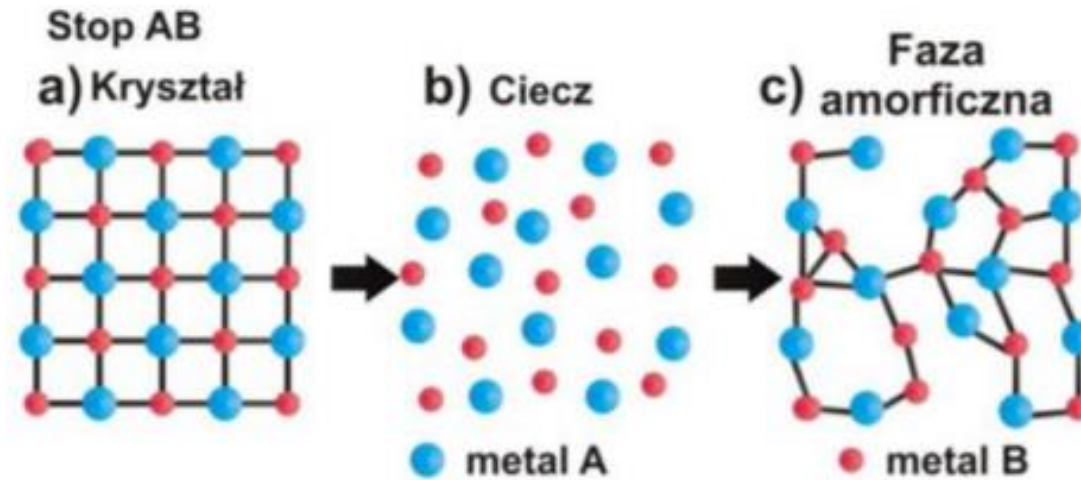


Szkła metaliczne – materiały o unikalnych właściwościach...

Materiały te są co najmniej dwukrotnie wytrzymalsze od stali, lżejsze i bardziej odporne na korozję, jednocześnie twardsze od ceramiki i wysoce sprężyste.

Szkła metaliczne – materiał amorficzny, w którym dominującym składnikiem jest pierwiastek metaliczny

Materiał amorficzny



*Rysunek poglądowy przedstawiający rozkład atomów a) w związku międzymetalicznym
b) w stanie ciełym c) w stanie amorficznym [1]*

Zdolność do zeszklenia

Składniki podstawowe stopu powinny posiadać ujemne ciepło mieszania (ΔH_{mix}) w celu możliwości samorzutnego mieszania, które utrudnia proces krystalizacji,

Stop powinien zawierać co najmniej trzy pierwiastki stopowe. Dzięki czemu formowanie szkła zachodzi łatwiej wraz ze wzrostem ilości składników w strukturze,

Powinna istnieć wyraźna różnica wielkości pomiędzy składnikami podstawowymi, aby utrudnić dyfuzję atomów inicjujących krystalizację stopu. Duża różnica w rozmiarze atomów sprzyja gęstemu upakowaniu struktury, co wpływa na zwiększoną stabilność termicznej cieczy w zakresie przechłodzonym. Sugerowana różnica wielkości atomów powinna przekraczać 12%,

Podstawowe składniki powinny występować w głębokiej eutektyce na układach równowagi fazowej. Związane jest to z potrzebą odebrania mniejszej ilości ciepła w procesie chłodzenia. Jednakże obecne badania ujawniają odstępstwa od tej reguły, [?]

