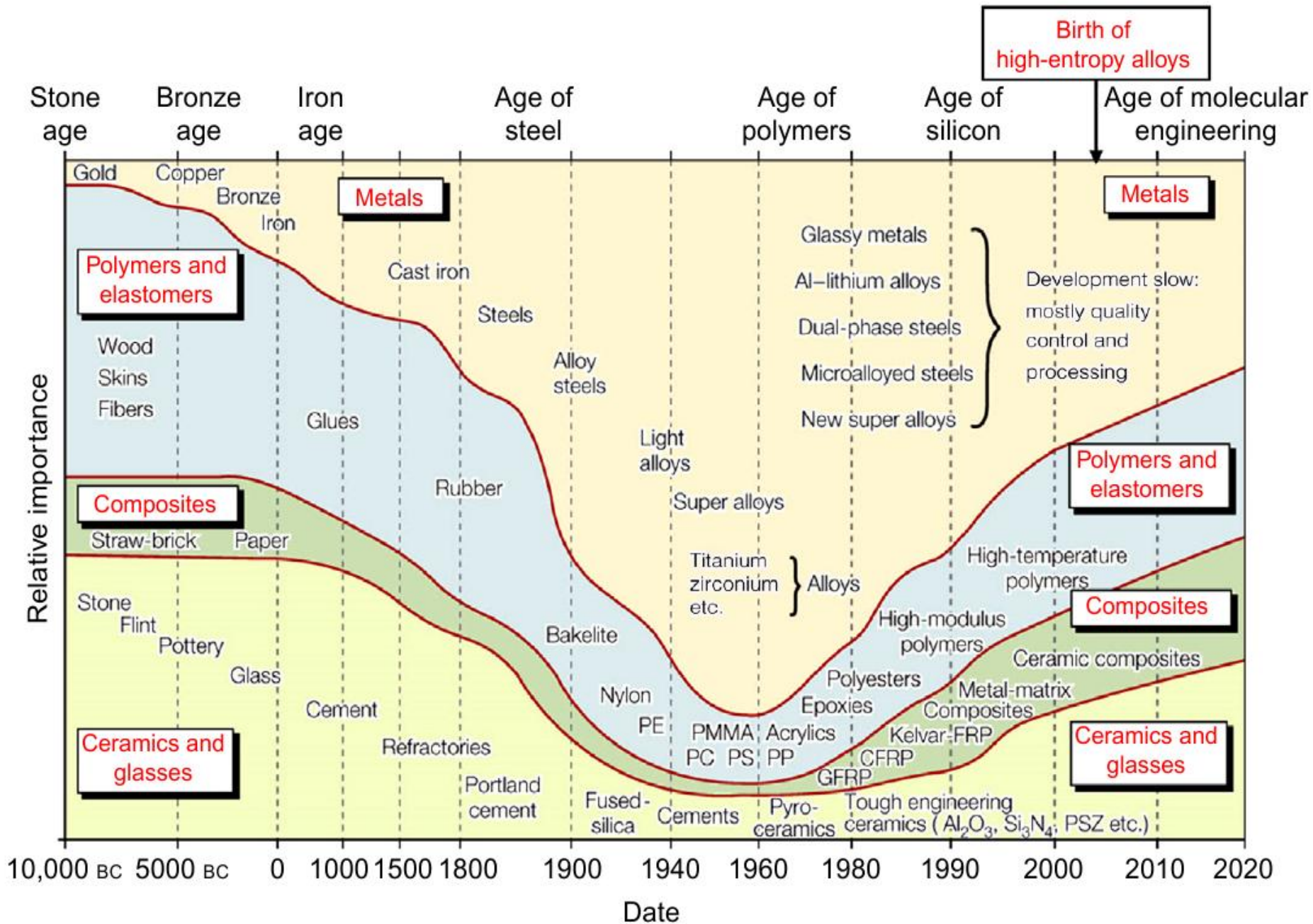


МЕТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ: ІСТОРИЧНИЙ ЕКСКУРС І ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ



О.М.Івасишин
Інститут металофізики
ім. Г.В.Курдюмова
НАН України

Київ, листопад 2016

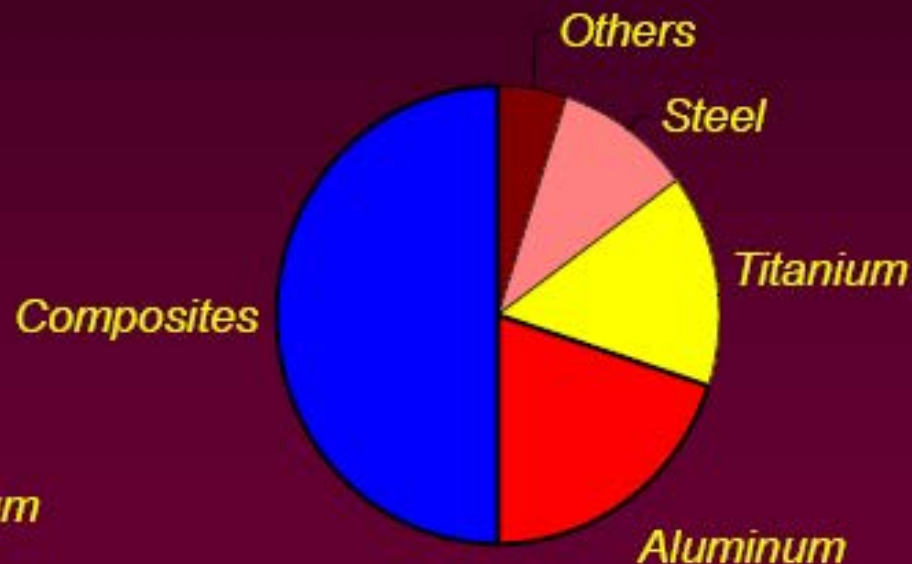
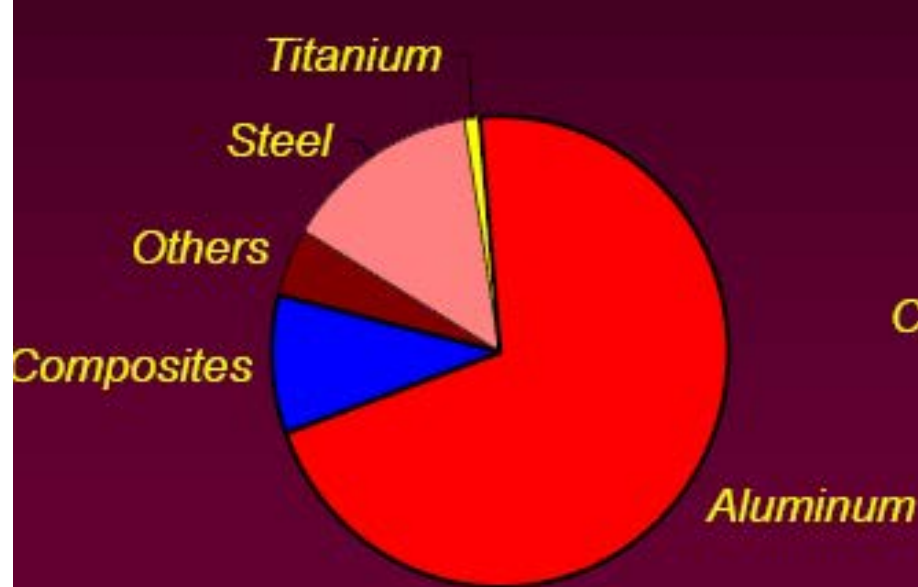


Еволюція використання матеріалів в планерах літаків Boeing

MD-80 [1980]

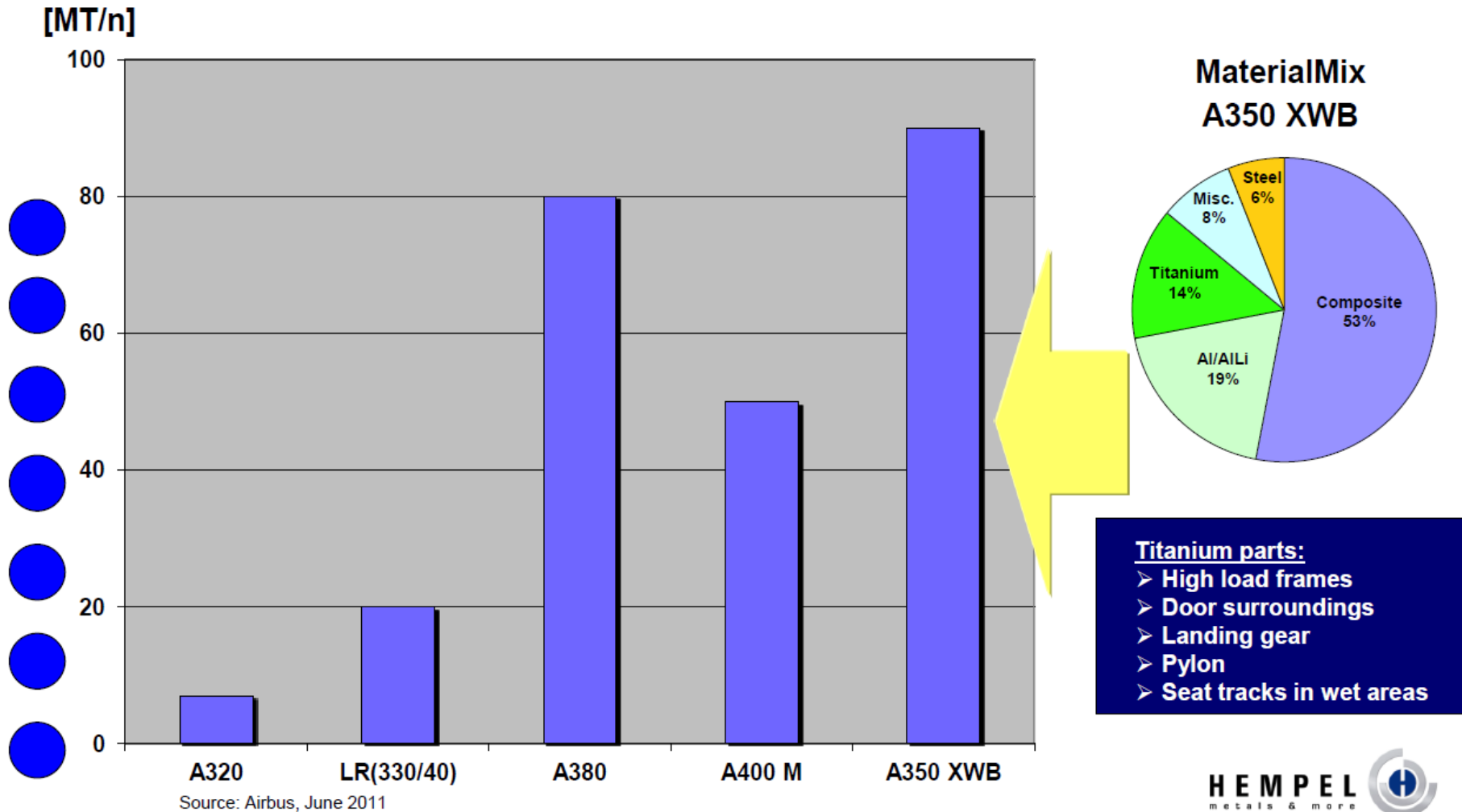


787 [2000]



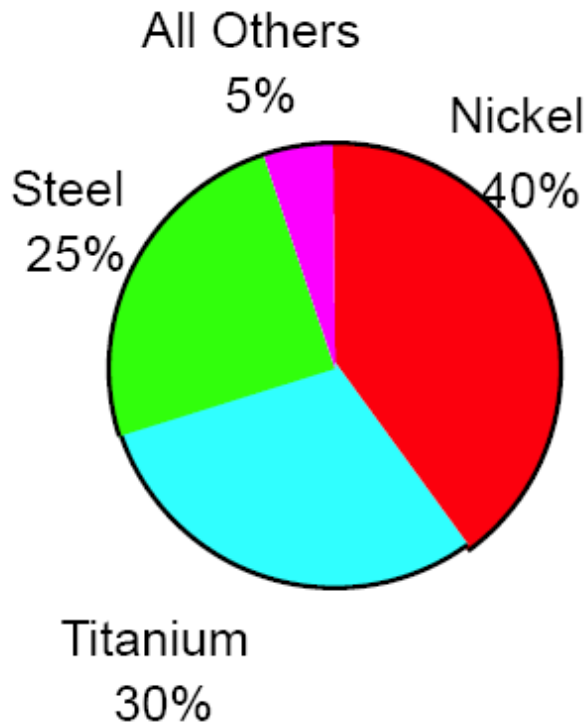
REF [1]

