

# SAVREMENI TRENDovi U RAZVOJU METALNIH MATERIJALA

Dr Diana Ćubela, v. prof.  
Fakultet za metalurgiju i materijale

Unapređenje regionalne naučno – istraživačke saradnje između  
R Slovenije i BiH  
Metalurški institut “Kemal Kapetanović” , UNZE  
Zenica - 19.12.2012

# Nauka o materijalima i inženjering materijala (NOMIM)

- Nauka o materijalima i inženjering materijala uz genetiku, informatiku i telekomunikacije smatraju se generičkom vrstom nauke, tj. naukom čiji se rezultati istraživanja materijala i pripadnih tehnologija prenose u druge grane nauke i tehnike.

# Nauka o materijalima i inženjering materijala

- Jeffrey Wadsworth, predsjednik i glavni izvršni direktor najveće svjetske neprofitne istraživačke organizacije Battelle Memorial Institute na TMS2013 simpozijumu na temu "Global R&D trendovi: Implikacije za Nauku o materijalima – ispitivanje ideja" govoreći o značaju Nauke o materijalima je izjavio:

# Nauka o materijalima i inženjering materijala

- “Zajednica NOM-a mora educirati i političare i javnost zašto je NOM važna za društvo i ekonomiju. Ljudi ne shvataju kako dugoročna investiranja u tehnologiju dovode do otkrića kao što su Si za IT ili metalurgija u istraživanjima svemira. Potrebno je ljude stalno podsjećati kako NOM doprinosi našem razvoju.”

# Nauka o materijalima i inženjering materijala

- Danas postoji oko 160.000 inženjerskih materijala.
- Nekada su se prvo razvijali novi materijali pa tek onda njihova primjena. Danas se materijali razvijaju na bazi zahtjeva tehničkih sistema u koje će biti ugrađeni.
- Zbog ovoga i razvoj tradicionalnih kao i novih materijala je često u sjenci gotovih proizvoda, skrivajući njihov fundamentalni značaj za razvoj tehnoloških inovacija i ekonomski razvoj.
- Dodatna vrijednost materijala se procjenjuje u vezi sa sistemima i proizvodima koje je bilo moguće napraviti kroz njihov razvoj.

# Nauka o materijalima i inženjering materijala

- Ranije je NOMIM svoj uspjeh uglavnom dugovao visoko sofisticiranim zahtjevima vojske, svemirskog istraživanja, nuklearne energije i elektronike.
- Danas pored ovih sektora ljudskog djelovanja razvoj NOMIM-a određen je i zahtjevima civilnih programa.

# Nauka o materijalima i inženjering materijala

- Sve starija svjetska populacija traži sve više investicija u sektor zdravstvene njege što inicira razvoj biomaterijala kao i materijala za širok spektor medicinskih proizvoda.
- Transportni sektor zbog imperativa štednje energije i što manjih štetnih emisija u okoliš stalno traga za novim lakim strukturnim materijalima.
- Podizanje svijest o zaštiti okoliša inicira razvoj novih materijala sa stanovišta njihove čiste proizvodnje, mogućnosti njihovog recikliranja, novih izvora energije i sl.

# Trend razvoja metalnih materijala

- Iako metalni materijali imaju ozbiljne konkurente u polimerima i kompozitnim materijalima razvoj metalnih materijala ne posustaje bilo da se radi o dizajniranju novih materijala ili tehnoloških procesa kojima se mogu dobiti nove forme “starih materijala”.
- Za ovaj pregled odabrala sam prezentirati razvoj metalnih biomaterijala, metalnih materijala za automobilsku industriju, amorfni metalni materijala i metalnih pjena.



# Biomaterijali

- Raste broj zahtjeva za zamjenu oštećenih tkiva sa vještačkim implantantima napravljenim od biomaterijala (vještački kuk, zubni implantanti i sl.). Metalni materijali su najpodesniji za zamjenu oštećenih tvrdih tkiva do danas.
- Nehrdajući čelik, legure na bazi Co, Ti i njegove legure su tri osnovne grupe metalnih materijala koje se koriste za ove namjene.