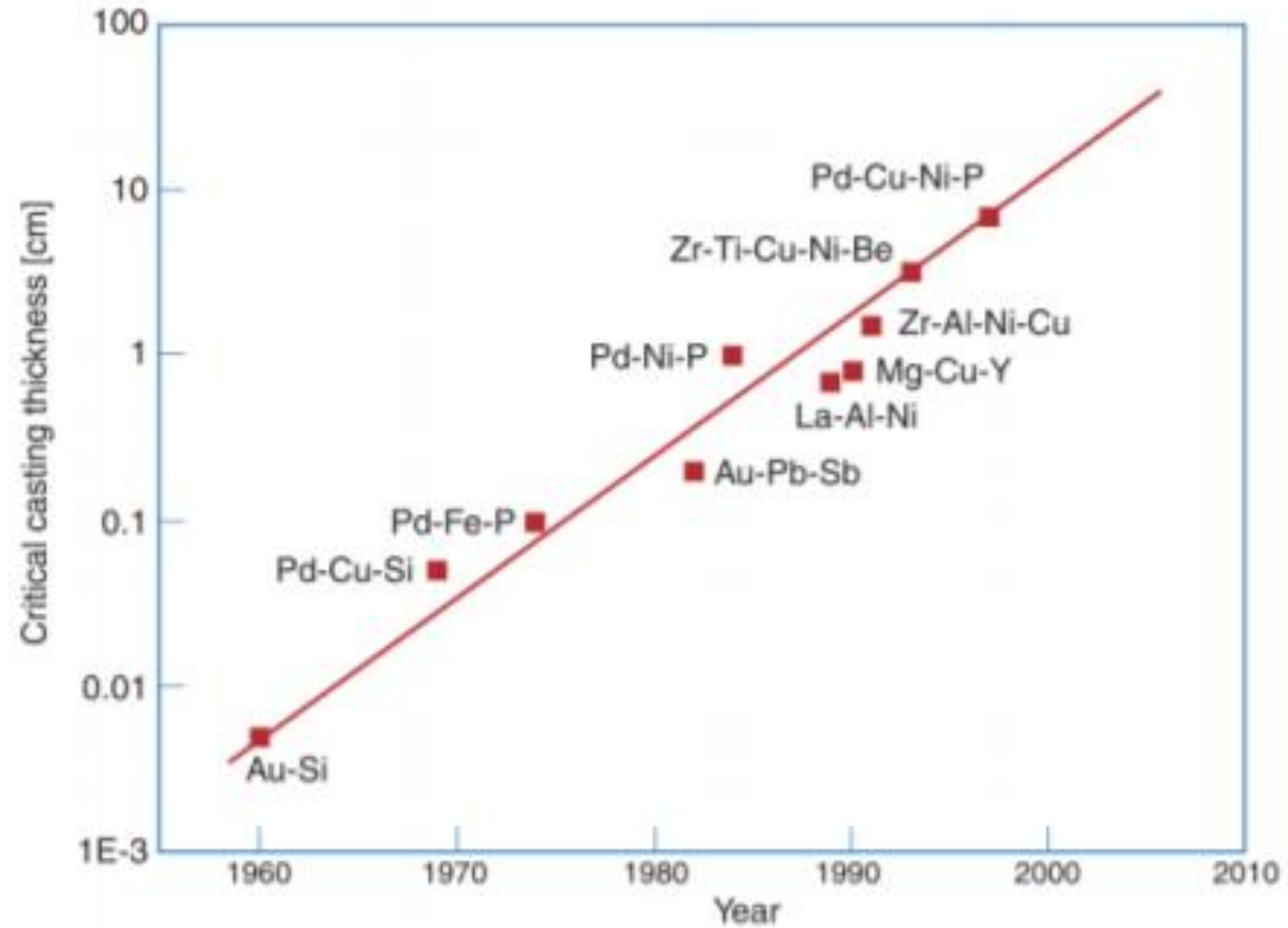
Szeroki przedział występowania cieczy w stanie przechłodzonym $\Delta T = T_x - T_g$ (T_g -temperatura zeszklenia, T_x -temperatura początku krystalizacji). Wartość parametru ΔT jest proporcjonalna do zdolności zeszklenia stopu.

Rys historyczny

Szklá metaliczne oraz lata ich odkrycia [8]