Конструкційні матеріали в планерах Airbus

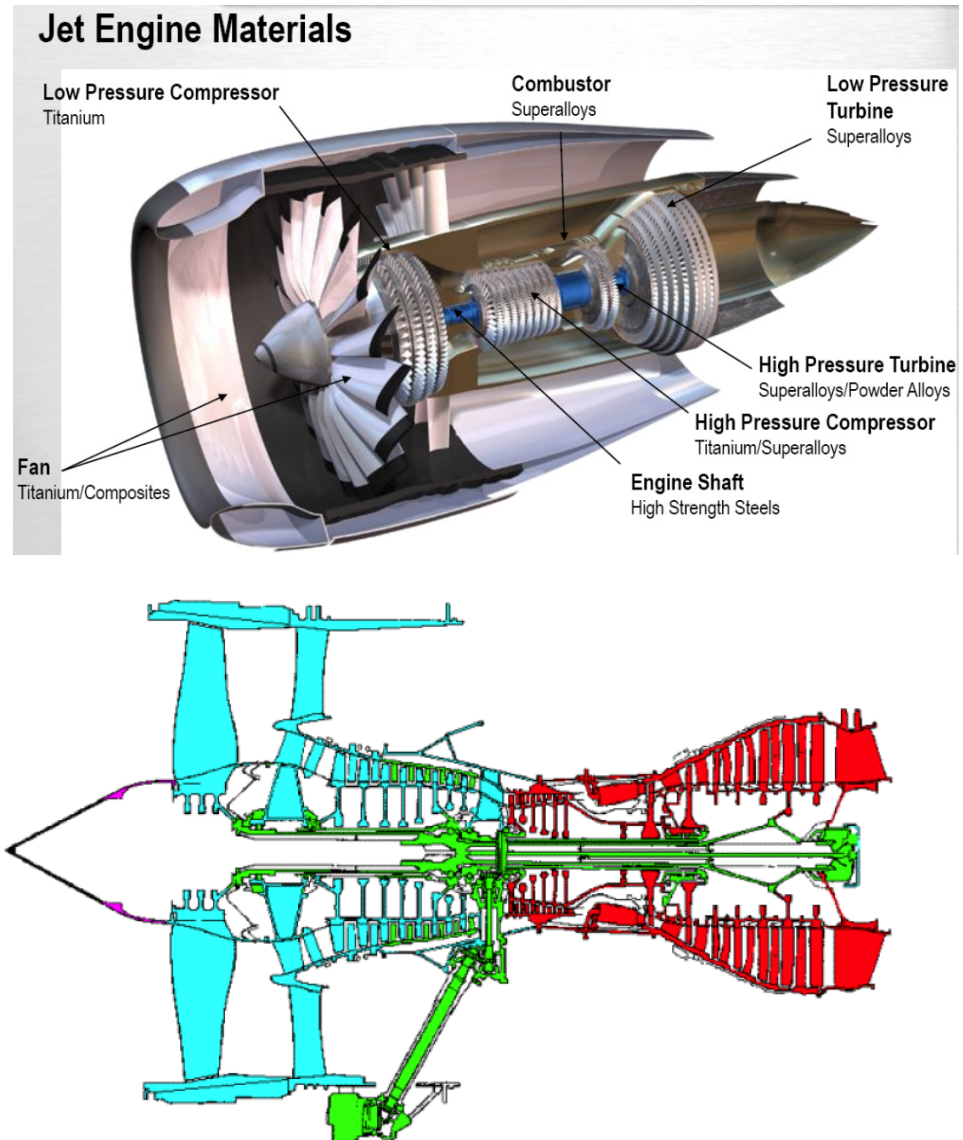


Матеріали в сучасних авіаційних двигунах

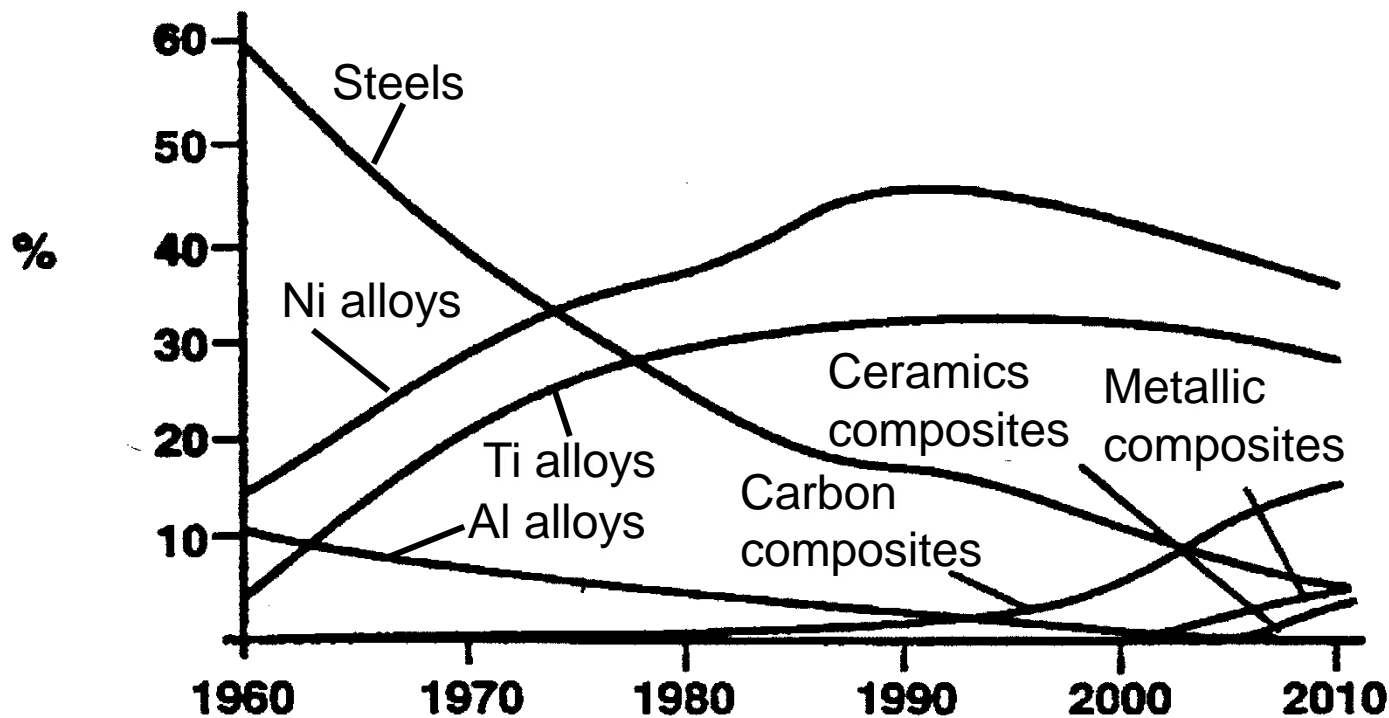
Alloy Content



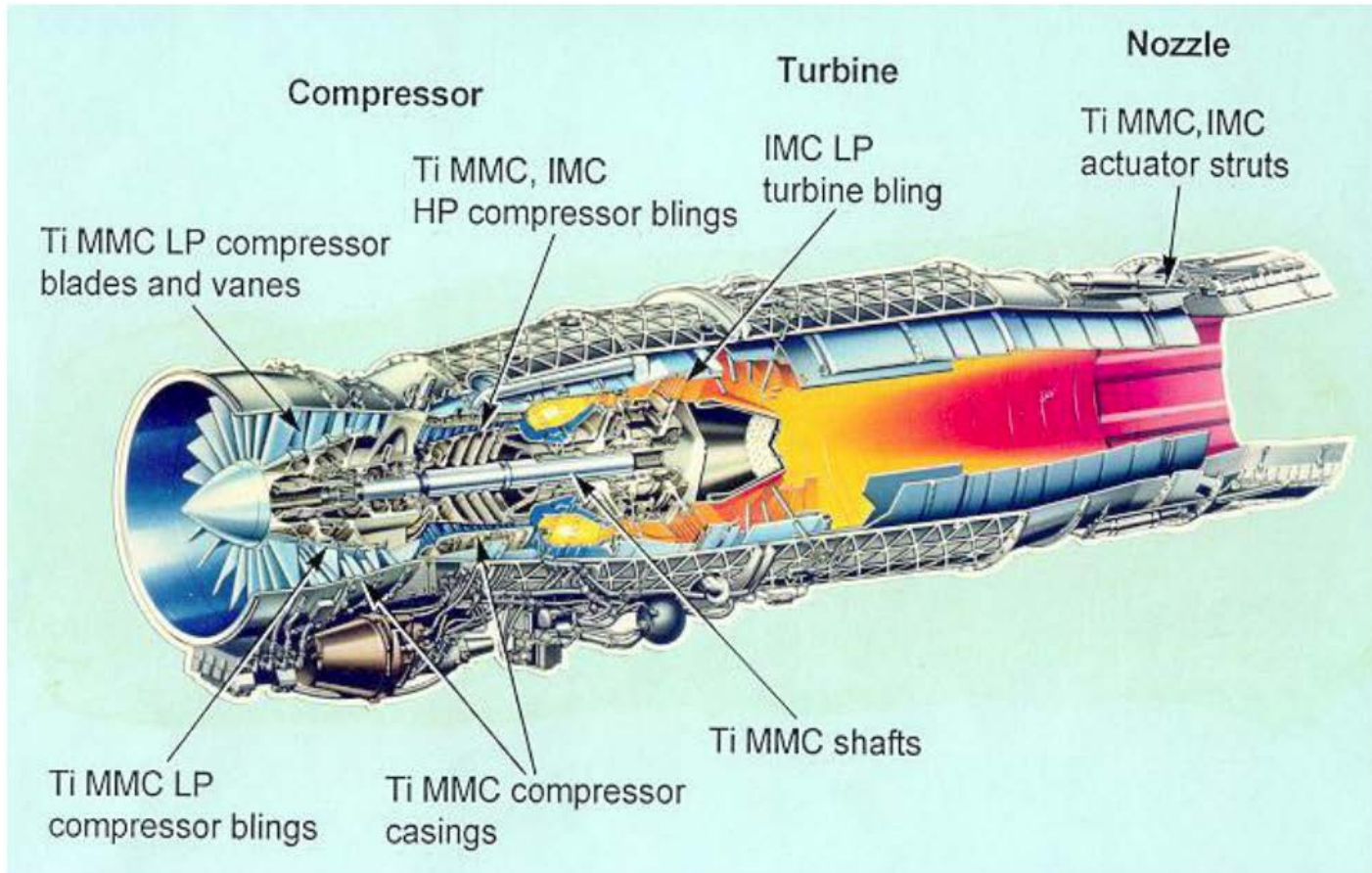
ITA2011: Rolls-Royce Data



Динаміка використання матеріалів в двигунах Rolls-Royce

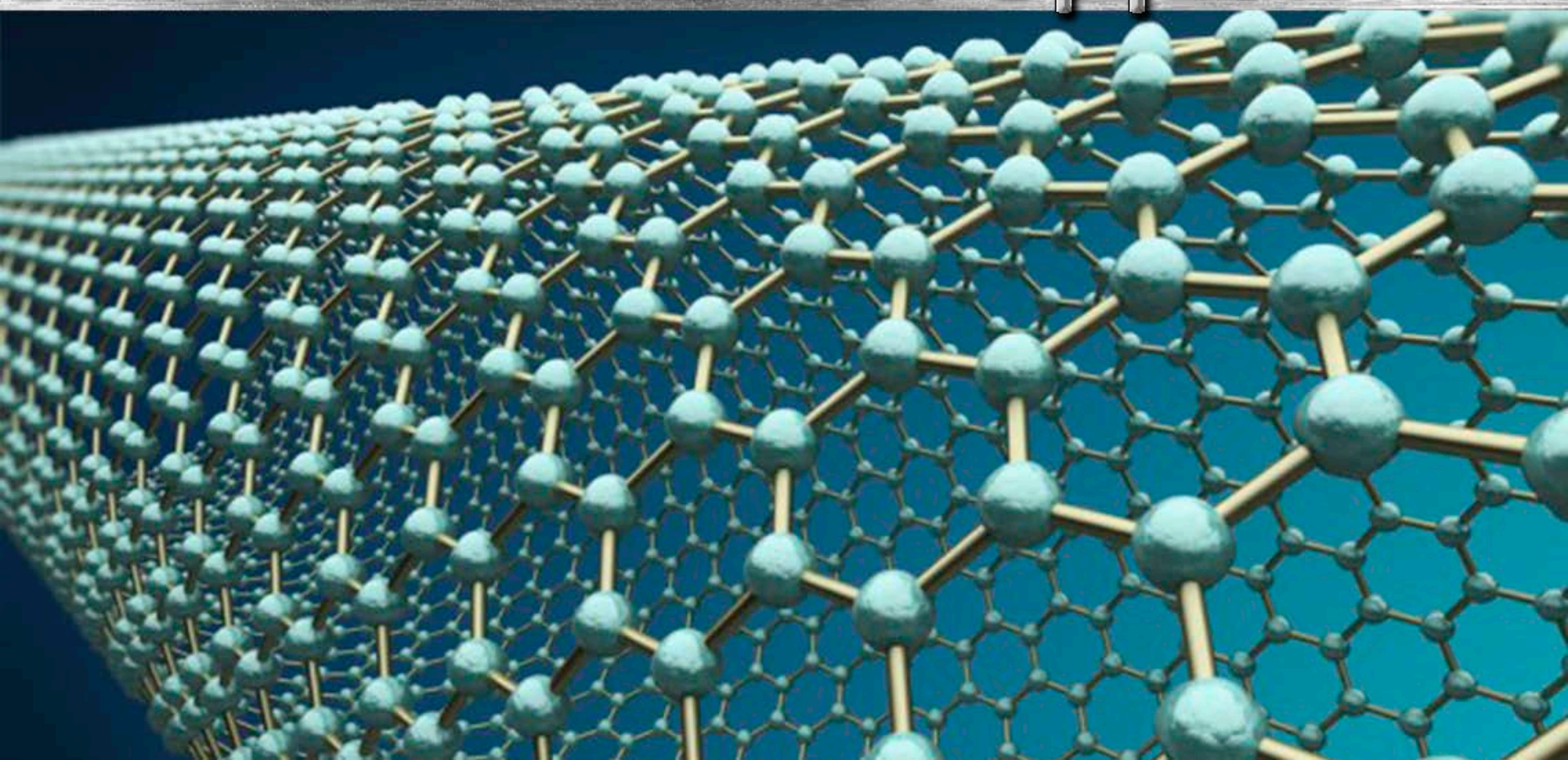


Зменшення маси за рахунок використання КОМПОЗИТІВ

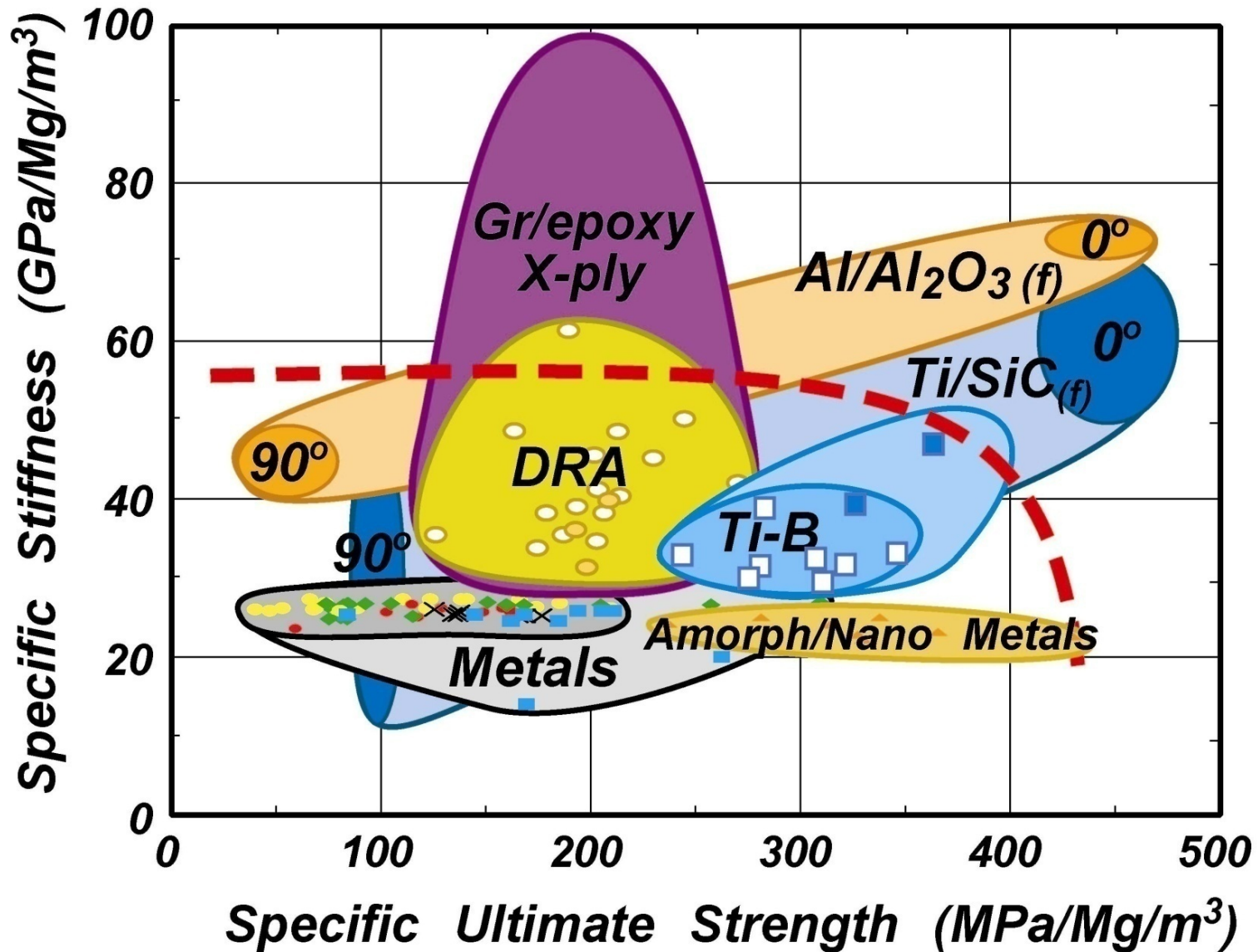


**ЧОМУ
ПРОГРАЮТЬ
МЕТАЛІЧНІ
МАТЕРІАЛИ?**

