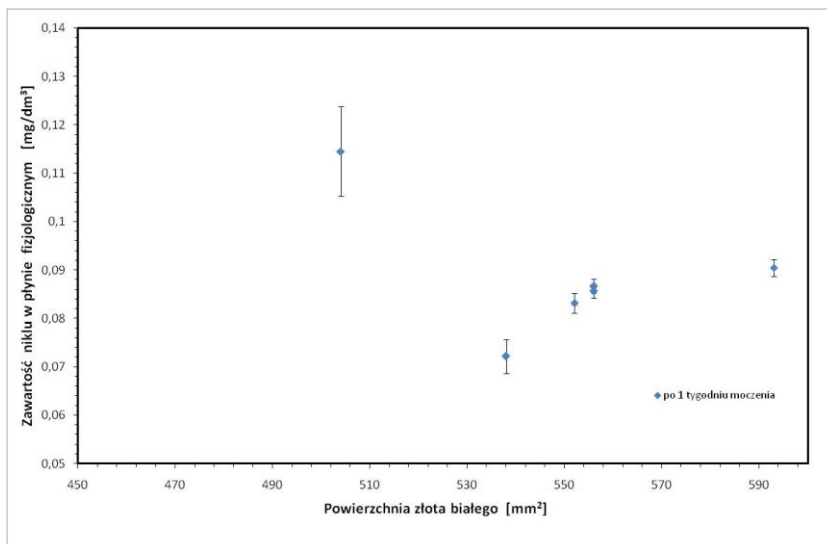
Na wykresie 1 przedstawiono zależność zawartości niklu w płynie fizjologicznym od powierzchni białego złota wszystkich badanych obrączek po jednym tygodniu moczenia. Zauważyć można dwie grupy wyników. Pierwsza grupa to obrączki o powierzchni mniejszej niż 500 mm², a druga grupa to obrączki o powierzchni większej niż 500 mm². W tych grupach obserwujemy zależność prawie liniową zawartości niklu w płynie fizjologicznym od powierzchni białego złota. Dokładniej jest to widoczne na wykresie 2 i 3, które przedstawiają zależność zawartości niklu w płynie fizjologicznym od powierzchni białego złota dla obrączek o powierzchni odpowiednio mniejszej niż 500 mm² i większej niż 500 mm².



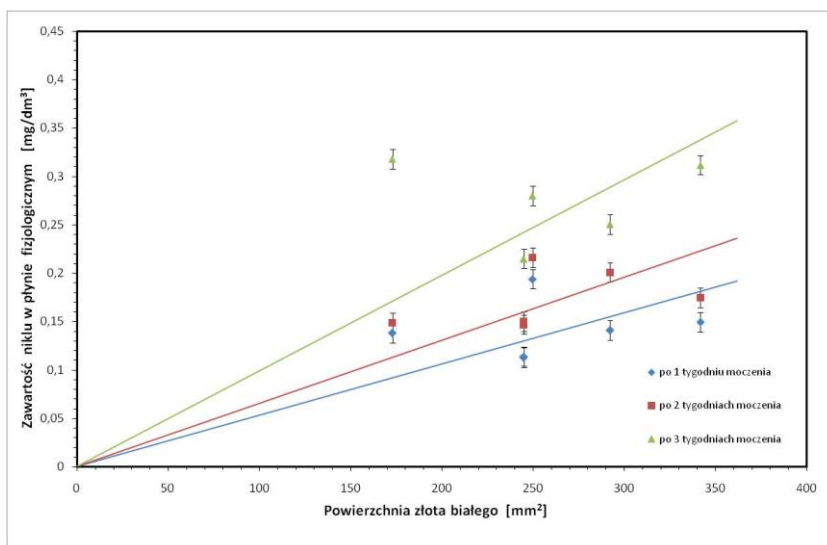
Wykres 1. Zależność zawartości niklu w płynie fizjologicznym od powierzchni białego złota wszystkich obrączek po tygodniu moczenia



Wykres 2. Zależność zawartości niklu w płynie fizjologicznym od powierzchni białego złota dla obrączek o powierzchni mniejszej niż 500 mm^2



Wykres 3. Zależność zawartości niklu w płynie fizjologicznym od powierzchni białego złota dla obrączek o powierzchni większej niż 500 mm²



Wykres 4. Zależność zawartości niklu w płynie fizjologicznym od powierzchni białego złota dla obrączek moczonych przez 1, 2 i 3 tygodnie.

Wykres 4 przedstawia zależność zawartości niklu w płynie fizjologicznym od powierzchni białego złota dla obrączek moczonych przez 1, 2 i 3 tygodnie. Wyraźnie widać, że im dłużej badana próbka jest poddawana działaniu sztucznego potu, tym więcej niklu przedostaje się do płynu.

Na podstawie przeprowadzonych badań roztworu imitującego płyny fizjologiczne człowieka metodą atomowej spektrometrii emisyjnej za pomocą spektrometru ICP-OES, zaobserwowano nikiel w płynie fizjologicznym po tygodniowym moczeniu w nim próbek złota białego. Ilość Ni w badanych próbkach nie przekraczała norm granicznych, co oznacza, że ilość niklu zawarta w obrączkach z białego złota jest bezpieczna dla organizmu i zgodna z normami europejskimi. Metoda za pomocą, której badano płyn fizjologiczny powstały po moczeniu w nim obrączki jednoznacznie pokazuje migrację niklu z próbki złota białego i pozwala na ilościowe określenie niklu w badanej cieczy. Ponadto jednoznacznie z wyników wynika, że metodologia opracowywania maksymalnego stężenia niklu w sztucznym pocie jest przydatna do określania normy, jednak nie można jej stosować w celu poznania mechanizmu zachodzącego procesu.

Analiza obrączek mieszanych wyraźnie wskazuje, że należy oszacować procentowy udział złota białego w powierzchni obrączki mimo, że norma wskazuje inaczej. Biorąc pod uwagę powierzchnię całej obrączki mieszanej zamiast procentowy udział w niej białego złota mocno przeszacowuje się wyniki.

Najważniejszym wnioskiem z wykonanych badań jest to, że obrączki produkowane w firmie PZ Stelmach są bezpieczne i spełniają normy europejskie określające limity wchłaniania niklu do organizmu.

Serdecznie podziękowania dla firmy PZ Stelmach za dostarczenie materiału do badań i umożliwienie realizacji pracy badawczej na terenie firmy.

MIGRATION OF NICKEL FROM ALLOYS OF THE NOBLE METALS INTO SOLUTION IMITATING BODY FLUIDS

Summary

The purpose of this work was study of the migration of nickel from alloys of noble metals into artificial liquid imitating the body fluids. It was associated with treating of the samples (wedding rings) by "artificial sweat". The influence of this treatment on the changes of the surface and chemical composition of the wedding ring was studied by several methods. The experiments were done in laboratories: PZ Stelmach company, Condensed Matter and Positron Lifetimes laboratories in Opole University. The ICP spectrometer measurements were ordered by 'PZ Stelmach' and performed in 'Proxima' company in Wrocław.