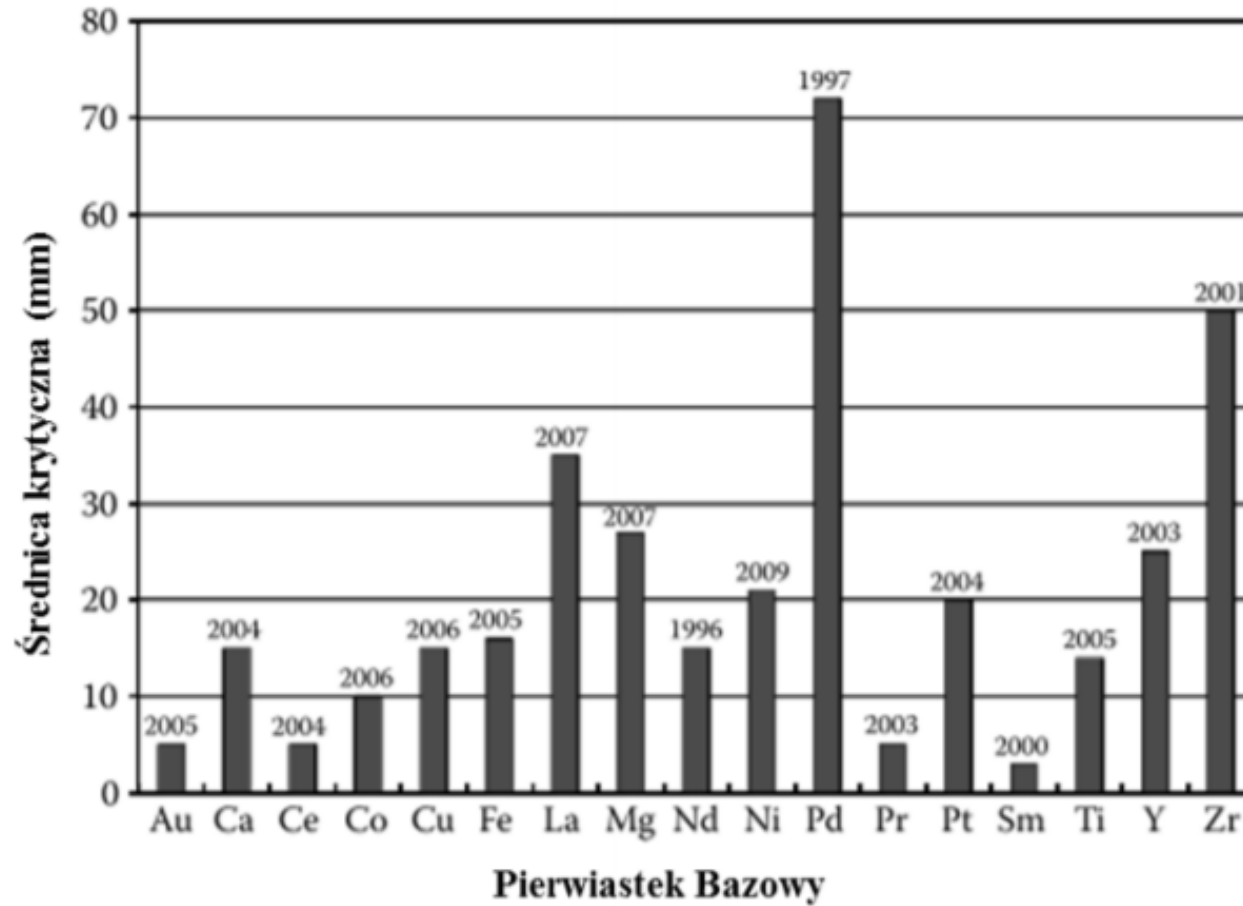
Masywne szkła metaliczne	Rok odkrycia
Pd-Cu-Si	1974
Pt-Ni-P	1975
Au-Si-Ge	1975
Pd-Ni-P	1982
Mg-Ln-Cu (Ln- metal z grupy lantanowców)	1988
Zr-Ti-Al-TM (Tm- metal przejściowy)	1989
Ti-Zr-TM	1990
Zr-Ti-Cu-Ni-Be	1993
Nd(Pr)-Al-Fe-Co	1994
Zr-(Nb,Pd)-Al-TM	1995
Cu-Zr-Ni-Ti	1995
Fe-(Nb,Mo)-(Al,Ge)-(P,C,B,Si,Ge)	1995
Pd-Cu(Fe)-Ni-P	1996
Co-(Al,Ga)-(P,B,Si)	1996
Fe-(Zr,Hf,Nb)-Be	1996
Co-Fe-(Zr,Hf,Nb)-B	1996
Co-Fe-(Zr,Hf,Nb)-B	1996
Ni-(Zr,Hf,Nb)-(Cr,Mo)-B	1998
Ti-Ni-Cu-Sn	1998
La-Al-Ni-Cu-Co	1999
Ni-Nb	1999
Ni-(Nb,Cr,Mo)-(P,B)	1999
Zr-Nb-Cu-Fe-Be	2000
Fe-Mn-Mo-Cr-C-B	2002
Ni-Nb-(Sn,Ti)	2003

Rys historyczny



Wzrost średnicy krytycznej szkieł metalicznych na przestrzeni 40 lat

Rys historyczny



Maksymalna średnica masywnych szkieł metalicznych na bazie różnych pierwiastków stopowych i rok ich odkrycia

Szkła metaliczne na osnowie tytanu

- możliwość uzyskania stopów na bazie tytanu o jak najwyższej zdolności do zeszklenia,
- wykorzystanie w jak najwyższym stopniu korzystnych właściwości tytanu (poprzez zwiększanie zawartości Ti w stopie),
- zastosowanie jedynie tanich pierwiastków stopowych,
- wytwarzanie biozgodnych elementów, bez domieszki toksycznych pierwiastków takich jak beryl.

