



Jakie stopy stosuje się w medycynie?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Animacja
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Jakie stopy stosuje się w medycynie?

Metale i ich stopy wykorzystywane są m.in. do produkcji nierdzewnych narzędzi chirurgicznych.

Źródło: dostępny w internecie: www.pixabay.com, domena publiczna.

Intensywnie rozwijająca się medycyna odkrywa zastosowania przeróżnych materiałów. Wśród nich znaczące miejsce posiadają metale i ich stopy. Wykorzystywane są one do produkcji nierdzewnych narzędzi chirurgicznych, implantów, protez, śrub, wkrętów, stentów czy zastawek. Czy potrafisz wymienić przykład takiego stopu? A może wiesz, jakie cechy wpływają na stosowanie ich w medycynie? I wreszcie, jak nazywają się takie materiały?

Twoje cele

- Porównasz stopy stosowane w medycynie.
- Obliczysz skład procentowy stopu.
- Wyznaczysz skład mikrostruktur zawartych w danym stopie, na podstawie wykresu Schaefflera.

Co to są biomateriały?

W celu odpowiedzi na pytanie tytułowe, należy wprowadzić pojęcie **biomateriału**. Jest ono kluczowe, ponieważ oznacza każdy materiał lub substancję, która może zostać użyta w celu medycznym. Innymi słowy, to materiał do czasowego lub stałego uzupełnienia kości bądź narządów, przejęcia ich funkcji lub poprawy ich funkcjonowania, jak i wszelkie zewnętrznie stosowane narzędzia chirurgiczne.

Biomateriały mogą być wykonane z ceramiki, polimerów, metali i ich **stopów**. W tym rozdziale najważniejsze są biomateriały metaliczne. Stopy metaliczne, przeznaczone do celów medycznych, powinny charakteryzować się następującymi cechami:

- odpornością na korozję;
- **biokompatybilnością**;
- **biofunkcyjnością**;
- nietoksycznością;
- jednorodnością składu chemicznego;
- dobrą jakością metalurgiczną;
- brakiem tendencji do tworzenia zakrzepów;
- ściśle określonymi właściwościami mechanicznymi (na przykład wysoką twardością, wytrzymałością na ścieranie, ciągliwością);
- odpowiednimi właściwościami elektromagnetycznymi;
- niskimi kosztami wytwarzania.

Należy jednak mieć na uwadze, że powyższe cechy są uogólnione, a ściśle określone zastosowania wymagają dokładnie wyznaczonych parametrów danych materiałów. Biomateriały metaliczne dzielą się na cztery grupy: stale austenityczne, stopy kobaltu i z pamięcią kształtu oraz tytan i jego stopy.

Mapa pojęciowa pt.: Biomateriały metaliczne

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Stale austenityczne

To najwcześniej wprowadzona i najtańsza klasa stali stosowana w medycynie. Tworzone są na one na podstawie żelaza. Do najpopularniejszych przykładów należą stale typu 316L, czyli zawierające dodatki w postaci chromu, niklu i molibdenu, w których występują również pierwiastki, takie jak: krzem, mangan, azot oraz niob. Stale te są kwasoodporne, odporne na korozję, posiadają strukturę **paramagnetyczną** oraz odznaczają się dużą wytrzymałością, bo aż do 1850 MPa.

Odporność na korozję związana jest z dużą zawartością chromu (> 13%). To sprawia, że potencjał elektrochemiczny stali jest dodatni, stąd wynika większa odporność korozyjna w warunkach utleniających oraz tworzenie warstwy ochronnej tlenków chromu w wyniku **pasywacji**. Nikiel stabilizuje fazę stali i zwiększa odporność na korozję naprężeniową i międzykrystaliczną. Natomiast molibden chroni przed korozją wżerową. Przeróbka plastyczna stali oraz dodatek azotu zwiększa wytrzymałość stali. Skład pierwiastkowy najpopularniejszej stali austenitycznej, stosowanej w medycynie, zaprezentowano poniżej:

Stężenie pierwiastków % masowy							
C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
< 0,03	16,0÷18,0	12,0÷15,0	2÷2,5	< 2,0	0,8	< 0,045	< 0,03

/Źródło: <http://iim.p.lodz.pl/media/materiały/mat-kier-MiBM-AiR-PiP-Trans/Cwiczenie%2013.pdf>