1. ЇХ ВЛАСТИВОСТІ НЕ ЗАВЖДИ ВІДПОВІДАЮТЬ ЗАПИТАМ СЬОГОДЕННЯ



Співвідношення між питомою міцністю і питомою жорсткістю



Преваги композитів



Very high specific strength and specific stiffness.

ITA Conference San Diego, CA October 3, 2006

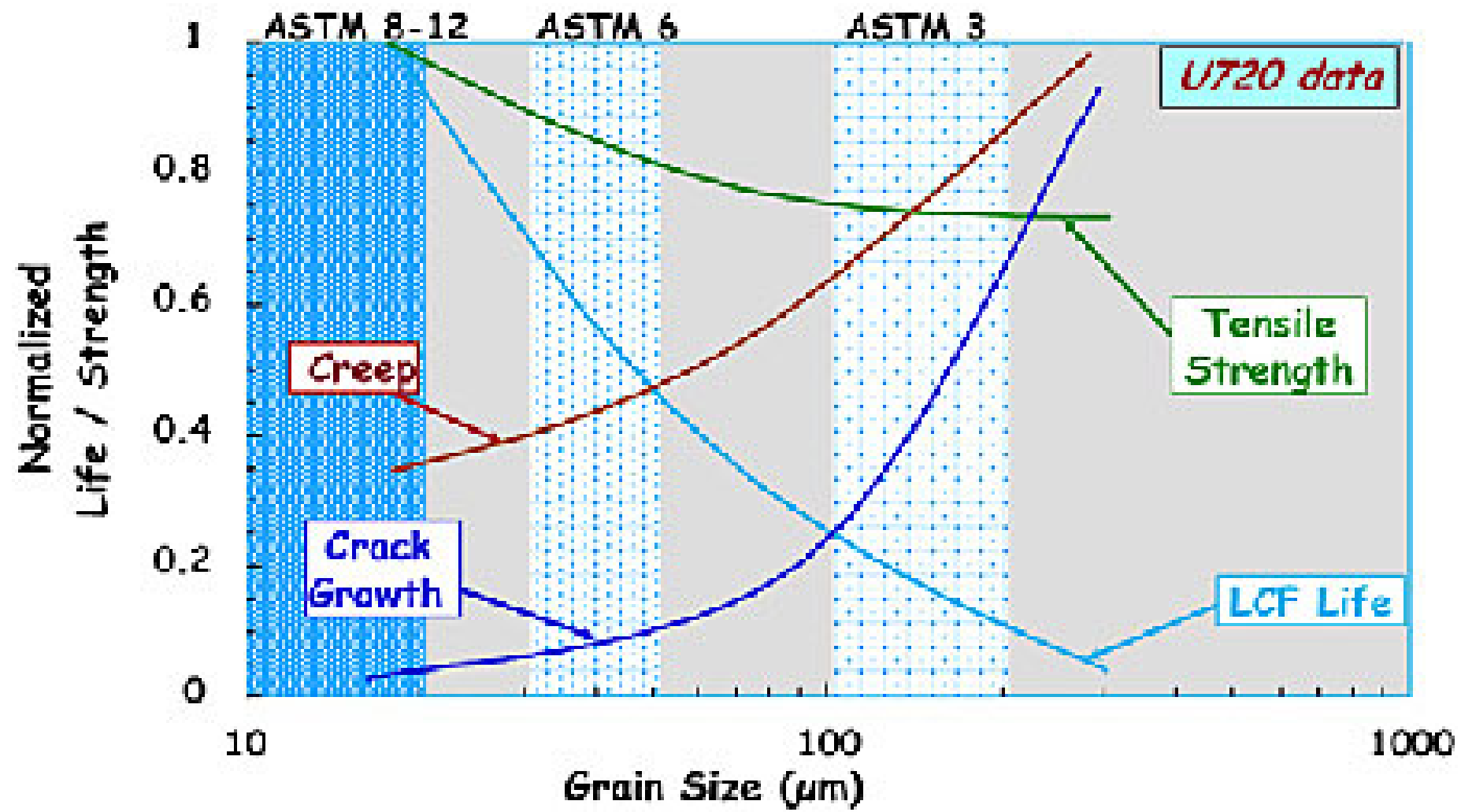


Extensive metallic substructure is required in conjunction with composites

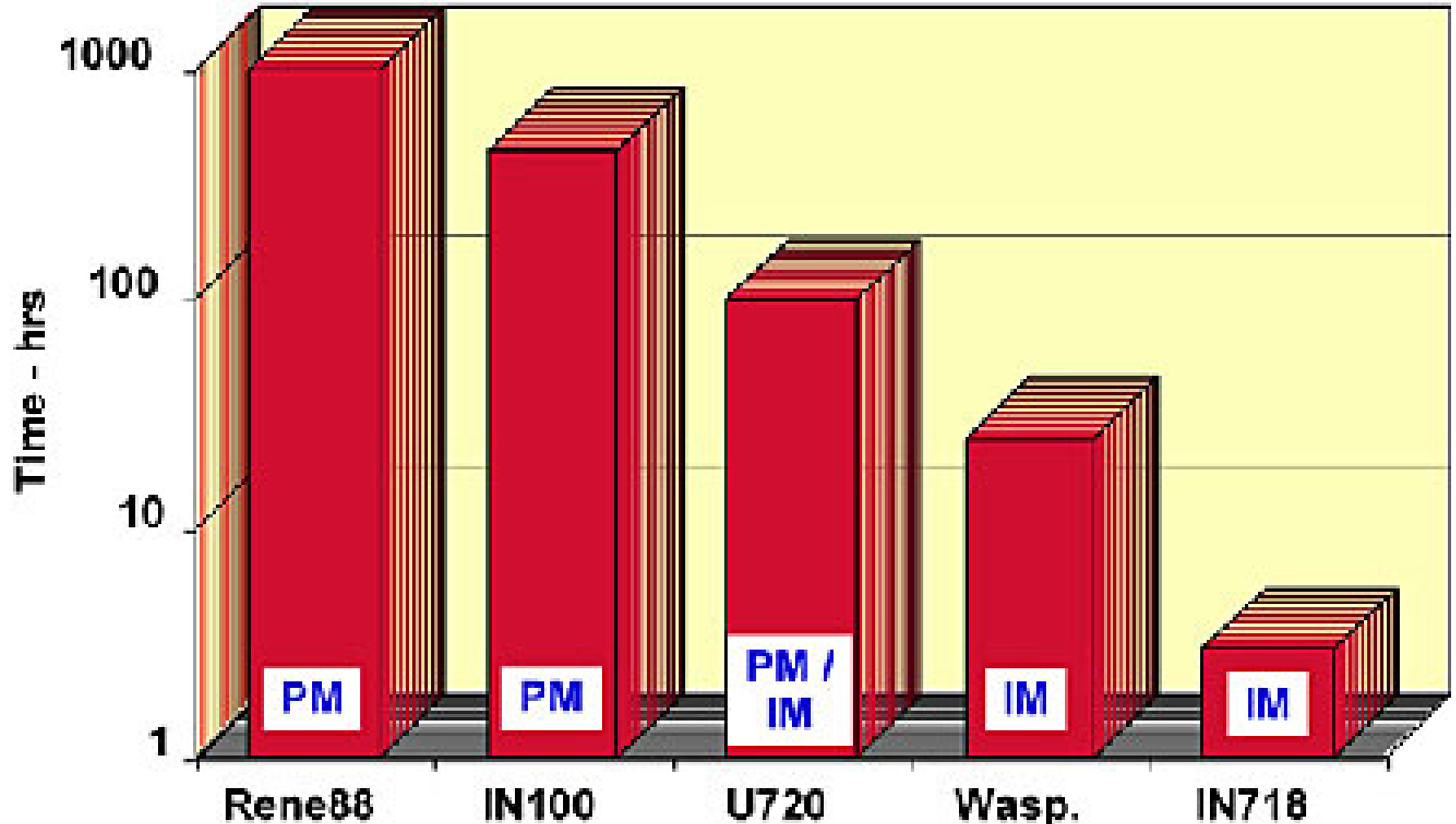
2. ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДАЛЕКО НЕ ВСІ РЕЗЕРВИ МЕТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ



Вплив розміру зерна на властивості нікелевих сплавів

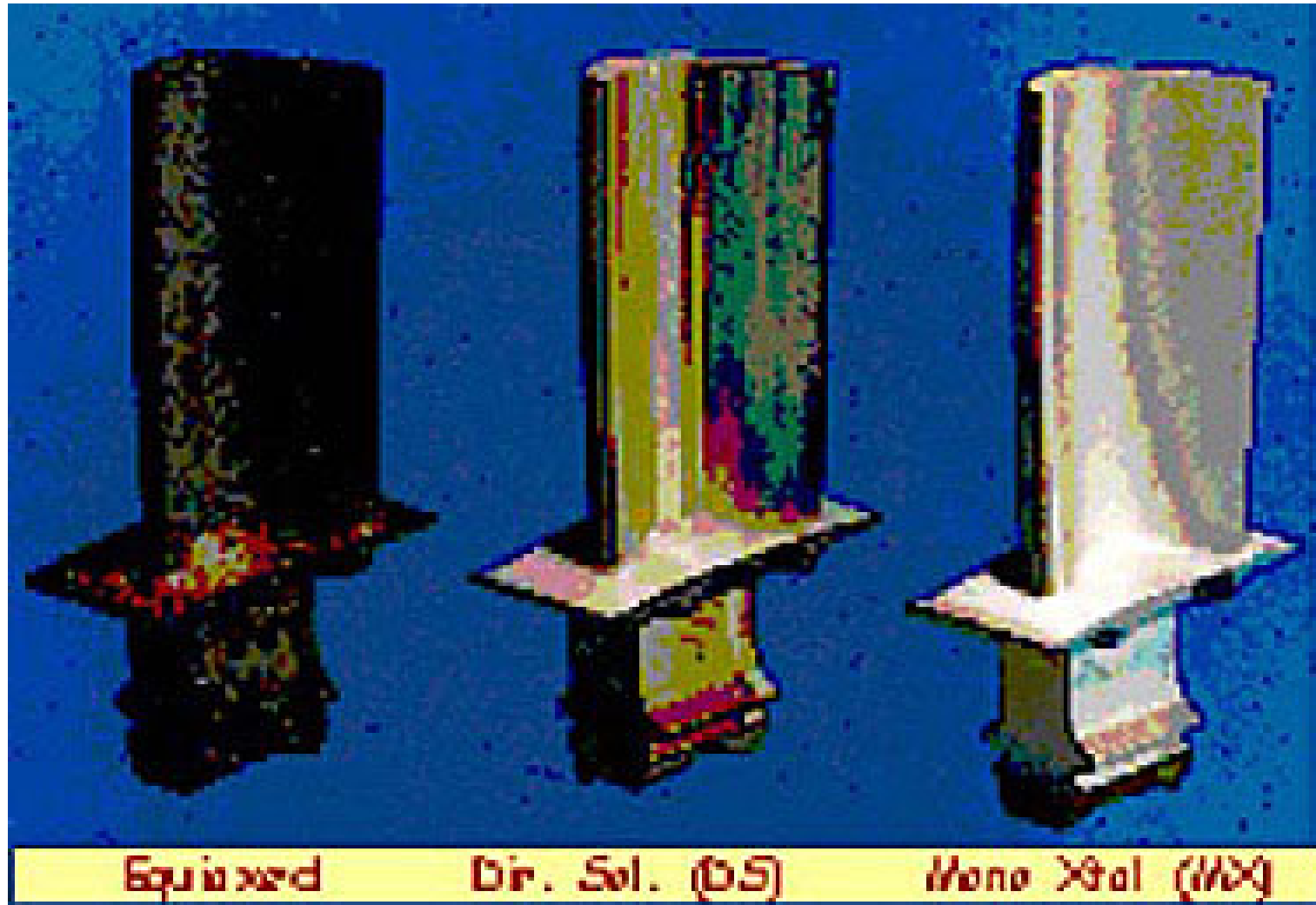


Жароміцні сплави на нікелевій основі



$T=650^{\circ}\text{C}$, $\sigma=800$ МПа, $\epsilon=0,2\%$

Різні типи макроструктури нікелевих сплавів



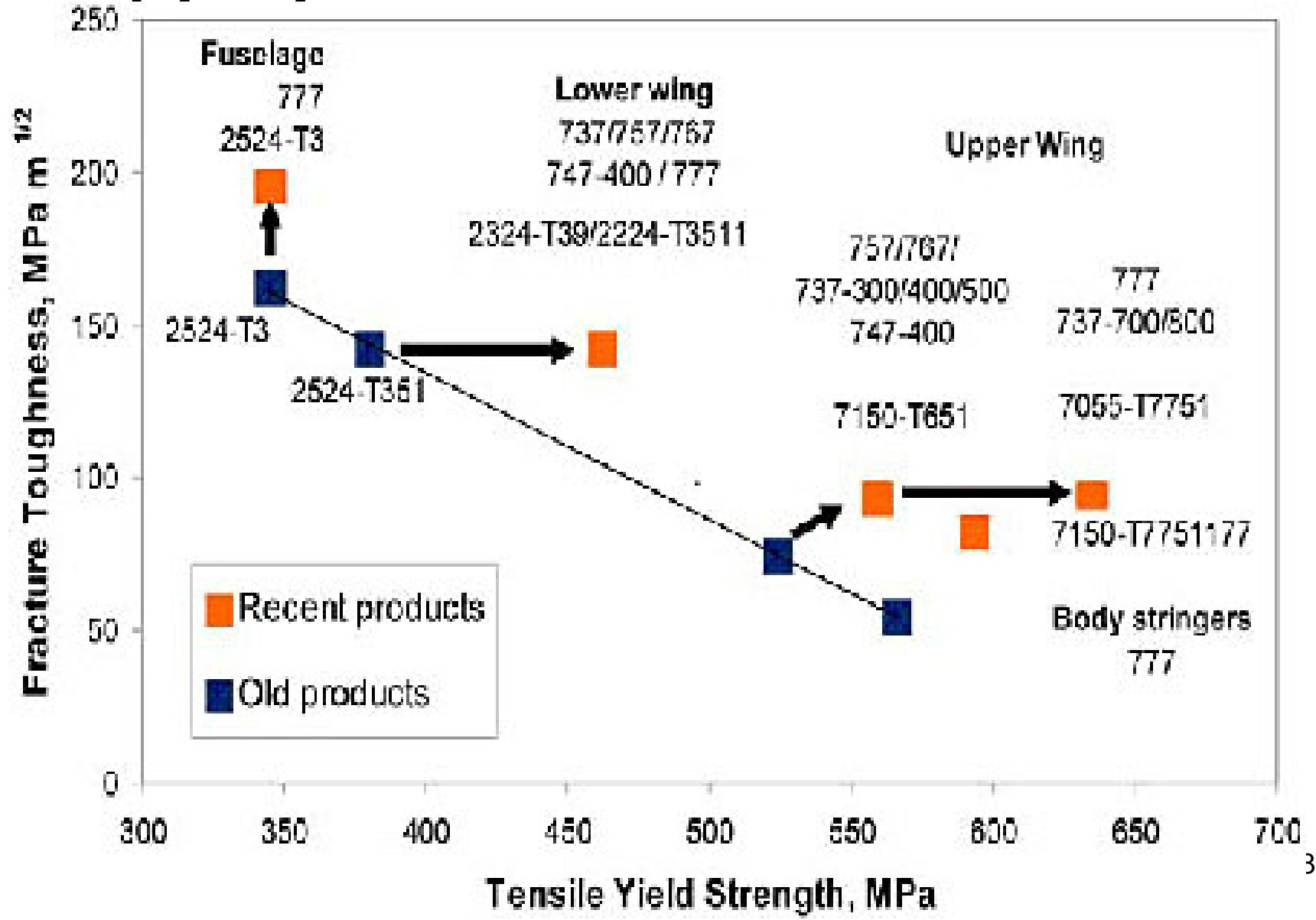
Температурні можливості нікелевих сплавів



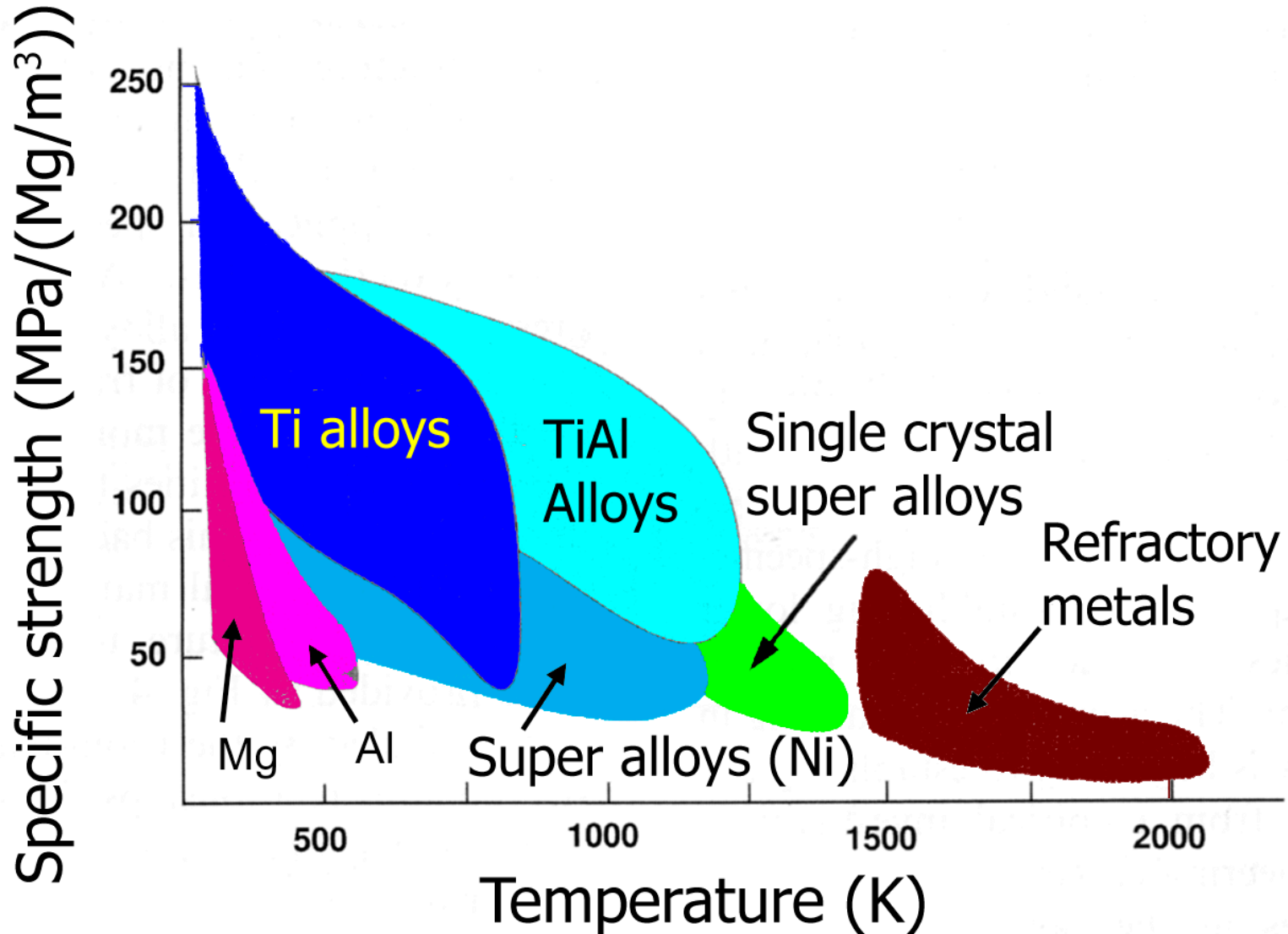
Фізичні основи покращення властивостей алюмінієвих сплавів

Property	Desired microstructural feature(s)	Function of feature(s)
Strength	Fine grain size with a uniform dispersion of small, hard particles	Inhibit dislocation motion
Ductility & toughness	Fine structure with clean grain boundaries and no large particle or shearable precipitates	Encourage plasticity and work hardening, inhibit void formation and growth
Creep resistance	Thermally stable particles within the matrix and on the grain boundaries	Inhibit grain boundary sliding and coarse microstructure
Fatigue crack initiation resistance	Fine grain size with no shearable particles and no surface defects	Prevent strain localization, stress concentrations, and surface slip steps
Fatigue crack propagation resistance	Large grain size with shearable particles and no anodic phases or hydrogen traps	Encourage crack closure, branching, deflection and slip reversibility
Pitting	No anodic phases	Prevent preferential dissolution of second phase particles
Stress corrosion cracking & hydrogen embrittlement	Hard particles and no anodic phases or interconnected hydrogen traps	Homogenize slip and prevent crack propagation due to anodic dissolution or HE

Співвідношення міцності і в'язкості руйнування алюмінієвих сплавів



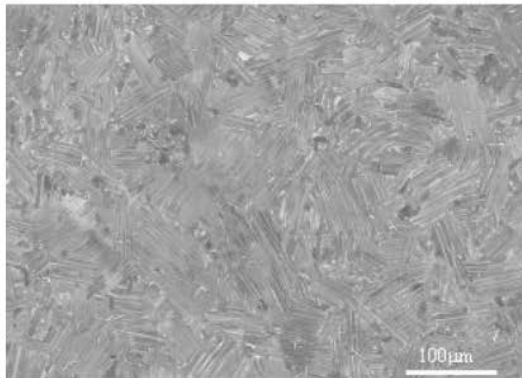
Температурна залежність питомої міцності



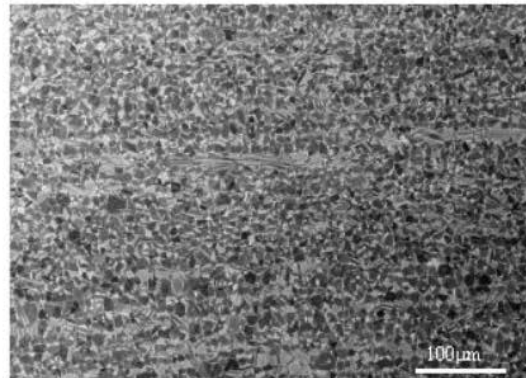
Високі температури: алюмініди титану

Ti Aluminides for lower density & greater temperature capability

- Cast and wrought technology development underway
- Cast 45-2-2XD™ early medium strength alloy
- High strength & temperature capable wrought alloys e.g. TNB



Cast 45-2-2XD™



Wrought TNB



Large civil LPT blade

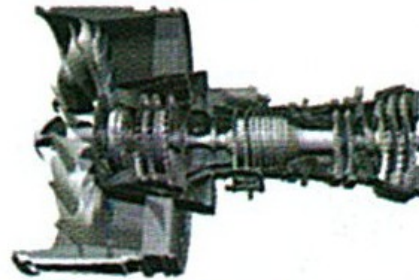
...ВЖЕ літають



Status on γ -TiAl applications (2)

The PurePower® PW1000G aircraft engine family will replace the V2500 series.