Metody wytwarzania szkieł metalicznych



Metoda ciągłego odlewania ciekłego metalu na miedziany walec (ang. Melt spinning)

Podział szkła metalicznych

Grupa	Grupy pierwiastków tworzące masywne szkła metaliczne		Przykłady stopów
	Składnik główny	Składniki pozostałe	
1	Metal przejściowy z grupy IV do VI układu okresowego lub lantanowiec (Ln)	Al, Ga, Sn i metal przejściowy z grupy VII do VIII układu okresowego (LTM)	Zr-Al-Ni, Zr-Nb-Al-Ni-Ln
2	Metal przejściowy z grupy IV do VI układu okresowego (ETM) lub lantanowiec (Ln)	Metal przejściowy z grupy VII do VIII układu okresowego (LTM) i niemetal (NM)	Fe-Zr-B
3	Metal przejściowy z grupy VII do VIII układu okresowego (LTM)	Al, Ga, Sn i niemetal (NM)	Fe-(Al, Ge)-NM
4	Mg lub Be z metalem przejściowym z grupy VII do VIII układu okresowego (LTM) lub lantanowcem (Ln)	Metal przejściowy z grupy IV do VI układu okresowego (ETM)	Zr-Ti-Be-Ni-Cu
5	Metal przejściowy z grupy VI do VIII	Niemetal	Pt-Ni-P

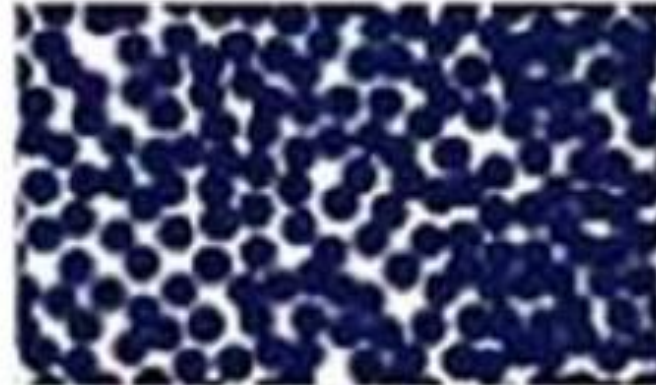
Właściwości szkieł metalicznych

- Struktura

a)

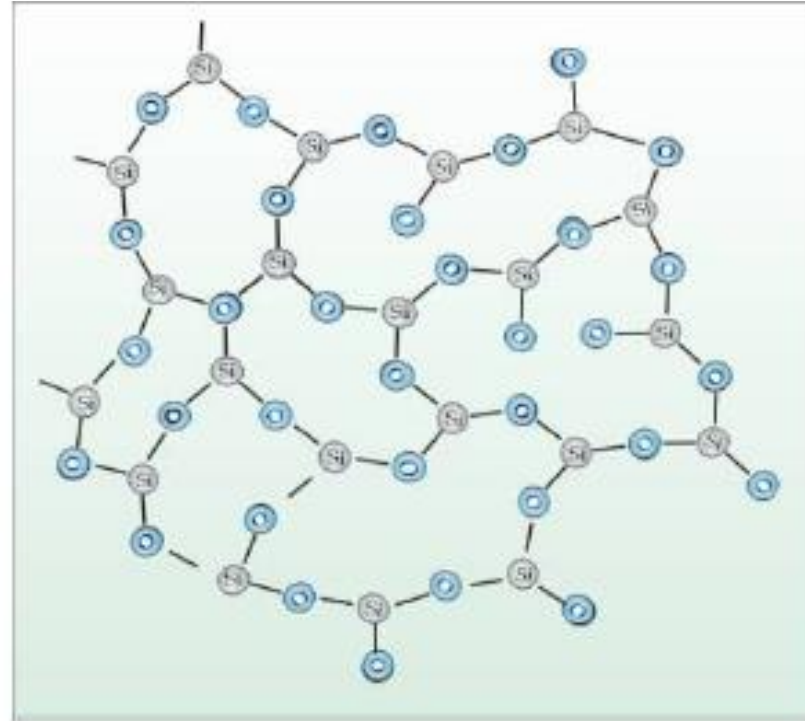


b)



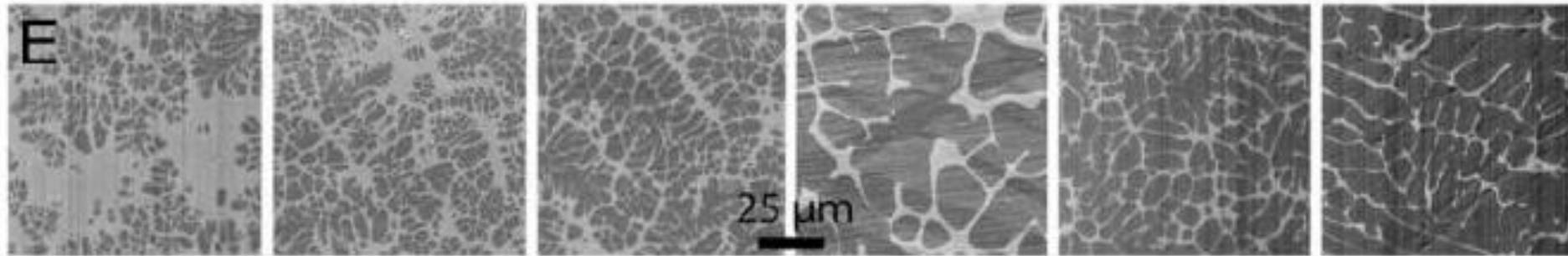
Porównanie struktury krystalicznej (a) i amorficznej (b)