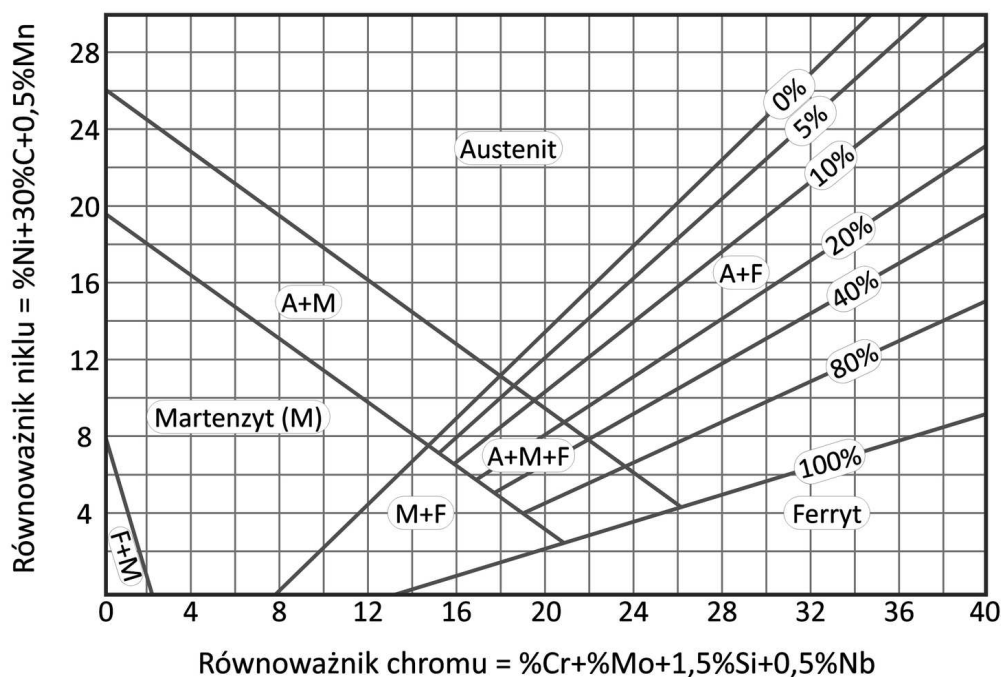
Ten rodzaj stopów znalazł medyczne zastosowanie w produkcji: igieł, płytek kostnych, narzędzi chirurgicznych, stentów, endoprotez, wkretów, grotów oraz śrub.



W celu określenia dokładnej struktury stali austenitycznej stosuje się wykres Schaefflera. Przedstawia on rodzaj struktury zależny od równoważników chromu i niklu. Równoważniki te wyznacza się na podstawie wzorów określających wagową procentową zawartość pierwiastków stabilizujących **ferryt** dla równoważnika chromu, i austenit dla równoważnika niklu.

$$Ni_E = 1 \cdot \%Ni + 30 \cdot \%C + 0,5 \cdot \%Mn$$

$$Cr_E = 1 \cdot \%Cr + 1 \cdot \%Mo + 1,5 \cdot \%Si + 0,5 \cdot \%Nb + 2 \cdot \%Ti$$



Wykres Schafflera uwzględniający równoważnik niklu i chromu

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

/Źródło: <http://iim.p.lodz.pl/media/materiale/mat-kier-MiBM-AiR-PiP-Trans/Cwiczenie%2013.pdf>

Polecenie 1

Ustal skład mikrostrukturalny podanego poniżej stopu.

%wagowy pierwiastków w stali AISI 316L							
C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
0,03	17,0	13,5	2,25	2,0	0,8	0,045	0,03

Stopy kobaltu

Stopy kobaltu są to materiały stosowane głównie na wszczepy długotrwałe, oparte na osnowie kobaltu. W porównaniu do stali austenicznych, posiadają znacznie wyższą odporność na korozję elektrochemiczną, wżerową i szczelinową w środowisku płynów ustrojowych. W skład tych stopów wchodzi głównie dodatki w postaci chromu (18%-30%), molibdenu (2,5%-9,0%) i niklu (15%-37%), a w śladowych ilościach również pierwiastki, takie jak: wolfram, węgiel, żelazo, mangan, krzem i tytan.

Właściwości antykorozyjne tych stopów wynikają z dużej zawartości w nich chromu i molibdenu. Powodują one zwiększenie odporności na szkodliwe działanie kwasów, chronią przed korozją wżerową i szczelinową (w środowisku obojętnym i kwasowym), a także przed korozją naprężeniową i zmęczeniową.