# Biomaterijali

- Osnovni zahtjev da bi neki materijal bio biomaterijal je biokompatibilnost i netoksičnost
- Sa tog stanovišta najpovoljnije su legure Ti. Ti ima najbolju biokompatibilnost od svih metalnih materijala i krutost veću od krutosti ljudske kosti ali manju i od nehrđajućeg čelika i legura na bazi Co. Svakako najpoznatija legura Ti je nitinol (Ti-Ni).
- Zbog Ni koji je toksičan i koji kod većeg broja ljudi izaziva alergije istraženi su i drugi sistemi koji bi mogli imati ista ili slična svojstva leguri Ti-Ni.
- Novi metalni sistemi na bazi Ti su: Ti-Zr, Ti-Mo, Ti-Ta, Ti-Ta-Zr, Ti-Nb-Hf, Ti-Nb-Zr, Ti-Nb-Sn, Ti-Nb-Ta-Zr, Ti-Fe-Ta, Ti – Mo-Zr-Sn, Ti-Mo-Nb-Si, Ti-Mo-Ga, Ti-Mo-Ge, Ti-Mo-Al.



(a) Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr



(b) Ti-6Al-4V ELI



(c) SUS 316L

# Biomaterijali

- ◉ Gum metal (komercijalno ime) je superelastična Ti legura sa Youngovim modulom od 40 GPa i elastičnom deformacijom od 2,5%.
- ◉ Praktična primjena gum metala je za okvirove naočala.
- ◉ Hemijski sastav je sličan onom Ti–Nb–Ta–Zr sistema.
- ◉ Gum metal ima potencijala da se koristi za biomedicinski aplikacije ukoliko mu se modificira hemijski sastav.
- ◉ Deformacioni mehanizam gum metala nije u vezi sa dislokacijama ili mehanizmom dvojnikovanja, tj. još uvijek je nepoznat.

# Biomaterijali

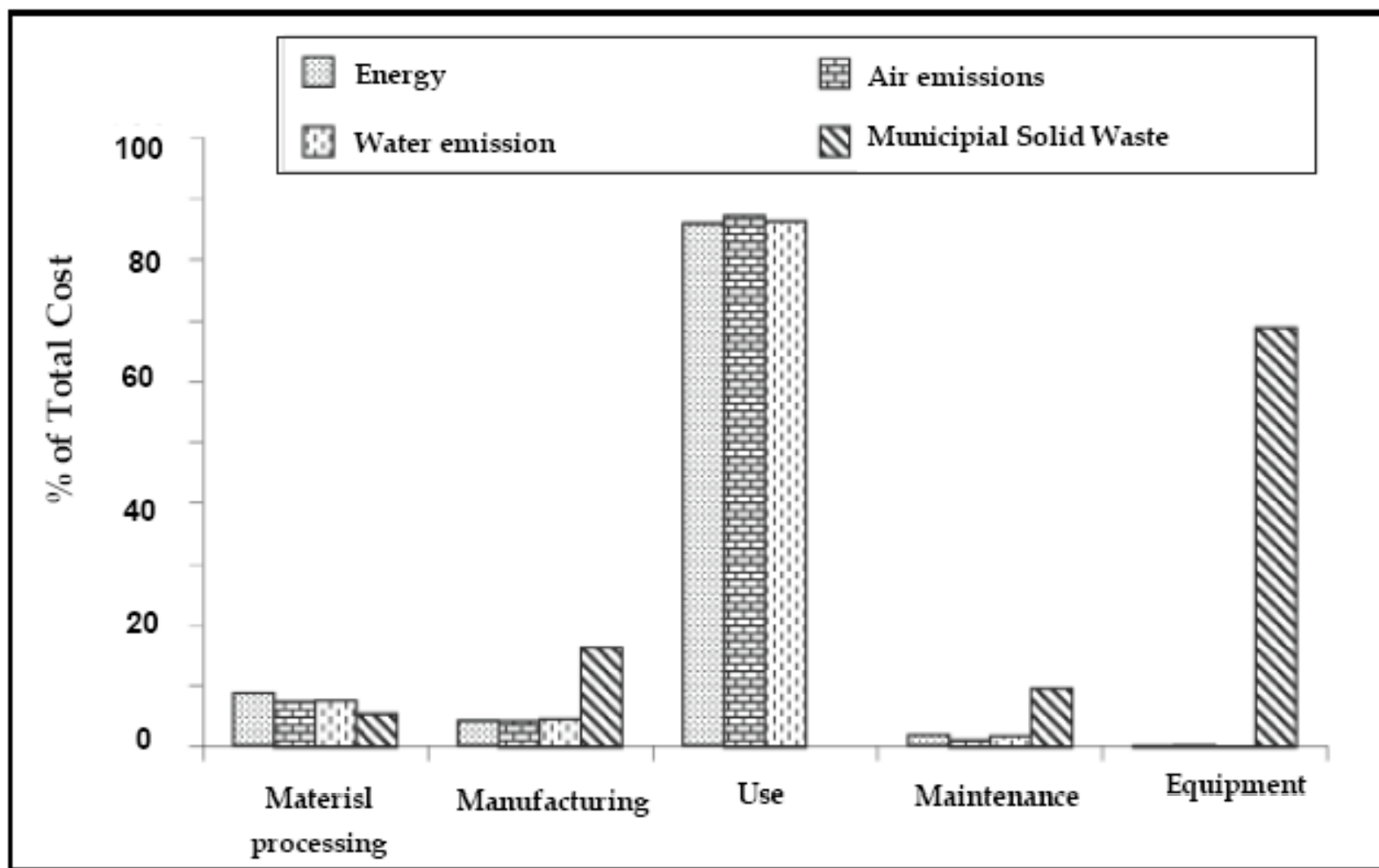
- Ag-Pd-Au-Cu je sistem koji se koristi za dentalne aplikacije.
- Zbog porasta cijena Pd, traga se za novim legurama, tj. legure Ti : Ti-Cr-Si, Ti-Pd-Cr, Ti-Cu-Ni, Ti-Al-V, Ti-Al-Nb, Ti-Ni su ozbiljni favoriti.

