

金屬工業飛躍 採納嶄新材料 及關鍵加工技術

國際會議暨技術研討會紀要

Proceeding of the International Conference and
Seminars on Quantum Leap for Metals Industries
Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies

主辦機構：
香港生產力促進局
Hong Kong Productivity Council



資助機構：
創新科技署
Innovation and Technology
Commission



創 新 科 技 署
Innovation and
Technology Commission

工業支持機構（排名不分先後）：



香港創新科技及製造業聯合總會
Hong Kong Federation of Innovative Technologies
and Manufacturing Industries



香港汽車零部件工業協會
Hong Kong Auto Parts
Industry Association



香港鑄造業總會
Hong Kong Foundry Association



香港模具協會
Hong Kong Mould & Die Council



香港金屬製造業協會
THE HONG KONG METALS MANUFACTURERS ASSOCIATION



香港模具及產品科技協會
Hong Kong Mould and Product Technology Association



香港中小企經貿促進會
HONG KONG (SME) ECONOMIC AND
TRADE PROMOTIONAL ASSOCIATION



Hong Kong Critical Components
Manufacturers Association
香港關鍵性零部件製造業協會

免責聲明 Disclaimer

「金屬工業飛躍—採納嶄新材料及關鍵加工技術」國際會議暨研討會紀要乃創新科技署撥款的創新科技基金項目中的其中一項成果。在此總結報告上的資料，或項目成員表達的任何意見、結論建議及展現的成果，並不代表香港特別行政區政府或創新科技署的觀點。

The project proceeding is a publication under the ITF project which is funded by the Innovation and Technology Commission. Any opinions, findings, conclusions or recommendations expressed in this handbook (or by members of this project team) do not reflect the views of the Government of Hong Kong Special Administrative Region or the assessment committees of the Innovation and Technology Fund.

編輯 Editors

黎偉華先生 Mr Wai-wah LAI

楊浩坤博士 Dr Hao-kun YANG

陳璇博士 Dr Xuan CHEN

李嘉欣小姐 Ms Jia-xin LI

郭展蓉小姐 Ms Chin-yung KWOK

胡勇先生 Mr Yong HU

出版

PUBLISHED BY

香港生產力促進局

香港九龍達之路78號生產力大樓

The Hong Kong Productivity Council

HKPC Building, 78 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong

鳴謝 Acknowledgement

感謝創新科技署、香港創新科技及製造業聯合總會、香港汽車零部件工業協會、香港關鍵性零部件製造業協會、香港鑄造業總會、香港模具協會、香港金屬製造業協會、香港模具及產品科技協會、以及香港中小企經貿促進會有限公司的支持。

Thanks for the support from Innovation and Technology Commission, Hong Kong Federation of Innovative Technologies and Manufacturing Industries, Hong Kong Auto Parts Industry Association, Hong Kong Critical Components Manufacturers Association, Hong Kong Foundry Association, Hong Kong Mould and Die Council, Hong Kong Metals Manufacturers Association, Hong Kong Mould and Product Technology Association and Hong Kong (SME) Economic and Trade Promotional Association Limited.

版權所有 © 2022 香港生產力促進局

COPYRIGHT © 2022 The Hong Kong Productivity Council

All Rights Reserved.

未經出版商事先書面許可，本出版物的任何部分不得以複製，存儲在檢索系統中或以任何形式或通過任何方式傳播、傳輸。

No part of this publication may be reproduced in any form, whether in electronic retrieval system or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

序言

過去數年，新材料及其相應加工技術不斷湧現，以應對汽車、醫療保健器械、電訊產品、模具、機械及其他增值產品行業中關鍵部件的重要性能要求，例如高強度、輕量化、耐久性、高導熱性、耐腐蝕性及電磁兼容性等。可見從事鈹金沖壓、壓鑄和金屬機械加工業務的本地金屬行業製造商需要在新型特種金屬和陶瓷材料、以及相應的加工技術、其應用和商機等多方面獲取實際知識和訣竅，使其增值產品的業務更多元化，進軍這正在增長的市場，甚或透過增強產品的性能來使其當前產品增值。

在這項目中，本局曾邀請國際專家就新型特種鈹材金屬、鑄錠金屬、固態金屬和陶瓷材料的加工技術，向本地製造商介紹及轉移有關材料的加工機械、方法、技巧、新商機和投資與營運成本等方面的知識。項目透過籌辦、彙編和發佈一系列的活動和技術參考文獻，包括國際會議、專題研討會、文獻研究報告、行業雜誌和網頁上的文章以及項目總結與紀要等，將最新的技術、商機以及專門知識從海外專家轉移至本地製造業。

這本項目會議紀要彙集了國際會議暨技術研討會的內容總結和文獻研究報告，包括以下內容：

1. 「金屬工業飛躍—採納嶄新材料及關鍵加工技術」國際會議
2. 「嶄新鈹金材料與衝壓技術」研討會
3. 「嶄新鑄錠材料與壓鑄技術」研討會
4. 「嶄新模具及工程產品材料與先進加工技術」研討會

目錄

04.13 international conference

「金屬工業飛躍—採納嶄新材料及關鍵加工技術」國際會議

活動一	「激光加工技術發展和應用」分會議	1
活動二	「5G通訊時代器件用熱管理材料」分會議	13
活動三	「用於醫療保健、植入物和生物醫學行業的最新金屬和陶瓷材料開發、應用和加工技術」分會議	19
活動四	「應用於輕量化、散熱和強度提升的低成本鋁矽和鎂鋰合金」分會議	31
活動五	「汽車工業最新金屬材料開發、應用及加工技術—新型3D打印超高強度耐腐蝕不鏽鋼」分會議	49
活動六	「粉末冶金-能源和運輸行業的創新資源」分會議	59

05.24 seminar

「嶄新鈹金材料與衝壓技術」研討會

活動一	「鈹合金板材及沖壓參數優化：鈹合金熱處理工藝，組織結構與性能」分會議	69
活動二	「伺服壓力機技術發展和應用」分會議	81
活動三	「特定功能性多材料合金板材加工與成型技術及其應用」分會議	97

07.05 seminar

「嶄新鑄錠材料與壓鑄技術」研討會

活動一	「提高壓鑄模使用壽命的優質塗層」分會議	119
活動二	「輕量化真空壓鑄新技術」分會議	129
活動三	「無孔壓鑄新技術」分會議	145

08.27 seminar

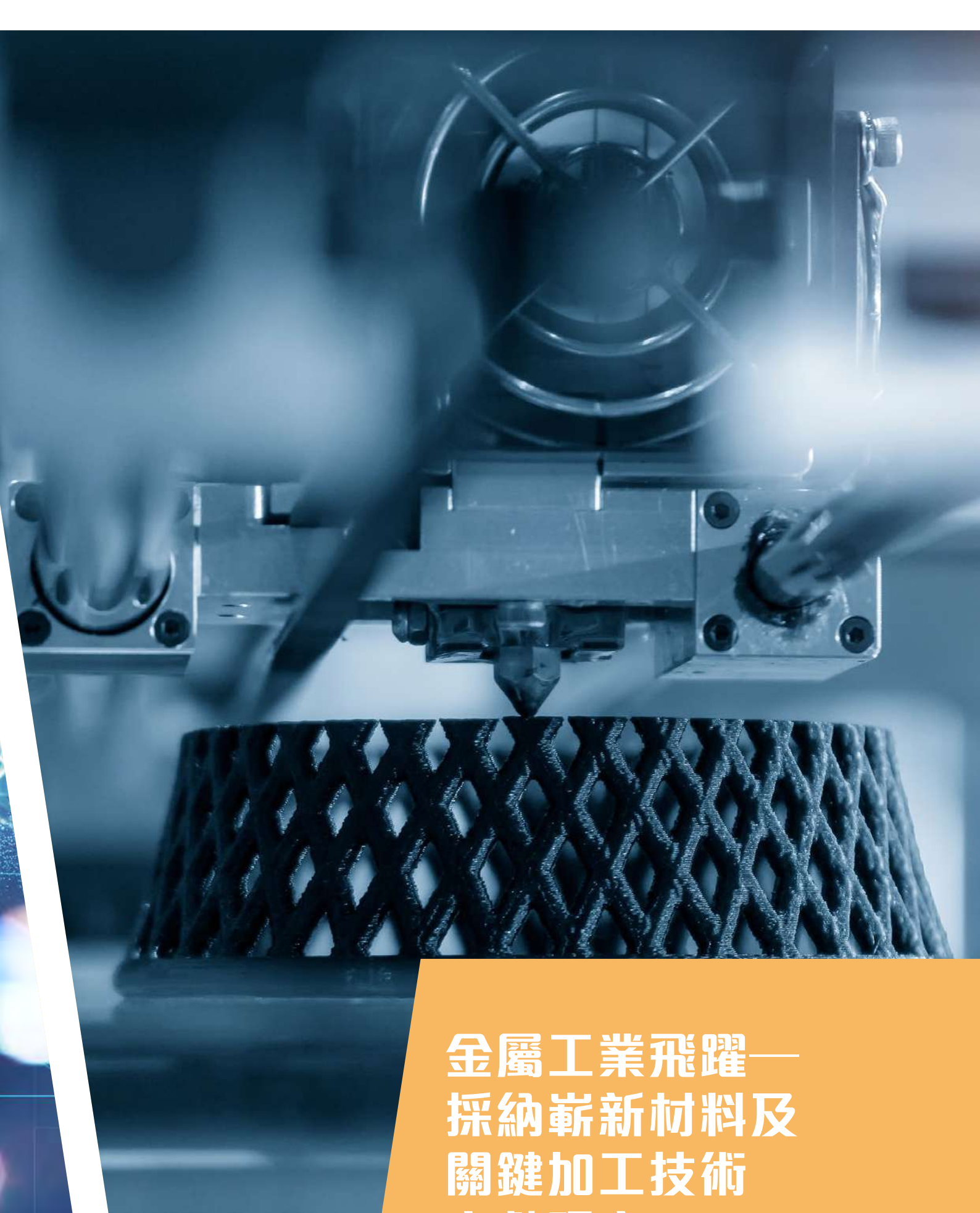
「嶄新模具及工程產品材料與先進加工技術」研討會

活動一	「快速加工用工具鋼和工程鋼」分會議	159
活動二	「鋁合金高固相半固態鑄造技術及計算機模擬的應用」分會議	173
活動三	「陶瓷材料在工裝/工程產品製造和加工技術中的應用」分會議	185



04.13

international conference



金屬工業飛躍——
採納嶄新材料及
關鍵加工技術
文獻研究

活動一

會議紀要：

「金屬工業飛躍—採納嶄新材料及關鍵加工技術」國際會議

1.1 「激光加工技術發展和應用」分會議

— 由中國科學院上海光學精密機械研究所楊上陸副教授主講

隨著工業產品日益充斥人們生活的各方面，工業製造領域的經營者需要不斷自我更新，市場亦因而涌現了許多新的材料及其相應加工技術，以滿足包括汽車、醫療器械、電訊產品、模具及機械等各類工業行業中對關鍵零部件越來越高的工藝和性能要求。激光技術作為工業製造領域的一股核心驅動力量，本身也在不斷向前發展。激光加工是激光應用最有發展前途的領域，目前已經成熟的激光加工技術包括：激光快速成型技術、激光焊接技術、激光打孔技術、激光切割技術、激光打標技術、激光去重平衡技術、激光蝕刻技術、激光存儲技術、激光熱處理和表面處理技術、激光精密製造技術等20多種。總結來說，激光對加工對象的材質、形狀和加工環境的自由度大，空間和時間控制性高，因此激光加工技術已經成為企業實行適時生產的關鍵技術，為優質、高效和低成本的加工生產開闢了廣闊的應用前景和市場前景。

香港生產力促進局（生產力局）致力以先進技術驅動香港企業提升生產力，透過是次國際會議，由中國科學院上海光學精密機械研究所楊上陸教授向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員介紹激光加工技術的發展和應用現狀，以及相關投資要點、運作成本和新商機。

楊教授分析認為，激光加工技術正處於高速發展的黃金時代，擁有了天時地利人和的發展環境，對於該技術的市場前景非常樂觀。他表示：「天時是指恰逢國內產業升級、新型產業崛起、各種技術快速發展的時機；地利是指中國國內需求旺盛，汽車產業和軌道交通行業等市場需求量巨大；人和是指越來越多的人在創新理念上的改進，更多的從業者追求創新，這就為新技術的創新創造了內在驅動力。」談到激光加工技術的市場應用現況，楊教授認為目前應用比較成熟，普遍為企業採用的技術有激光切割技術，激光3D打印智能製造等。隨著激光器正在向「更快、更高、更好、更短」的

方向發展，楊教授也分享了自己對未來發展和市場的展望：「2021至2030年一定是激光材料加工技術發展及應用的黃金十年，人工智能、擴增實境(AR)、虛擬實境(VR)等新興技術將融入進來並推動新的發展，激光焊接，激光精密製造技術有可能成為下一個風口。」

此外，楊教授分享了一些他在美國攻讀博士學位期間的一些激光技術研究的成果，並講述了若干個他帶領團隊完成的幫助企業開發的激光技術應用案例：

- 1) 零焊縫激光焊接鍍鋅鋼板；
- 2) 超強、超快激光遠程焊接鋁合金應用；
- 3) 激光—填絲焊接高速列車側牆（應用於高鐵軌道解決方案）；
- 4) 激光材料的其他應用等等。

Mainland Strategy in Development of Metal Processing Technologies and Industries

杨上陆

中国科学院上海光学精密机械研究所

电话: 13816089226 邮箱: yangshanglu@siom.ac.cn

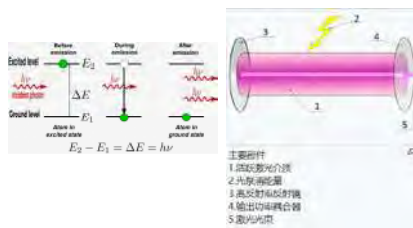
目录

- ◆ 激光和激光器的发明
- ◆ 激光对工业发展的影响
- ◆ 相关政策
- ◆ 市场情况及应用分布
- ◆ 激光材料加工技术简介
- ◆ 激光材料加工技术应用案例
- ◆ 未来展望

激光和激光器的发明

Laser= "light amplification by stimulated emission of radiation"

“通过受激辐射产生的光放大”指通过刺激原子导致电子跃迁释放辐射能量而产生的具有同调性的增强光子束。特点包括发散度极小、亮度（功率）很高、单色性好、相干性好等。-维基百科



Laser= 激光或辐射



Maiman (1960)



王之江 (1961)

激光对工业发展的影响

20世纪四大发明：激光技术与原子能、半导体、计算机

光通信和互联网

几乎所有互联网上的信息都依赖于光纤传输。光纤网络在电信行业空前发展，地球村成为现实。



激光加工

激光切割、焊接技术广泛应用于汽车和飞机制造。激光打孔、划线等技术应用于光伏产业。



医学领域

激光帮助预防失明和改善视力。激光手术固定仪比传统方法快几百万倍。



信息存储

CD和DVD，帮助实现大容量数据的存储。DVD播放器已成为每个家庭的必备娱乐工具。



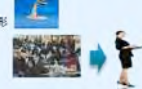
科学、环境、能源、频标

下一代全球定位卫星将使用激光驱动原子钟，大大提高了精度与可靠性。用于激光核能研究、冷原子研究等。



商务应用

基于激光技术的激光条形码扫描仪。激光使电子商务，网上交易更为便捷。



相关政策

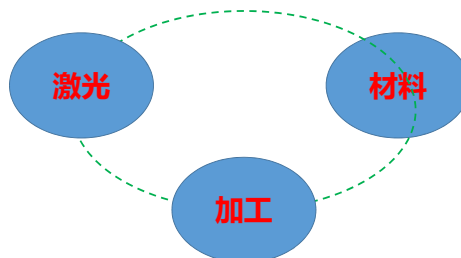
- 世界主要大国都将激光作为本国最重要尖端高科技之一，**美国**科学家凝练出影响全球未来发展的**18项重大关键技术**，其中之一就是**激光技术**。
- 我国提出的“**中国制造2025**”、**国家中长期规划“重大专项”**、**国家重点研发计划**等，都将**激光技术**作为重要战略研究方向。



激光材料加工技术简介



激光材料加工技术简介



激光材料加工：以激光为手段，材料为对象，选择特定的加工方式来实现某一功能（引起物体形状或性能的改变等）

激光材料加工系统



激光材料加工系统

- 光源
- 光传输系统
- 加工头
- 夹具
-

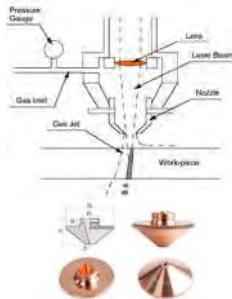
激光材料加工技术简介

热加工：激光作用于材料表面产生热效应，比如焊接、切割、打孔、成型、表面处理等。

冷加工：激光与材料的作用时间远小于热传导的弛豫时间，可完全避免热效应，如飞秒激光打孔、微纳加工等。

激光材料加工技术简介-激光切割

激光切割：利用高功率密度激光束照射被切割材料，使材料很快被加热至汽化温度，蒸发形成孔洞，随着光束对材料的移动，孔洞连续形成宽度很窄的（如0.1mm左右）切缝，完成对材料的切割。（来自：科普中国）



激光材料加工技术简介-激光焊接

激光焊接：在激光辐射作用下，激光与材料相互作用，使材料发生熔化、凝固从而实现材料之间连接

激光焊接：

- ✓ 热传导焊
- ✓ 深熔焊接

不同接头形式：

- 对接
- 搭接
- 角接



激光材料加工技术简介-激光-电弧复合焊接

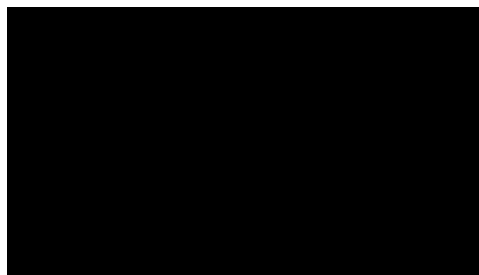
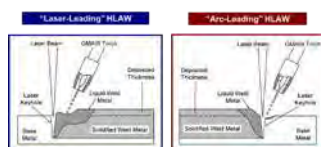
激光-电弧复合焊接=激光+电弧 作为热源

激光-电弧复合焊接的优点：

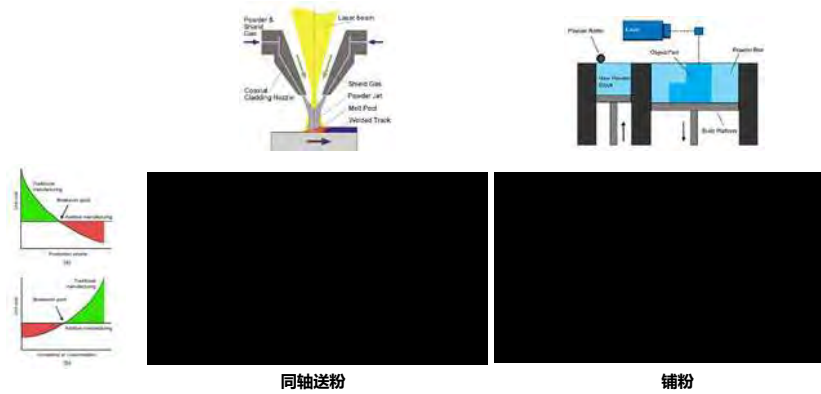
- ✓ 间隙容忍大；
- ✓ 可以调节焊缝组织；

激光-电弧复合焊接的劣势：

- 更复杂的工艺过程控制；
- 成本增加；



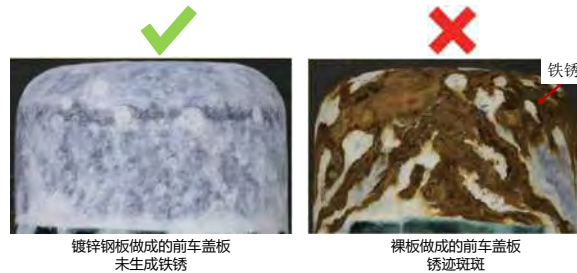
激光材料加工技术简介-激光3D打印



应用案例1-零间隙激光焊接镀锌钢板

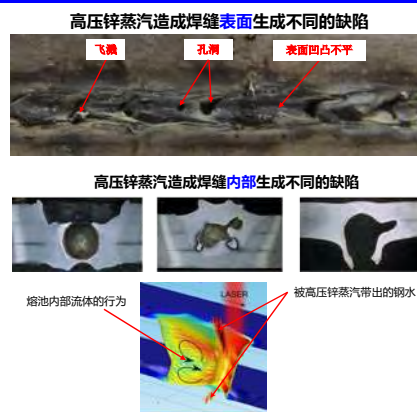
镀锌钢板的优势

镀锌钢板具有优良的防腐蚀性能，被广泛地应用在各行各业
当前镀锌钢板占汽车用钢板总量的**60—70%**



镀锌板和裸板做成的汽车前盖板盐雾测试20天实验结果（来自新日铁）

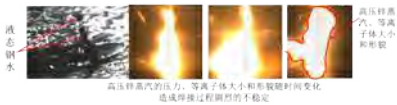
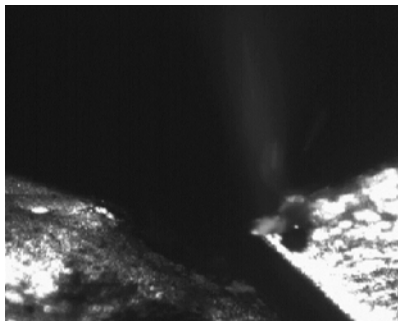
零间隙激光焊接镀锌钢板所面临挑战



激光焊接镀锌钢板不稳定机理

锌沸点(906°C) < 钢的熔点 (>1300°C)
↓
生成剧烈不稳定的高压锌蒸汽
↓
造成熔池紊乱，小孔、熔池不稳定
↓
生成不同缺陷：孔洞、飞溅

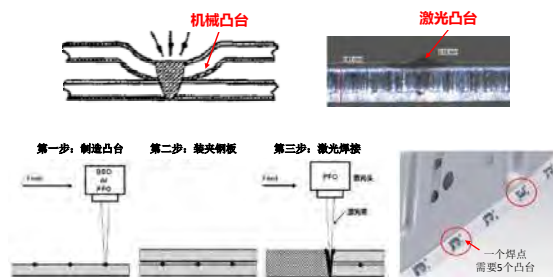
零间隙激光焊接镀锌钢板所面临挑战



难点

- 1) 高压锌蒸汽、等离子体和熔池动态行为非常复杂
- 2) 不同镀锌方法和镀锌层状态直接影响高压锌蒸汽的动态行为
- 3) 锌蒸汽的压力大小随温度成指数变化

激光焊接镀锌钢板传统工业方法



设置凸台 + 激光焊接的局限性
制造周期长、成本高、质量不稳定、应用场景有限

激光焊接镀锌钢板传统的工业方法

激光凸台+激光焊接



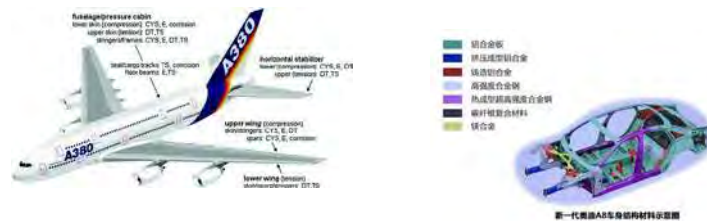
零间隙激光焊接镀锌钢板



	电阻点焊	远程激光点焊
焊点周期	较高	极高
接头质量	高	高
二氧化碳排放	高	低
制造敏捷度	中	极高
能耗	高	低

应用案例2-超强超快激光焊接铝合金

应用案例2-超强、超快激光远程焊接铝合金



铝合金已经成了实现高性能结构轻量化的重要手段之一

应用案例2-超强、超快激光远程焊接铝合金



自冲铆接

流钻连接

搅拌摩擦焊接

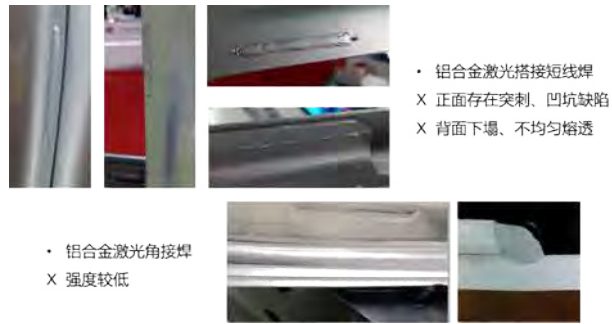
自冲铆接、流钻连接
搅拌摩擦焊、电阻点焊、激光焊.....