One of the innovations will be the use of TiAl blades in the last stage of the LPT (MTU Aero Engines)



Bombardier CSeries



Airbus A 320 NEO



Mitsubishi Regional Jet



TITANIUM
EUROPE2014

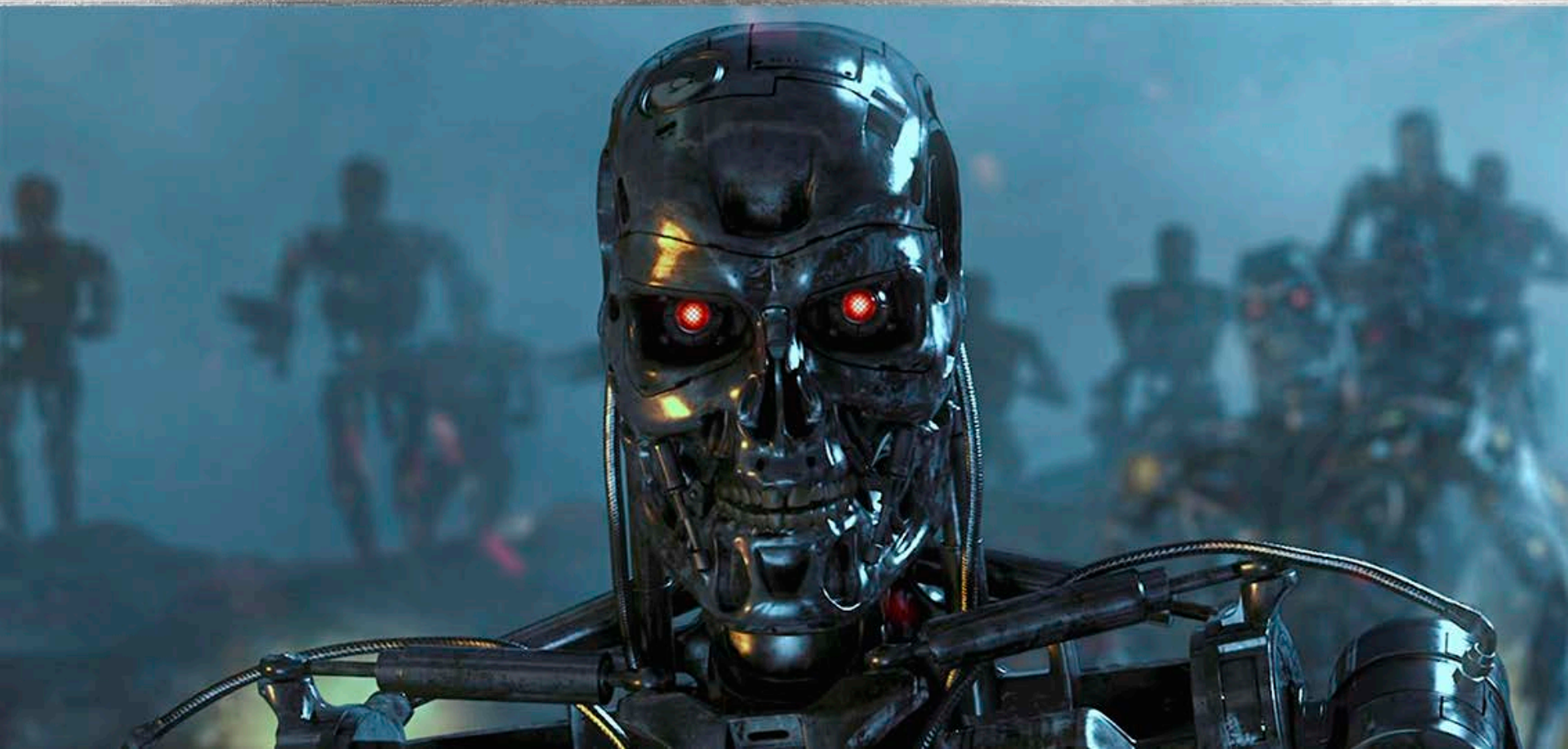
Volker Guether

Manufacturing and Properties of TiAl TNM Sheet Materials

May 19-21, 2014 • Hilton Sorrento Palace, Sorrento, Italy

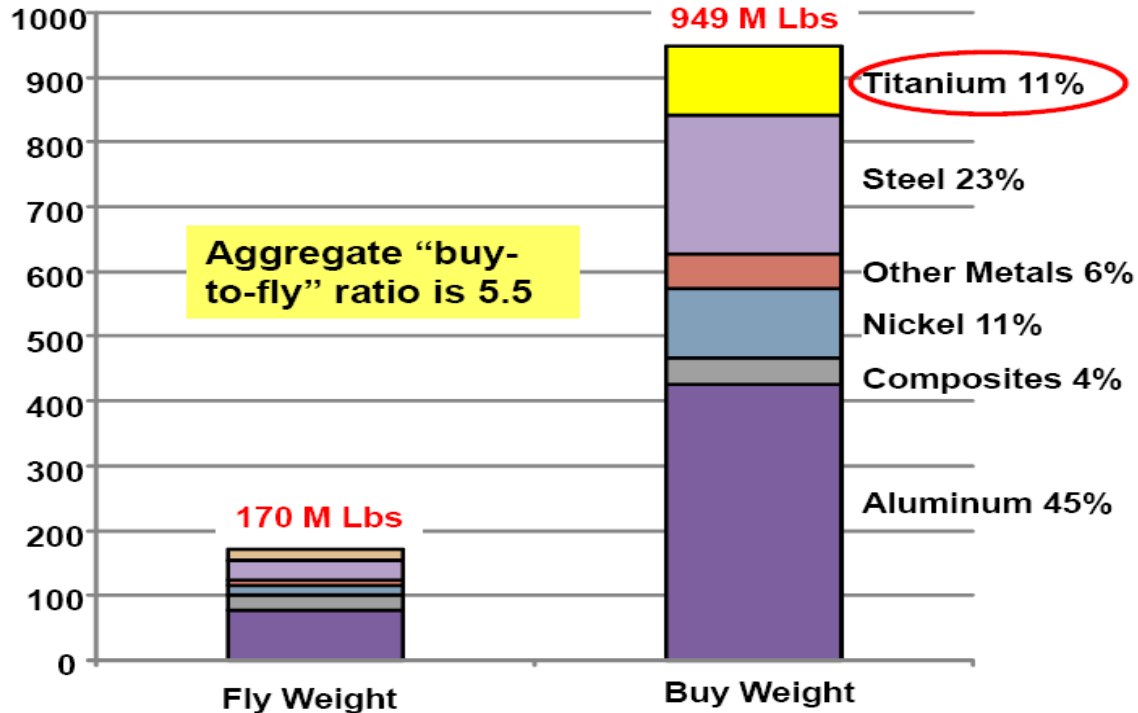


3. НЕДООЦІНЕНА РОЛЬ ІНОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



BTF проблема

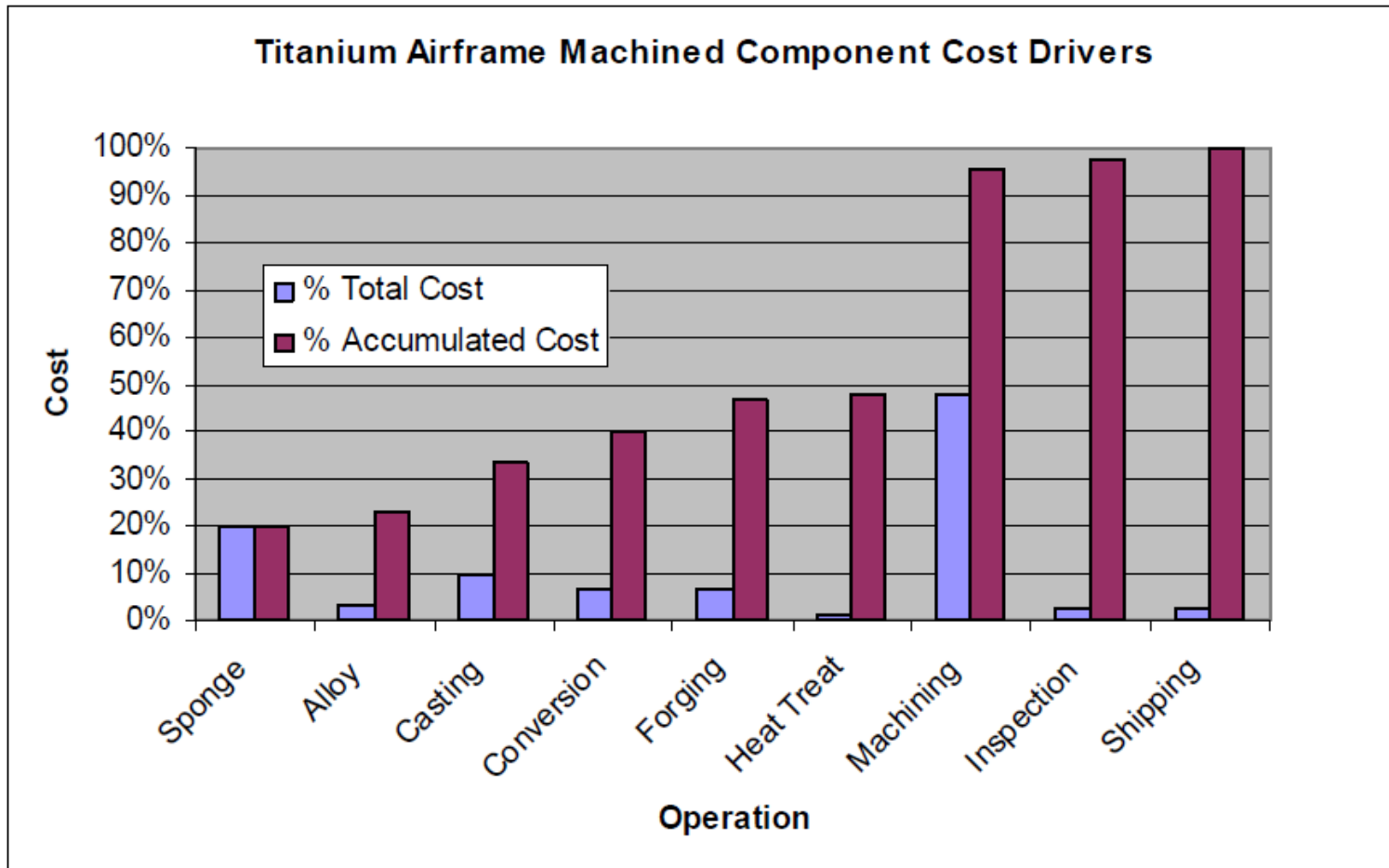
2008 Aerospace Raw Material Demand (M Lbs)*



Металлы в авиастроении
используется крайне
неэффективно

* Based on 2009 production rates; assumes 12 month lag between aircraft production and material demand from mill

Складові вартості виробів

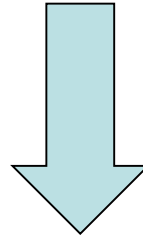


Copyright © 2013 Boeing. All rights reserved.