# Biomaterijali

- Metalni materijali koji se koriste za medicinske proizvode kao što su invalidska kolica i proteze su nehrđajući čelik, aluminijum i titan.
- Novi sistem koji se istražuju sa ovog stanovišta su: Ti-Fe-Cr i Ti-Fe-Cr-Al. Ove legure su jeftinije jer je jeftiniji ferokrom, a moguće je koristiti i reciklirani Ti koji sadrži Fe.

# Laki strukturni materijali

- Konkurencija na tržištu materijala za automobilsku industriju je oštra.
- Proizvođači čelika ulažu velike napore u inovacije i poboljšanja njihovih materijala i procesa obrade kako bi dobili lakše materijale i strukturne opcije.
- U isto vrijeme industrije Al i Mg kao i kompozitnih materijala ulažu velika sredstva u razvijanje alternativnih materijala kako bi se otvorile mogućnosti za lakša i ekološki prihvatljivija vozila.



Poređenje potrošnje energije, emisija u zrak i u vodu i količine komunalnog čvrstog otpada za životni vijek nekog prosječnog vozila 1995. [Izvor: Sullivan et al, 1998]



# Laki strukturni materijali

- Da li je neki materijali laki strukturni materijal određuje vrijednost specifične krutosti,  $E/\rho$ .

Property	Duplex Stainless Steel (1)	Austenitic Stainless steel			6061 Aluminium Alloy		High Strength Steel HSLA
		Annealed	C850(2)	C1000(3)	T4(4)	T6(5)	
Density: $\rho(\text{g/cm}^3)$	7.8	7.9	7.9	7.9	2.7	2.7	7.83
Yield Stress: $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	640	370	600	880	130	275	410
Specific Strength (N/mm <sup>2</sup> /g/cm <sup>3</sup> )	82	46.8	76	111.4	48.1	100	52.4

# Laki strukturni materijali

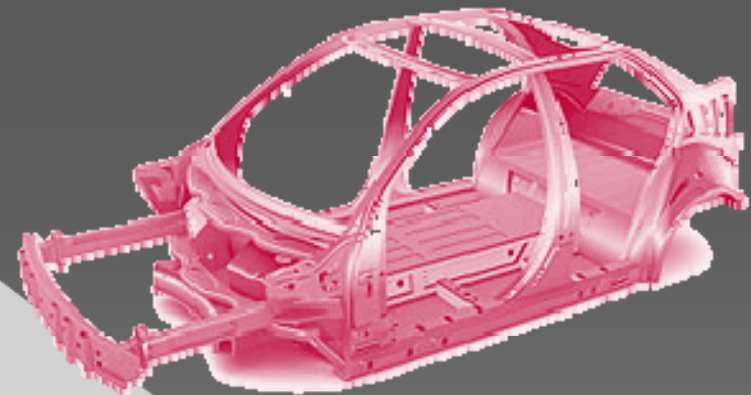
- Tijelo automobila, šasija i druge pogonske komponente su uglavnom napravljene od legura Fe i predstavljaju najveće komponente vozila po svojoj masi (64% tipičnog porodičnog automobila) pa su uštede u masi ovih komponentenata i najveće.
- Primarni razlog korištenja čelika u strukturi tijela automobila je njegova prirodna sposobnost da apsorbira udarnu energiju u slučaju sudara.
- Ovo u kombinaciji sa sposobnošću oblikovanja i spajanja čini ovaj materijal još uvijek prvim izborom za tijelo automobila.