质量、效率、成本、工艺复杂性等之间平衡

远程激光焊接方法简介



当前远程激光焊接铝合金局限性



当前远程激光焊接铝合金局限性

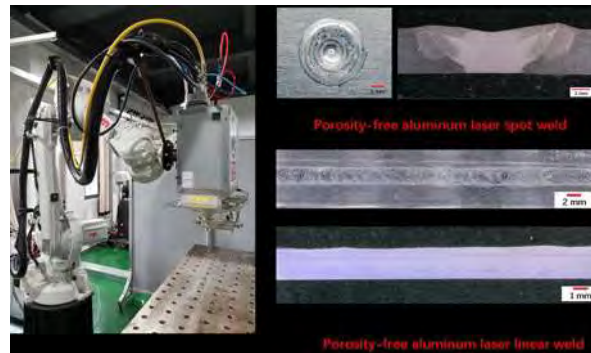
难点

表面粗糙，气孔、裂纹



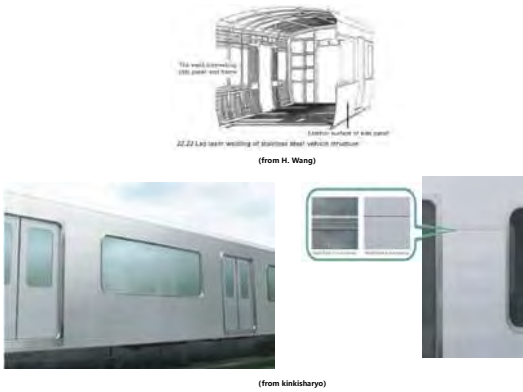
超强、超快激光远程焊接铝合金-创新方法

表面平滑、无气孔、裂纹

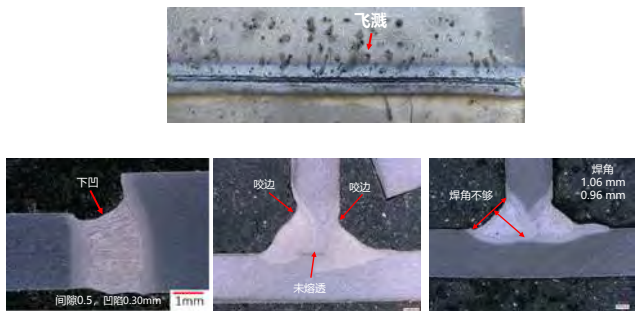


应用案例3-激光填丝焊接高铁侧墙

激光-填丝焊接高速列车侧墙



激光-填丝焊接高速列车侧墙所面临挑战



激光-填丝焊接高速列车侧墙所面临挑战



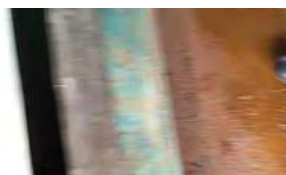
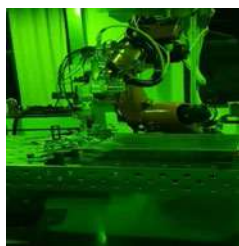
表面质量	✓
拉伸强度	✓
弯曲强度	✓
工艺窗口	较好

应用案例4：激光材料加工的一些其它应用

激光焊接高压冷却片

新旧产品对比

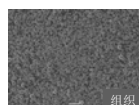
	技术壁垒	成本	环保
钢制冷区器（旧）	低	高	污染严重 （磷化、喷漆.....）
铝制冷区器（新）	高	成本下降>30%	无需化学处理、污染小



钢辊耐磨层激光熔覆技术



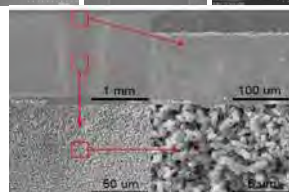
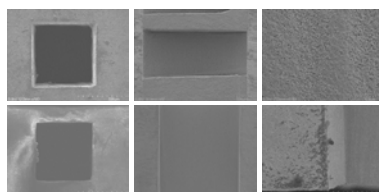
熔覆规格
层厚：1.2mm
硬度：55 ± 3HRC



钢辊长6.2m，熔覆长度3.2m，熔覆面积3m²

超快激光精密加工技术

陶瓷材料打孔

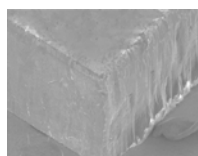
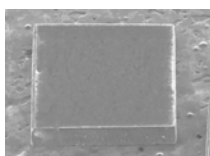


纤维增强复合材料切割/打孔



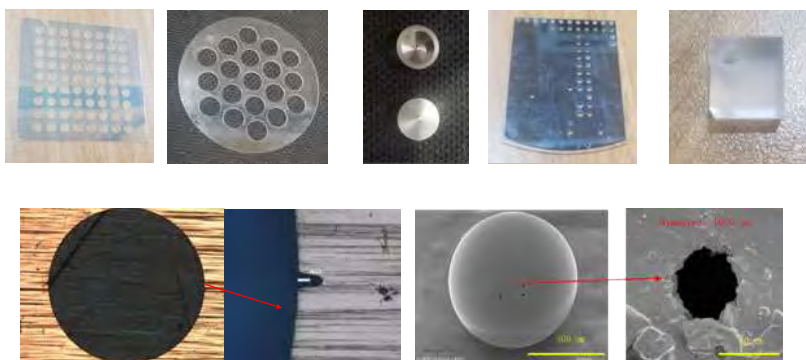
超快激光精密加工技术

激光精密切割/刻蚀



超快激光精密加工技术

脆硬材料/金属材料/薄膜材料打孔



未来展望

天时: 产业升级、新兴产业崛起、技术快速发展

地利: 市场巨大

人和: 追求创新

2021-2030 激光材料加工技术发展及应用的黄金十年
人工智能、AR、VR等新兴技术将融入、推动新的发展

激光焊接、激光精密制造是下一个风口

创新为更美好的明天

感谢您的聆听

活動二

會議紀要：

「金屬工業飛躍—採納嶄新材料及關鍵加工技術」國際會議

1.2 「5G通訊時代器件用熱管理材料」分會議

— 由中國六碳科技有限公司首席技術官許子寒先生主講

隨著電子產品微型化、集成化以及高功率化的開發進程，各種電子元器件單位體積的發熱量越來越大，溫度升高會導致封裝器件於芯片之間熱應力大增，過熱將嚴重影響電子產品的性能、可靠性以及使用壽命。因此熱管理材料應運而生，市場前景十分廣闊。對於電子封裝行業、汽車行業、動力電池等行業而言，熱管理材料不僅是一種簡單的導熱材料，它應該與其他控制器件協同，保證系統能夠在適當溫度下工作。熱管理材料也包括熱的分散速率、熱量存儲效率與容量，以及熱-電轉換，是一門跨材料、電子、物理等多學科的新興交叉學科。

香港生產力促進局（生產力局）致力以先進技術驅動香港企業提升生產力，透過是次國際會議，由深圳六碳科技有限公司首席技術官許子寒先生向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員介紹他們公司的二維材料產品在熱管理領域的研發進度、市場銷售和應用情況等。

許總監回顧過去十多年深圳六碳科技有限公司在石墨烯材料在電子器件熱管理領域的推廣工作，他表示至今亦未能取得具有經濟價值的市場反饋，遂停止石墨烯材料的研發和市場推廣工作，等待市場的進一步成熟和機會再現。他認為目前市面上熱管理功能的二維材料研發狀況基本上是一片混亂，「各家自掃門前雪，休管他人瓦上霜」。原因有二，其一是材料的評價體系不完善，基本上就是自說自話；其二是新開發的材料應用非常少，學術研究和工業應用對接基本上脫鉤，造成不知如何能夠產生有經濟價值的應用的尷尬局面。整體上，許總監對於二維材料在熱管理領域的市場前景感到悲觀，雖然在小熱量的領域層狀材料熱管理設計會越來越重要，但是在大量熱管理領域，基本上沒有價值，面對應用方式困難及成本過高等問題，不具競爭性。

除了石墨烯導熱材料，許總監仍向參加國際會議的香港企業家推薦了有市場前景的六方氮化硼（白石墨）材料，優點是熱導率高、絕緣、沒有電磁設計難題等，並且現在市面上該產品稀少，市場前景樂觀。許總監同時向與會者透露了深圳六碳科技有限公司如今的研究方向及對未來的思索，解答了香港業界對熱敏感材料在預警方面應用嘗試的想法。

2D Layered Materials 二维层状材料

热管理相关层状材料

XU ZIHAN

许子寒

6CARBON TECH. SHENZHEN

深圳六碳科技简介

六碳科技是一个独立的前沿材料研发公司

前沿材料开发：六碳科技已经是全世界最大的二维材料生产商

推动科研实用化：在致力于二维材料工业技术研发的同时，深圳六碳科技同时和学术界优秀团队合作，研发基于二维材料的微电子集成电路工艺技术，推动二维材料的工业化进程。此外，六碳科技也和优秀科研团队合作，致力于最前沿二维产品的设计和工艺研发，推动二维材料的基础科学研究。

二维材料简介

根据材料性质种类分类

- 1, 半导体：黑磷，TMDCs等
- 2, 半金属，金属，半半导体：石墨烯，WTe₂，NbSe₂，碲烯等
- 3, 绝缘体：hBN等
- 4, Mxene, Xenes 金属性，绝缘体陶瓷类：Ti₃C₂，Nb₂C等
- 5, MOF，COF 等大有机类材料
- 6, 性质不明材料

二维材料简介

根据应用分类

- 1, 工业应用：层间容易滑移->高温润滑剂，graphite，MoS₂，WS₂
热管理材料->最高的热导率材料（石墨烯），最低的热导率材料（WSe₂）
都是层状材料。
- 2, 其他应用：暂无

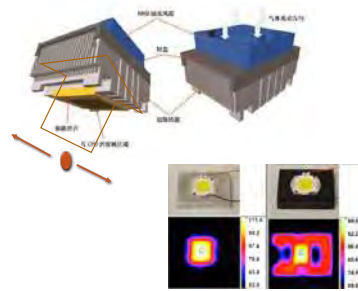
热管理领域的二维材料

名稱	熔點 (°C)	熱膨脹 ($\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T}$)	比熱容 ($J/kg \cdot ^\circ C$)
灰鑄鐵	1200	16 ~ 18.5	0.13
鋼	1450	10 ~ 12	0.12
鋁鑄	1000~1300	16.1	0.2
黃銅	950	18.5	0.25
青銅	900	13.5	0.2
銅	1080	16.6	0.1
錫	230	20	0.14
鉛	327	21.4	0.29
鐵	2060	11.7	0.24
錳	110	20.4	0.1
鎳	1435	19.9	0.25

石墨烯热导率: 5300 W/m.K? 3600?

WSe2 热导率: 0.05W/m.K,

六方氮化硼热导率: 390 W/m.K



市场上对应的热管理层状材料

石墨烯:

目前的主要应用是小型电子设备。

优点：热导率高，散热效率高。

缺点：导电，价格昂贵。

市场前景：悲观。



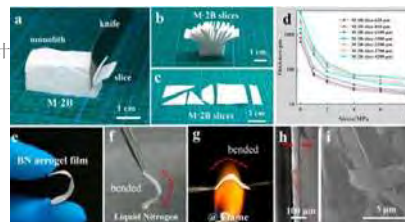
市场上对应的热管理层状材料

六方氮化硼（白石墨）材料：

优点：热导率高，绝缘，无电磁设计难题。

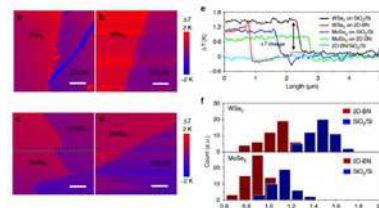
缺点：脆性，市场上产品稀少。

前景：乐观。



热设计和热管理

材料设计是核心，热管理设计是手段。



利用单层氯化硼插层提高WSe₂及MoSe₂场发射效应管的散热效率。

1) 导热材料设计:

Graphene+hBN+WSe2

这和热电材料设计有类似的理念，通过材料组合增强热的利用效率。

2) 不同材料在器件设计时就参与进来, 利用材料本身特性来增强热管理能力(弊端: 高加工和组装成本)。

研究现状和前景

研究现状：基本上可以用一片混乱来形容。

- 1) 评价体系不完善，基本上都是自说自话。
- 2) 新材料的应用很少，学术研究和工业对接基本上没有。

前景：在小热量的领域层状材料热管理设计会越来越重要。但在大热量热管理领域，基本上没有价值。

二维半导体领域

Topics:

1, 后摩尔时代:

低功耗半导体

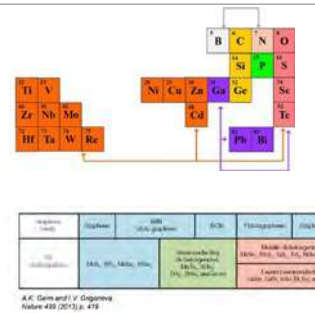
小沟道半导体

对应材料：黑磷，MoS₂，WS₂，WSe₂，MoTe₂，In₂Se₃，GaSe，InSe等材料

2, 柔性半导体

对应材料：石墨烯，MoS₂/WS₂等材料。

研究者们开发了多种基于二维半导体的应用器件/电路：如单个的NMOS/PMOS器件反相器、SRAM、NCFET、纳米器件、光电探测器、生物传感器、存储器、柔性电路、小型集成电路等。



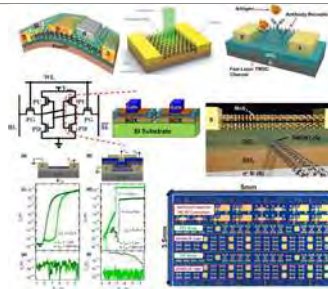
二维半导体-低功耗器件

在众多应用场景中，二维半导体都有不俗的表现，展现了其作为硅材料有力替代者的潜力。采用二维半导体的场效应晶体管，有望将其沟道长度缩小至2nm。此外，二维半导体在异质集成、三维集成等领域也具有较好的发展前景。

案例：斯坦福大学的研究小组基于碳纳米管和二维半导体材料已经开发出了一种新型的三维集成技术：N3XT，并成功制备出了电路样品。

优势：超薄，天然低功耗。

劣势：中短期内没有材料能够撼动硅的地位，包括二维半导体。



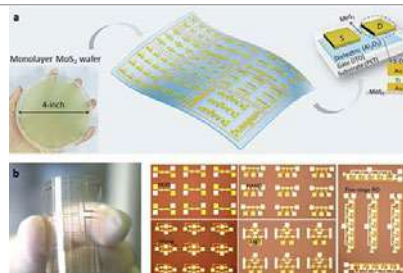
Aly, M.M.S., Gao, 2015, "Energy-Efficient Abundant-Data Computing: The N3XT 1,000X," IEEE Computer, Vol. 48, pp. 24-33.

二维半导体-柔性电子领域

二维半导体优势:

所有二维材料，薄到一定程度，天然柔性。柔性性能本身不是二维半导体担心的问题。

劣势：柔性电子本身并未成为一个产业。



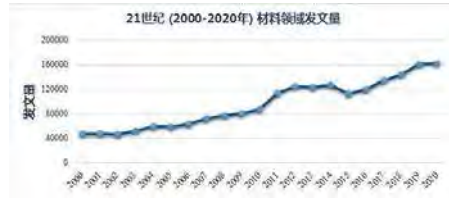
Li, N., Wang, Q., Shen, C. et al. Large-scale flexible and transparent electronics based on monolayer molybdenum disulfide field-effect transistors. Nat Electron (2020)

基础研究领域

目前二维材料几乎统治了材料学学术领域。

从偏向应用研究的微电子领域，各式传感器领域，到基础研究的凝聚态物理领域，二维材料都占据绝对的地位。

但目前尚无可以看到明确市场价值的研究出现。



材料学领域本身是除生物领域外研究最活跃的领域，过去10年中，引用量最高的10篇材料文献，有7篇是2D 材料的。

六碳科技

六碳在做的事情

- 1) 二维半导体材料的批量化制备技术研究。
- 2) 新型二维半导体性质的研究（资助或者联合高校科研团队做初步的探索）。
- 3) 更多新型二维半导体材料开发。
- 4) 学术级别的 Beyond 2D: Mxene, MOF, COF, 钙钛矿----

为什么做这些事情？

- 1) 前沿材料研究的连续性
- 2) 从一开始就需要更加关注材料的应用价值

六碳科技

深圳六碳科技有限公司自主建设拥有三个研发实验室：

- 1) 前沿材料研发实验室：用于跟踪研发生产前沿科研材料
- 2) 器件研发实验室：自建4英寸微纳工艺研发线，探索基于前沿材料的器件制备工艺
- 3) 材料和器件表征实验室：材料和器件表征，加快迭代更新速度。



深圳六碳科技科技自有的三个器件实验室，从材料、器件、表征三个方面全面支持前沿材料的研发和生产，力求在同一个大实验室内以最高效率从事前沿材料从基础合成到器件工艺再到性能评估改进的进程，缩短前沿材料从基础研究到走向实用化的时间。

THE END

谢谢！

XU Zihan
许子寒
xu@6carbon.com
6Carbon Tech. Shenzhen

活動三

會議紀要：

「金屬工業飛躍—採納嶄新材料及關鍵加工技術」國際會議

1.3 「用於醫療保健、植入物和生物醫學行業的最新金屬和陶瓷材料開發、應用和加工技術」分會議

— 由中國西安理工大學王旭副教授主講

生物醫用材料是用來對生物體進行診斷、治療、修復或替換病損組織、器官或增進其功能的材料。它是研究人工器官和醫療器械的基礎，已成為當代材料學科的重要分支，尤其是隨著生物技術的蓬勃發展和重大突破，生物醫用材料已成為各國科學家爭相進行研究和開發的熱點。

香港生產力促進局（生產力局）致力以先進技術驅動香港企業提升生產力，透過是次國際會議，由中國西安理工大學材料科學與工程學院王旭副教授向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員介紹生物醫用材料的發展和應用現狀，以及相關投資要點、運作成本和新商機。

是次國際會議中，王旭副教授主要介紹了生物醫用金屬材料和生物醫用陶瓷材料。生物醫用金屬材料需要具有優良的機械性能、抗腐蝕性能及生物相容性，目前臨床應用的醫用金屬材料主要為不鏽鋼、鈷鉻鉬合金、鈦合金、鎳鈦形狀記憶合金等，應用於人體骨科、齒科、心血管科等。醫用金屬材料的發展趨勢為系統化、多樣化及定制化。系統化即利用大數據研究分析金屬原色在人體內外毒性的相關性，及以分子生物學技術從分子水準研究金屬元素對人體組織的影響；多樣化即為擴展金屬醫用材料的種類和研究開發高耐蝕性、高耐磨性、高疲勞強度和高韌性合金；定制化即為採用3D列印等新技術新工藝完成醫療器械和定制化製作。可以通過機械、化學和物理表面改性的方法，達至改變材料的特定表面形貌、清洗和粗化表面、改善基體和鍍層的結合、提高生物活性、生物相容性和骨傳導性能、提高抗摩擦磨損性能、血液相容性、清潔、滅菌、氧化、氮化表面層等目的。

生物醫用陶瓷材料可以分為植入類陶瓷和生物工程類陶瓷二大類。根據其與生物體組織的反應程度則可分為三類：生物惰性陶瓷、生物活性陶瓷和生物可降解陶瓷。常見的生物醫用陶瓷分為磷酸鈣陶瓷、生物活性玻璃與生物微晶玻璃及其它生物陶瓷。在目前研究和使用的硬組織替換生物材料中，磷酸鈣生物陶瓷佔很大比重，主要是因為磷酸鈣生物陶瓷具有良好的生物相容性和生物活性，對人體無毒、無害、無致癌作用，並可以和自然骨通過體內的生物化學反應成為牢固的骨結合，但脆性是制約其臨床應用的主要因素。磷酸鈣生物陶瓷主要包括磷灰石(Hydroxyapatite，簡稱HA)和磷酸三鈣(Tricalcium Phosphate，簡稱 β -TCP)。

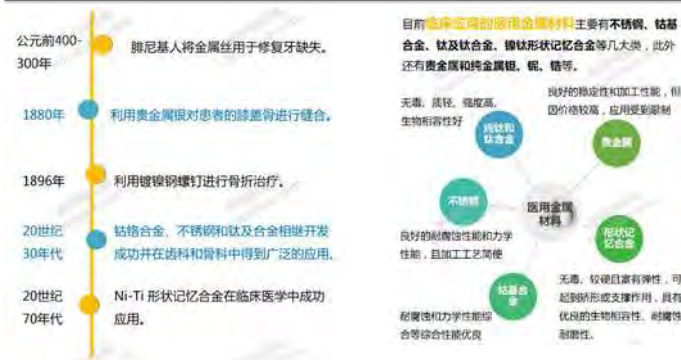
製備HA粉末的方法大致可分為濕法和乾法。濕法包括沉澱法、水熱合成法、溶膠-凝膠法、超聲波合成法及乳液劑法等；乾法為固態反應法等。由於HA陶瓷的分子結構和鈣磷比與正常骨的無機成分非常近似，其生物相容性十分優良，對生物體組織無刺激性和毒性。HA多孔體常用於骨置換和骨缺損修復，如下頷骨重建、牙槽嵴增高、顱頤骨缺損充填等。另外在眼科，目前已開始大量採用HA多孔體來製作義眼座。

β -TCP具有良好的生物降解性、生物相容性和生物無毒性，當其植入人體後，降解下來的Ca、P能進入活體循環系統形成新生骨，因此作為理想骨替代材料的 β -TCP已成為世界各國學者研究的重點之一。 β -TCP陶瓷的製備一般分三個步驟：粉末製備、成型和燒結。其應用主要集中在 β -TCP陶瓷人工骨、 β -TCP複合人工骨、 β -TCP藥物載體三方面。

能與人體骨或軟組織形成生理結合的生物陶瓷稱為生物活性玻璃。常見的生物活性玻璃包括Bioglass、A-W微晶玻璃、Ceravital。Bioglass能在生物體內與自然骨牢固結合，該類生物玻璃接觸水相介質如模擬體液時具有相當高的反應活性；A-W微晶玻璃可用於製造人工脊椎骨、肋骨等；Ceravital可用於不承受或少承受彎曲應力的牙根、顎骨等部位。