1. F Tregubenko and A Morozov, Global Equity Research Report, VSMPO, by Brunswick UBS, April 2004
2. I. Molyneux, Rolls Royce, ITA Conference, Phoenix, AZ, 2005

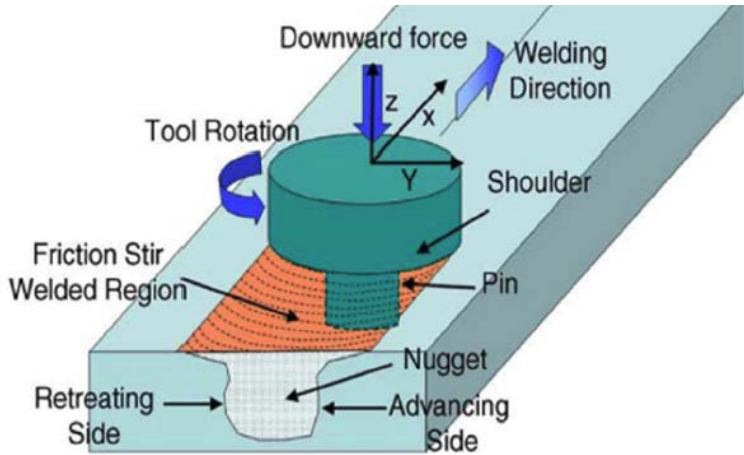
Стратегія авіабудування – вдосконалення технології

Near Net Shape Processing

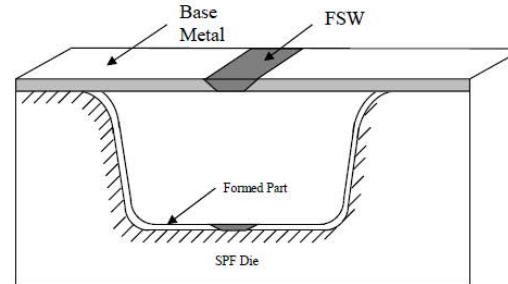


**Зниження вартості
за рахунок зменшення
об'єму закупок**

Friction Stir Welding



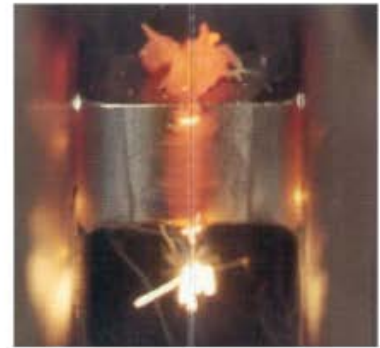
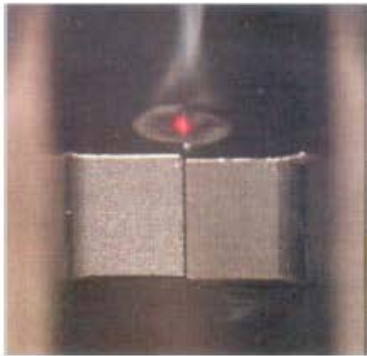
У поєднанні з надпластичною деформацією



Copyright © 2013 Boeing. All rights reserved.



Linear Friction Welding

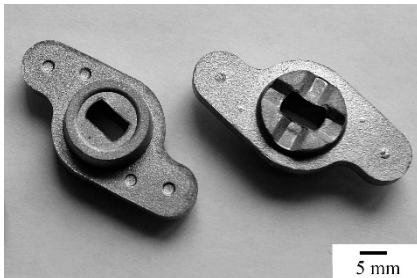
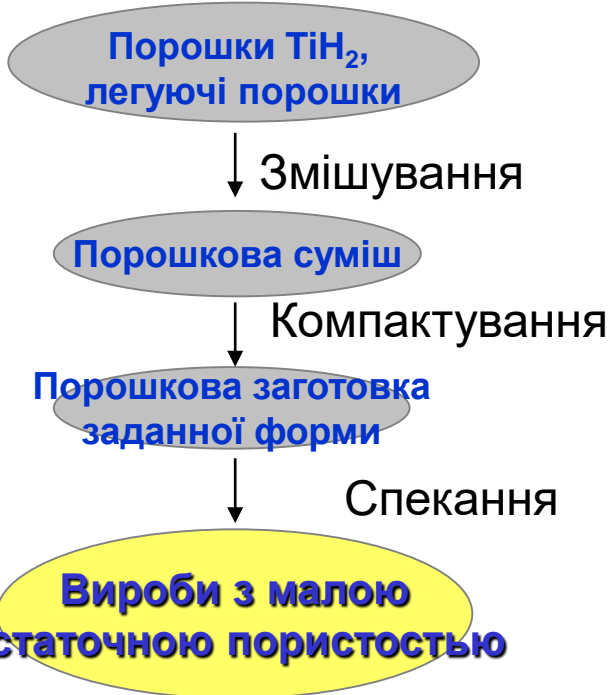


Порошкова металургія титанових сплавів на основі порошків гідриду титану

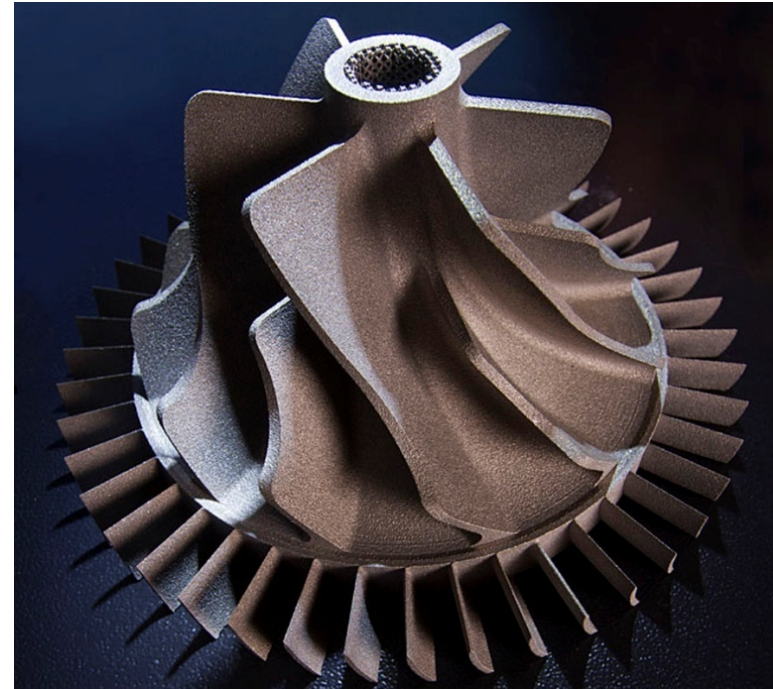
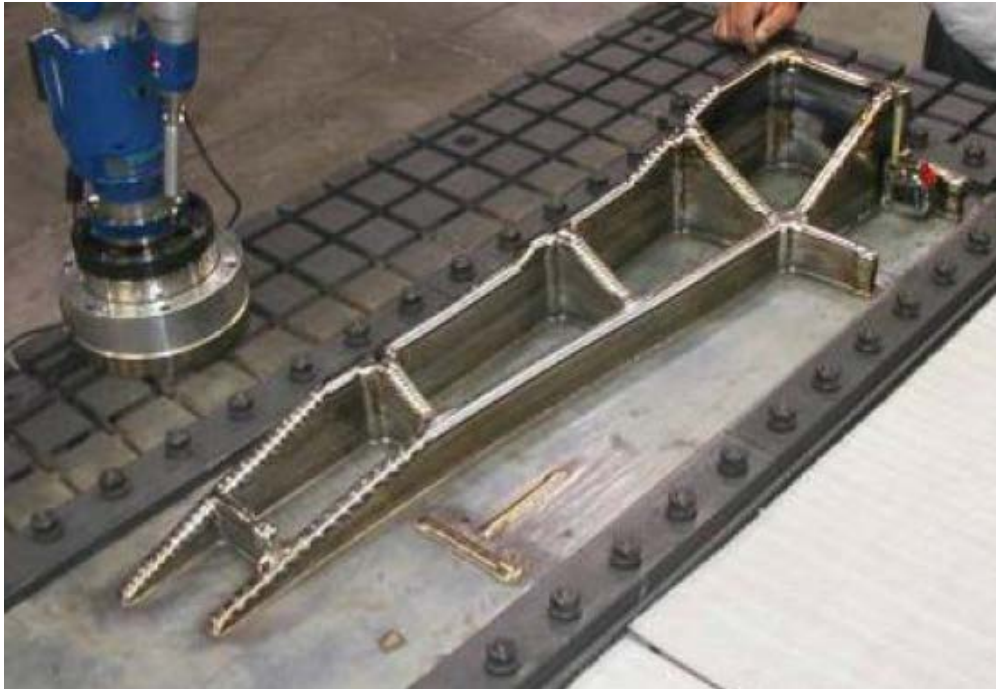
Використання порошка TiH_2 замість Ti забезпечує досягнення 99% щільності та механічних характеристик сплавів на рівні відповідних литих/гарячедеформованих матеріалів технологічно простим шляхом

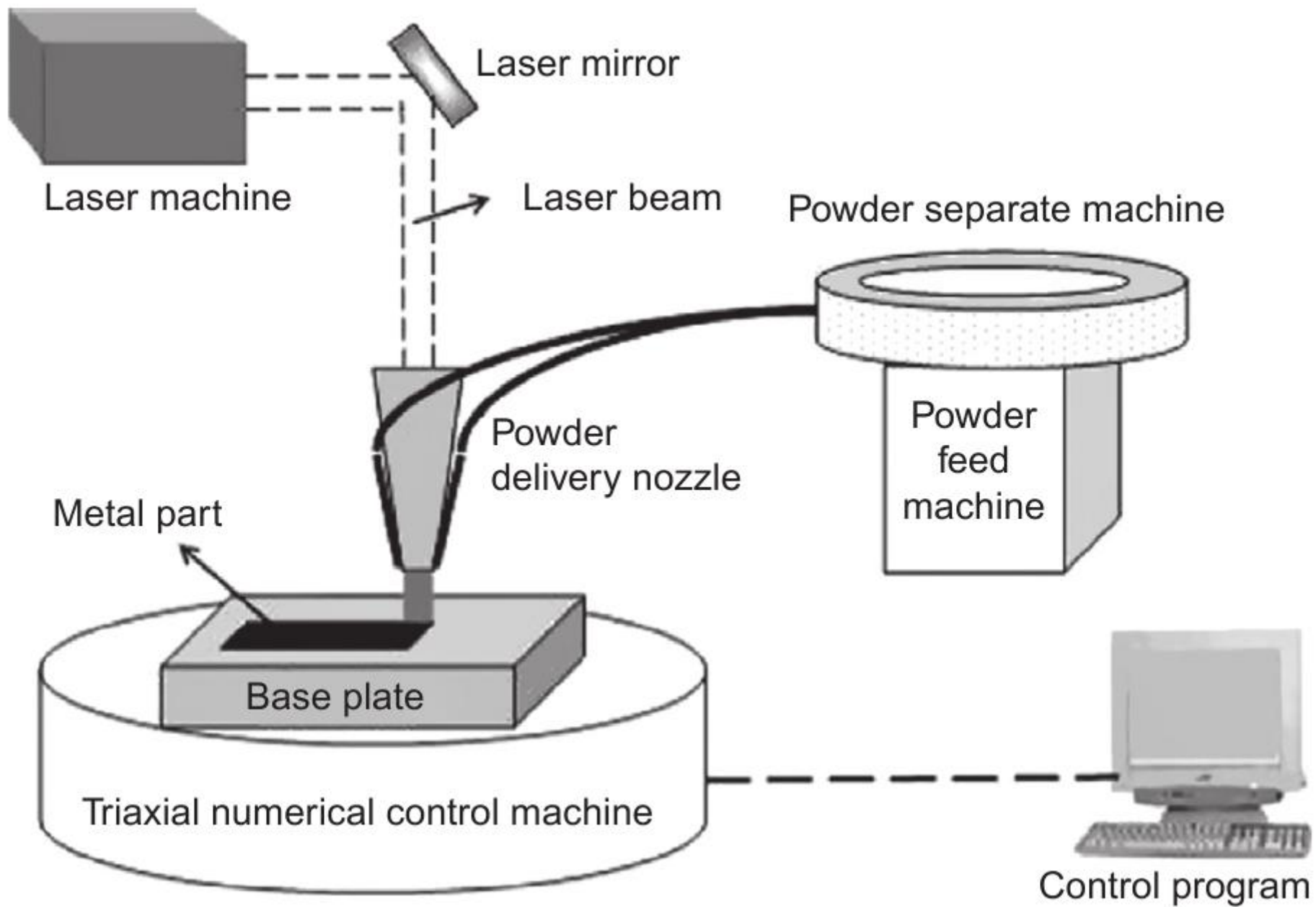
Специфічний механізм компактування → оптимізована пориста структура сирих пресовок
Фазове перетворення $TiH_2 \rightarrow Ti$ (β или α) за зсувним механізмом → висока щільність дефектів кристалічної структури
Відновлення поверхневих оксидів атомарним водородом