Technologie ich wytwarzania silnie wpływają na ich odporność korozyjną i własności mechaniczne, dlatego wyróżnia się trzy grupy stopów kobaltu:

- odlewnicze (typ Vitalium);
- do przeróbki plastycznej;
- wytwarzane metodą metalurgii proszków.

Pierwsze z nich wykazują strukturę niejednorodnego austenitu o dużej segregacji chemicznej (głównie chromu). Od stali austenicznych różnią się większą odpornością korozyjną.

Stopy stosowane w obróbce plastycznej zawierają ograniczone ilości węgla, krzemu, chromu i manganu, przy jednocześnie większej zawartości niklu do 33–37%. W porównaniu do stopów odlewniczych, cechuje je wysoka odporność na korozję zmęczeniową (dwukrotnie), naprężeniową, szczelinową i wżerową. Są one również odporne na erozję czy kawitację.



Endoproteza stawu kolanowego

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

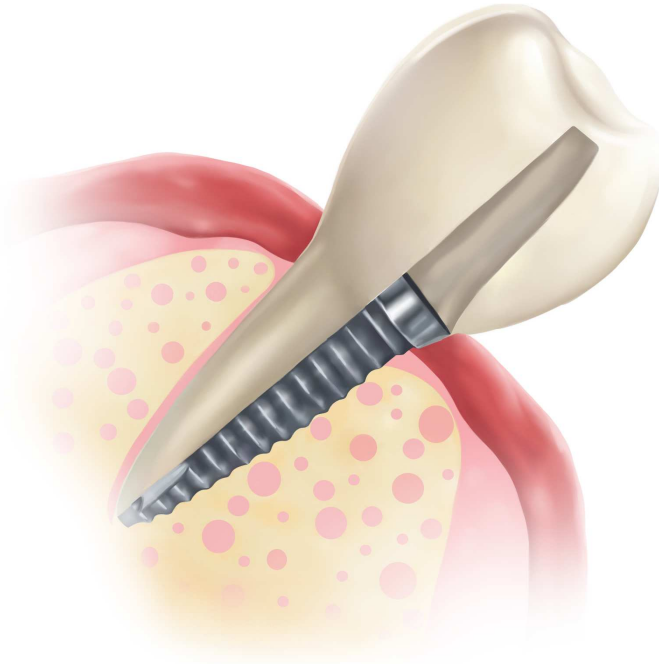
Stopy kobaltowe stosowane są do produkcji elementów endoprotez stawu biodrowego, skokowego i kolanowego oraz płytek, drutów, grotów i wkrętów stosowanych głównie w stomatologii.

Stopy tytanu

Stopy tytanu, jak i sam tytan, są bardzo popularnymi biomateriałami stosowanymi do implantów. Wykazują się długotrwałością i mogą przebywać w ludzkim organizmie nawet do 25 lat. Na tle wspomnianych powyżej stopów kobaltu i stali austenicznych, tytan posiada najniższy ciężar właściwy i moduł Younga. Poza tym charakteryzuje się dobrymi

właścivościami mechanicznymi, wysoką wytrzymałością zmęczeniową, odpornością na korozję (pasywacja- TiO_2) i biokompatybilnością, co pozwala na zrost tkanek kostnych z powierzchnią implantu (osteointegracja).

Stopy tytanu dzielą się na trzy grupy: stopy jednofazowe α , stopy dwufazowe $\alpha + \beta$ i stopy jednofazowe β . Ze względu na niekorzystny wpływ wanadu na organizm ludzki (na przykład dla Ti6Al4V), obecnie stosowane są tzw. stopy bezwanadowe (na przykład $\text{Ti} - \text{Al} - \text{Nb}$).