Właściwości szkła metalicznych



Model przedstawiający uporządkowanie bliskiego zasięgu na przykładzie budowy szkła krzemianowego.

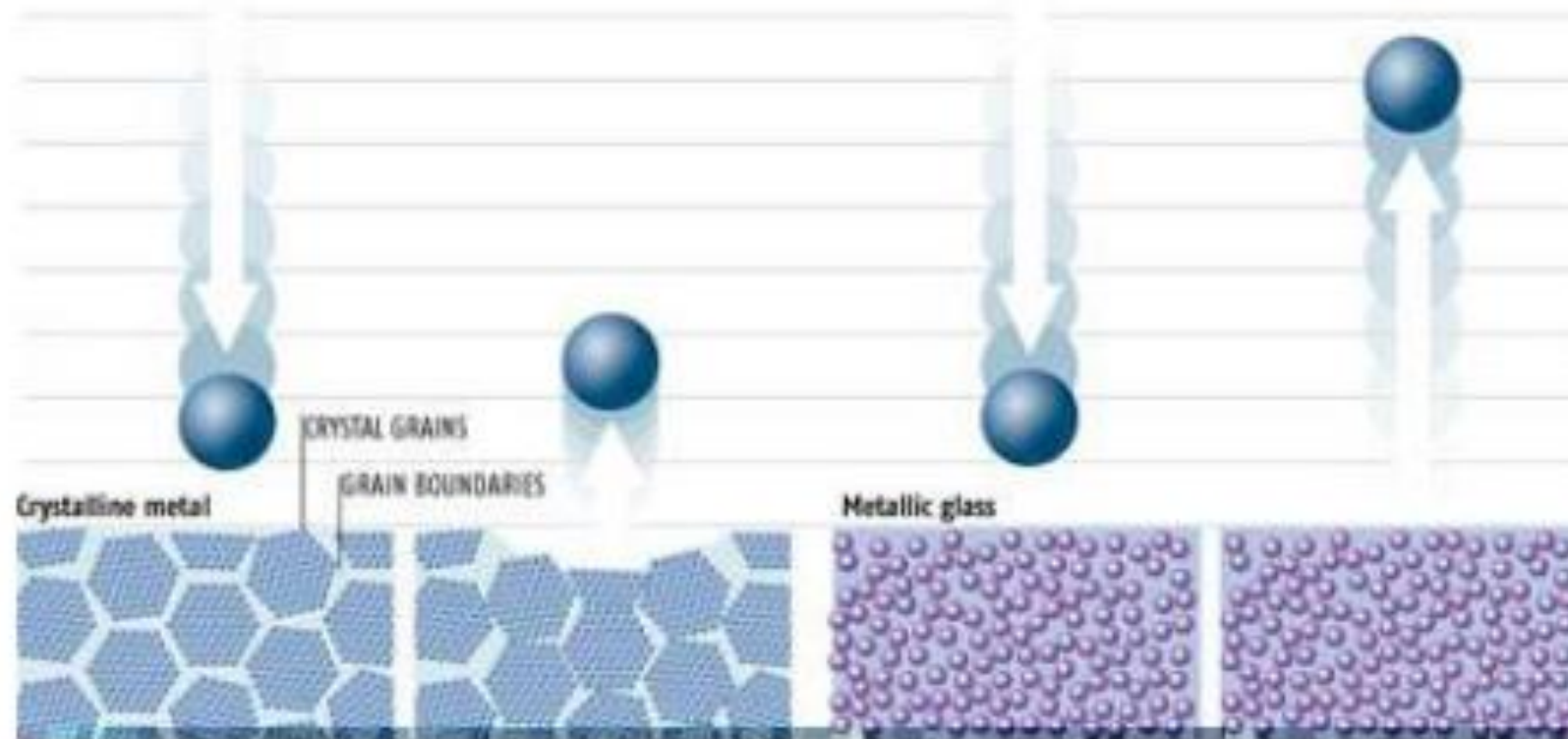
Właściwości szkieł metalicznych



Obraz mikrostruktury stopów na bazie tytanu wykonany skaningowym mikroskopem elektronowym