Активоване спекання, висока кінцева щільність, низький вміст домішок

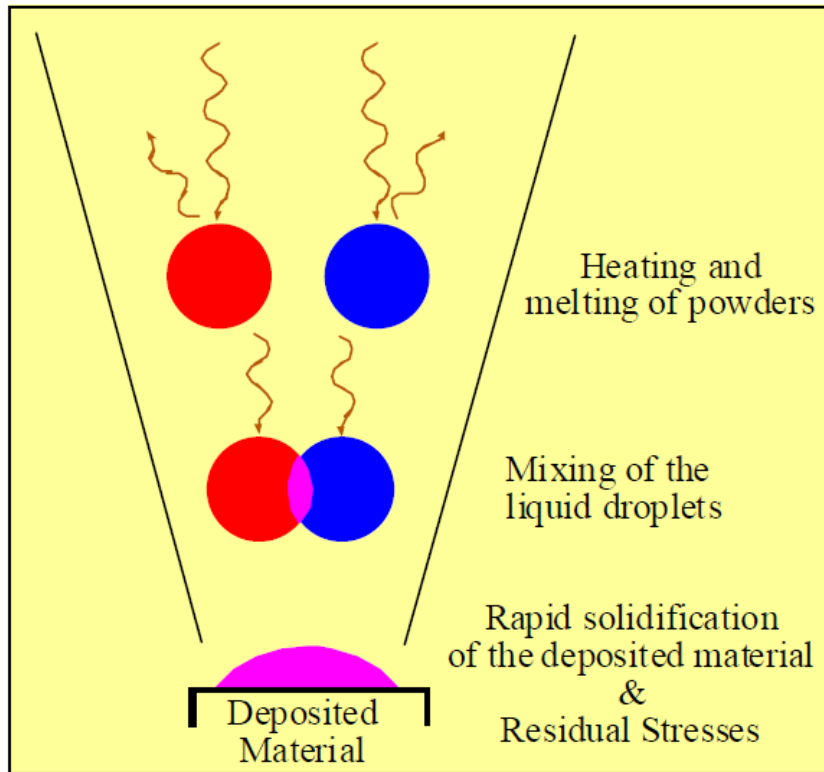


3D Технології (Metal Additive Manufacturing)





Novel Processing: LENS™ Deposited TiB Composites



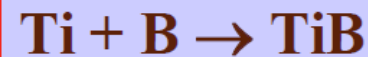
$A + B = A(B)$ solid solution or compound formation

Enthalpy change = ΔH_{mix}

$$= H_{A(B)} - H_A - H_B$$

$\Delta H_{\text{mix}} < 0$ exothermic mixing

$\Delta H_{\text{mix}} > 0$ endothermic mixing



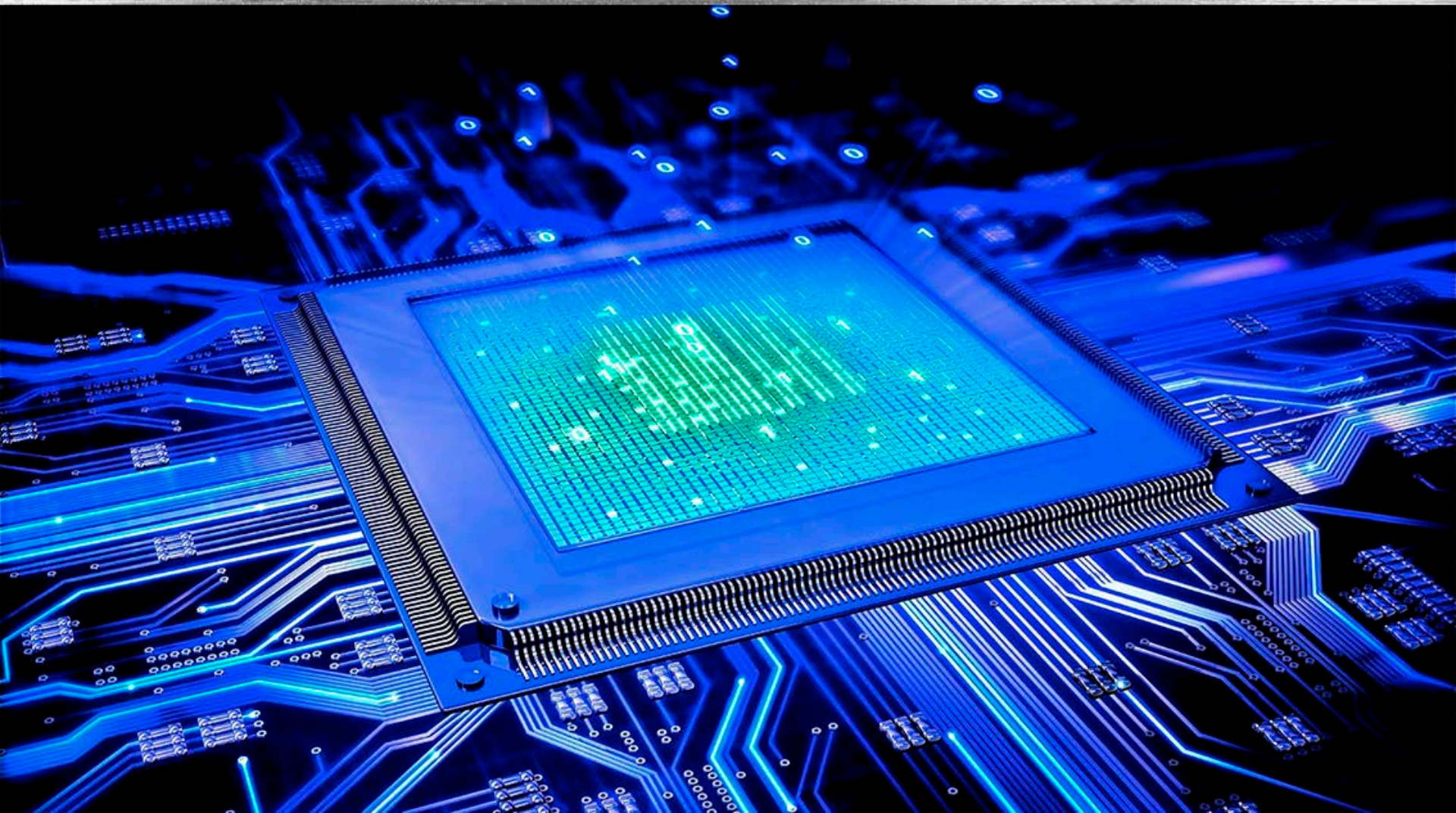
is highly exothermic

Need: *Sufficient heat and time for thorough mixing*

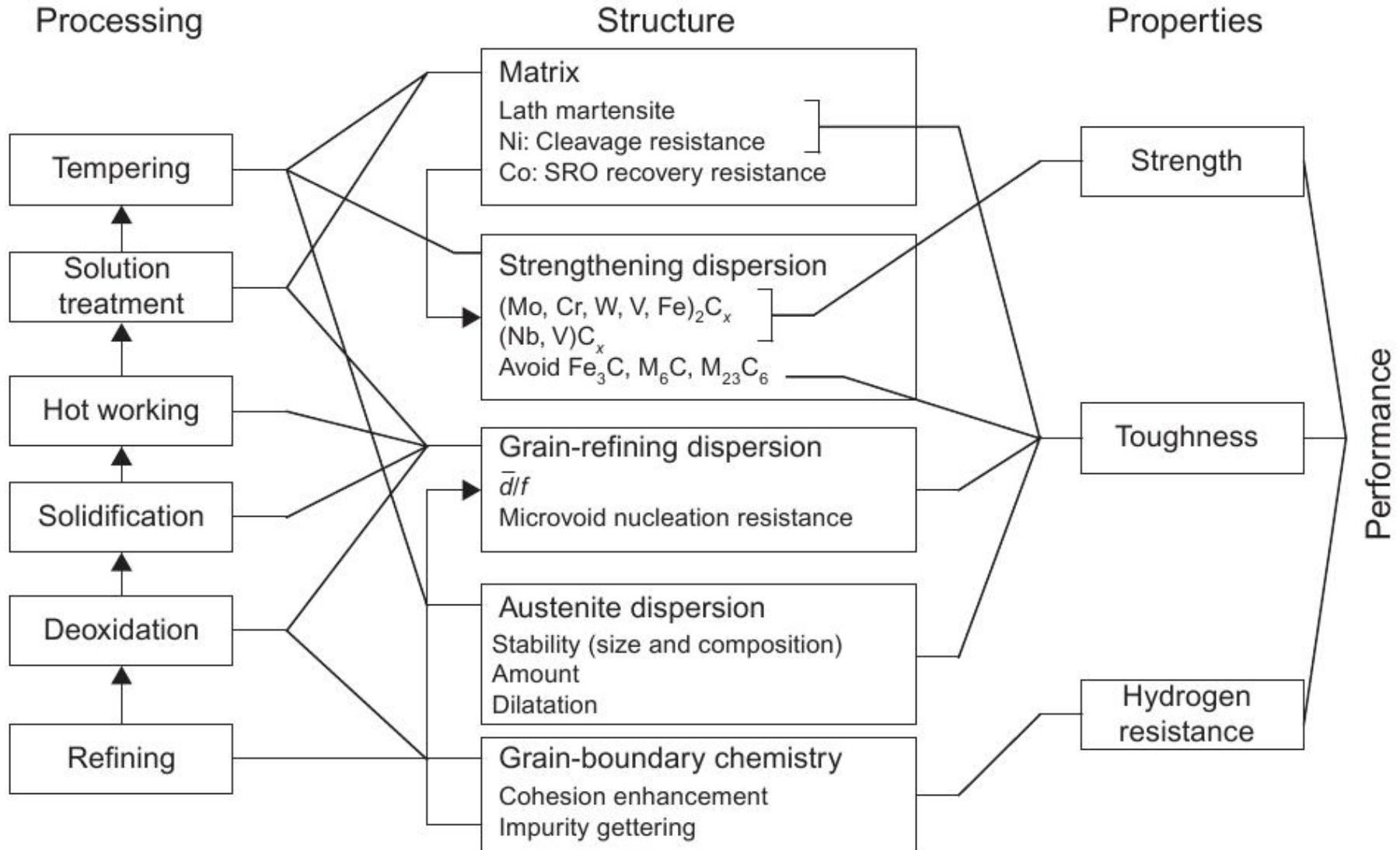
Problem: *Rapid heat extraction rate associated with laser deposition*

Solution: *Use enthalpy of mixing*

4. НЕДОСТАТНЯ РОЛЬ МОДЕЛЮВАННЯ



Алгоритм матеріалознавства



ICME – Integrated Computational Materials Engineering

Lord Kelvin:

«To understand you must be able to measure it»

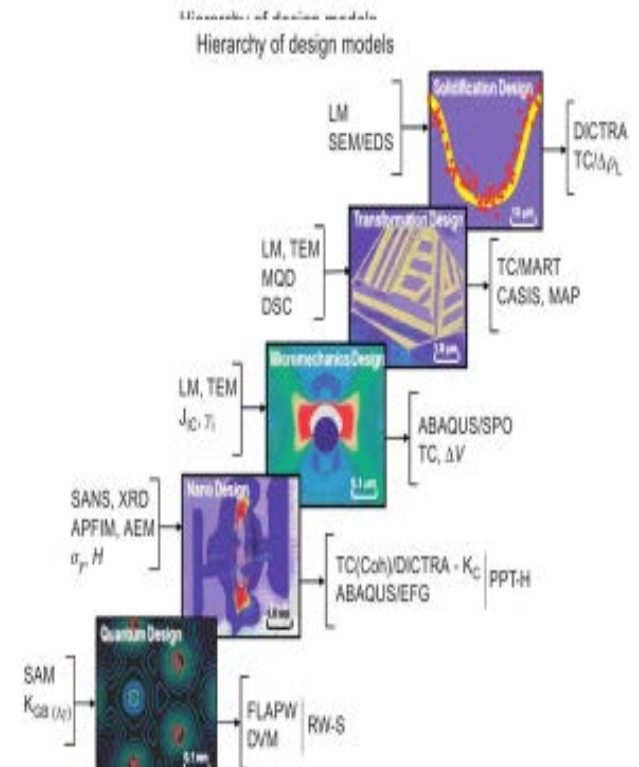
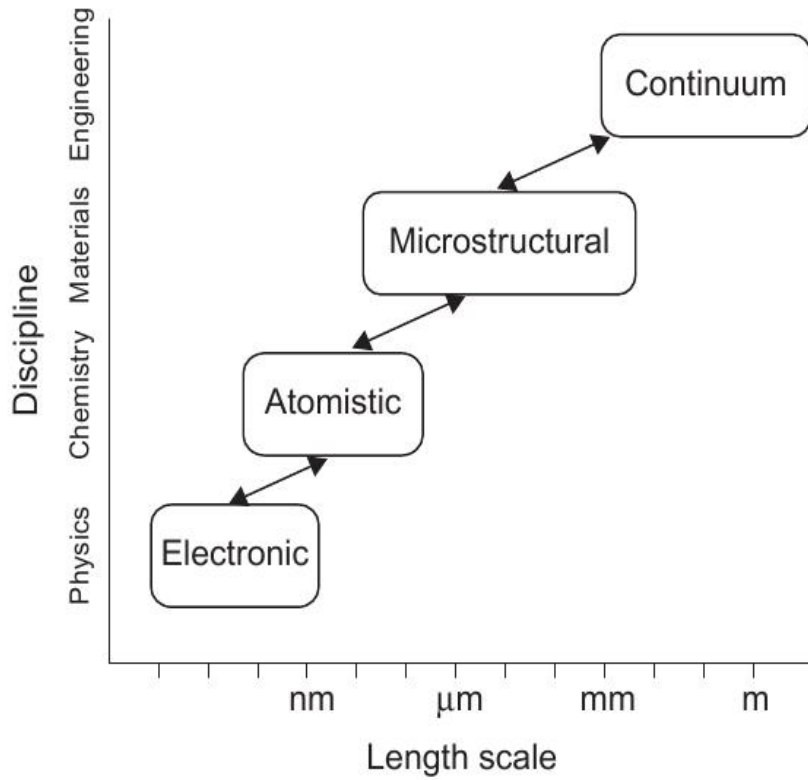
John von Neumann:

«To understand you must be able to compute it»

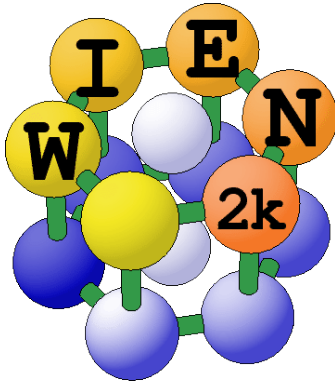
Richard Feinman:

«To understand you must be able to create it»

Is there Materials Genome?