Implant stomatologiczny

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

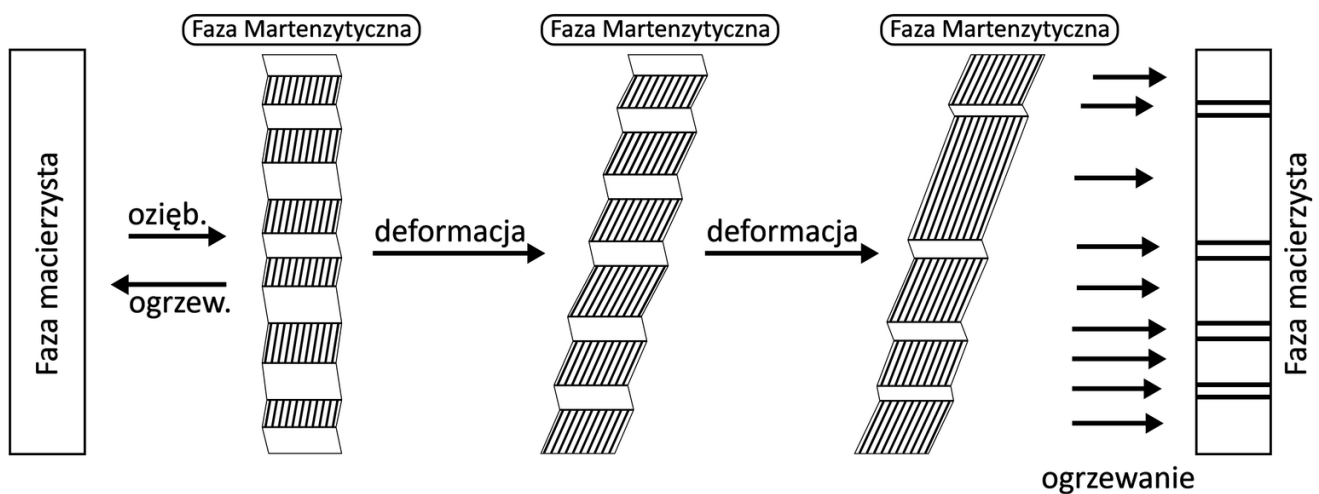
Stosowane są do wytwarzania endoprotez (stawowych, kolanowych), płytek, wkrętów, gwoździ, mostów, czyli biomateriałów do zabiegów chirurgicznych i kardiochirurgicznych w organizmach ludzkich.

Stopy z pamięcią kształtu

Stopy z pamięcią kształtu to grupa biomateriałów „inteligentnych” (SMA – shape memory alloys), która posiada pamięć kształtu. Najpopularniejszym przedstawicielem tych stopów jest Nitinol, który w swoim składzie zawiera nikiel i tytan (53-57% Ni). Charakteryzuje się dobrą odpornością na korozję i biokompatybilnością w organizmie ludzkim.

Za pamięć kształtu w tych biomateriałach odpowiada odwracalna i termosprężysta przemiana martenzytyczna, która polega na zmianie struktury i otrzymaniu martenzytu na

skutek ciągłego chłodzenia lub nagrzewania oraz przyłożenia lub zdjęcia siły w celu uniknięcia naprężenia. Gdy stop z pamięcią kształtu zostanie odkształcony, wówczas można go podgrzać (powyżej temperatury przemiany martenzytycznej), aby powrócił do swojego kształtu pierwotnego.



Schemat przemian strukturalnych stopów z pamięcią kształtu

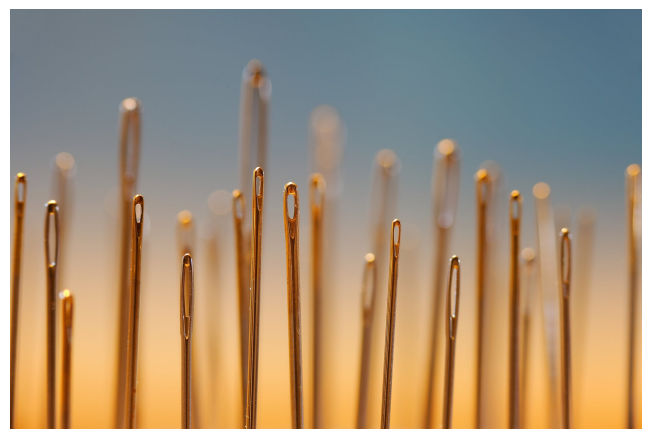
Źródło: GroMar Sp. z o.o. na podstawie <http://iim.p.lodz.pl/media/materialy/mat-kier-MiBM-AiR-PiP-Trans/Cwiczenie%2013.pdf>, licencja: CC BY-SA 3.0.

Stopy z pamięcią kształtu stosowane są do produkcji: stentów, drutów, klamr Blounta (do leczenia złamań kości), tulei (usztywnianie kręgosłupa) oraz implantów wykorzystywanych zwłaszcza w ortopedii. Znajdują zastosowanie również w innych dziedzinach, takich jak: traumatologia, ortodoncja, kardiologia oraz w stomatologia (na przykład Nitinol do produkcji aparatów dentystycznych).