Właściwości szkieł metalicznych

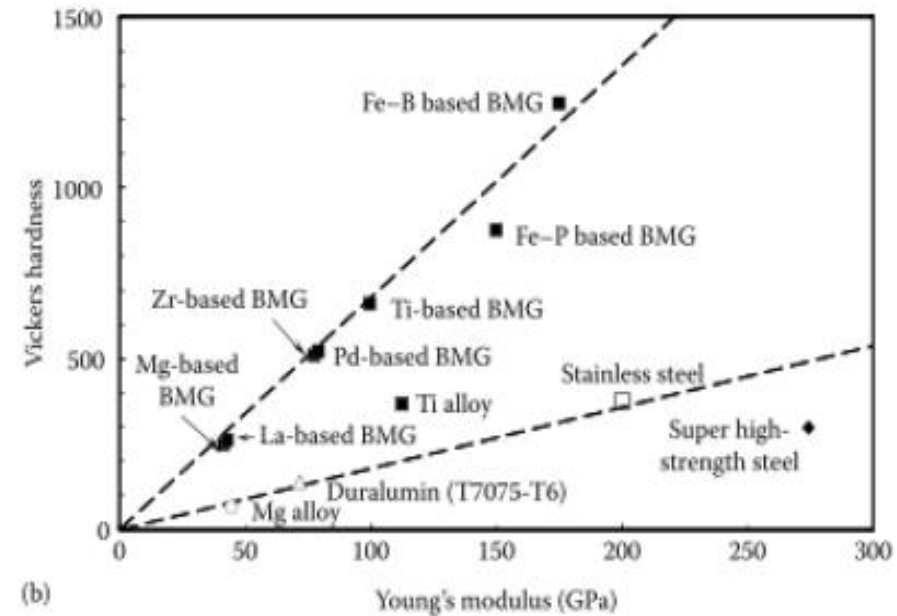
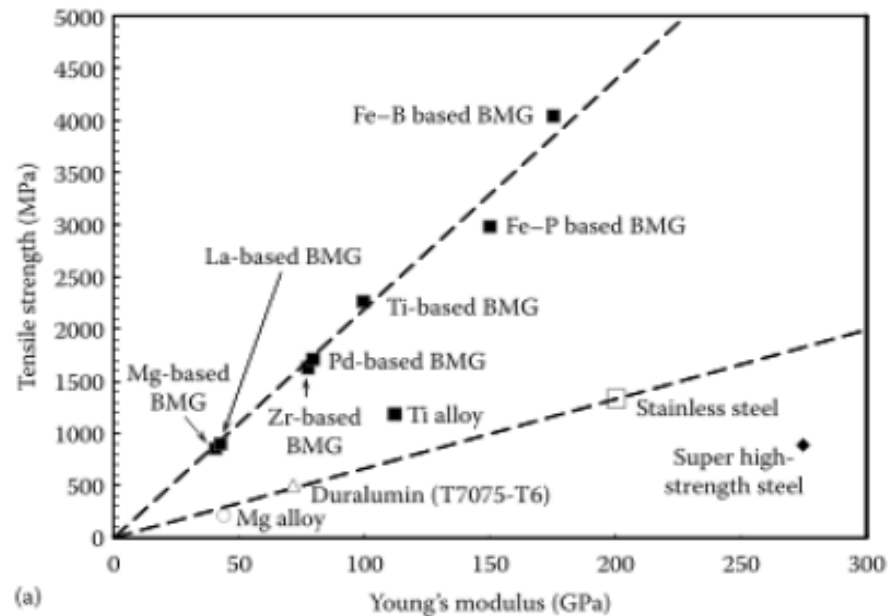
- Właściwości mechaniczne



Wpływ struktury materiału na jego sprężystość.