Ab-initio calculation technique



WIEN2k – Full Potential Linearized Augmented Plane Wave method

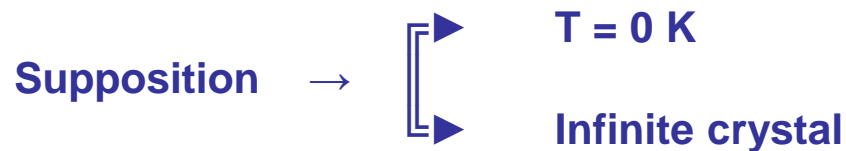
- Density Functional Theory approach
- All-electron type (no pseudopotentials)

Bandstructure, electronic properties,

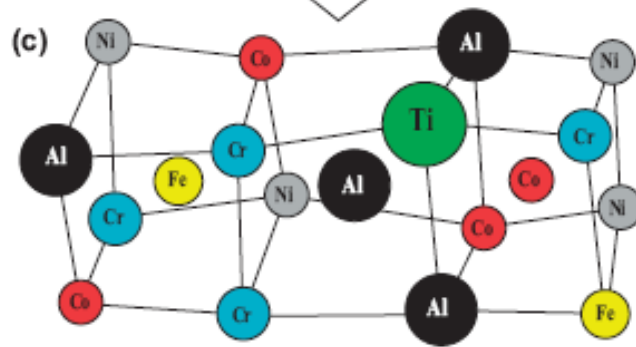
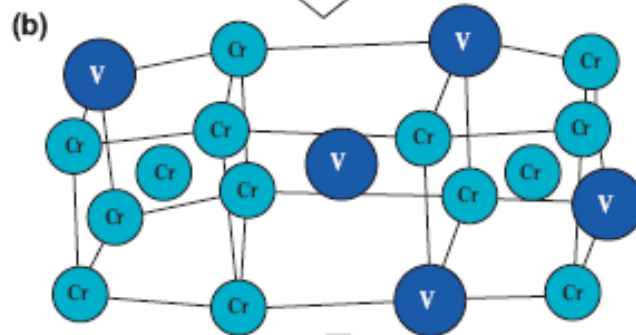
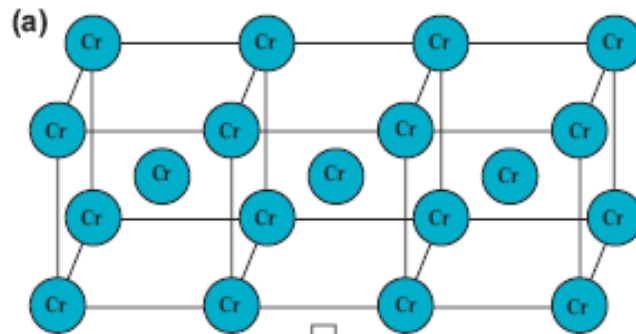
P.Blaha, K.Schwarz, G.K.H.Madsen, D.Kvasnicka and J.Luitz, WIEN2K, An Augmented Plane Wave + Local Orbital's Program for Calculating Crystal Properties ed Karlheinz Schwarz, Technische Universität Wien, Austria (2001).

www.wien2k.at

- High precision crystal total energy calculation (accuracy - 0.001 eV)
- Structural optimization – zero balance of the forces exerted by electronic subsystem upon atoms → minimal crystal total energy



Schematic representation of the BCC crystal structure



Y. Zhang, Y.J. Zhou, J.P. Lin, G.L. Chen, P.K. Liaw Solid-Solution Phase Formation Rules for Multi-component Alloys // Advanced Engineering Materials, 2008, P. 534–538

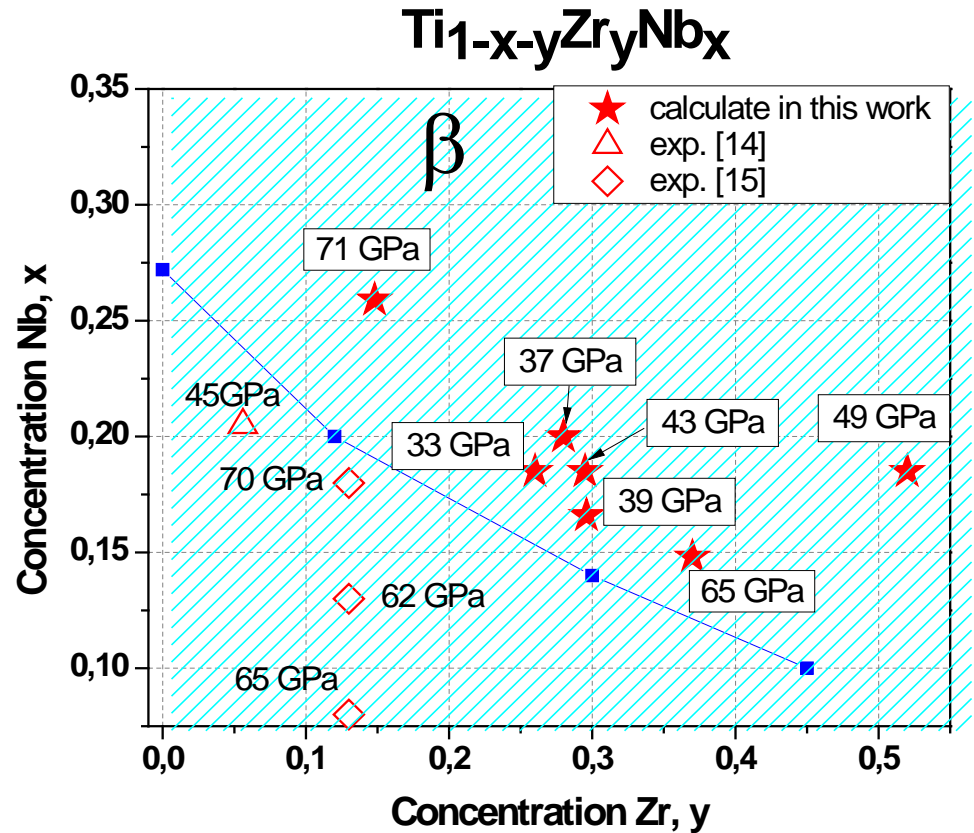
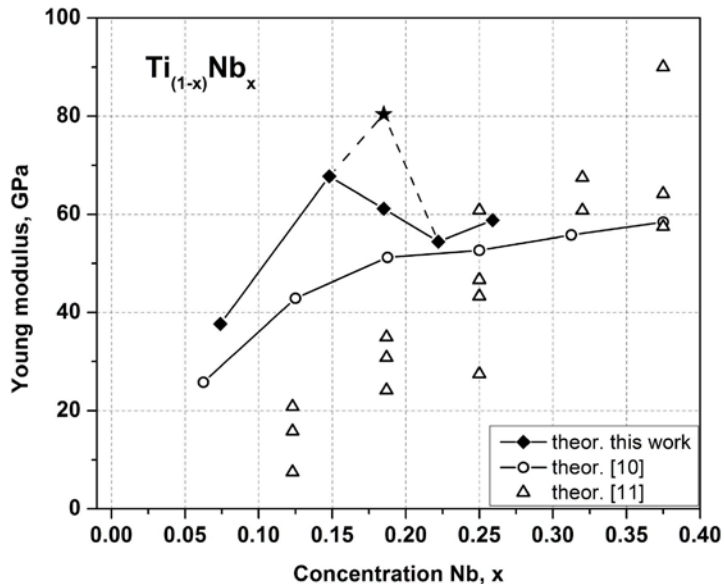
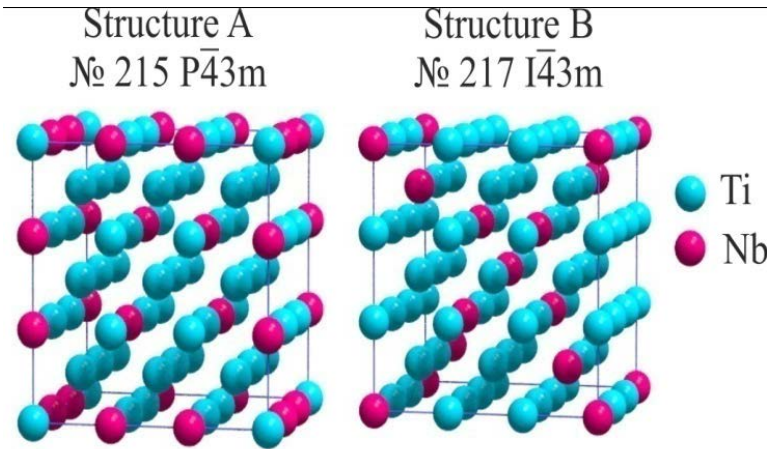
(a) – perfect lattice (take Cr as example);

(b) – distorted lattice caused by additional one component with different atomic radius (take Cr-V solid solution as example);

(c) – serious distorted lattice caused by many kinds of different-sized atoms randomly distributed in the crystal lattice with the same probability to occupy the lattice sites in multi-component solid solutions (take Al-CoCrFeNiTi_{0.5} as example)

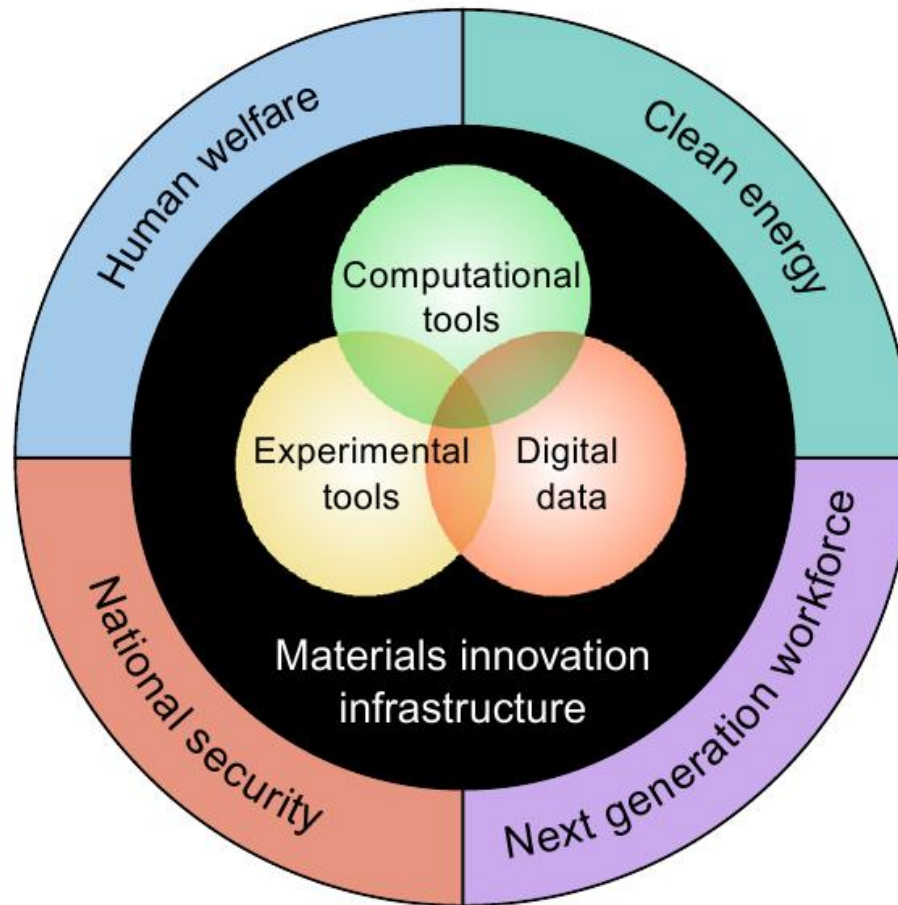
Сплави на основі титану і цирконію

Мінімізація модуля пружності



Тимошевский А.Н., Ивасишин О.М.,
 Яблоновский С.О., Первопринципное
 исследование электронной
 структуры и модулей упругости в
 системе Ti-Nb, *Functional Materials*.

MATERIALS GENOME INITIATIVE



ЧИ Є МАЙБУТНЄ
У МЕТАЛІЧНИХ
МАТЕРІАЛІВ?



Я ВПЕВНЕНИЙ, Є!

ЩИРО ДЯКУЮ
ЗА УВАГУ!