至於其他生物陶瓷則包括氧化鋁生物陶瓷、氧化鋯生物陶瓷。氧化鋁生物陶瓷具有以下生物學性能：氧化鋁在體液中完全穩定，在生物體內不會發生溶解和變性。氧化鋁對周圍機體組織呈惰性反應。孔徑大於100 μ m的多孔體植入骨組織後，新骨很快長入氣孔中；氧化鋯陶瓷是指以ZrO₂為主要成分的陶瓷材料，它不但具有普通陶瓷材料耐高溫、耐腐蝕、耐磨損、高強度等優點，其韌性也是陶瓷材料中最高的(與鐵及硬質合金相當)。氧化鋯陶瓷的應用範圍大致與氧化鋁相似，曾用作人工牙根、人工關節和骨折固定用螺釘等。由於氧化鋯材料的機械性能優異，因此已成為口腔修復領域重要的應用材料之一。

1.3 生物医用金属材料分类发展和分类



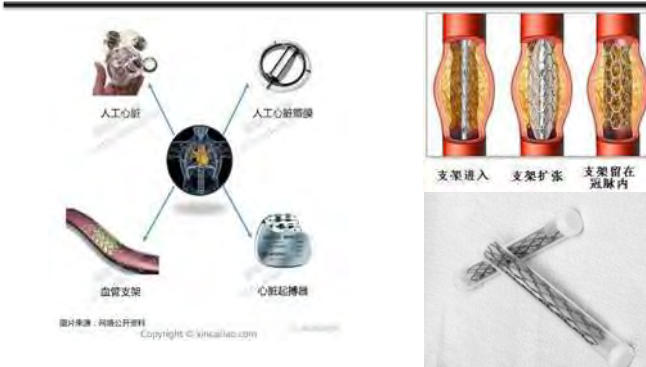
1.3.1生物医用金属材料应用-骨科



1.3.2 生物医用金属材料应用-齿科



1.3.3 生物医用金属材料应用-心血管



1.3.4 发展趋势



1.3.5 临床应用及改性



二、生物医用陶瓷材料

- 生物陶瓷 (Bioceramics) 是指用作特定的生物或生理功能的一类陶瓷材料, 即直接用于人体或与人体相关的生物、医用、生物化学等的陶瓷材料。广义讲, 凡属生物工程的陶瓷材料统称为生物陶瓷。



2.1 常见生物医用陶瓷及分类

- **生物陶瓷**可以分为与人体相关的陶瓷(**植入类陶瓷**)和与生化学相关的陶瓷(**生物工程类陶瓷**)二大类别。所谓的与人体相关的陶瓷就是指通过植入人体或是与人体组织直接接触,使机体功能得以恢复或增强可使用的陶瓷。右图是人体内常见植入的生物陶瓷。



2.1 常见生物医用陶瓷及分类

►陶瓷植入材料根据其生物体组织的反应程度一般可以分为三类：**生物惰性陶瓷**、**生物活性陶瓷**和**生物可降解陶瓷**。如右表所示。

分类	主要特点	示例
生物惰性陶瓷	在生物体内化学性质稳定，生物相容性好，无组成元素溶出，对机体无刺激	氧化铝陶瓷、氧化锆陶瓷、碳素材料等
生物活性陶瓷	表面可与生理环境反应形成阻止材料进一步溶解的界面，与人体组织具有良好的化学亲和性	生物活性玻璃、玻璃陶瓷、羟基磷灰石、磷酸钙骨水泥等
生物可降解陶瓷	暂时性的骨替代材料，最终通过体液溶解或被代谢系统排出体外	磷酸钙陶瓷、硫酸钙陶瓷、可降解生物玻璃等

17

2.1 常见生物医用陶瓷



脊柱侧弯，后路矫正加生物陶瓷植入脊柱融合。
上海第二军医大学、长征医院骨

18

2.2 常见生物医用陶瓷发展

1851年，报道使用硫化天然橡胶制成人工牙托和颌骨。
1871年，羟基磷灰石被人工合成。
1894年，H. Dreeman报道使用熟石膏作为骨替换材料。
1926年，Bassett 用X-射线衍射分析发现骨和牙的矿物质与羟基磷灰石的X射线谱相似。
1928年，Leriche 和 Policard 开始研究和应用磷酸钙作为骨替换材料。

19

2.2 常见生物医用陶瓷发展

1930年，Naray-Szabo 和 Mehmel 独立地应用 X-ray 衍射分析确定了**氟磷灰石**的结构。
1937年，牙科医学中开始应用**聚甲基丙烯酸甲酯**。
二战期间，人们开始试验用聚乙烯塑料制造血管替代材料。
1958年，外科医生尝试用**涤纶**仿造动脉血管。
1963 年在生物陶瓷发展史上是重要的一年，该年Smith 报告发展了一种陶瓷骨替代材料。由于技术方面的限制，直到1971年才有**羟基磷灰石**被成功研制并扩大到临床应用。

20

2.3几种常见的生物医用陶瓷

- ◆磷酸钙陶瓷
- ◆生物活性玻璃与生物微晶玻璃
- ◆其它生物陶瓷



21

2.3.1磷酸钙陶瓷

- 在目前研究和使用的硬组织替换生物材料中，**磷酸钙生物陶瓷**占有很大的比重，主要是因为**磷酸钙生物陶瓷**具有良好的生物相容性和生物活性，对**人体无毒、无害、无致癌作用**，并可以和自然骨通过体内的生物化学反应成为**牢固的骨性结合**。
- **磷酸钙生物陶瓷**主要包括**磷灰石**和**磷酸三钙**，作为生物材料使用的磷灰石一般是Ca与P原子比为1.67的**羟基磷灰石** $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (Hydroxylapatite, 简称HA)，**磷酸三钙**是Ca与P原子比为1.5的 **β -磷酸三钙** $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Tricalcium Phosphate, 简称 β -TCP)。

22

2.3.1磷酸钙陶瓷的性能

性能	烧结羟基磷灰石	烧结 β -磷酸三钙	皮质骨
成分	$\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ (>99.2%)	$\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (>99.7%)	
物相	磷灰石	磷钙矿	
密度 (g/cm ³)	3.16	3.07	1.6~2.1
维氏硬度 (HV)	600		
压缩强度 (MPa)	500~1000	460~680	100~230
弯曲强度 (MPa)	115~200	140~154	50~150
杨氏模量 (GPa)	80~110	22~90	7~30
断裂韧性	1.0		2~12

➤ 从力学相容的角度来看，作为硬组织替换用的磷酸钙盐至少应与被替换的器官有相近的强度和弹性模量。**脆性是制约磷酸钙生物陶瓷临床应用的主要因素之一**。改善磷酸钙盐陶瓷的脆性，使其能应用到大块骨缺损的修复及承力部位，成为这一领域中材料研究急需解决的问题。

23

2.3.1羟基磷灰石粉末的制备

- 制备HA粉末的方法大致可分为湿法和干法。**湿法包括沉淀法、水热合成法、溶胶-凝胶法、超声波合成法及乳液剂法等**；**干法为固态反应法等**。

	抗压强度	挠曲强度	扭曲强度	抗拉强度	弹性模量
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
HA致密体	308~509	61~113	50~76	117	44000~88000
致密人骨	89~164	160~180	50~68	89~114	15800
人牙釉质	384	—	—	10.3	82400
人牙本质	295	—	—	51.7	18200

24

2.3.1 HA的优点

- HA陶瓷由于分子结构和钙磷比与正常骨的无机成分非常近似，其生物相容性十分优良，对生物体组织无刺激性和毒性。大量的体外和体内实验表明，HA在与成骨细胞共同培养时，HA表面有成骨细胞聚集；植入骨缺损时，骨组织与HA之间无纤维组织界面。植入体内后表面也有磷灰石样结构形成、因为骨组织与植入材料之间无纤维组织间隔，与骨的结合性好。

25

2.3.1 HA材料在医学领域的应用

- HA多孔体常用于骨置换和骨缺损修复，如下颌骨重建，牙槽嵴增高、颅颌骨缺损充填等。HA材料具有骨传导能力这一点已为各国学者所承认。多孔体结构与致密体相比表面积大幅度增大，这对于加速早期骨生长，促进植入材料与周围骨一体化是十分有利的。另外在眼科，目前已开始大量采用HA多孔体来制作义眼座。



HAP生物陶瓷听小骨置换假体



HAP涂层钛基牙种植体

26

2.3.1磷酸三钙

- 目前广泛应用的生物降解陶瓷是一系列磷酸钙基陶瓷，包括 α -磷酸三钙、 β -磷酸三钙(β -TCP)、磷酸氧四钙等。其中 β -TCP具有良好的生物降解性、生物相容性和生物无毒性，当其植入人体后，降解下来的Ca、P能进入活体循环系统形成新生骨，因此它作为理想的骨替代材料已成为世界各国学者研究的重点之一。
- β -TCP陶瓷的制备一般分三个步骤：粉末制备、成型和烧结。

27

2.3.1磷酸三钙在骨科中的应用

➤ β -TCP陶瓷在骨科中的应用

作为一种与生物具有良好亲和性的生物陶瓷材料， β -TCP安全、无毒、无副作用，作为植入材料可引导新骨的生长；其作为人工齿根、人工骨、生物骨水泥等已得到广泛应用。目前，其应用主要集中在 β -TCP陶瓷人工骨、 β -TCP复合人工骨、 β -TCP药物载体等三个方面。

28

2.3.2生物活性玻璃与生物微晶玻璃

- 长久以来，玻璃一直被认为是一种惰性材料，在医学方面主要用做实验室器皿、试管和医用安瓿等容器。事实上玻璃不仅能参与血凝反应，而且能加速凝血，这说明**玻璃表面不是惰性的，而是活性的**。
- 1971年，佛罗里达大学的Lary Hench教授偶然发现将 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ 系统的玻璃材料植入生物体内，作为骨骼或牙齿的替代物，材料中的组分可以同生物体内的组分相互交换或反应，最终形成与生物体本身相容的物质，构成新生骨骼或牙齿的一部分。Hench教授将**这种能与人体骨或软组织形成生理结合的生物陶瓷称为生物活性玻璃**。自此之后，不断有新型的生物活性玻璃被开发研制出来。

29

2.3.2商品化的生物活性玻璃已经在临床上应用

生物材料	SiO_2	P_2O_5	CaO	CaF_2	MgO	Na_2O	K_2O	Al_2O_3	相组成(%)
45SS	45.0	6.0	24.5			24.5			玻璃
Ceravital	40~50	10~50	30~35		2.5~5.0	5~10	0.5~3		磷灰石+玻璃相
Cerabone	34.0	16.2	44.7	4.6					磷灰石+玻璃相
Bioverit	19~52	4~24	9~30	5~15		3~5	3~5	12~33	磷灰石+玻璃相
A-W	34.0	16.2	44.7	0.5	4.6				磷灰石+硅灰石+玻璃相
Ilmaplant-Li	44.3	11.2	31.9	5.0	2.8	4.6	0.2		磷灰石+硅灰石+玻璃相

30

2.3.2 常见的生物活性玻璃

• $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ 系玻璃(Bioglass)

Bioglass是第一种能在生物体内与自然骨牢固结合的玻璃，该玻璃在组成上的特点有：**高钙磷比**， **SiO_2 的摩尔含量少于60%**， **Na_2O 和 CaO 含量较高**，所以该类生物玻璃接触水相介质如模拟体液时具有相当高的反应活性。

31

2.3.2 常见的生物活性玻璃

• $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ 系微晶玻璃（A-W微晶玻璃）

该微晶玻璃的代表组成为(质量%)： MgO 4.65， CaO 44.9， SiO_2 34.2， P_2O_5 16.3， CaF_2 0.5。熔成玻璃后将其粉碎，然后成形压制成所需的形状后，在烧结过程中形成氧-氟磷灰石 $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{O},\text{F}_9)]$ 以及 β -硅灰石结晶，成为气孔率为0.7%的致密微晶玻璃(A-W微晶玻璃)。将A-W微晶玻璃继续升温后， β -硅灰石晶体量增加，而氧-氟磷灰石的一部分与玻璃相反应转变为 β -3 $\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 晶体(A-W-CP微晶玻璃)。应用试验表明，**A-W微晶玻璃可用于制造人工脊椎骨、肋骨等**。

32

2.3.2 常见的生物活性玻璃

• Na₂O-K₂O-MgO-CaO-SiO₂系微晶玻璃(Ceravital)

Ceravital微晶玻璃既具有Na₂O-CaO-SiO₂-P₂O₅系玻璃与骨结合的特点,又可避免较多的Na⁺和Ca²⁺长时期溶出后形成强度低的SiO₂凝胶层。组成中Na₂O含量低,但经过热处理后玻璃中含较多的磷灰石晶体,这既使玻璃提高了机械强度,又具有生物活性。将其植入动物体后,与骨缺损部位形成牢固的化学结合。**Ceravital可用于不承受或少承受弯曲应力的牙根、颞骨等部位。**

33

2.3.3其他生物陶瓷

➤氧化铝生物陶瓷

➤氧化锆生物陶瓷

34

2.3.3.1 氧化铝生物陶瓷

• **目前的医用氧化铝陶瓷为主要含 α -Al₂O₃的单相材料。**而且氧化铝的化学性质、力学性能和物理性能都要达到ISO 64749和ASTM F60310的相应标准。下表列出了医用氧化铝陶瓷的主要性能。

医用氧化铝陶瓷的主要性能

化学组成	99.9% Al ₂ O ₃ (含有少量MgO杂质)
密度(g·cm ⁻³)	≥3.97
孔隙率	0.1%
抗弯强度/Mpa	500
抗压强度/Mpa	4100
杨氏模量/Gpa	380
泊松比	0.23
热膨胀系数/K ⁻¹	8×10 ⁻⁶
热导率/(W·mK ⁻¹)	30
硬度(HV)/Mpa	>2000

35

2.3.3.1氧化铝的生物学性能

氧化铝的生物学性能可大致归纳为以下几个特点：

- (1) 氧化铝在体液中完全稳定，在生物体内不会发生溶解和变性。
- (2) 氧化铝对周围机体组织呈惰性反应。对骨组织生长无抑制作用，生物相容性比金属和有机高分子材料好。
- (3) 孔径大于100μm的多孔体植入骨组织后。可看到新骨很快长入气孔中。

36

2.3.3.2 氧化锆生物陶瓷

氧化锆陶瓷是指以 ZrO_2 为主要成分的陶瓷材料，它不但具有普通陶瓷材料**耐高温、耐腐蚀、耐磨损、高强度**等优点，而且其**韧性也是陶瓷材料中最高的**(与铁及硬质合金相当)。

高纯氧化锆为白色粉末，密度为 $5.49g/cm^3$ ，熔点高达 $2715^\circ C$ 。单纯氧化锆具有两种晶体结构，低温型和高温型。低温型属单斜晶系，在 $1000^\circ C$ 以下稳定，到更高的温度就转变成较致密的四方晶系的高温形态。

37

2.3.3.2 氧化锆陶瓷的应用

氧化锆陶瓷的应用范围也大体与氧化铝相似，曾用作**人工牙根、人工关节和骨折固定用螺钉**等。也有人利用氧化锆具有高强度，高韧性的特性采取氧化锆与生物活性陶瓷复合烧结的方法来提高生物活性陶瓷种植体的强度。



氧化锆材料由于其优异的机械性能，因此已成为**口腔修复领域重要的应用材料之一**。首先，它强度非常高，其抗弯强度超过 $900MPa$ ；其次，它的极限负载能力强，在三单位冠桥上的承受力大约为 $2000N$ ；第三，是它高的抗断裂能力。该材料可被用于制备侧牙区的修复体，它的抗断裂韧性(K)值超过7。

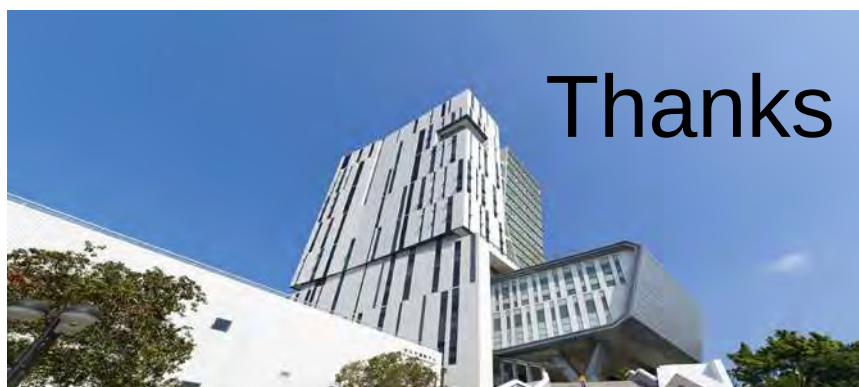


38

生物医用材料发展趋势



39



40

活動四

會議紀要：

「金屬工業飛躍—採納嶄新材料及關鍵加工技術」國際會議

1.4 「應用於輕量化、散熱和強度提升的低成本鋁矽和鎂鋰合金」分會議

— 由香港生產力促進局智能製造部高級顧問黎偉華先生和顧問楊浩坤博士主講

鋰離子電池為目前熱門的儲能器件，廣泛應用於電子產品及汽車上。然而，鋰離子電池在運作過程中釋放的熱量，會嚴重干擾電子器件及汽車關鍵器件的正常操作。此外，鋰離子電池本身的重量及其相關結構件增大了汽車重量，導致額外的能量消耗，因此急需研發高導熱和輕量化的金屬及其復合材料，以滿足電子產品及相關汽車產業日益苛嚴的使用要求。

香港生產力促進局（生產力局）致力以先進技術驅動香港企業提升生產力。透過是次國際會議，由生產力局的黎偉華先生和楊浩坤博士向香港企業家、中高層管理者及工程技術研究員介紹金屬材料輕量化技術的發展和應用現況，研討相關投資要點、運作成本和新商機。

首先，針對汽車輕量化研究，生產力局提出了多種先進工藝和材料的研究案例，包括夾層金屬-塑膠復合板材的製備和沖壓工藝、用於多層復合金屬片開發的累積疊軋焊技術、應用於異種材料（例如鋼與鋁）焊接的回填式攪拌摩擦焊技術。同時，亦介紹了生產力局針對金屬與碳纖維板材的焊接工藝研發等多領域的未來技術佈局。

其次，楊浩坤博士介紹了鋁矽-石墨複合材料的加工工藝及相關材料的特性。研究表明，通過控制500~600°C的環境溫度並通過在30~50MPa的環境壓力進行熱壓工藝，可製備出具有優良導熱系數（30~50W/m·K）和熱膨脹系數（ $12 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ）的複合材料。該材料同時具有高導熱、低膨脹系數的特性，可助力於電子器件散熱效率的提升，並降低因熱膨脹導致的內應力，進而提升電器核心組件和鋰電池的運行壽命。

最後，楊浩坤博士指出：雖然傳統摩擦攪拌焊技術已實現材料的有效焊接，但焊點內的焊孔會弱化焊點強度，影響焊點結構完整性，導致整體結構力學性能的降低，影響焊點疲勞壽命。針對上述需求，生產力局開發了一套回填式攪拌摩擦焊接系統。該系統優化了回填焊技術工藝，通過焊接設備開發、焊接過程與成型機理分析以及異種材料連接研究，實現了鋼-鋁異種金屬材料的有效焊接，且焊縫表面平整、焊點中心沒有凹孔，保證了焊點結構完整性，進而有效提升焊點力學性能。

Metal Lightweight Technologies

金屬輕量化科技

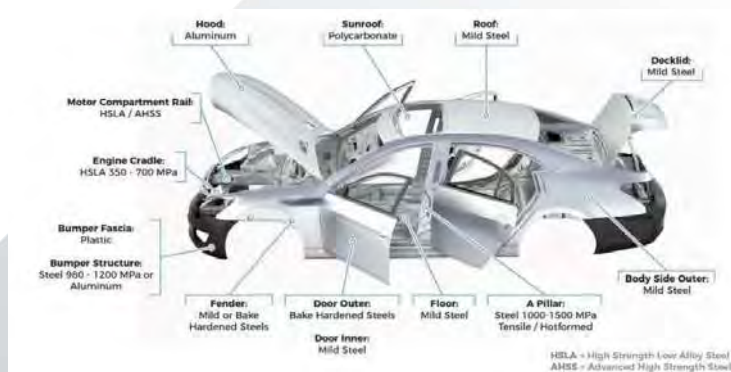
SMD Metals Technologies & Industry

Development

SMD 金屬科技與工業發展

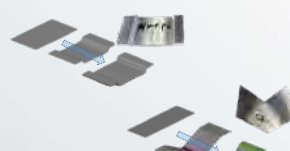
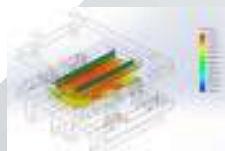
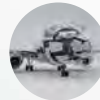
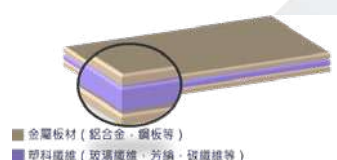
2

金屬輕量化科技



3

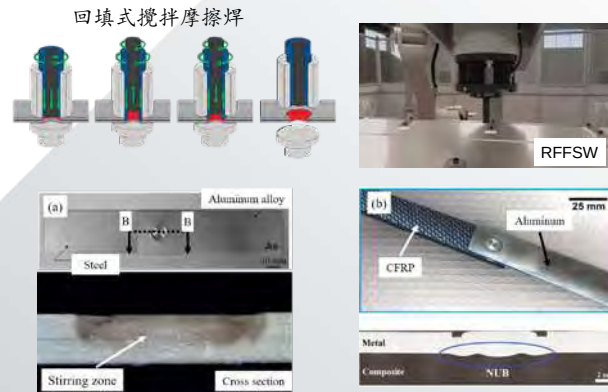
夾層金屬及塑膠 / 纖維板材衝壓成型



可替代現有金屬板材用於沖壓生產

4

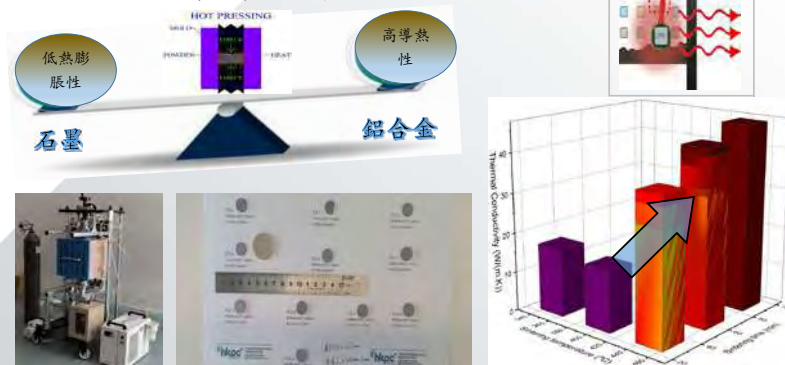
金屬輕量化科技



5

金屬輕量化科技

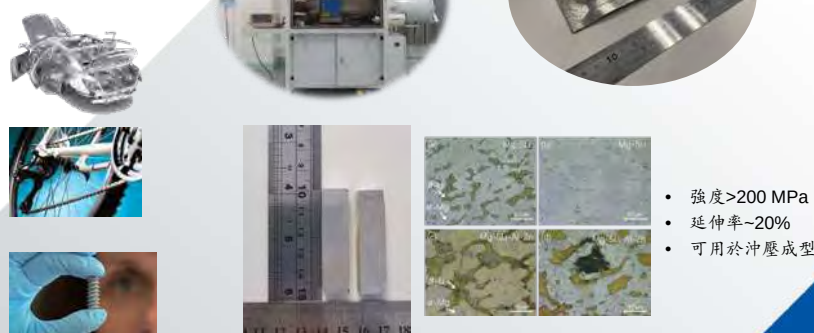
Al-Si-石墨金屬基導熱材料



6

金屬輕量化科技

Mg-Li超輕合金

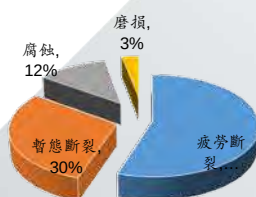


7

金屬輕量化科技

金屬構件失效分析服務

失效模式及其占比



8

超輕合金材料鎂鋰合金

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

目錄 CONTENTS

[1/公司簡介](#)