Właściwości szkieł metalicznych

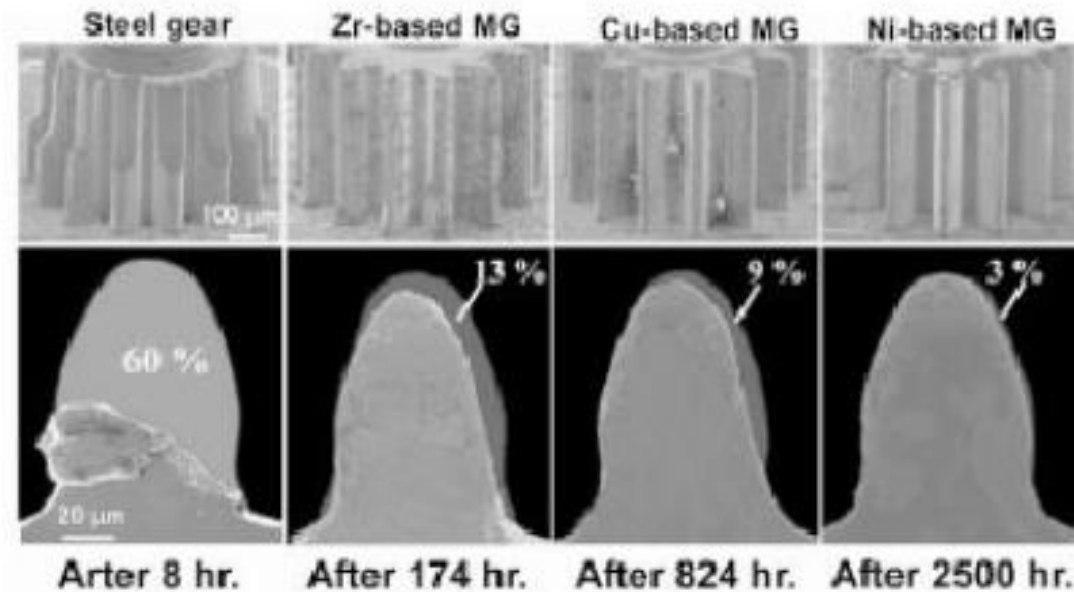
- Właściwości mechaniczne



Związek pomiędzy (a) wytrzymałością na rozciąganie (R_m) i modulem Younga (E) (b) twardością Vickersa (HV) i modulem Younga (E),

Właściwości szkieł metalicznych

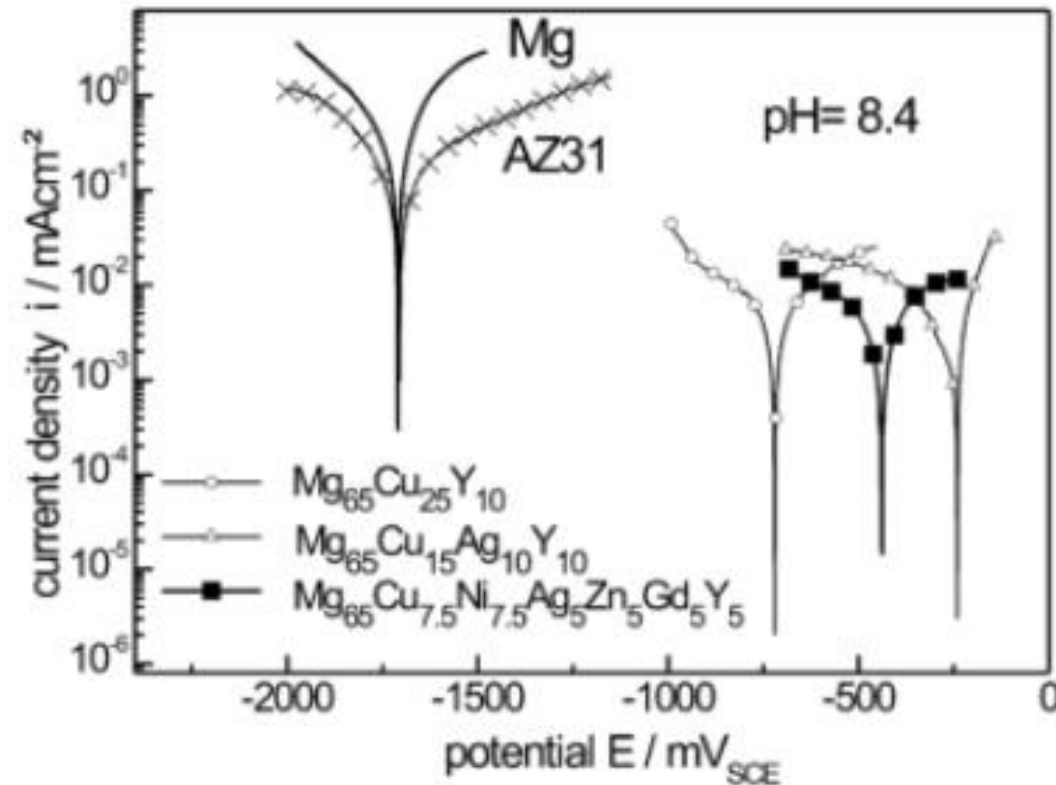
- Właściwości mechaniczne



*Pomiar wytrzymałości na zużycie kół zębatych wykonanych z stopów amorficznych na bacie Zr-, Cu-, Ni-
w porównaniu do stali narzędziowej SK4,*