Ciekawostka

Czy wiesz, że pierwsze biomateriały były zrobione głównie ze złota?

Odszukując w historii informacji dotyczących biomateriałów, można natrafić na ciekawe wykorzystanie metali szlachetnych. Za pierwszą wzmiankę w temacie należy uznać pracę Petroniusa z 1565 roku, który wykorzystał złoto do uzupełnienia podniebienia. W kolejnych latach Fabritius (XVIIw.) wykorzystał drut wykonany z żelaza, brązu i złota do zszywania rany. A w wieku XVIII kości zszywano przy użyciu drutów ze złota. Złote i srebrne igły do szycia były wykorzystywane w celu uniknięcia zakażeń i reakcji alergicznych



Złote i srebrne igły do szycia były wykorzystywane w medycynie w celu uniknięcia zakażeń i reakcji alergicznych organizmu.

Źródło: Macro Merriment, dostępny w internecie: www.flickr.com, domena publiczna.

organizmu, co jak wiemy dziś, był to początek szeroko rozwijającej się do teraz implantologii i medycyny.

Słownik

biomateriał

jest to każda substancja lub materiał (z wyjątkiem leków), z których otrzymywane są urządzenia, narzędzia i elementy do bezpośredniego kontaktu z tkankami organizmu ludzkiego

biotolerancja

(innymi słowy biokompatybilność, biozgonność) jest to cecha biomateriału, która warunkuje prawidłowe działanie w organizmie żywym; oznacza zgodność biologiczną i harmonię w interakcji z materiążywioną

biofunkcyjność

oznacza, że dany materiał w pełni spełnia założoną funkcję w organizmie, nie powodując pogorszenia stanu pacjenta tylko jego polepszenie

stop

to mieszanina jednorodna metali (na przykład brąz) lub metalu z dodatkiem metali i niemetalu (stal), która jest otrzymywana w wyniku stapiania ze sobą składników

ferryt

jest to składnik fazowy i strukturalny stopów, stali i żeliw

pasywacja

jest to proces chemiczny lub elektrochemiczny, który polega na wytworzeniu przez metal warstwy ochronnej (przed działaniem czynnika utleniającego) tlenku tego metalu i innych jego związków

paramagnetyzm

jest to zjawisko magnesowania się makroskopowego ciała, które ma miejsce w zewnętrznym polu magnetycznym zgodnie z kierunkiem pola zewnętrznego; substancje o takich właściwościach nazywane są paramagnetykami i przyciąga je bardzo słabo magnes

Bibliografia

Świczko-Żurek B., *Biomateriały*, Gdańsk 2009.

Animacja

Polecenie 1

Czy wiesz, jakie stopy metali znajdują zastosowanie w medycynie? Czy wiesz, jakie właściwości powinny posiadać te stopy? Zapoznaj się z animacją i odpowiedz na poniższe pytania.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D16kwG857>

Animacja pt. „Jakie stopy stosuje się w medycynie?”

Źródło: GroMar Sp. z o.o., Dominika Kruszewska, licencja: CC BY-SA 3.0.

Film nawiązujący do treści materiału - przedstawia zastosowanie stopów metali w medycynie.

Ćwiczenie 1

Odpowiedz, który stop z omawianych w powyższej animacji jest stosowany w aparatach ortodontycznych.

Odpowiedź:

Ćwiczenie 2

Zaznacz, w jakiej dziedzinie medycyny stosuje się stenty.

☐ w ortodoncji

☐ w ortopedii

☐ w angiochirurgii

☐ w stomatologii

Ćwiczenie 3

Odpowiedz, jaka jest procentowa zawartość niklu w Nitinolu.

Odpowiedź:

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Który z wymienionych stopów i stali posiada najniższy moduł Younga oraz najniższy ciężar właściwy?

☐ stale austenityczne

☐ stopy tytanu

☐ stale typu 316l

☐ stopy na osnowie kobaltu

Ćwiczenie 2



Oceń, czy podane zdania są prawdziwe, czy fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Biomateriały to każda substancja (inna niż lek) lub materiał, które używane są w celach medycznych i wykonane wyłącznie z metalu.	☐	☐
Najtańszą grupą stopów stosowanych w medycynie są stale austenityczne.	☐	☐
Stopy z pamięcią kształtu po odkształceniu powracają do swojego pierwotnego kształtu po ochłodzeniu.	☐	☐
Stopy kobaltowe stosowane są do produkcji: endoprotez, płytek, drutów, grotów oraz wkrętów.	☐	☐

Ćwiczenie 3



Które stopy są szczególnie wykorzystywane w ortopedii?