[2/專案背景](#)

[3/專案運營](#)

[4/推廣計畫](#)

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

10

■關於香港生產力促進局



香港生產力促進局（生產力局）是於1967年成立的法定機構，專業技術和知識覆蓋多個不同範圍，致力透過先進技術和創新服務，協助香港企業提升卓越生產力，領導香港再工業化的發展，專注科技研發、物聯網、大資料分析、人工智慧和機械人技術、智慧製造等先進領域，加強工商界的業務績效，降低運營成本，提高生產力和增強競爭力。

生產力局是香港工商企業值得信賴的合作夥伴，提供全方位的創新方案，提升企業的資源效益，提升生產力和業務，以節省運營成本，令企業在本地和國際市場中保持競爭優勢。生產力局致力為中小企和初創企業提供及時和週到的支持，應對瞬息萬變的營商環境，陪伴他們走上創新和轉型之路。

此外，生產力局積極與本地工商界合作，開發應用技術方案，為產業創新增值，透過產品創新和技术轉移，成功推出多種市場主導的專利技術和產品，發掘本地和國際市場在授權和技术轉移服務中的龐大商機。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

11

■公司主營業務

認識HKPC



MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

12

團隊介紹

Company profile



葉偉華 HKPC資深高級顧問

主要領導HKPC SMD/3808小組開展金屬科技、企業工業產品和模具、汽車零部件、醫療設備、航空航天等領域方面的顧問服務，提供技術支援。



楊浩坤 HKPC顧問

Dr. Joseph YANG在攻讀博士學位期間，曾於博士在中國中國科學院（CAS）和法國國家科學研究中心（CNRS）工作了6年。從事金屬技術和失效分析。獲得博士學位後，在香港城市大學工作了2年，專注於機械、關鍵金屬部件和微電子設備失效機理研究。同時，他承擔了多項失效分析顧問工作，避免意外失效，優化關鍵金屬部件設計，增加機械設備及工藝的附加價值。楊博士目前在香港生產力促進局擔任助理顧問從事工業諮詢、研發和失效分析服務等多項工作。



賴勇 HKPC工程師

負責合金熔鑄和成型過程的實踐和工藝開發，並負責相關材料設備的採購、安裝、運行和維護。負責項目主要有：1. Mg-Li合金的熔鑄、工藝開發和應用推廣；2. Al-Si合金和石墨片複合熱壓工藝的開發和應用推廣。

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

MAKE SMART
SMARTER

PART 02

專案背景

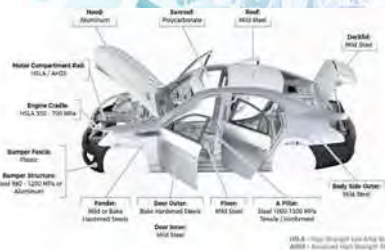
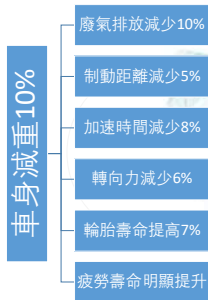
Project introduction

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

14

輕量化概念



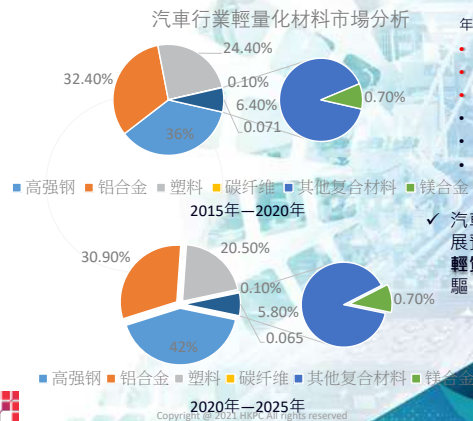
多種輕質高強比材料的綜合利用是實現未來包括汽車輕量化、船舶、兵器、航空航天、電子器件等發展的重要途徑！

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

15

輕質高強材料選擇



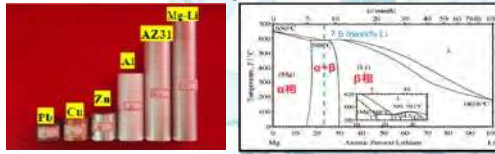
MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

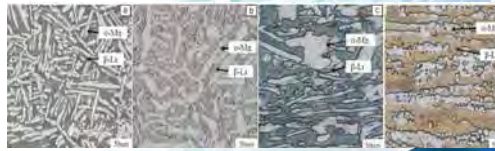
16

■Mg-Li輕質合金材料

世界上最輕的結構金屬——Mg-Li合金



當5.7wt%<Li%<10.3wt%時，Mg-Li合金為雙相α+β組織，兼顧了合金材料的強度、塑性以及硬度等綜合性能。



鑄態 → 均勻化 → 熱軋 → 退火

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

17

■專案內容預期

- I. 開發一種Mg-Li合金輕質高強材料的製備技術及工藝；
- II. 測試樣品物理性能和力學性能，研究研究Li、Al和Zn含量對Mg-Li鑄錠密度、抗拉強度和硬度的影響，然後優化每種材料的用量，製備出性能最佳的Mg-Li合金；
- III. 對研製的Mg-Li合金鑄錠進行軋製加工，製備成與生產廠家匹配的小型工業零件，並對成形零件的物理性能、廢品率和尺寸精度等品質進行測試，開展內部縮孔等缺陷引起的斷裂和性能失效的測試；
- IV. 製備小型工業零件樣本以供香港生產力促進局進行技術示範。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

18

PART 03

專案運營

Project operation

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

19

■專案場地

2019年7月19日，東莞理工學院先進製造學院（長安）與香港生產力促進局深圳創新及技術中心建立東莞理工-香港生產力局聯合研發實驗室簽約儀式在長安先進製造學院舉行。雙方將以聯合研發實驗室為平臺，充分發揮各自的學術研究、高水準人才、國際合作等優勢資源，在國際科技成果轉化、國際前沿科技項目聯合研發、國際學術交流活動、粵港澳人才聯合培養、進出口產品品質檢測與國際標準制定等方面開展合作。

實驗場地位於東莞理工學院先進製造學院教學樓301室，寬敞明亮，已完成配備水、電及專業設備，場地適合企業開展研究試製、教學培訓和產學研合作專案等業務。

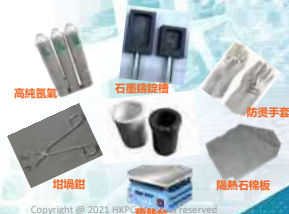


MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

■ 專案設備及耗材

設備及耗材	規格及參數
定制真空手套箱	1200mm (長) × 1000mm (下寬) 900 (上寬) × 900mm (高) 、材質為3mm 厚 SUS304 ; 內表面拉絲, 外表面淺色噴塑;
分體式箱式爐	型號KSL-1200X-J-F ; 最高溫度1200°C
定制熔煉坩堝	高純石墨和低碳鋼不銹鋼坩堝
鎂鋅中間合金	塊狀, Li含量10wt%
純鎂粒/鋅粒/鋁粒	顆粒狀, 純度99.7%以上
其他耗材	石棉瓦、石英坩堝、不銹鋼鉗、防燙手套、預熱台、石墨鑄型槽以及高純氬氣等



MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

21

■ 專案設備及耗材

定制真空手套箱
箱體密封性能優異, 充填氬氣後
可提供一個良好的密閉環境, 防
止熔煉過程中金屬氧化及燒損。



1200°C分體式箱式爐
是一款通過CE認證的分體式微型箱式爐, 爐體尺寸
150*155*180mm, 純氧化鋁作為爐體材料, 採用PID
方式調節溫度, 最高溫度可達1200°C, 滿足熔煉需求。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

雙輥式熱軋機

在再結晶溫度以上進行軋製, 將鑄造狀態
的粗大晶粒破碎, 斷裂裂紋癒合, 減少或
消除鑄造缺陷, 精細組織轉變為變形組
織, 提高合金的加工性能。



22

■ 熔煉工藝技術



MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

23

熔煉工藝過程



原料預處理:
將中間合金鑄成2~4mm大小顆粒, 以可放入坩堝為宜; 顆
粒勿尖銳邊角以防止刮傷坩堝內壁; 為預防原料表面氧化
和油污帶入合金內, 前期可採用砂紙打磨氧化皮, 或者採用稀
鹽酸浸泡, 再用酒精沖洗, 脫乾備用。

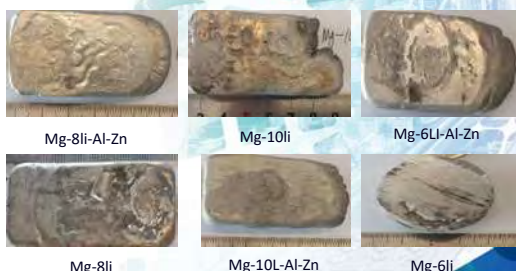
熔煉設備檢測:
檢查密封手套箱是否漏氣或者漏氬, 以防熔煉過程合金氧化或
發生爆炸, 清理坩堝內部殘留物, 防止夾渣。

裝料:
在石墨坩堝中按照Mg-Zn中間合金, Al的順序堆放材料, 使
中間合金大顆粒充分融入該合金。

熔煉溫度控制:
控制好熔煉時間、溫度等重要參數, 詳見合金熔煉溫度曲線。

車削鑄錠:
去掉鑄錠表面氧化物, 加工成方塊樣品, 為熱軋工藝做準備。

■ 澆鑄樣品



熔煉鑄錠試樣

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

24

■ 軋製工藝技術

鎂鋰合金熱軋工藝參數								
實驗步驟	設備及工藝方式	參數 (僅供參考)						
原鑄軋件料處理	1 鑄件加工板材	線切割/機床加工 長48mm*寬25mm*厚10mm						
	2 均勻化處理	400℃±1H(雙爐交替保護,防止金屬高溫氧化)						
	3 化學成分檢測	與鑄合金性能成分對比						
	4 金相組織觀察	光學顯微鏡 砂紙打磨, 5%苦味酸+5ml冰醋酸+10ml濃鹽水+100ml無乙醇腐蝕, 再無乙醇清洗。吹幹(邊科樣留留存,作金相組織顯微使用)						
	5 力學測試	萬能拉伸機 狗骨頭/直接拉伸長條式樣(如果這些樣品可能無法做或圓樣要求的尺寸,建議直接做成長條拉伸)						
軋製方案								
軋製板材處理	1 熱軋	雙軋軋機	多道次小變形軋製工藝參數					
			軋製道次	1	2	3	4	5
			軋製溫度 (°C)	400	370	340	310	280
			軋板厚度 (mm)	7.5	5.0	4.2	3.2	2.4
			道次變形量 (%)	25	33	25	25	25
			道次下壓量 (mm)	2.5	2.5	0.8	1.1	0.8
	備註: 軋板溫度需保持在150°C左右, 如果軋板溫度低於250°C, 需要再增加8430°C±0.5H							
	2 軋板後處理	退火爐/退火	350°C±2H	保護氣體內				
	3 硬度檢測	維氏硬度計	可大致估算合金強度					
	4 金相組織觀察	光學顯微鏡	同上, 或者硝酸酒精腐蝕5S					
	5 力學測試	萬能拉伸機	狗骨頭/直接拉伸長條式樣					
目前準備軋件板材Mg-6Li、Mg-6Li-Al-Zn、Mg-8Li、Mg-8Li-Al-Zn、Mg-10Li、Mg-10Li-Al-Zn各一塊, 共計6塊試樣。為對比軋製效果, 可將每塊試樣切割成長48mm*寬12.5mm*厚10mm,共計12塊試樣。								

MAKE SMART SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

25

■ 軋製樣品



鑄錠切割處理試樣



鑄錠一道次軋製試樣
均勻化熱處理400°C+1h保溫



鑄錠二道次軋製試樣
均勻化熱處理370°C+0.5h保溫

MAKE SMART SMARTER

鑄錠軋製加工及熱處理試樣

26

■ 樣品化學成分測試

Mg-Li合金試樣化學成分及含量測試資料					
樣品編號	20429-018U	樣品名稱	Mg-Li合金試樣塊		
檢測標準	GB/T 30902-2014	儀器型號			
試樣編號	化學成分	成分及含量 (wt%)			備註
		Li	Al	Zn	
1#	Mg-6Li-Al-Zn	4.69	0.80	0.66	類比值
2#	Mg-10Li	7.86	/	/	類比值
3#	Mg-8Li	6.30	/	/	類比值
4#	Mg-10Li-Al-Zn	7.81	1.34	1.10	類比值
5#	Mg-8Li-Al-Zn	6.25	1.07	0.88	實測值
6#	Mg-6Li	4.74	/	/	類比值

化學成分測試結果

MAKE SMART SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

27

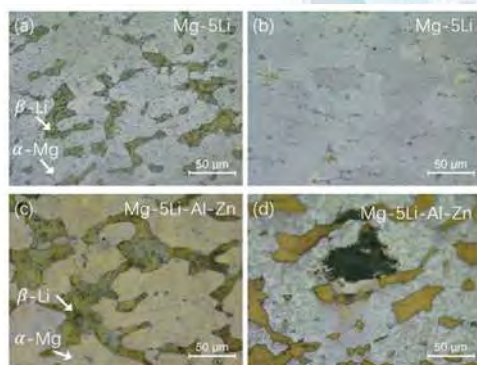


图1 Mg-Li 合金显微组织: (a & b) Mg-5Li 合金; (c & d) Mg-5Li-Al-Zn 合金。

MAKE SMART SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

28

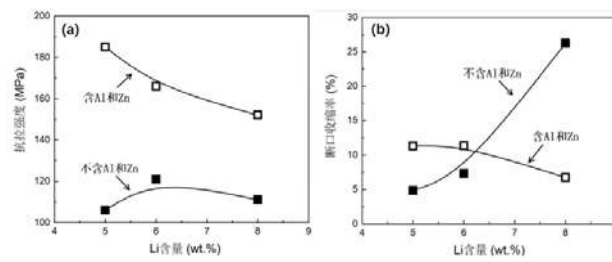


图 2 Li、Al 和 Zn 元素的加入对镁锂合金强度和断面收缩率的影响。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

29

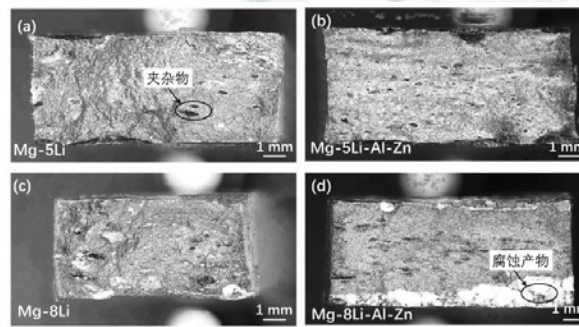


图 3 Li、Al 和 Zn 元素的加入对镁锂合金断面形貌的影响。

MAKE SMART
SMARTER

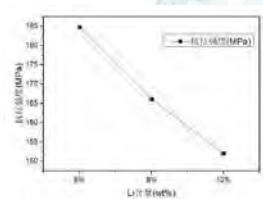
Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

30

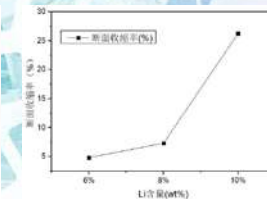
■部分工藝影響因素分析

Li含量Analysis

1.1 Li含量對抗拉強度的影響



1.2 Li含量對断面收缩率的影响



MAKE SMART
SMARTER

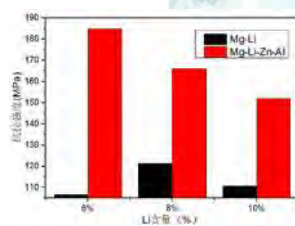
Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

31

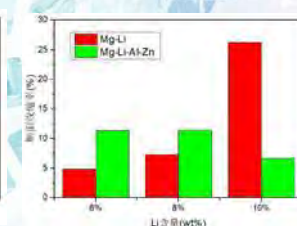
■部分工藝影響因素分析

Al/Zn添加Analysis

1.3 Al/Zn添加對抗拉強度的影響



1.4 Al/Zn添加對断面收缩率的影响



MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

32

結論

(1) 通過手套箱提供氫氣氛圍保護，可以避免鎂鋰合金在熔煉和澆鑄過程中，氧化和水分對鑄錠組織的不利影響。此外，在手套箱內操作，可以方便靈活熔煉不同成分鎂鋰合金，提高合金製備效率。

(2) Li元素的加入，可以在鎂鋰合金基體中析出 β -Li相；Al和Zn元素的加入，可以粗化 β -Li相並且使其均勻化分佈在 α -Mg相中；

(3) Al和Zn元素的加入，可以通過均勻化析出 β -Li相，形成了第二相強化及固溶強化的結果。但是隨著Li元素含量增加到8 wt.%時，Al和Zn元素的加入會急劇惡化材料塑性性能。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

33

PART 04

推廣計畫 Promotion plan

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

34

■ 專案商業計畫

為鎂合金壓鑄、沖壓生產和應用企業提供一站式解決方案，從產品培訓、材料組合設計、加工工藝到測試和評估。

服務詳情：

• 產品培訓服務

- 針對客戶舉辦鎂鋰合金熔鑄技術專題研討會，顧問費RMB10,000/次；

• 物料選擇和組合顧問服務

- 為鎂鋰合金的物料選擇和組合提供顧問服務，顧問服務費RMB20000/案例。

• 複合材料加工服務

- 提供各種輕合金部件製造技術，包括熔煉設備支援及加工，費用RMB500/爐。

• 產品測試和評估

- 提供鎂合金等輕金屬材料及產品的金相檢測及力學性能測試，測試費RMB400/樣。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

35

■ 專案研發成果

專利申請



本發明闡述了一種通過利用手套箱的穩定惰性氣體環境（氫氣）和手套箱內部的分體式箱式熔煉爐實現連續生產鎂鋰合金錠的方案。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

36

AI-Si-石墨金属基导热材料

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

目錄 CONTENTS

[1/公司簡介](#)

[2/專案背景](#)

[3/專案運營](#)

[4/推廣計畫](#)

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

38

PART 01

公司簡介 Company profile

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

39

■關於香港生產力促進局



香港生產力促進局（生產力局）是於1967年成立的法定機構，專業技術和知識覆蓋多個不同範圍，致力透過先進技術和創新服務，協助香港企業提升卓越生產力，領導香港再工業化的發展，專注科技研發、物聯網、大資料分析、人工智能和機械人技術、智慧製造等先進領域，加強工商界的業務績效，降低運營成本，提高生產力和增強競爭力。

生產力局是香港工商企業值得信賴的合作夥伴，提供全方位的創新方案，提升企業的資源效益，提升生產力和產品質素，節省運營成本，令企業在本地和國際市場中保持競爭優勢。生產力局致力為中小企和初創企業提供及時和靈活的服務，應對瞬息萬變的營商環境，陪伴他們走上創新和轉型之路。

此外，生產力局積極與本地工商界合作，開發應用技術方案，為產業創新增值。透過產品創新和技術轉移，成功推出多種市場主導的專利技術和產品，發掘本地和國際市場在授權和技術轉移服務中的龐大商機。

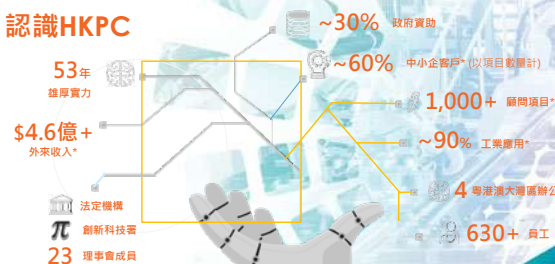
MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

40

■公司主營業務

認識HKPC



MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

41

團隊介紹

Company profile



葉偉華 HKPC資深高級顧問

主要領導HKPC SMD/3808小組開展金屬科技、企業工業產品和機械、汽車零部件、醫療設備、航空航天等領域方面的顧問服務，提供技術支援。



楊浩坤 HKPC顧問

Dr. Haokun YANG 在攻讀博士學位期間，獲悉坤博士在中國科學院（CAS）和法國國家科學研究中心（CNRS）工作了6年，從事金屬技術和材料方面。獲悉坤博士在攻讀博士學位前，在香港城市大學工作了2年，專注於機械、鑄造金屬零件和微電子設備失效機理研究。同時，他承擔了多項失效分析顧問工作，避免意外失效，優化關鍵金屬零件設計，增加機械設備及工業的附加價值。楊博士目前在香港生產力促進局擔任助理顧問，從事工業諮詢、研發和失效分析服務等多項工作。



楊勇 HKPC工程師

楊勇先生是結構和熱應力分析的實踐和工藝經驗，並對材料學和材料製造的知識。受聘、運行和維護工業機械主要有：1. Mg-70合金的熔煉、工藝開發和應用；2. Al-90合金的金屬材料與石更片合金熱壓工藝的開發和應用。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

42

PART 02

專案背景

Project introduction

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

43

導熱材料應用市場

1. 為什麼需要導熱材料

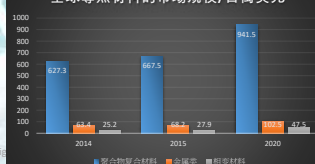
在電子元件和散熱器之間存在微孔隙及表面凹凸不平的孔洞，填充的空氣熱導率只有0.024W/(m·K)，是熱的不良導體，嚴重阻礙熱量的傳導，造成散熱器效能低下。



2. 導熱材料種類有哪些？

市場上常用的導熱材料有很多種，聚合物複合材料和相變材料主要包括導熱矽脂、導熱矽膠墊、導熱雙面膠、導熱灌封膠，另外還有金屬類導熱材料等。

全球導熱材料的市場規模/百萬美元



MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

44

導熱材料應用市場



項目預期概述

- 開發一種小批量、小尺寸Al-Si-石墨片複合材料（鋁塊）的製備技術及工藝；
- 測試樣品物理性能和力學性能，研究熱壓工藝參數和GF添加量對製備的Al-Si-GF複合材料導熱係數和熱膨脹係數的影響，並最終優化每種材料的用量，製備出性能最佳的Al-Si-GF材料；
- 將研製的Al-Si-GF材料製備成與生產廠家配套的小型工業零件，並對成形零件的物理性能、廢品率和尺寸精度等品質進行測試，尤其是對存在的小孔洞及其分佈、斷裂和失效性能的測試；
- 製備小型工業零件樣本以供香港生產力促進局進行技術示範。