# Laki strukturni materijali

- Al legure se u automobilskoj industriji uglavnom koriste za motor, transmisione dijelove i izmjenjivače toplote.
- Troškovi su i dalje najveća prepreka korištenju Al legura za dijelove velikih dimenzija.
- The body-in-white (BIW) nudi najveće mogućnosti za redukciju mase koristeći veliku količinu Al.

# Laki strukturni materijali

- Moguća ušteda je 50%, što bi dalo konačnu redukciju u masi automobila od 20 – 30%.
- Postoje dva tipa dizajna koji imaju različitu filozofiju u korištenju Al. Jedna je ekstrudirani okvir a drugi je konvencionalni gdje su tijelo i šasija jedna cjelina (unibody) .
- Modernizovane verzije ova dva tipa su u Fordu2000 i Audi AL2. U oba slučaja ostvarena je ušteda od oko 40% na BIW.



# Laki strukturni materijali

- Mg je 33% lakši od Al i 75% od čelika. Koroziona otpornost modernih, visoko čistih legura Mg je bolja od konvencionalnih odlivaka Al legura, kao i poroznost.
- Nedostatak Mg su njegova loša mehanička i fizička svojstva što zahtijeva jedinstven dizajn za primjenu u automobilskoj industriji.

# Laki strukturni materijali

- Mg-Al-Sr sistem je novija vatrootporna legura. Koristi je BMW za blok motora. Ovaj sistem ima izvrsna mehanička svojstva i dobru otpornost na koroziju i izvrsnu livkost.
- Legure Mg uz dodatak Sr imaju i bolju otpornost na puzanje.
- Legure za kovanje se koriste u vrlo ograničenoj mjeri zbog još uvijek nerazvijenih odgovarajućih legura i nekih tehnoloških ograničenja uslovljenih heksagonalnom kristalnom strukturom Mg.

# Laki strukturni materijali

- Područje istraživanja legura Mg su procesi njihove obrade, razvoj novih legura, tehnike spajanja, poboljšanje mehaničkih svojstava, površinski tretmani (primjena teflonskih prevlaka Mg legura).

# Metalne pjene

- Metalne pjene je naziv za metalne materijale koji sadržavaju u sebi pore odnosno ćelije. Postoje četiri tipa metalnih materijala sa porama koji se međusobno razlikuju:
  - > Ćelijski metalni materijali (CMM)
  - > Porozni metal
  - > Metalne pjene (poseban slučaj poroznih metala).
  - > Metalna spužva