☐ stopy tytanu

☐ stopy z pamięcią kształtu

☐ stopy kobaltu

☐ stale austenityczne

Ćwiczenie 4



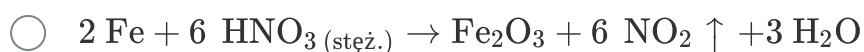
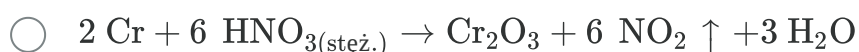
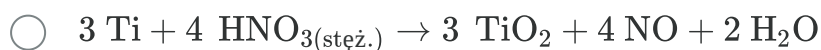
Przyporządkuj grafiki, przedstawiające zastosowania, do odpowiednich rodzajów stopów.

Źródło: dostępny w internecie: Źródło: www.pixabay.com, licencja: domena publiczna; Źródło: www.flickr.com, CC BY-SA 2.0;
Źródło: www.pixabay.com, licencja: domena publiczna; Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 5



Odporność niektórych stopów na korozję jest spowodowana tworzeniem warstwy pasywnej na ich powierzchni. Spośród podanych poniżej równań reakcji chemicznych zdecyduj, która dotyczy tego zjawiska w stali austenitycznej.



Ćwiczenie 6



Spośród podanych cech wybierz te, którymi powinien się charakteryzować dobry biomateriał metaliczny.

dobra jakość metalurgiczna porowatość niskie koszty wytwarzania biokompatybilność
odporność na korozję biofunkcyjność kruchość jednorodność składu chemicznego
bioinertność ściśle określone właściwości mechaniczne łatwość formowania nietoksyczność
duża resorbowalność biotolerancja brak tendencji do powstawania zakrzepów

Ćwiczenie 7



Szeroko stosowanym w medycynie materiałem o dobrych właściwościach mechanicznych jest stop tytanu Ti6Al4V ELI. Oblicz skład procentowy tego stopu na podstawie danych w tabeli.

pierwiastek	Fe	O	N	C	H	Al	V	
zawartość w g	0,042	0,02184	0,0084	0,01344	0,00168	0,924	0,588	15,;

Zawartość w %, 0,12, 1,01, 1,45, 3,76, 8,34, 25,86, 42,91, 74,73, 88,09

pierwiastek	Fe	O
N	C	H
Al	V	Ti
Zawartość w %		

Ćwiczenie 8



Bardzo popularną stalą austenityczną, stosowaną do endoprotez ortopedycznych, jest 316 LVM. Na podstawie wykresu Schaeffera określ, jaki posiada skład mikrostrukturalny.

%wagowy pierwiastków w stali 316LVM						
C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S
0,024	17,4	13,6	1,7	0,57	0,025	0,003

Odpowiedź:

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Aleksandra Marszałek-Harych, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: Jakie stopy stosuje się w medycynie?

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony; uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

Podstawa programowa:

Poziom podstawowy i rozszerzony

Wymagania ogólne

II. Rozumowanie i zastosowanie nabytej wiedzy do rozwiązywania problemów. Uczeń:

- 2) wskazuje na związek właściwości różnorodnych substancji z ich zastosowaniami i ich wpływem na środowisko naturalne;
- 4) wskazuje na związek między właściwościami substancji a ich budową chemiczną.

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne

Uczeń:

- porównuje stopy stosowane w medycynie;
- oblicza skład procentowy stopu;
- wyznacza skład mikrostruktur zawartych w danym stopie na podstawie wykresu Schaefflera.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- dyskusja dydaktyczna;
- quiz krzyżówkowy;
- animacja;
- pogadanka;
- analiza materiału źródłowego;
- ćwiczenia uczniowskie;
- okienko informacyjne;
- technika zdań podsumowujących.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w grupach;
- praca w parach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami/tablety, smartfony z dostępem do Internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda;
- rzutnik multimedialny.

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zainteresowanie i dyskusja. Nauczyciel wyświetla uczniom okładkę e-materiału i pyta uczniów czym są wyświetlone materiały.
2. Rozpoznawanie wiedzy potocznej uczniów. Uczniowie starają się odpowiedzieć na pytania: jak nazywa się klasa materiałów używanych do ich produkcji? Jakie znają przykłady stopów stosowanych w tym celu?
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji, które uczniowie zapisują w portfolio.