Właściwości szkieł metalicznych

- Odporność korozyjna



! Wykres zależności gęstości prądu w stosunku do potencjału (pH=8.4, $sr=0.5V/s$)

Zastosowanie szkieł metalicznych

- Przyrządy sportowe



Zastosowanie szkieł metalicznych w sprzęcie sportowym (końcówki kija golfowego)

Zastosowanie szkieł metalicznych

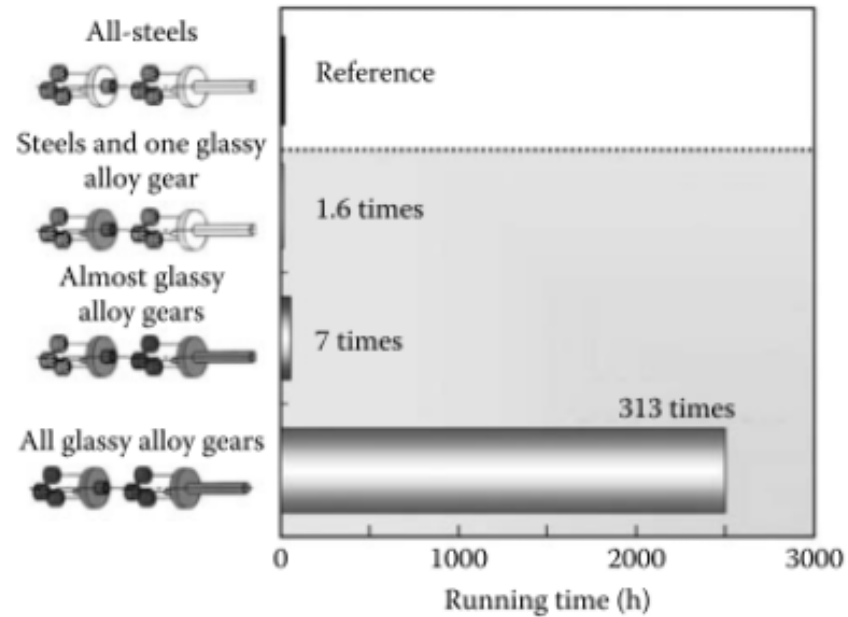
- Mikromechanizmy, elementy precyzyjne



Construction



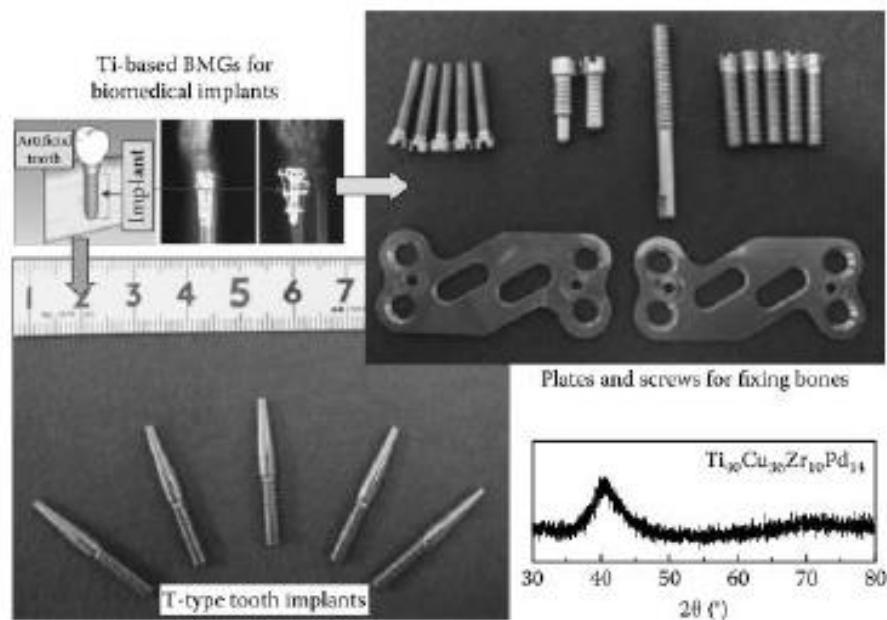
Product durability



Przykładowe zastosowanie szkieł metalicznych w mikromechanizmach

Zastosowanie szkieł metalicznych

- Medycyna



Zastosowanie szkieł metalicznych jako implantów oraz śrub gojących, wykonanych z masywne szkło amorficzne $Ti_{40}Zr_{10}Cu_{36}Pd_{14}$,

Zastosowanie szkieł metalicznych

- Przemysł jubilerski



Zastosowanie w luksusowych produktach