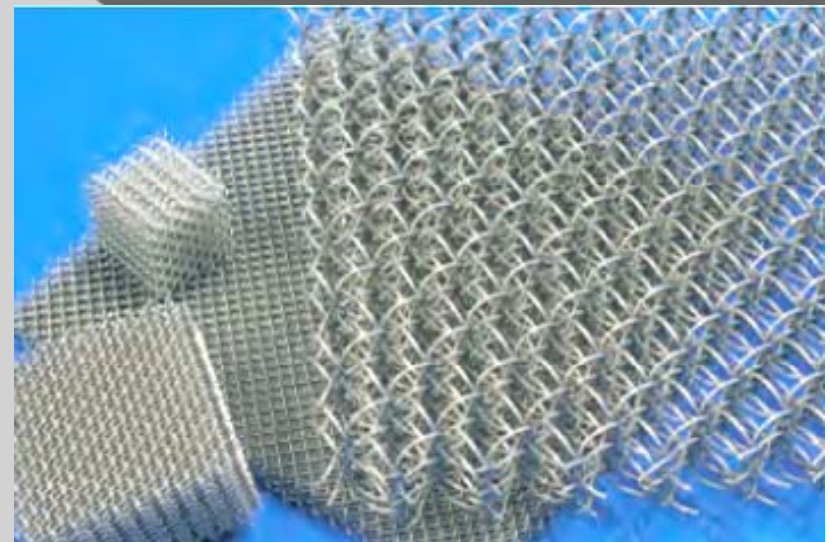
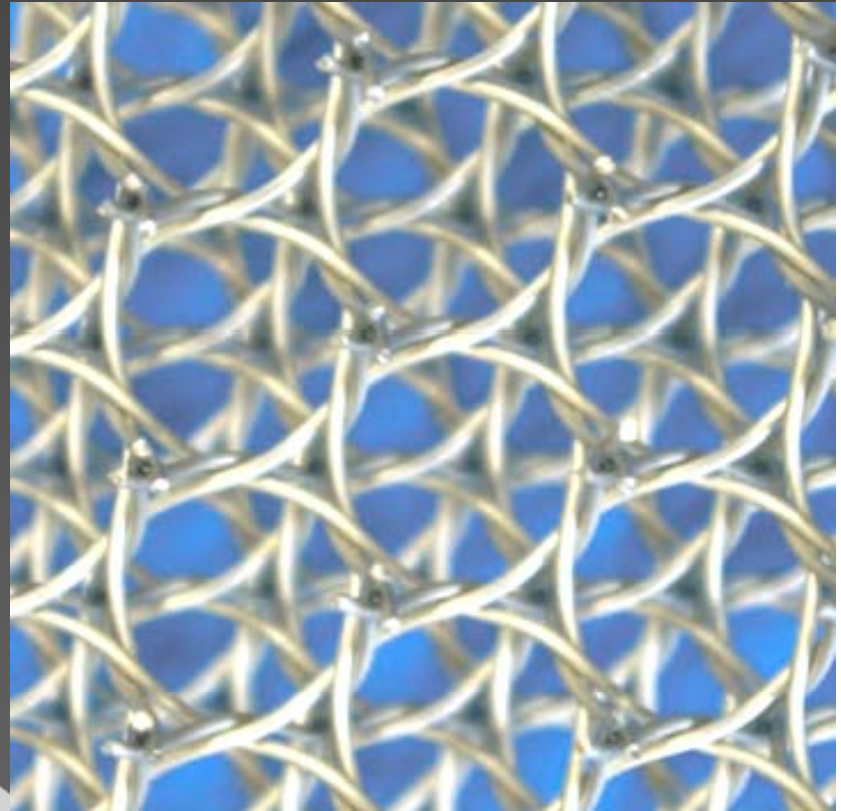


# Metalne pjene

- Metalne pjene su nova klasa materijala sa malom vrijednosti gustine i jedinstvenom kombinacijom mehaničkih i fizičkih svojstava koje su rezultat specifične strukture pjene i svojstava metalnog materijala.
- Redukcija mase je ostvarena količinom pora. Upotreba metalnih pjena ne samo da omogućava značajnu redukciju mase materijala, nego i kreiranje svojstava preko vrste materijala i ćelijske strukture u zavisnosti od primjene.
- Ta svojstva su apsorpcija zvuka, toplotna izolacija, apsorpcija energije, mehaničko prigušivanje, prijenos energije i materije ili katalitički efekti.