Faza realizacyjna:

1. Następnie nauczyciel prosi uczniów o wymienienie cech dobrego biomateriału metalicznego. Uczniowie mogą doczytać tę informację w e-materiale, a następnie zapisać je w zeszytach.

2. Quiz krzyżówkowy. Uczniowie zostają losowo podzieleni na cztery grupy. Każda z grup ma za zadanie przygotować krzyżówkę (10 haseł i hasło główne) do wybranej (lub przyznanej przez nauczyciela) klasy stopów spośród czterech opisanych w treści e-materiału. Uczniowie mogą korzystać z generatora krzyżówek.
3. Po przygotowaniu krzyżówek nauczyciel przeprowadza dla uczniów quiz krzyżówkowy, w którym najszybsza z grup będzie nagrodzona oceną z aktywności. Przed rozpoczęciem quizu uczniowie mają 10 minut na zapoznanie się z treścią e-materiału. W quizie mają za zadanie uczestniczyć wszystkie grupy z wyjątkiem tej, która daną krzyżówkę przygotowywała. Nauczyciel wyświetla na tablicy interaktywnej daną krzyżówkę lub rysuje ją na tablicy. Po kolei odczytuje pytania dotyczące kolejnych haseł. Quiz może być przeprowadzony w ramach teleturnieju. Grupy zgłaszają się poprzez zadzwonienie dzwonkiem (żeby nie było wątpliwości co do pierwszeństwa) i podają hasło. Poprawnie udzielona odpowiedź to jeden punkt, błędnie udzielona odpowiedź to wstrzymanie danej grupy na 30 sekund (lub -1 punkt). Każda grupa może również spróbować odgadnąć hasło główne, odgadnięcie go przed rozwiązaniem połowy haseł pośrednich w krzyżówce powoduje koniec rozwiązywania danej krzyżówki i przyznanie 10 punktów dla tej grupy.
4. Następnie uczniowie mają za zadanie przeanalizować w parach przykład 1 podany w treści e-materiału dotyczący ustalania składu mikrostrukturalnego stopu. Po jego analizie uczniowie proszeni są o samodzielne wykonanie ćwiczenia nr 8 w części „sprawdź się” e-materiału. Wszelkie niejasności wyjaśnia nauczyciel.
5. Nauczyciel odsyła uczniów do animacji – praca w parach. Uczestnicy zajęć zapoznają się z medium bazowym. Wykonują polecenie do medium bazowego.
6. Uczniowie samodzielnie sprawdzają swoją wiedzę i wykonują pozostałe ćwiczenia zawarte w e-materiale w sekcji „sprawdź się”.

Faza podsumowująca:

1. Okienko informacyjne – forma indywidualnej twórczej notatki. Kartkę papieru w zeszyte uczniowie dzielą na 4 części (poziom, pion lub po przekątnej). W pierwsze okienko uczniowie wpisują hasło, które ich interesuje. W drugim okienku podają definicję danego terminu (z różnych źródeł). W trzecie okienko wpisują metaforyczne znaczenie wyrazu, żart językowy, rebus itp. Ostatnie może mieć formę scenki komiksowej, dialogu, karykatury z zastosowaniem interesującego uczniów terminu (np. naszkicowanie zarysu człowieka i zaznaczenie miejsc, w których dane stopy są stosowane (np. zęby, stawy itp.)).
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie zamieszczają w swoim portfolio:
 - Co na zajęciach wydało wam się ważne i ciekawe...
 - Co było łatwe, a co trudne...
 - Czego się dziś nowego dowiedziałem/lam...

Praca domowa:

Uczniowie wykonują pozostałe ćwiczenia w e-materiale – sprawdź się, których nie zdążyli wykonać na lekcji.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Animacja może pozwolić uczniom na łatwiejsze rozwiązywanie krzyżówek podczas quizu oraz ułatwić przygotowanie notatki do zeszytu.

Materiały pomocnicze:

Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- Co to są biomateriały?
- Jakimi cechami powinny charakteryzować się biomateriały?
- Jakie znasz stopy stosowane w medycynie?
- Co to są stale austeniczne i gdzie znalazły zastosowanie?
- Czym się charakteryzują stopy kobaltu i do czego się je stosuje?
- Co to są stopy „inteligentne”?