MAKE SMART SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

46

PART 03

專案運營

Project operation

MAKE SMART SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

47

導熱材料研發實驗室簡介

——香港生產力促進局與東莞理工聯合實驗室

香港生產力促進局(生產力局)成立於1967年，其使命是透過向業界提供橫跨價值鏈的諮詢、培訓、技術轉移支援，協助企業達到卓越生產力，從而提高產品和服務的附加值，以加強國際競爭力及持續發展能力。

2019年7月19日，東莞理工學院先進製造學院（長安）與香港生產力促進局深圳創新及技術中心建立**東莞理工-香港生產力局聯合研發實驗室**簽約儀式在長安先進製造學院舉行。東莞理工學院先進製造學院（長安）與香港生產力促進局建立了新型戰略合作關係，雙方將以聯合研發實驗室為平臺，充分發揮各自的學術研究、高水準人才、國際合作等優勢資源，在國際科技成果轉化、國際前沿科技項目聯合研發、國際學術交流活動、粵港澳人才聯合培養、進出口產品品質檢測與國際貿易糾紛等方面開展合作。



MAKE SMART SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

48

實驗設備及耗材的採購/安裝/培訓

設備及耗材	規格及參數
真空熱壓機	OTF-1200X-VHP4
高純氬氣及氣瓶	99.99%
定制石墨模具	Ø12.7*48和Ø6*48
Al-Si合金粉末	近球形, Si含量20wt%
石墨片	鱗片狀, 100目
其他耗材	電子稱量計, 玻璃杯及鑰匙, 稱量紙, 乙醇溶液等



OTF-1200X-VHP4 開敞式立式爐，標配 dia4" 石英管真空密封，20T 電動壓力機，是在真空高壓下製備緻密化合物材料的理想工具，在 5 噸壓力下可融合多層薄片，爐子可以加熱到 1100 °C，並且 30 段程式控溫，帶水冷的法蘭可使真空度達到 10⁻⁵Torr (用分子泵)

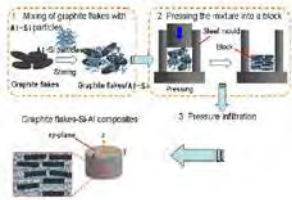


MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

49

實驗過程及工藝方法



1. 均勻混合鱗片石墨片和 Al-Si 合金粉末；
2. 填充混合粉末到定制模具中；
3. 在氬氣保護氛圍條件下，同時提供壓力和溫度，使混合粉末熱壓燒結成型。

熱壓成型工藝參數

樣品編號	爐片 (mm)	爐片 (mm)	熱壓溫度 (°C)	熱壓時間 (min)
1	Al-12Si	0	40	60
2	Al-12Si-15%Gr	15	35	30
3	Al-12Si-15%Gr	15	35	30
4	Al-12Si-15%Gr	15	30	30
5	Al-12Si-15%Gr	15	40	30
6	Al-12Si-15%Gr	15	45	30
7	Al-12Si-20%Gr	5	45	60
8	Al-12Si-15%Gr	10	45	60
9	Al-12Si-15%Gr	15	45	60
10	Al-12Si-20%Gr	20	45	60
11	Al-12Si-15%Gr	15	45	90

Hot Ising and Hot Pressing of 15% Powder
Compared to 5% conventional Powder Technology
Result

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

50

導熱材料研發設備及製備過程

——真空熱壓燒結設備

OTF-1200X-VHP4 開敞式立式爐，標配 dia4" 石英管真空密封，20T 電動壓力機，是在真空高壓下製備緻密化合物材料的理想工具，在 5 噸壓力下可鍵合多層薄片。爐子可以加熱到 1100 °C 並且 30 段程式控溫。帶水冷的法蘭可使真空度達到 10⁻⁵Torr (用分子泵)。



石英管和密封法蘭



液壓泵



真空熱壓機



立式爐



複合材料製備過程

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

51

導熱Al-20Si/石墨片複合材料樣品



圓形薄片試樣



圓棒狀試樣

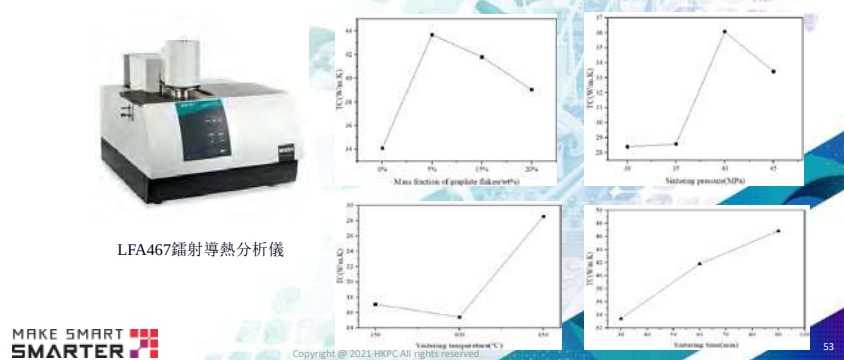
MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

52

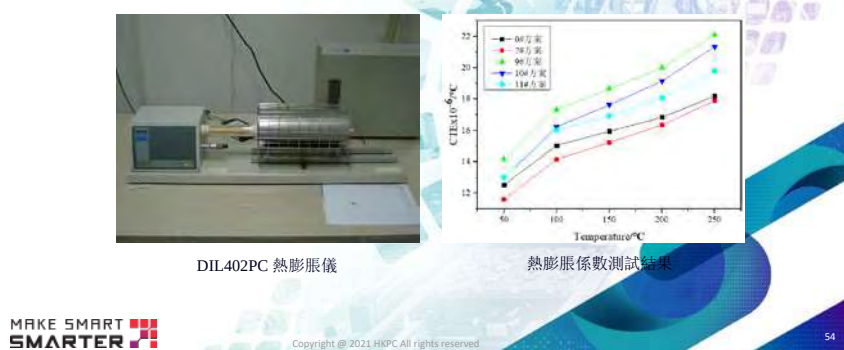
導熱Al-20Si/石墨片複合材料測試及分析

1. 導熱係數測試結果及影響因素



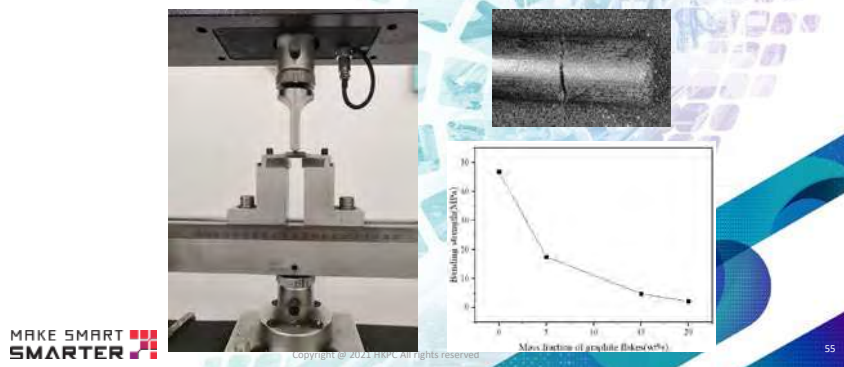
導熱Al-20Si/石墨片複合材料測試及分析

2. 熱膨脹係數測試結果



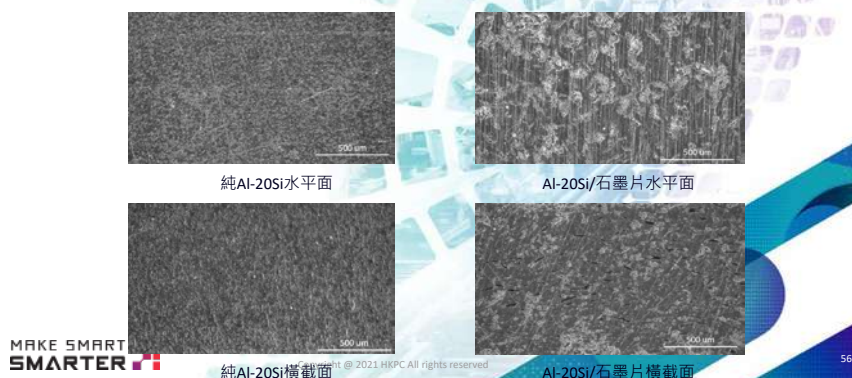
導熱Al-20Si/石墨片複合材料測試及分析

3. 三點抗彎曲強度測試結果



導熱Al-20Si/石墨片複合材料測試及分析

4. 金相觀察測試結果



結論：

(1) 真空熱壓燒結技術是一種簡單快速的製備複合材料的方法，將混合粉體填入石墨模具內，在密閉石英玻璃套管內實現保護氛圍，同時提供溫度和壓力作用，可以簡單快速製備出鋁矽合金粉複合石墨片的複合材料，經過鐳射導熱儀器和熱膨脹儀測試，複合材料具備高導熱、低熱膨脹等優良的熱管理材料物理性能。

(2) 石墨含量、熱壓強度、燒結溫度和時間等工藝參數對Al-Si/石墨複合材料的導熱係數影響較大，本文通過正交實驗方法選取了石墨含量5wt%，熱壓強度45MPa，燒結溫度450°C，時間60min的最佳工藝，製備了垂直方向z導熱係數約44W/(m·K)，熱膨脹係數低至約 $15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的導熱複合材料。

(3) 雖然本文製備的Al-20wt%Si/石墨複合材料相對於高導熱石墨材料的強度已經有所提升，滿足作為高功率電子器件的非結構導熱性能材料使用。但是為實現結構功能一體化的高導熱、低熱膨脹係數的複合材料製備，抗彎曲強度等力學性能仍需進一步提升和研發。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

57

PART 04

推廣計畫

Promotion plan

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

58

導熱Al-20Si/石墨片複合材料商業服務詳情

為導熱材料生產和應用企業提供一站式解決方案，從產品培訓、材料組合設計、加工工藝到測試和評估。

服務詳情：

- 產品培訓服務 - 針對客戶需求，舉辦真空熱壓燒結技術專題研討會，顧問費RMB10,000/次。
- 物料選擇和組合顧問服務 - 為複合材料的物料選擇和組合提供顧問服務，顧問服務費RMB20000/案例。
- 複合材料加工服務 - 提供各種複合物部件製造技術，包括熱壓成型設備支持及加工，費用RMB500/爐。
- 產品測試和評估 - 提供複合材料和產品的導熱、熱膨脹性及力學性能測試，測試費RMB300/樣。

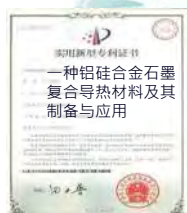
MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

59

■ 專案研發成果

Plan 1. 專利申請



本發明涉及一種鋁硅合金石墨複合導熱材料及其製備與應用，屬於熱管理材料技術領域。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

60

■ 專案研發成果

Plan 2. 發表學術期刊文章



MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

61

黎伟华 高级顾问
邮箱: wylai@hkpc.org
电话: +852 2788 5553

杨浩坤 顾问
邮箱: hkyang@hkpc.org
电话: +852 2788 5679
+86 18609828681

Thank you

Hong Kong Productivity Council
香港生產力促進局
HKPC Building, 78 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong
香港九龍德輔道中78號生產力大樓
+852 2788 5678 www.hkpc.org

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved.

活動五

會議紀要：

「金屬工業飛躍—採納嶄新材料及關鍵加工技術」國際會議

1.5 「汽車工業最新金屬材料開發、應用及加工技術—新型3D打印超高強度耐腐蝕不鏽鋼」分會議

— 由奧地利博樂特殊鋼股份有限公司 業務發展主管丹尼爾·迪珀德先生主講

汽車輕量化是目前汽車工業界的發展趨勢，可從優化結構減輕零件重量和採用新材料及相應的加工技術製作零件方面入手。因為優化結構後的設計大多較為複雜，例如內壁較薄，在加工和輔助設備上的要求亦更高。近年來，研究輕量化材料和成型工藝成為工業和學術界的熱門話題。一些現有的嶄新技術被提出作為複雜結構輕量化件的製造方法，例如增材製造和電化學加工等，採用這些方法可製作大多數不限於傳統加工方法的輕量化部件。

香港生產力促進局（生產力局）致力以先進技術驅動香港企業提升生產力，透過是次國際會議，由奧地利博樂特殊鋼股份有限公司業務發展主管丹尼爾·迪珀德先生向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員介紹汽車零部件和生物醫用材料的發展和應用現狀，以及相關投資要點、運作成本和新商機。博樂特殊鋼股份有限公司致力在冶金領域推動研發，在新技術上推陳出新，力求實現最佳的材料性能。博樂能提供多款鋼材，能滿足不同行業的需求，例如可用於衝壓、折彎和切割的冷作鋼；壓力鑄造和熱衝壓適用的熱作鋼；注塑成型的塑性模具鋼，及切削刀具的高速鋼等。

是次會議中迪珀德先生介紹了博樂特殊鋼的新合金粉末M789 AMPO。這是一種馬氏體時效類材料，可被用在增材製造上的金屬粉末。一般高碳含量的馬氏體模具鋼在轉換過程中易產生較高的應力，極易引起開裂，因此較難焊接，亦很難用於打印。有見及此，博樂開發了M789 AMPO，改良了PH13-8Mo類鋼材的析出物特徵，主攻激光粉床融合成型工藝（Laser Powder Bed Fusion, L-PBF）。M789 AMPO易於熱處理，變形量很小及不含鈹元素，具有良好的打印和焊接特性，符合積層製造（Additive Manufacturing, AM）材料的開發方向。

在合金的設計方面，M789 AMPO經過打印和固溶退火態後，化學元素分布均勻，硬度在30HRc的範圍內，使打印零件易於再加工，例如進行表面處理。

經過時效處理後的材料形成金屬，其之間的化合相，獲得鎳、鈦、鋁和矽的析出相，硬度亦因此上升。經過時效處理後的金屬間析有不同的形態，包括大杆狀、大球狀和小球狀。經過熱處理工藝後，M789 AMPO的硬度較易達到52HRc，硬度更高。

在打印零件的機械性能上，M789 AMPO的抗拉伸強度能達到 1830 ± 50 MPa，抗屈強度亦達到 1785 ± 25 MPa。它的耐腐蝕性能遠勝一般馬氏體不鏽鋼。物料在pH值為4、包含人造海水和氯化氫合成的合成溶液中進行點蝕測試，耐腐蝕性與pH 13-8 Mo類鋼材相當。M789 AMPO在打印零件的性能有標誌性突破，例如零件的孔隙率可達到少於0.04%，因可適應不同的打印性能而證實其可印性高的特點。在物料的拋光性能方面，M789 AMPO比起其他馬氏體時效類材料更佳，拋光坑的數目較少，可證明拋光性能出色。

M789 AMPO可透過在真空感應熔煉氣霧化過程形成。博樂的真空感應熔煉氣霧化站包含控制面板、真空感應爐、霧化裝置、霧化室、真空抽氣站、粉末排放系統。另外，此站亦有為特定霧化技術而設的鑄錠系統。



Latest Metals Material Development,
Applications and Processing Technologies for Vehicle Industries

A novel additive manufacturing metal powder offers
ultrahigh strength & corrosion resistance – M789 AMPO
新型3D打印超高强度耐腐蚀不锈钢 – BOHLER M789 AMPO

Speaker: Daniel Diepold
BD Manager, Additive Manufacturing Powder, BÖHLER Edelstahl

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.
www.bohler.com.cn

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong



CONTENTS 内容

- Market Requirements (Background of the development)
市场需求 (开发背景)
- New Böhler M789 AMPO (Alloy design)
博乐新合金粉末M789 AMPO
- Material Properties
材料性能
- Summary
总结
- Bohler China AM application center
博乐中国增材制造应用中心

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong



INTRODUCTION 简介

Maraging grades for AM 用于增材制造的马氏体时效钢

- Martensitic tool steels with a high carbon content are difficult to weld because the martensitic transformation causes high stresses which might lead to cracks.
Because of this behaviour these materials are also difficult to print.
高碳含量的马氏体工模具钢较难焊接，这是因为马氏体组织在转换的过程中易产生较高的应力值进而极易引起开裂。基于该特征，这些材料（粉末）也很难用于打印。
- Maraging Steels have a rather soft nickel martensite as basic structure, and achieve the hardness during an aging process, where precipitates with a high hardness are formed.
马氏体时效钢具有较软的镍马氏体作为基础组织，其硬度值由时效处理中形成的高硬度析出物保证。
- Therefore maraging grades like 1.2709 are popular for the AM process.
因此像1.2709这样的马氏体时效类材料，被广泛应用于增材制造加工。

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong



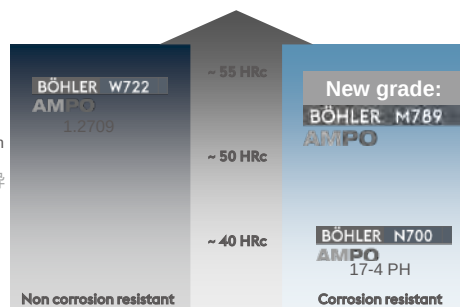
INTRODUCTION 介绍

Existing maraging grades for AM: 用于增材制造的主流马氏体时效类材料

- Excellent processability in L-PBF 极好的打印性能
- Good hardness and toughness values
良好的硬度值和韧性值
- Corrosion and non-corrosions resistant grades with different hardness levels
耐腐蚀性材料和非耐腐蚀性材料在硬度上的差异

Development of new AM grade will
combine **high hardness** and **high corrosion resistance**
新的AM材料开发方向要求
其兼备**高硬度**以及**高耐腐蚀性**

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.



International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong

ALLOY DESIGN 合金设计

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

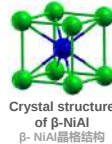
International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong

ALLOY DESIGN 合金设计

Base of development: PH 13-8 Mo 基于PH13-8 MO材料的开发

PH 13-8 Mo	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al
Mass - %	0,02	<0,08	<0,08	12,5	8	2,0	1

- » Reachable hardness: ~50 HRC 可得硬度 ~ 50HRC
- » Excellent corrosion resistance 极好的耐腐蚀性
- » Usage for aerospace applications, high strength screws, landing gear components,...
可用于航天应用, 如高强度螺母, 飞机起落架部件
- » Mechanical strength is reached by precipitation of β -NiAl 其机械强度由 β -NiAl析出物保证



*Source: R. Schnitzer et al.: Microstructural characterization of PH 13-8 Mo maraging steels, Practical Metallography 46 (2009) 521-536

Modification of precipitation elements to increase hardness

对析出物的化学元素进行了一些调整, 旨在增加它的工作硬度。

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong

ALLOY DESIGN 合金设计

Goals of development 开发目标

Powder material for AM processes with focus on L-PBF

Processes 用于增材制造的金属粉末, 主攻激光粉末床熔融工艺

- » Hardness: >52 HRC
- » Good printability and weldability 良好的打印和焊接性能
- » High corrosion resistance 高耐腐蚀性
- » Easy heat treatment with minimal distortion
易于热处理且变形量最小
- » Co free 不含钴元素
- » Market segments: **plastics industry**, automotive, aerospace
应用市场: 塑料加工行业, 汽车行业, 航空业



BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong

ALLOY DESIGN 合金设计

Alloy modification 合金调整

Mass - %		C	Si	Cr	Ni	Co	Mo	Al	Ti	Cu
BOHLER W722 AMPO	1.2709	< 0.03	< 0.1	-	18.0	9.0	5.0	-	1.0	-
BOHLER N700 AMPO	17-4PH	< 0.07	< 0.7	17.0	4.0	-	0.3	-	-	3.3
BOHLER N709	PH 13-8 Mo	< 0.02	< 0.8	12.5	8.0	-	2.0	1	-	-
BOHLER M789 AMPO		< 0.02	0.5	12.2	10.0	Co free	1.0	0.6	1.0	-

M789 AMPO - Powder material for additive manufactured parts with combination of **high hardness** and **high corrosion resistance**

M789 AMPO - 它是用于增材制造零件的金属粉末, 兼具了**高硬度**和**高耐腐蚀性**。

*bar material only

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong

ALLOY DESIGN 合金设计

Precipitation characterization

BOHLER M789 AMPO

析出相表征



As printed / solution annealed condition

打印后经固溶退火态。

Atom probe investigations:

原子探针检测

- » Homogeneous distribution of elements 均匀的化学元素分布
- » No precipitations 没有析出相
- » Hardness ~ 30 HRc 硬度 ~ 30HRc
- » Easy reworking (surface treatment) of printed parts 打印零件易于再加工 (如表面处理)

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

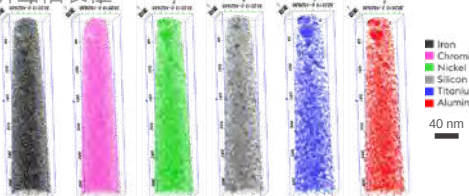
International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong

ALLOY DESIGN 合金设计

Precipitation characterization

BOHLER M789 AMPO

析出相表征



Aged condition (500°C, 3h)

时效处理后。

Atom probe investigations:

原子探针检测

- » Formation of intermetallic precipitations (containing Ni, Ti, Al and Si) 析出相 (包括镍、钛、铝和硅)
- » Increase of hardness: 52 HRc 硬度上升到52HRc
- » No significant distortion during heat treatment 热处理过程中没有显著变形
- » Minimal impact on corrosion resistance 耐腐蚀性能几乎不受影响

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong

ALLOY DESIGN 合金设计

Precipitation characterization

BOHLER M789 AMPO

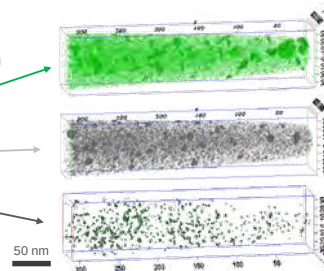
析出相表征

3 Types of intermetallic precipitations in aged condition showing different morphology 时效处理后的3种金属间析出相具有不同的形态。

- » „Large rod-like 大杆状“: $Ni_3(Ti,Al)$ (η -Phase)
- » „Large spherical 大球状“: $Ni_{14}Si_7Ti_6$ (G-Phase)
- » „Small spherical 小球状“: Precursor phase 前驱体相 (ca. 40% Ni, 15% Ti, 7% Si and 7% Al)

Aged condition (500°C, 3h)

时效处理后



BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong

PROPERTIES OF BOHLER M789 AMPO

BOHLER M789 AMPO的性能

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong

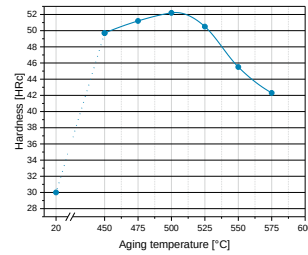
PROPERTIES HEAT TREATMENT 热处理特性



Heat treatment 热处理工艺

Alloy	Solution annealing	Aging treatment
BOHLER W722 AMPO 1.2709	960°C for 5 h followed by 820°C for 2 h, air cool	490°C for 3 h
BOHLER N700 AMPO 17-4PH	1038°C for 30 min, air cool	496°C for 4 h
BOHLER M789 AMPO	1000°C for 1 h, air cool	500°C for 3 h

- » Hardness > 52 HRC successfully reached
很容易获得 > 52 HRC 的硬度
- » Comparison of properties in solution annealed
and aged condition 固溶并时效处理后的性能比较



BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 13

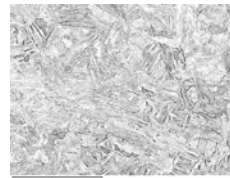
PROPERTIES MICROSTRUCTURE 金相特性



As built (LOM)
打印后 (光学显微镜)



Heat treated (LOM)
热处理后 (光学显微镜)



Heat treated (SEM)
热处理后 (扫描电镜)

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

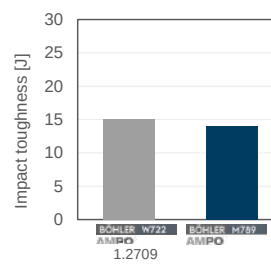
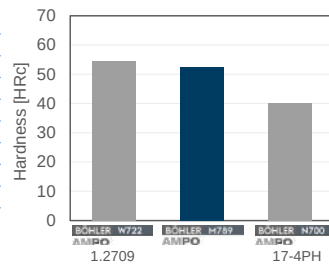
International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 14

PROPERTIES MECHANICAL PROPERTIES 机械性能



Properties of printed parts 打印零件的机械性能

Tensile strength (Rm)
1830 ± 50 MPa
Yield strength (Rp0.2)
1785 ± 25 MPa
Hardness
52 ± 2 HRC
Elongation (%)
6 ± 2 %
Toughness (ISO V)
10 ± 4 J



BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

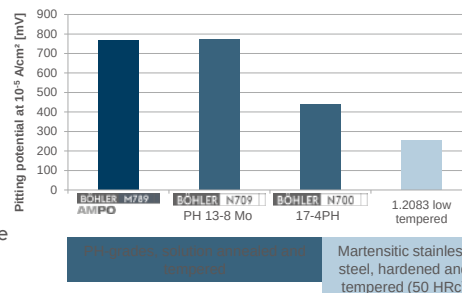
International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 15

PROPERTIES CORROSION RESISTANCE 耐腐蚀性能



Pitting potential in synthetic sea water + HCl, pH=4,
Comparative tests with bar material
在人造海水+氯化氢, PH值为4的溶液中进行点蚀电位测试, 和块材测试的条件相当

- » Similar corrosion resistance as N709 (PH 13-8 Mo)
具有和N709相当的耐腐蚀性
- » Significant higher corrosion resistance than martensitic stainless steels
耐腐蚀性远胜一般的马氏体不锈钢



BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 16

PROPERTIES POLISHABILITY 抛光性能

BÖHLER

AMMEETING

AM printing

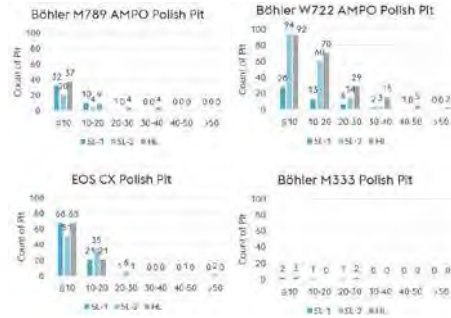
- EOS M290
- General condition (reused powder)
- M789, W722 & CX, M333 for comparison

Flat polishing

- Rotation Speed: 45 RPM; 12 inch
- Force: Standard Loading 200 g/cm²
(2 batches, SL-1 & SL-2)
Heavy Loading 400 g/cm² (HL)

Analysis

- Instrument: Keyence VHX-6000
- Observed Area : 8.5 x 8.5mm²



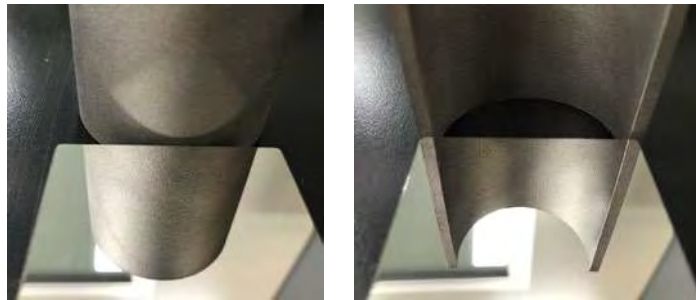
BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 17

PROPERTIES POLISHED SAMPLES 抛光实物

BÖHLER

AMMEETING



*Source: voestalpine Technology Institute (Asia) Co., Ltd.

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 18

POWDER PRODUCTION AND PRINTING

粉末的制成和打印

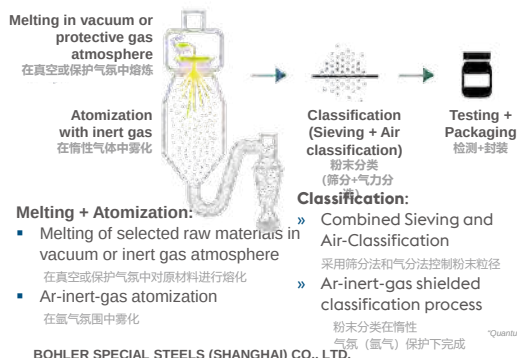
BÖHLER

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 19

POWDER PRODUCTION 粉末的制成

BÖHLER



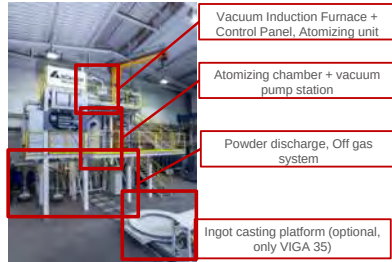
Internal Testing:

- Chemistry, PSD, flowability, apparent density, morphology
化学成分, 粉末粒径分布, 流动性, 松装密度, 形貌

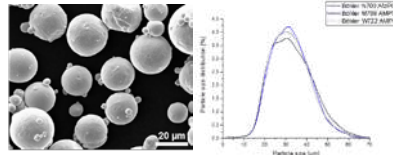
International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 20

POWDER PRODUCTION 粉末的制成

Vacuum induction melting gas atomization rig 真空感应熔炼雾化站



Powder properties 15 – 45 µm



Flowability* [s]	Apparent density [g/cm³]	Sphericity [%]
3.85	3.69	0.92
Average PSD values (D10 D50 D90) [%]		
20	31	43

* Carneyflow ASTM B964

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 21

PRINTING BASIC PARAMETERS

基础打印参数

构建层厚 激光功率 扫描速度 扫描线间距

Alloy	AM-machine	Layer thickness [µm]	Laser power [W]	Scan speed [mm/s]	Scan line spacing [µm]
BOHLER M789 AMPO	EOS M290	30	260	1067	100
	SLM Solutions 250HL	40	180	1000	90
	TRUMPF TruPrint 1000	20	160	763	87

- » Porosity 孔隙率 < 0.04 %
- » M789 AMPO: Wide field of possible parameter combinations shows **easy printability** 工艺窗口很宽证明其具有灵活的打印性能
- » For hybrid printing we also can offer the BOHLER M789VMR
博乐可以提供M789VMR 钢材，用于M789 AMPO嫁接3D打印的基座材料。
- » A high performance parameter set (60µm) is in development (available by June 2021) 正在开发更效率的打印参数 (60um构建层厚)



Source:
www.trumpf.com

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 22

SUMMARY

总结

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 23

SUMMARY 总结

- » Based on the grade PH 13-8 Mo a **new AM powder material** with modified precipitation behavior was developed with focus on L-PBF processes
M789 AMPO这种新型的增材制造粉末，基于PH13-8Mo类钢材而开发，并改良了其析出物性能特征，为能更好满足激光粉末床熔融工艺。
- » Due to the adapted precipitation behavior, **high levels of hardness and corrosion resistance** of the new maraging steel were reached
正因为M789 AMPO具有匹配的析出物性能特征，这种马氏体时效钢能获得**更高的硬度和耐腐蚀性**。
- » New developed material offers 新产品M789具备
 - » **Mechanical properties** similar to W722 (1.2709) 与W722相当的**机械性能**
 - » Similar **corrosion resistance** as N709 (PH 13-8 Mo) 与N709相当的**耐腐蚀性能**
 - » Significant higher corrosion resistance than martensitic stainless steels
 - » **Easy printability** 易于打印
 - » **Good Polishability** 出色的抛光性能



BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 24

Bohler China AM application center 博乐中国增材制造应用中心

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 25

Bohler China AM application center key manufacturing capabilities



Advanced metal 3D printer
博乐中国金属3D打印设备

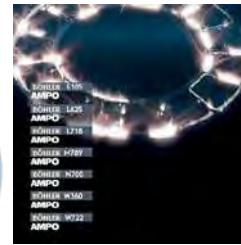


High quality printing process
博乐高质量打印工艺

Alloy	AM Machine	1 layer thickness [mm]	1 layer width [mm]	1 layer height [mm]	1 layer area [mm²]
BOHLER AMPO	ECC M200	90	200	4000	800
BOHLER AMPO	SLM Sinter	40	160	1000	640
BOHLER AMPO	SLM Sinter	20	160	700	392

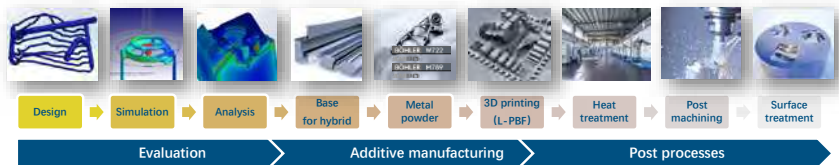
BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

Bohler premium metal AM materials (BOHLER AMPO)
高性能金属3D打印材料



International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 26

Bohler China Capability of AM Service overall capabilities from engineering to manufacturing



- Bohler China now providing one-step 3D printing solution of tooling for our customer. 从设计到3D打印零件交付，博乐中国为我们的客户提供一站式的模具3D打印方案。
- High performance additive manufacturing metal powder (BOHLER AMPO) and professional capabilities of design and simulation are our success factors. 博乐的高性能增材制造粉末(BOHLER AMPO)和专业的设计模拟团队，是我们开展增材制造业务的基石。

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
- 27



Thank you, 谢谢 !

Speaker:
Mr. Daniel Diepold
BOHLER AMPO BD Manager, BOHLER Edelstahl
daniel.Diepold@bohler-edelstahl.at

Your **Contact** for AM issues in **Bohler China**:
Mr. Zhang Wei, Eric
BOHLER Special Steels Shanghai Co., Ltd
(+86) 13816980748
eric.zhang@bohler.com.cn

BOHLER SPECIAL STEELS (SHANGHAI) CO., LTD.

International Online Conference on
"Quantum Leap Metals Industries – Adopt Novel Materials and Critical Processing Technologies"
13 April 2021, Hong Kong
-



活動六

會議紀要：

「金屬工業飛躍—採納嶄新材料及關鍵加工技術」國際會議

1.6 「粉末冶金—能源和運輸行業的創新資源」分會議

— 由德國弗勞恩霍夫生產技術與先進材料研究所主管湯瑪斯·魏斯加伯博士主講

材料是社會現代化的物質基礎與先導，高新技術的發展與進步，都以新材料及其加工技術的發展為前提。過去數年，新材料及其相應加工技術不斷湧現，以應對汽車、醫療保健器械、電訊產品、模具、機械及其他增值產品行業中關鍵部件的重要性能，如高強度、輕量化、耐久性、高導熱性、耐腐蝕性及電磁兼容性等。預計本地的金屬、陶瓷及其他復合材料行業製造商，需要在新型特種金屬和陶瓷材料、相應的加工技術、以及其應用和商機等方面獲取實際知識和技術訣竅，讓其能夠在不斷增長及高附加值商品業務實現多元化，或是透過增強產品性能來為現有產品增值。

香港生產力促進局（生產力局）舉辦此次國際會議，旨在向香港本地業界介紹先進材料及相關加工技術的應用、方法和案例研究，以及相關投資要點、運作成本和新商機。是次國際會議主要向參加者詳細介紹近年業界新型關鍵金屬零件及加工技術，分享先進醫療器械陶瓷材料、高精尖合金材料及其他高增值復合材料等資訊。

其中金屬基複合材料中鋁基複合材料添加少量的增強劑（2vol.-%）可以顯著提高鋁銅鎂合金的耐磨性，而不會改變原材料的力學性能。耐高溫耐腐蝕泡沫材料目前可應用在排氣領域，如柴油微粒過濾器 and 柴油氧化催化劑、加工領域如催化劑載體異質催化（當前的發展重點）、能源領域如沼氣處理（催化劑載體）、燃料電池（雙極板）、電池電極。電化學合成用電極材料的製備需要注意電催化劑的活性、選擇性、穩定性、催化劑基材的機械和化學穩定性、導

電性及孔隙率。此外，演講者還介紹可應用於3D結構化基材如泡沫、延展金屬、金屬絨布等，及催化劑塗層如多層次3D電極。

技術方面，湯瑪斯·魏斯加伯博士指出選擇性電子束熔化（SEBM）技術可用於製備鈦/鋁合金、銅、冷作鋼（FeCr-10V）。熔絲製造技術（FFF）可應用於製造金屬填充細絲的分層沉積和後續燒結。該技術通過低成本高效益生產機器，使用標準粉末，將熱塑性材料製造成型，節能環保，可應用於備件供應、原型製作、增材製造等。三維絲網印刷技術（3-Dimensional Screen Printing）可實現不同材料組合的加工成型和複雜的內部凹槽結構製備。該方法的結構分辨率可達60 μm，製備過程無材料損失，成型材料表面質量好，工序簡單，生產效率高，成本低，適用於大量生產。

POWDER METALLURGY – AN INNOVATION SOURCE FOR MOBILITY AND ENERGY

Dr.-Ing. Thomas Weissgaerber

Head of Branch Lab Dresden (prov.)
Fraunhofer IFAM,
Branch Lab Powder Metallurgy and
Composite Materials Dresden,
Winterbergstrasse 28, 01277 Dresden, Germany
Phone: +49 (0) 351 2537 305
E-Mail: Thomas.Weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de



© Fraunhofer IFAM Dresden
www.ifam-dd.fraunhofer.de

CONFIDENTIAL



FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT



- 75 Fraunhofer institutes and independent research units in Germany
- 29,000 employees
- 11 institutes or branches in Dresden
 - 4 of these at the Fraunhofer Institute Center Dresden
 - Dresden is the largest Fraunhofer location with ~2.260 employees

© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



FRAUNHOFER IFAM: BRANCH LAB DRESDEN

Permanent staff	75
Student employees	30
Budget	11.5 Mio. €
Industry	25 %
Projects	62 %
Public funding	13 %
Investments	3.2 Mio. €
Area	2850 m ²
(Budget 2021)	



Director (prov.):
Dr.-Ing. Thomas Weißgärber



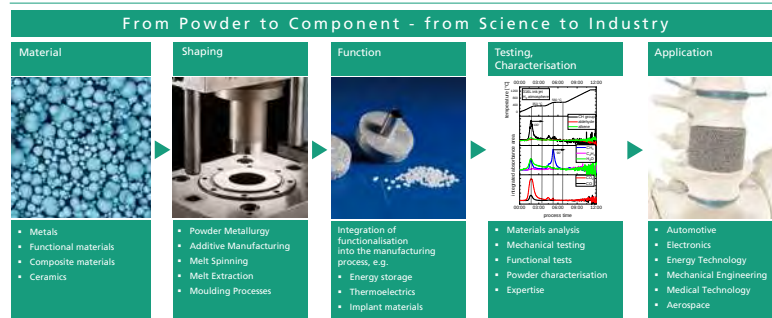
© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



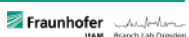
FROM THE LAB TO THE MARKET

Powder Metallurgy



© Fraunhofer IFAM Dresden

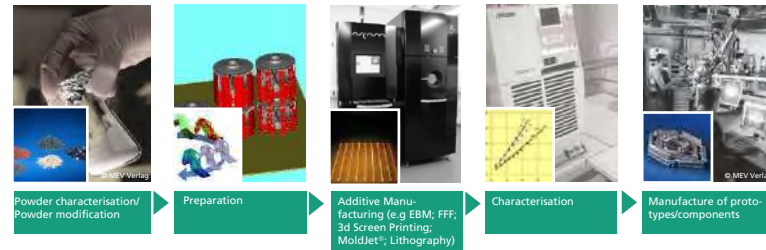
CONFIDENTIAL



FROM THE LAB TO THE MARKET

Additive Manufacturing

Additive Manufacturing



© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL

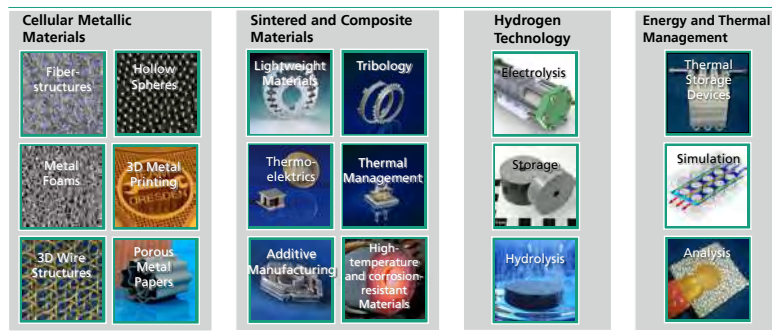
DRESDEN concept

ICAM

Fraunhofer IFAM Branch Lab Dresden

PROFILE OF FRAUNHOFER IFAM DRESDEN

Fields of competence



© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL

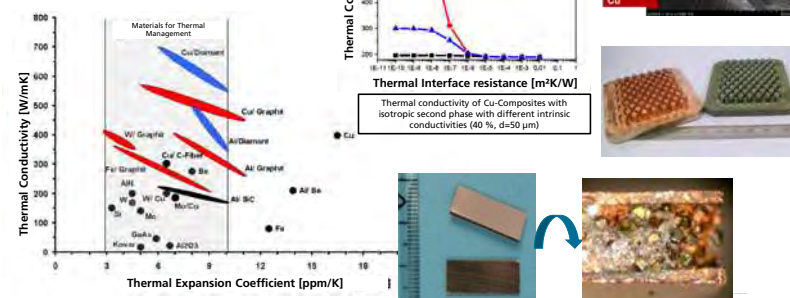
DRESDEN concept

ICAM

Fraunhofer IFAM Branch Lab Dresden

Metal Matrix Composites

Metal Carbon Composites



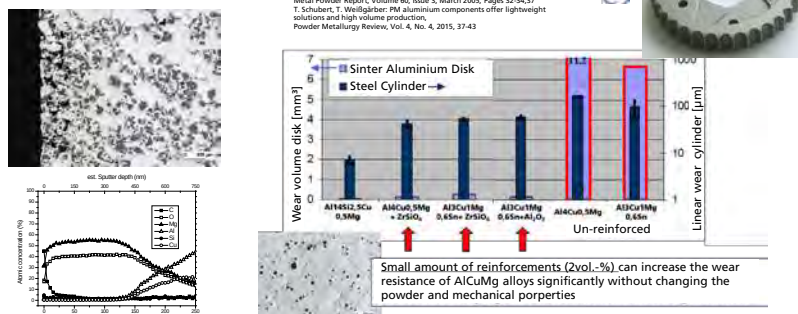
T. Weiglärber, T. Schubert, B. Kieback: In: Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis, Band 19, 2003, 97-112
T. Schubert, A. Brendel, K. Schmidt, T. Konec, L. Clupitaki, W. Zielinski, T. Weiglärber, B. Kieback: Composites, Part A 38, 2007, 2398-2403
T. Schubert, L. Clupitaki, W. Zielinski, A. Michaloski, T. Weiglärber, B. Kieback: Scripta Materialia 58, 2008, 252-256
T. Schubert, T. Trindade, T. Weiglärber, B. Kieback: Materials Science and Engineering, A 475, 2008, 39-44

ICAM

Fraunhofer IFAM Branch Lab Dresden

Metal Matrix Composites

Aluminium Based Composites



© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL

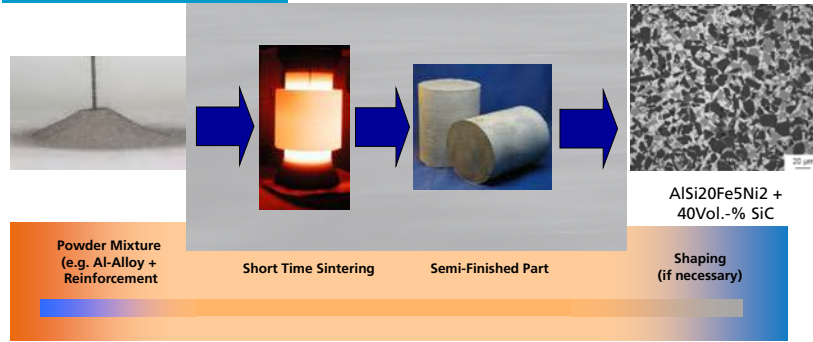
DRESDEN concept

ICAM

Fraunhofer IFAM Branch Lab Dresden

Aluminium Based Composites

Alternative Manufacturing Routes



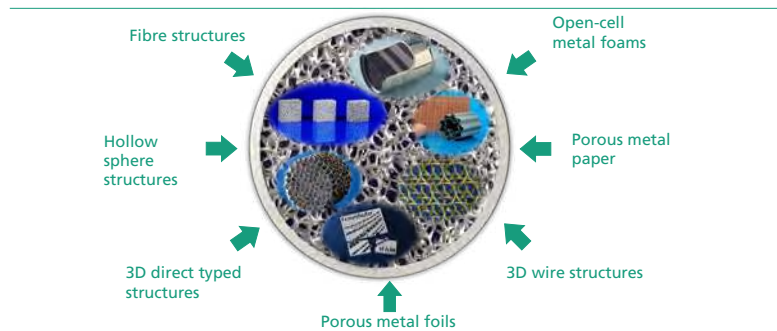
© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



CELLULAR METALLIC MATERIALS

Our Fields of Development



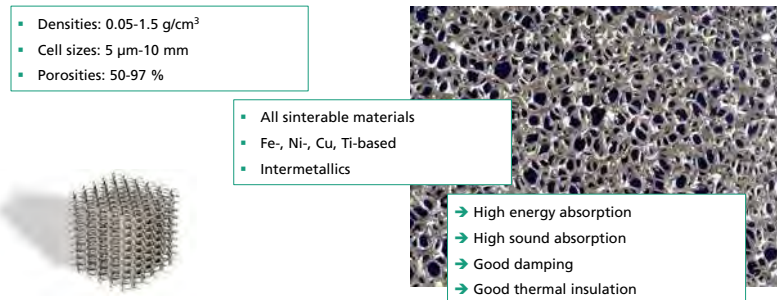
© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



CELLULAR METALLIC MATERIALS

Our Fields of Development



© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



CELLULAR METALLIC MATERIALS

High Temperature and Corrosion Resistant Foams

- Industrial production of alloyed foams since 2010 by Alantum (Onsan, Korea)
- Fraunhofer IFAM → ally development for different fields of application
- Developments/Applications:
 - Exhaust technology
 - Diesel particulate filter (DPF)
 - Diesel oxidation catalyst (DOC)
 - Process technology
 - Catalyst carrier heterogeneous catalysis = current focus of development
 - Energy technology
 - Biogas treatment (catalyst carrier)
 - Fuel cell (bipolar plate)
 - Battery electrodes