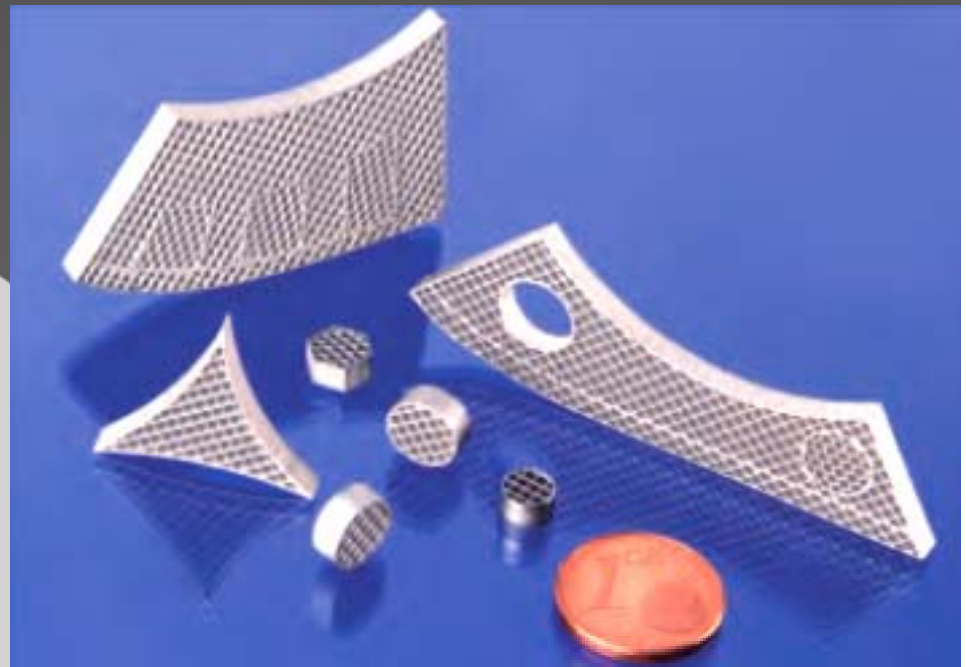
# 3D žičane strukture

- 3D žičane strukture su u potpunosti nova varijanta ćelijskih metalnih materijala. To su otvorene periodične strukture.
- Zbog velike fleksibilnosti u izboru osnovnog materijala (npr. Fe-, Ni-, Cu-, Al-, Ti), prečnik žice i podesiva veličina ćelije je npr. od 1 do 25 mm, moguće je prilagoditi vrijednost strukturne gustine do  $0,05 \text{ g/cm}^3$ .
- 3D žičane strukture karakteriše izvrsna specifična mehanička svojstva, niska vrijednost toplotne provodnosti i veliki kapacitet apsorpcije energije deformacije. Druga prednost je mogućnost dizajniranja specifičnih profila svojstava.
- Primjena 3D žičanih struktura može biti ojačavanje ekstremno lakih konstrukcija ili odlivaka izloženih visokim opterećenjima. Zatim se mogu koristiti kao izmjenjivači toplote, kao zaštita od eksplozije i u biomedicini.
- Ovi materijali se mogu koristiti i kao multifunkcionalni konstrukcioni elementi u građevinarstvu.



# 3D štampane čelijske strukture

- 3D štampane čelijske strukture nude prednosti tehnologije štampanja podesne za masovnu proizvodnju zajedno sa klasičnim tehnikama Rapid Prototyping.
- Ovo omogućava proizvodnju dimenzijski malih preciznih mikrostrukturnih dijelova u velikoj količini uz niske troškove.



# Metalne pjene

- Jedan od načina proizvodnje je štampanje suspenzije metalnog praha i veziva sloj po sloj dok se ne dostigne željena visina.
- Sa ovim načinom proizvodnje moguće je mijenjati strukturu svakog štampanog sloja, što omogućava istovremenu proizvodnju različitih dijelova.
- Kako se proces proizvodnje temelji na praškastoj metalurgiji moguće je proizvesti komponente skoro od svih metalnih prahova koji se mogu sinterovati.
- 3D metalno direktno štampanje se može koristiti za proizvodnju inovativnih komponenti koje su do sada bile nezamislive:
  - > Izmjenjivači toplote i regeneratori toplote
  - > Mikroprocesno inženjerstvo
  - > Mehanički optimalizovane strukture
  - > Katalizatori i nosači katalizatora
  - > Tehnologija gorivih ćelija
  - > Nakit i dekoracija
  - > Elementi za izolaciju i prigušivanje
  - > Medicinski uređaji
  - > Bioimplantanti

# Amorfni metalni materijali

- Do ranih devedesetih prošlog vijeka nije bilo moguće dobiti zapreminski amorfne metale sa prečnikom većim od 10 mm. Danas jeste.
- Sljedeći cilj koji istraživači žele postići je dobiti amorfne metalne legure prečnika od 30 do 50 mm za inženjerski važne sisteme legura kao što su legure na bazi Fe, Co, Ni i Cu.
- Konačan cilj je široka upotreba amorfni metalnih legura kao osnovnog materijala u svakodnevnom životu.

# Amorfni metalni materijali

- Prva amorfna legura je bila legura  $Au_{75}Si_{25}$  koju su napravili W. Klement, Willens i [Duwez](#) 1960. godine. Brzina hlađenja je bila  $10^6$  K/s. Zbog velike brzine hlađenja, amorfne legure je bilo moguće dobiti samo u obliku traka, folija ili žice.
- U devedesetim prošlog vijeka već su bile razvijene legure čija je kritična brzina hlađenja bila svega 1 K/s.
- Prva komercijalna legura je proizvedena 1992. godine pod imenom Vitreloy 1 (41.2% Zr, 13.8% Ti, 12.5% Cu, 10% Ni, and 22.5% Be). Bila je rezultat NASA-inog istraživanja novih materijala za aeronautiku i saradnje sa Kalifornijskim institutom tehnologije.
- Oak Ridge laboratorija i Univerzitet u Virđžiniji su 2004. godine izvjestili da su uspjeli proizvesti amorfni čelik. Istraživači Oak Ridge laboratorije su svoj proizvod imenovali kao staklasti čelik, koji je bio nemagnetičan na sobnoj temperaturi i sa značajno većom vrijednosti čvrstoće nego ona koju imaju konvencionalni čelici.



# Amorfni metalni materijali

- Karakteristike amornih metalnih sistema:
  - > Vrlo mali procenat slobodnog volumena u tečnom stanju zbog čega je i red veličine viskoziteta viši nego kod drugih metala i legura,
  - > Nizak procenat skupljanja u toku hlađenja i manji otpor plastičnoj deformaciji.
  - > Odsustvo granica zrna daje bolju otpornost na habanje i koroziju. Za razliku od oksidnog stakla i keramike amorfni metali su manje kruti.
  - > Njihova toplotna provodnost je niža od kristalnih.

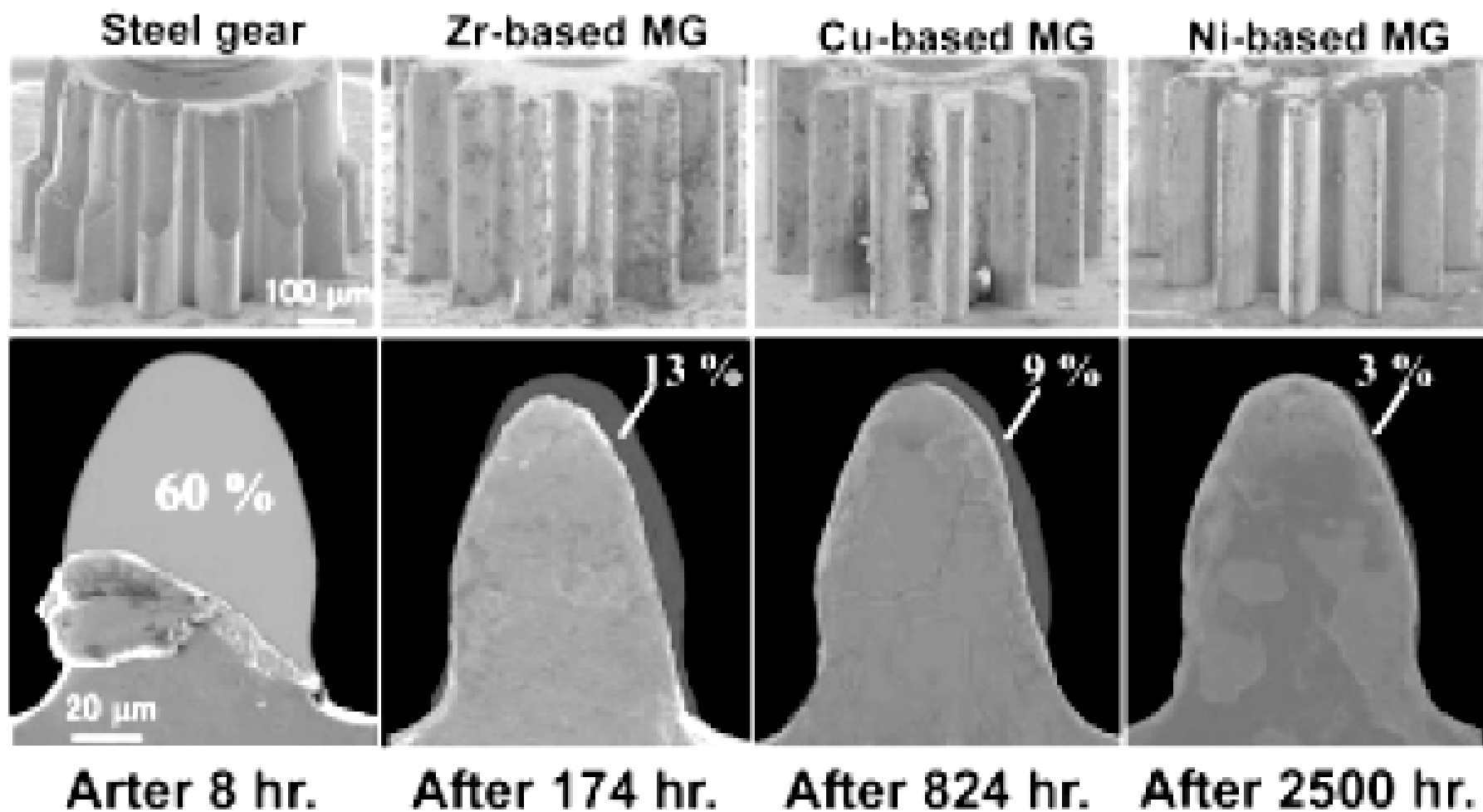
# Amorfni metalni materijali

- Amorfne legure su jače od kristalnih legura sličnog hemijskog sastava i imaju veću elastičnost. Veća čvrstoća ovih legura je rezultat odsustva defekata kristalne rešetke. Vitreloy legura ima skoro dvostruku vrijednost zatezne čvrstoće titana visokog kvaliteta .
- Metalna stakla na sobnoj temperaturi nisu duktilna i sklona su iznenadnom lomu kada su opterećena na zatezanje.
- Kao najkorisnije svojstvo amornih legura navodi se njihovo ponašanje na višim temperaturama, odnosno njihovo svojstvo da se ponašaju kao prava stakla. Zagrijavanjem omekšavaju i postaju tečljiva.
- To omogućava upotrebu proizvodnih procesa kao što je injekciono livenje. Zahvaljujući tome amorfne legure su našle svoju primjenu u proizvodnji sportske opreme, medicinskih uređaja, u elektronici i sl.



# Amorfni metalni materijali

- $\text{Ti}_{40}\text{Cu}_{36}\text{Pd}_{14}\text{Zr}_{10}$  je amorfna legura koja je tri puta jača nego titan, a njen modul elastičnosti je skoro podudaran sa modulom elastičnosti ljudskih kostiju. Legura, također, ima visoku otpornost na habanje, a u toku solidifikacije se ne skuplja.