© Fraunhofer IFAM Dresden

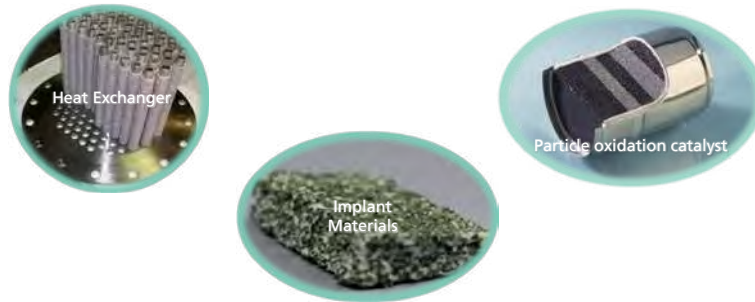
CONFIDENTIAL



OPEN POROUS METAL FOAMS

Application - Examples

Cellular Metallic Materials



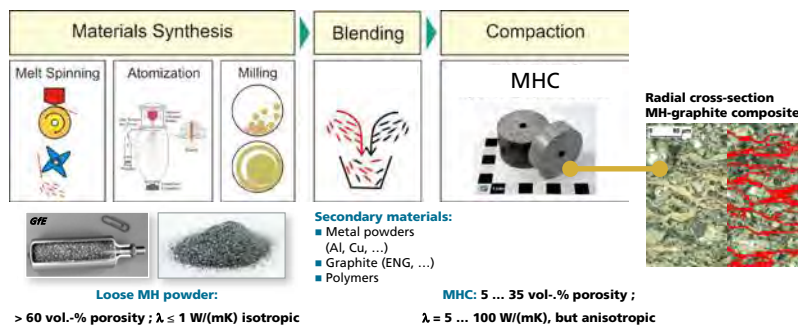
© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



Metal hydride composites (MHC)[1-5]

- ¹ Kim et al. Int. J. Hydrogen Energy, 26: 609-613, 2001
² Klein et al. Int. J. Hydrogen Energy, 29: 1503-1511, 2004
³ Chaise et al. Int. J. Hydrogen Energy, 34: 8589-8596, 2009
⁴ Pohlmann et al. Int. J. Hydrogen Energy, 35: 12829-12836, 2010
⁵ Heubner et al. J. Alloys Compounds, 705: 176-182, 2017

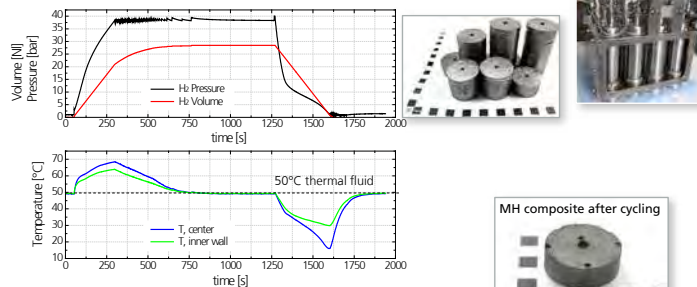


© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



AMHC: Loading / unloading: 90% capacity within 250 s



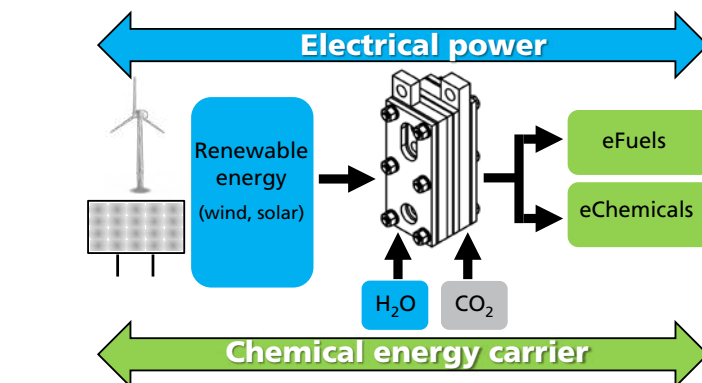
L. Röntsch, T. Schmidt, S. Kalinichenko, C. Pohlmann, A. Schmidt, T. Weißgärtner, B. Kieback: Wasserstoffspeicherung in nanoskaligen Feststoffen; in: H. Koltsch (Hrsg.): Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis, Energie- und Ressourceneffizienz durch Pulvermetallurgie, Band 25, 41-56, Heimdal Verlag, 2000, ISBN 3-935225-28-1.
 L. Röntsch, F. Heubner, S. Mauermann, T. Weißgärtner, B. Kieback: Fortschrittliche Metallhydrid-Werkstoffe für die Wasserstofftechnologie; in: H. Damminger (Hrsg.): Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis – Schlüsseltechnologie für innovative Systemlösungen, Heimdal Verlag, ISBN 978-3-946537-65-6, 245-262

© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



Electrocatalysts: A Key Component for Power-to-X Technology



© Fraunhofer IFAM Dresden

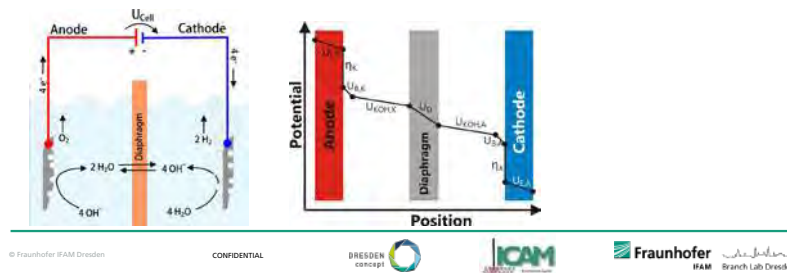
CONFIDENTIAL



Electrode materials for electrochemical synthesis

- Electrocatalysts: **activity, selectivity, stability**
 - Chemical composition
 - Specific modification of the electrode surface (topography, defect density)
- Catalyst substrate: Mechanical and chemical stability, electric conductivity, porosity

Low cell voltage



© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL

DRESDEN concept

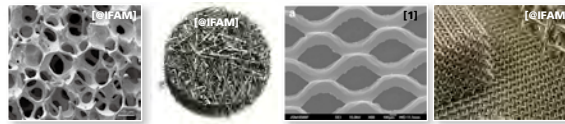
ICAM

Fraunhofer IFAM Branch Lab Dresden

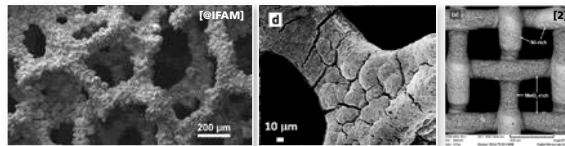
Electrode materials

[1] D. Pletcher et al., Int. J. Hydrogen Energy **37** (2012) pp. 7429-7435.
[2] U. Lačnjevac et al., J. Electroanal. Chem. **677-680** (2012) pp. 31-40.

- 3D structured substrates → Foams, expanded metal, metal fleeces etc.



- Catalyst coatings → Multi-hierarchy 3D electrodes



© Fraunhofer IFAM Dresden

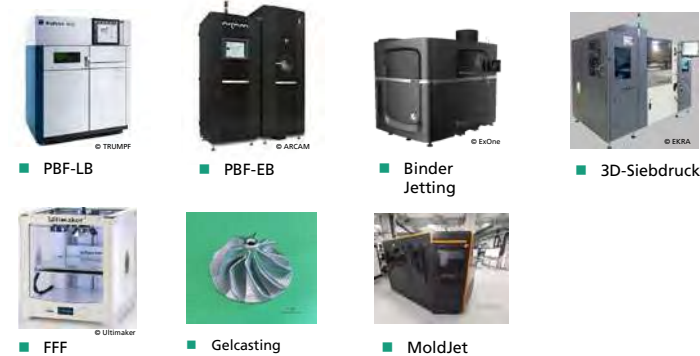
CONFIDENTIAL

DRESDEN concept

ICAM

Fraunhofer IFAM Branch Lab Dresden

Additive Manufacturing @ Fraunhofer IFAM



© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL

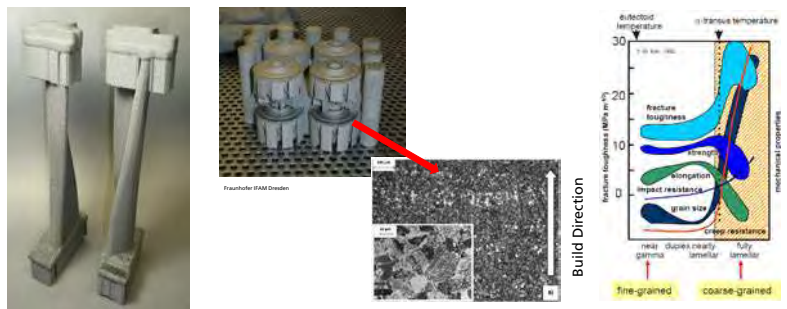
DRESDEN concept

ICAM

Fraunhofer IFAM Branch Lab Dresden

Materials manufactured with SEBM

→ material: Ti-Al



© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL

DRESDEN concept

ICAM

Fraunhofer IFAM Branch Lab Dresden

Materials manufactured with SEBM

→ material: Copper

- Development so far
- machine: Q20+
- Build space: 300 x 200 mm²



© Fraunhofer IFAM Dresden

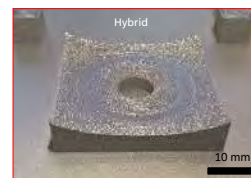
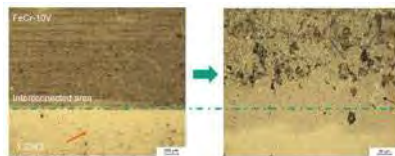
CONFIDENTIAL



Materials manufactured with SEBM

→ material: FeCr-10V (EBM) on cold work steel (e.g. 1.2767, 1.2343...)

- Homogeneously distributed VC (hardness up to > 64 HRC)
- No crack formation or delamination
 - neither at the edges
 - nor at the diffusion zone
- Application for cutting tools



© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



FFF (Fused Filament Fabrication)

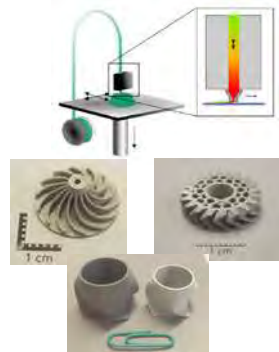
Manufacturing: Layered depositing of metal-filled filaments with subsequent sintering

Materials: Steels, copper, wolfram, ...

Resolution: 100 µm (z), 400 µm (x,y)

Advantages: Low-priced printing machine
Utilisation of any standard powders
No loose powder - bound in plastic
Simple green machining

Application: Spare part supplying
Prototyping
Low-priced additive manufacturing

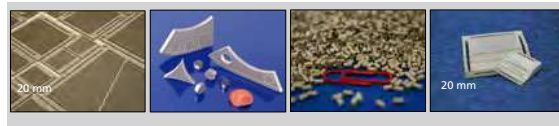
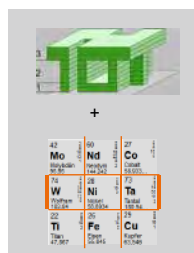


© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



3-Dimensional Screen Printing



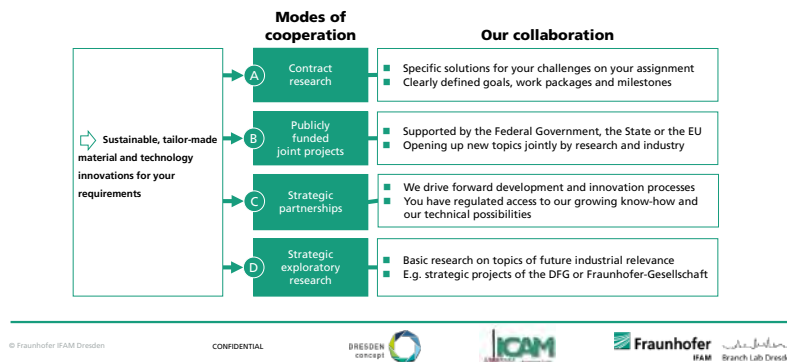
- Shaping of materials that are difficult to process
- Complex inner recesses possible
- Structure resolution 60 µm
- Final shape – no loss of material
- Good surface quality
- Combination of different materials
- Scalable to millions of parts annually

© Fraunhofer IFAM Dresden

CONFIDENTIAL



HOW TO COOPERATE WITH US – POSSIBILITIES



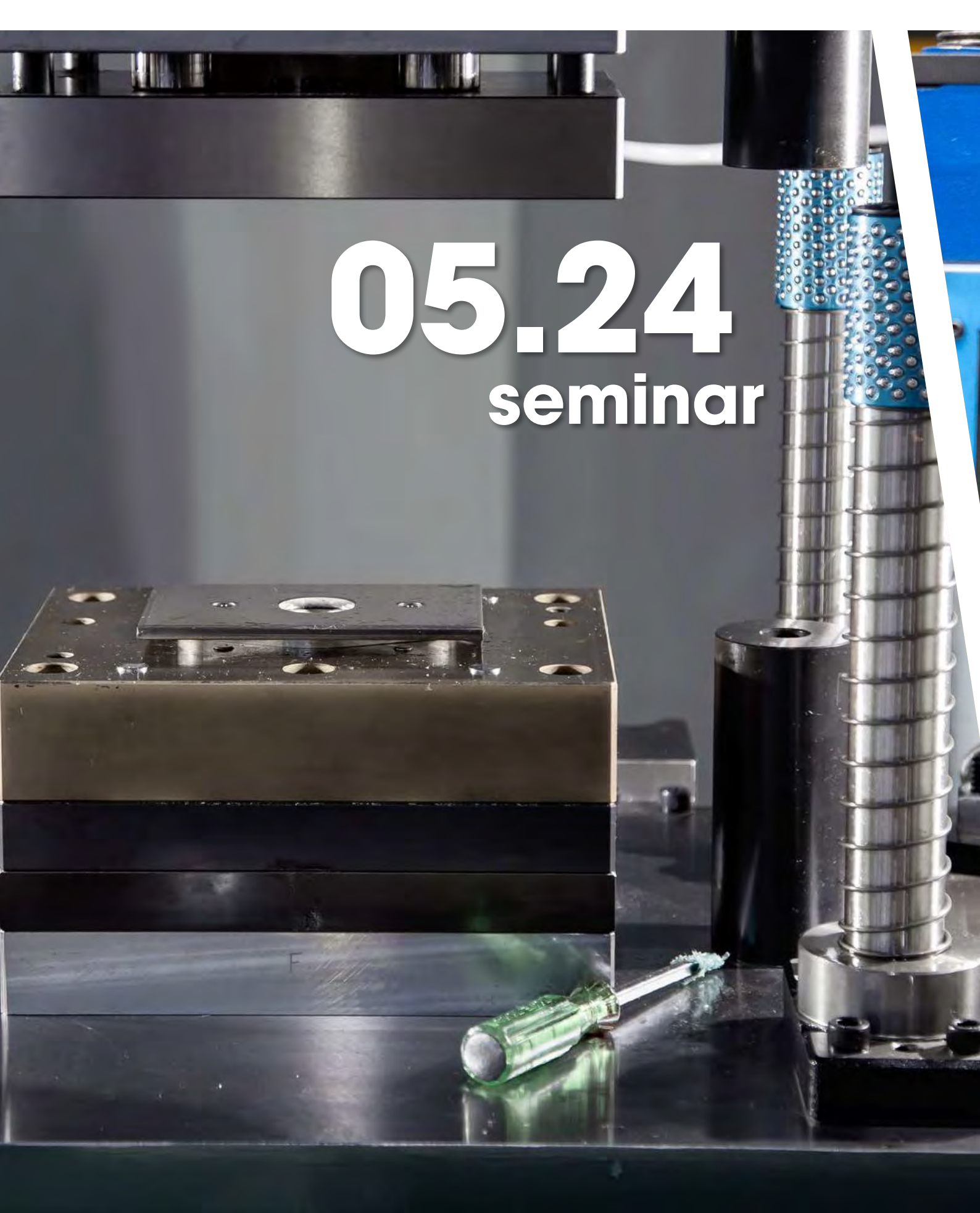
HOW TO COOPERATE WITH US – PROCESS



THANK YOU VERY MUCH
FOR YOUR ATTENTION

05.24

seminar





「嶄新鋁金材料與 衝壓技術」研討會

活動一

會議紀要：

「嶄新鈹金材料與衝壓技術」研討會

「鈦合金板材及沖壓參數優化： 鈦合金熱處理工藝，組織結構與性能」分會議

— 由中國成都大學助理教授曾令榮博士主講

香港生產力促進局（HKPC）致力以先進技術驅動香港企業提升生產力，透過是次研討會，由中國成都大學特聘副研究員曾令榮向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員介紹超高強鈦合金研製、組織結構對鈦合金保載疲勞影響。

超高強鈦合金研製部分主要介紹了兩個部分：研究背景和工藝研究與組織性能。基於5T級模鍛件的生產需求、高強和高韌的性能指標及鈦合金組織多變性，對鈦合金組織性能與加工工藝的雙向影響進行研究，如鍛壓性能和淬透性與鍛壓機噸位、合金成分、棒材直徑和母錠之間關係，低倍組織均勻性和晶粒尺寸與鍛造工藝之間關係，熱處理工藝與強化機制之間關係。淬透性是指在規定條件下用試樣淬透層深度和硬度分佈來表徵的材料特徵，它主要取決於材料的臨界淬火冷卻速度。通過將鍛件進行770°C/2h升溫，840°C/30min，空氣冷卻（AC）+515°C/10h和空氣冷卻到室溫，可以測量出鍛件斷裂韌性（KIC）隨鍛件厚度增加而降低；強度隨鍛件厚度增加而有所增加。棒材尺寸對性能影響為：小棒材的強度，斷裂韌性和塑性都達標，大棒材的強度和斷裂韌性能達標，塑性差。鍛態組織均勻性為：低溫鍛造的晶界連續，會降低塑性；高溫鍛造的晶界連續性問題得到改善。固溶溫度對組織性能影響如下，固溶溫度增加β晶粒尺度增加，強度隨固溶溫度增加而增加，塑性則隨強度增加而降低。

組織結構對鈦合金保載疲勞影響部分主要介紹了：研究背景和目的，實驗材料介紹，保載效應微觀機理研究和結論。1972-1973年在飛機葉盤的近α鈦合金IMI685中發現了鈦合金保載效應，即在相同峰值應力條件下，保載疲勞壽命與三角波或正弦波加載的疲勞壽命相比顯著降低的現象。保載效應影響因素有以下幾種：保載時間越長，保載效應越明顯；峰值應力越大，保載效應越明顯；Mo含量越高，保載效應越明顯。保載效應機制可以通過離散位錯塑性模型來構建，即軟硬晶粒組合和載荷釋放得到離散位錯塑

性計算模型，從而得到應力重分配。優點是通過計算方式並引入保載時間的作用證實應力重分配，缺點是應力重分配的過程不清楚，實驗數據少。局部高應力與蠕變對硬取向晶粒開裂還需進一步澄清。從圖中可以看出，鈦合金初生 α 相體積分數隨固溶溫度降低而增加。通過材料單向拉伸試驗可以得到，樣品強度隨初生 α 相體積分數增加而降低。從圖中可以看出 $V_{\alpha p} = 36\%$ 樣品裂紋擴展速率要比 $V_{\alpha p} = 76\%$ 樣品裂紋擴展速率慢，不同位置裂紋擴展速率表現出明顯波動性，晶界會降低裂紋擴展速率。通過以上實驗數據可以得出：材料強度隨初生 α 相含量增加降低；初生 α 相易變形，次生 α 相難變形；次生 α 相對裂紋擴展阻力大於初生 α 相。保載效應微觀機理研究實驗方案出發點是定量對比分析純疲勞和保載疲勞下不同組織結構疲勞損傷行為。實驗方法是準原位實驗觀察，採用的設備為Instron E 3000，掃描電鏡，鐳射共聚焦顯微鏡。60s保載疲勞壽命和純疲勞壽命都隨初生 α 相含量增加降低；60s保載加載下，初生 α 相含量增加保載效應減弱。初生 α 相含量相同時，與純疲勞相比保載疲勞會增加初生 α 相的變形程度；無法直觀的看出次生 α 相的變形情況。保載疲勞會增加次生相的變形程度：參與變形的次生 α 相數量增加；保載疲勞使得次生 α 相中的滑移台階高度差增加；保載疲勞促使次生 α 相變形，釋放了應力塞積，於是保載條件下晶界處的開裂明顯減少。通過分形維數定量表徵疲勞損傷可知，初生 α 相循環累積應變比次生 α 相循環累積應變大；保載疲勞加載條件下的初生 α 相和次生 α 相的損傷程度大於純疲勞加載條件下的損傷程度。從圖中可以看出保載60s，純疲勞條件下， $V_{\alpha p} = 76\%$ 樣品與 $V_{\alpha p} = 36\%$ 樣品有相似的規律。對於應力鬆弛誘導應力重分配模型，通過應變傳遞計算可知 α_p 應變量計算值和測量值接近。通過以下實驗模型進行驗證，實驗方法為重複瞬時鬆弛實驗，其中試驗參數為加載至900MPa，保持夾頭位移，鬆弛60 s，再加載到900MPa；循環此過程。實驗發現Ti-6Al-4V合金在室溫下存在應力鬆弛現象；重複瞬時鬆弛實驗200週時，應力鬆弛量 ~ 10 MPa，和60 s保載疲勞204週應力減少量(12 MPa)很接近；900MPa下鬆弛200週次生 α 相累積應變2.08%和經過204周保載疲勞後的應變1.33%和1.77%相近。結論為通過準原位實驗證實了應變傳遞的確存在；通過定量表徵疲勞損傷程度，提出了應力鬆弛誘導應力重分配模型，並通過重複瞬時鬆弛驗證了模型的合理性。



钛合金板材及冲压参数优化：

钛合金热处理工艺，组织结构与性能

成都大学特聘副研究员 曾令荣

2021.5.24

1

1 内容概要



1 一种超高强钛合金研制

- 研究背景
- 工艺研究与组织性能

2 组织结构对钛合金保载疲劳影响

- 2.1 研究背景和目的
- 2.2 实验材料介绍
- 2.3 保载效应微观机理研究
- 2.4 结论

2

1 研究背景

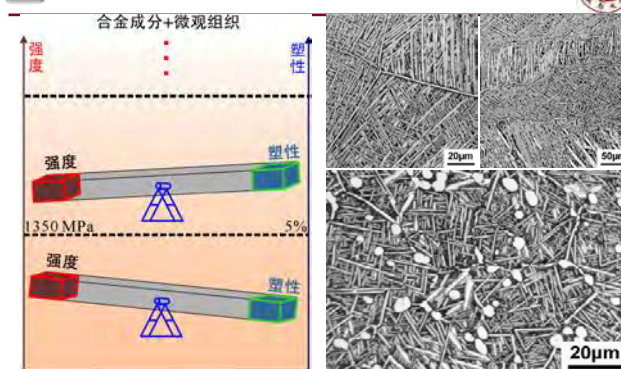


生产需求：

5T级模锻件

性能指标：高强、高韧

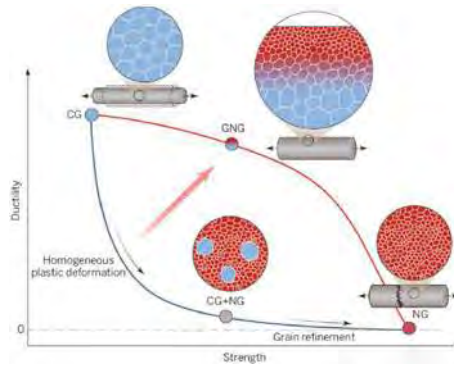
1 研究背景



- 强度和塑性总是一种“跷跷板”的关系；
- 钛合金组织多变。

Lütjering, G. and J. Williams (2003). *Titanium* (Vol. 2). Berlin, Springer.