- $\text{Mg}_{60}\text{Zn}_{35}\text{Ca}_5$  je legura koja je ispitivana kao biomaterijal za implantaciju u kosti u vidu vijaka, pločica i sličnih vezivnih komponenti da bi se fiksirao lom kosti.
- Za razliku od tradicionalnog nehrđajućeg čelika ili titana, ovaj materijal se rastvara u organizmu brzinom 1 mm/mjesečno i zamjenjuje sa tkivom kosti. Brzinu je moguće podesiti mijenjanjem sadržaja cinka.



Izdržljivost zupčanika napravljenih od amorfnih legura u poređenju sa čelikom SK24

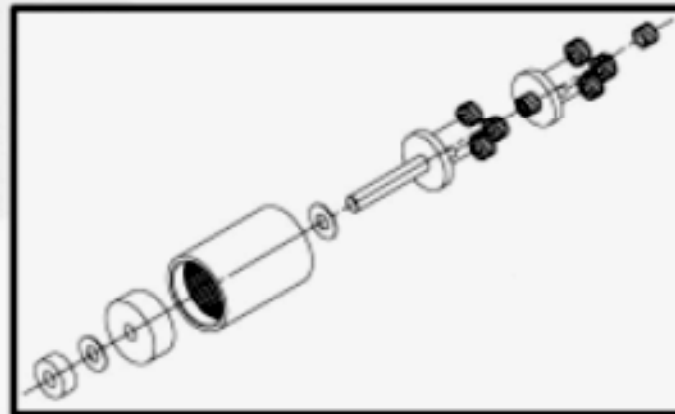
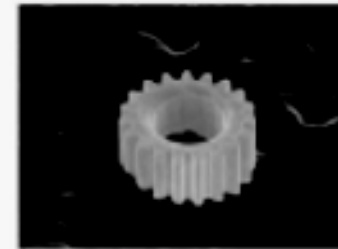


Micro geared-motor

Output shaft with carrier



Planetary gear



Carrier with sun-gear



Najmanji motor na svijetu; prečnik 1,5 mm:  
napravljen od zupčanika napravljenih od  
amorfne legure na bazi Ni

HVALA NA PAŽNJI!

# LITERATURA

- M. Niinomi, Recent research and development in titanium alloys for biomedical applications and healthcare goods, *Science and Technology of Advanced Materials* 4 (2003) 445–454
- L. Robinson, Material Science Thought Leaders Examine Global R&D Trends, *JOM*, Vol. 64, No. 12, 2012.
- P. Ernst, Materials Trends in Machine Industry, *Sulzer Technical Review*, 1/2005
- W. Zhang Rev. Development and Applications of Bulk Metallic Glasses, *Adv.Mater.Sci.* 18(2008) 1-9
- E. Ghassemieh, Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects, University of Sheffield, UK, [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)

# LITERATURA

- C. T. Liu, T. G. Nieh, Recent development of metallic materials
- R.A. Schultz, A. K. Abraham, Metallic Material Trends For North American Light Vehicles, [www.Autosteel.org](http://www.Autosteel.org)
- M. Niinomi, T. Hanawa, T. Narushima, Japanese Research and Development on Metallic Biomedical, Dental, and Healthcare Materials, JOM, 2005.