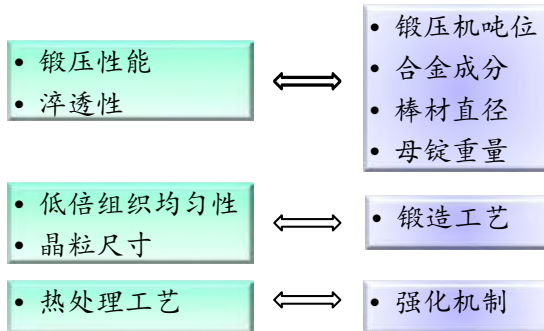
1 研究背景



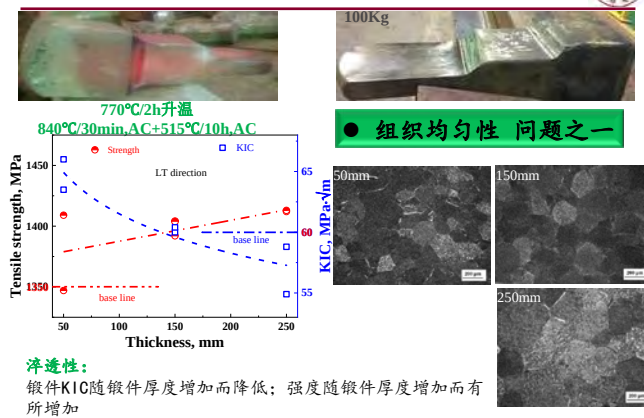
组织结构对性能影响显著

Lu, K. (2014). "Making strong nanomaterials ductile with gradients." *Science* **345** (6203): 1455-1456.

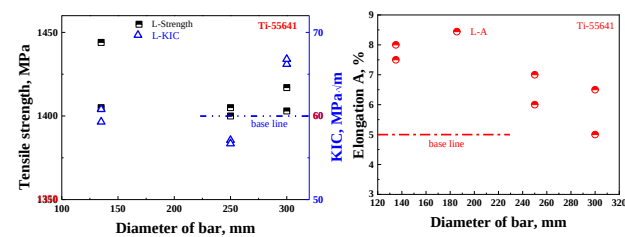
1 棒材制备的关键问题



1 淬透性对性能影响

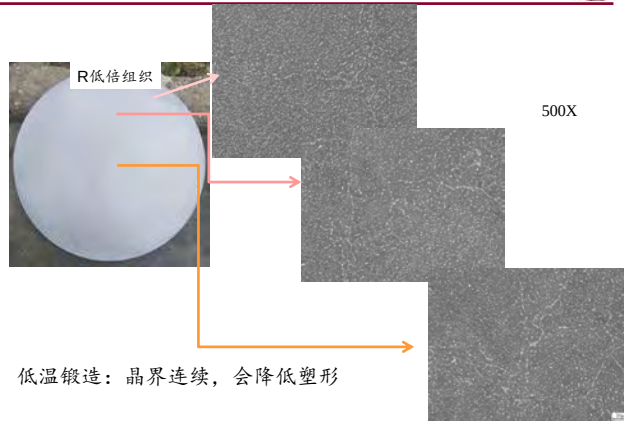


1 棒材尺寸对性能影响

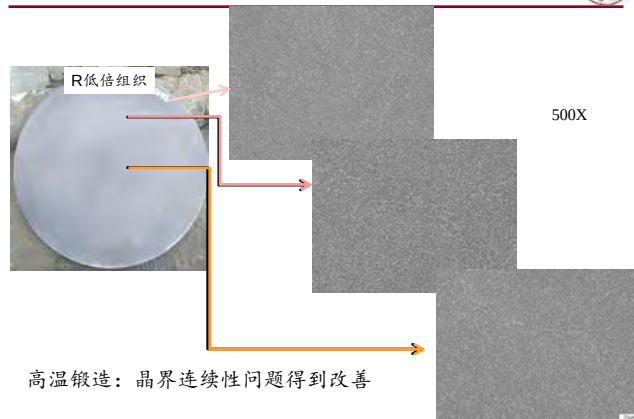


小棒材：强度，断裂韧性和塑性都达标
大棒材：强度和断裂韧性达标，塑性差

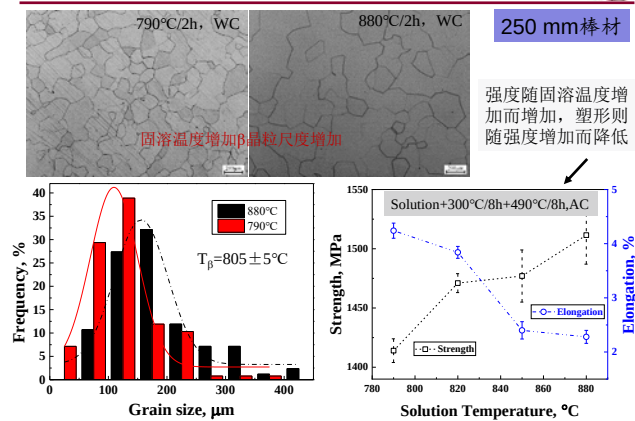
1 锻态组织均匀性



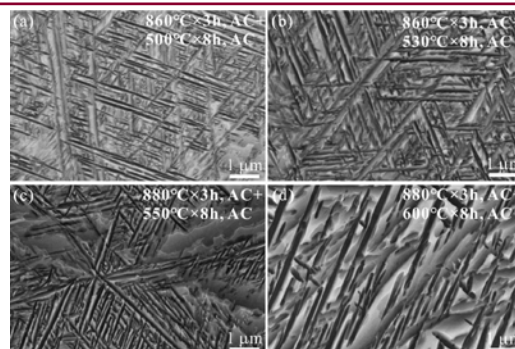
1 锻态组织均匀性



1 固溶温度对组织性能影响



1 时效温度对组织影响



- 不同时效温度下次生α析出都很充分；
- 随时效温度由升高，片层由细长转变为短粗。

- 2.1 研究背景和目的
- 2.2 实验材料介绍
- 2.3 保载效应微观机理研究
- 2.4 结论

13

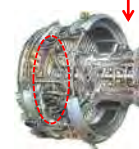
2 研究背景及目的-保载效应



1972-1973发现钛合金保载效应



Lockheed Tristar aircraft



Rolls Royce RB211

在相同峰值应力条件下，保载疲劳寿命与三角波或正弦波加载的疲劳寿命相比显著降低的现象被称为**保载效应**

$$Life\ debit = \frac{N^{LCF}}{N^{LCDF}}$$

叶盘

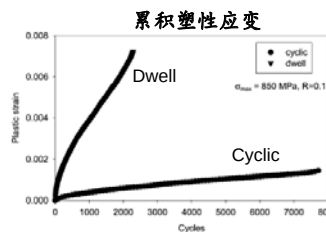
近 α 钛合金 Ti685

Royce, R. (2015). The jet engine. John Wiley & Sons.

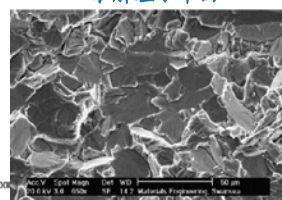
Bache, M., Int J of fatigue, 2003, 25(9): p. 1079-1087.

14

2 研究背景及目的-保载疲劳损伤



准解理小平面



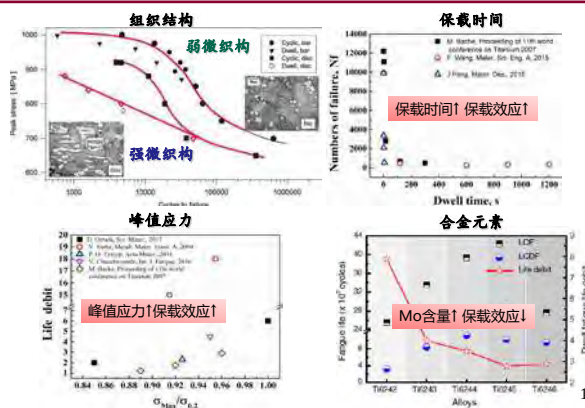
Song, Z. and D. W. Hoepfner (1989). International Journal of Fatigue 11(2): 85-90.

Neeraj T, Hou D-H, Daehn GS, Mills MJ. Acta Mater. 2000;48:1225

Bache MR, Int J fatigue. 2003;25:1079

15

2 研究背景及目的-保载效应影响因素



Qiu Jk et al., Metall. Mater. Trans. A, 2014:45A-5075

Bache, M. R., W. J. Evans and H. M. Davies (1997). J. Mater. Sci., 32(13): 3435-3442.

16

2 研究背景及目的-保载效应机制



	主要思想	不足	代表人物	时间
氢元素相关	蠕变和氢锁定结合机制		Evans和Gostelow	1979
	氢脆机制		Hack	1982
	氢元素对变形有影响却不是断裂失效的主要因素		Evans和Bache; Pilchak	1994 2011
应力重分配	软硬组合晶粒中, 应力累积会在硬晶粒中形成附加切应力和正应力导致裂纹从硬晶粒中萌生	缺少时间影响	Evans和Bache	1998
载荷释放→应力重分配	软硬组合晶粒中, 保载过程中存在载荷释放效应, 导致硬晶粒中的应力远高于软晶粒中的应力	应力重分配过程不清楚; 实验验证数据少	Dunne	2007

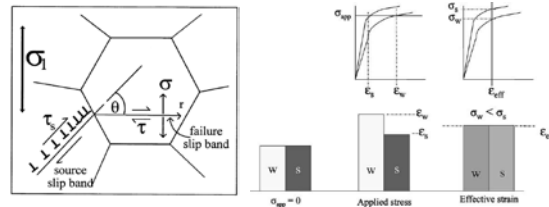
17

2 研究背景及目的-应力重分配模型



应力重分配模型—Evans和Bache模型

准解理小面的形成需要临界剪切应力和正应力组合



软硬组合晶粒条件下, 软取向晶粒优先变形并产生位错, 这些位错塞积在晶界上从而在晶界处产生应力集中, 在硬取向晶粒内部形成切应力和附加正应力; 当切应力达到硬取向晶粒的断裂应力时, 便在硬取向晶粒内萌生裂纹, 在正应力的作用下将裂纹撕开。

Bache, M. (2003). Int. J. Fatigue 25(9): 1079-1087.

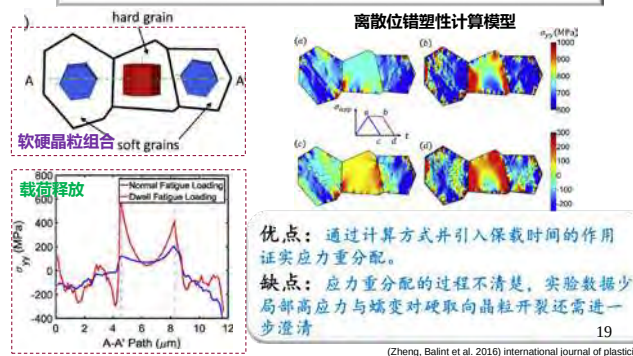
Evans, W. J. and M. R. Bache (1994). Int. J. Fatigue 16(7): 443-452.

18

2 研究背景及目的-离散位错塑性模型



软硬晶粒组合+载荷释放→离散位错塑性计算模型→应力重分配

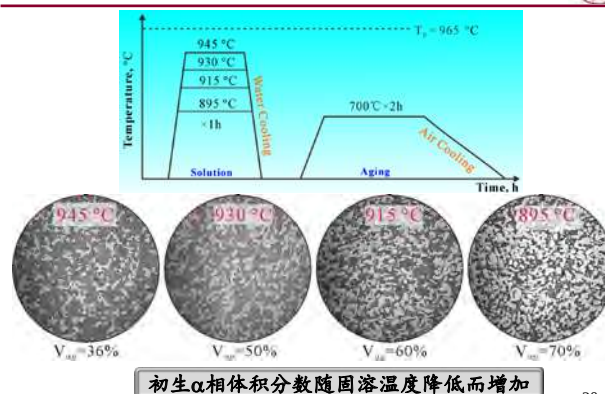


优点: 通过计算方式并引入保载时间的作用证实应力重分配。
缺点: 应力重分配的过程不清楚, 实验数据少。局部高应力与蠕变对硬取向晶粒开裂还需进一步澄清

(Zheng, Balint et al. 2016) international journal of plasticity

19

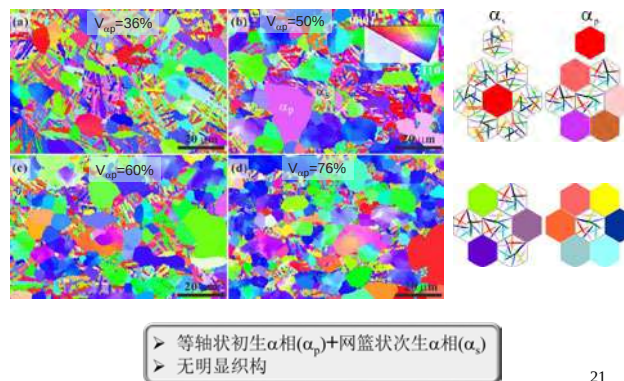
2 材料介绍



初生α相体积分数随固溶温度降低而增加

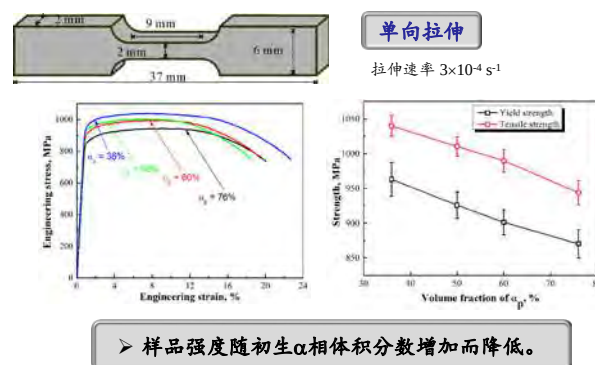
20

2 材料介绍



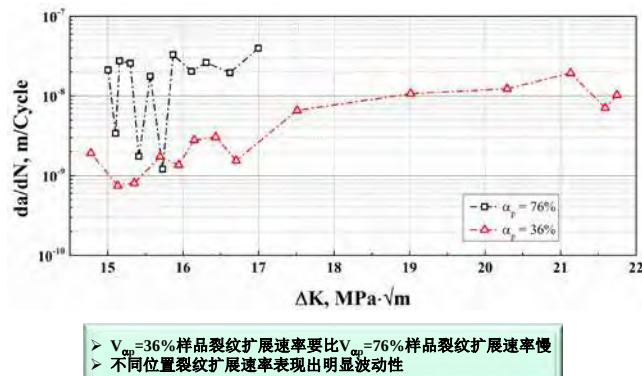
21

2 材料拉伸强度

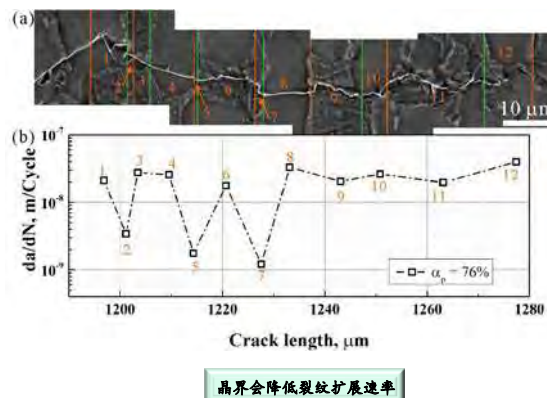


22

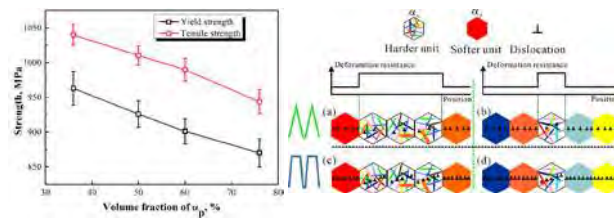
2 裂纹扩展速率



2 组织结构对裂纹扩展速率影响



2 小结



- ✓ 材料强度随初生 α 相含量增加降低;
- ✓ 初生 α 相易变形, 次生 α 相难变形; 次生 α 相对裂纹扩展阻力大于初生 α 相。

2

- 2.1 研究背景和目的
- 2.2 实验材料介绍
- 2.3 保载效应微观机理研究
- 2.4 结论

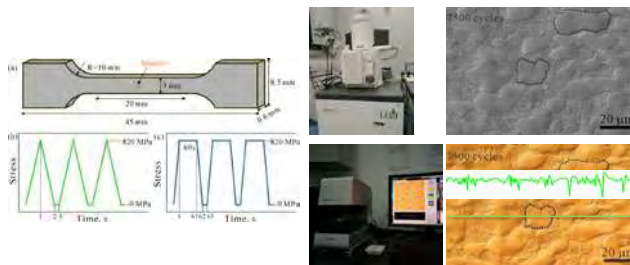
26

2 实验方法

实验方案出发点: 定量对比分析纯疲劳和保载疲劳下不同组织结构疲劳损伤行为

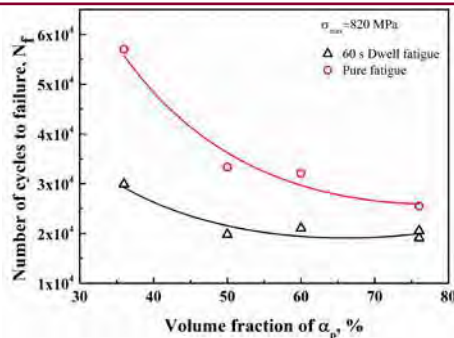
实验方法: 准原位实验观察

设备: Instron E-3000, 扫描电镜, 激光共聚焦显微镜



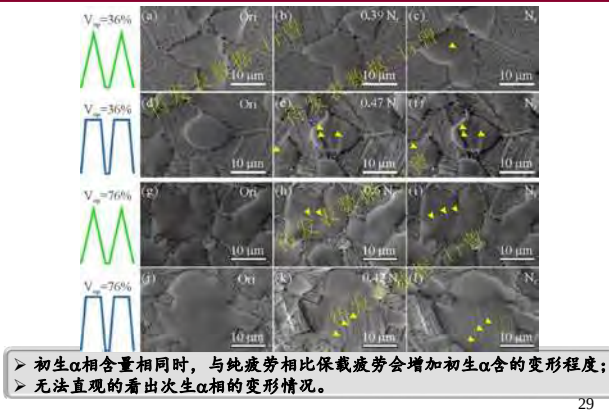
27

2 疲劳寿命



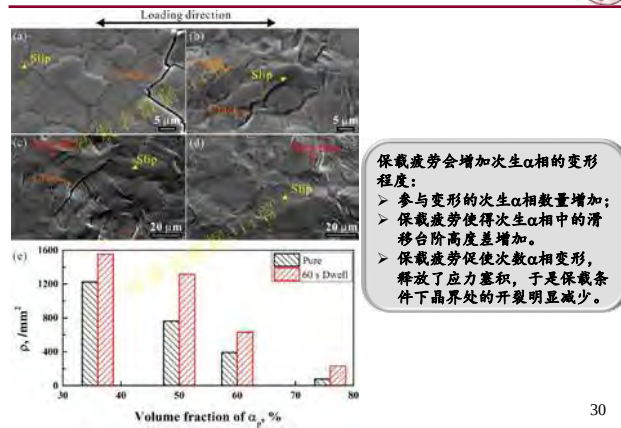
- 60 s保载疲劳寿命和纯疲劳寿命都随初生 α 相含量增加降低;
- 60 s保载加载下, 初生 α 相含量增加保载效应减弱。

2 疲劳损伤行为



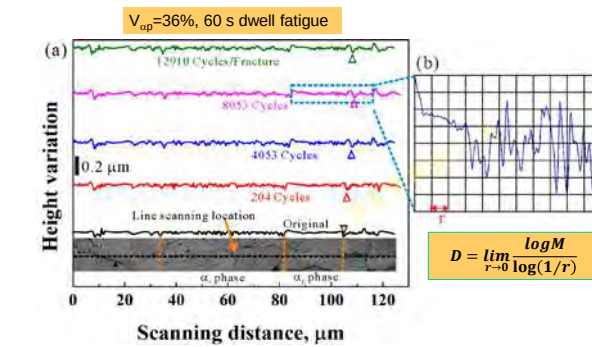
29

2 疲劳损伤行为



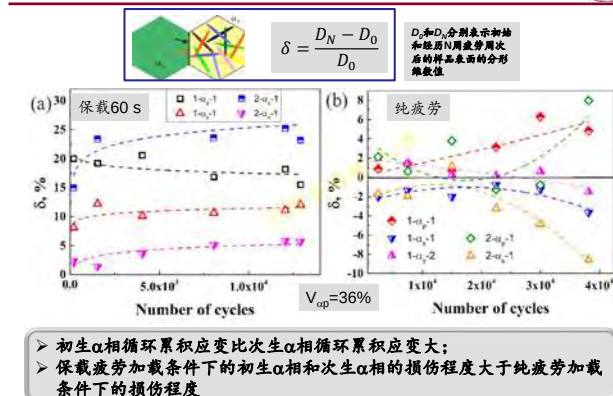
30

2 定量表征疲劳损伤—分形维数



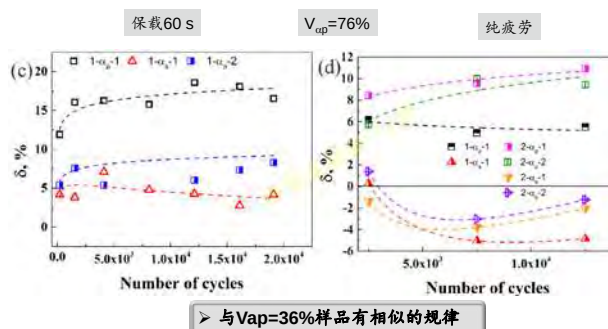
31

2 定量表征疲劳损伤—分形维数



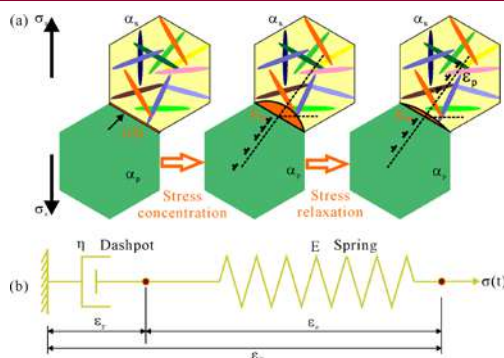
32

2 定量表征疲劳损伤—分形维数



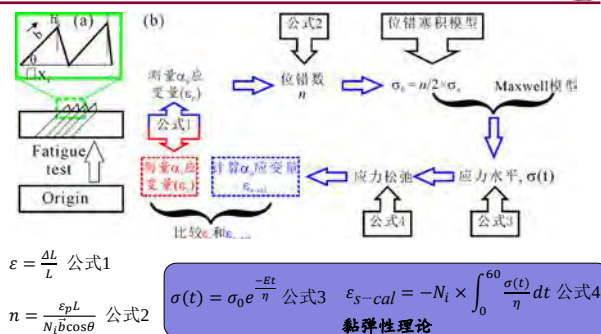
33

2 应力松弛诱导应力重分配模型



34

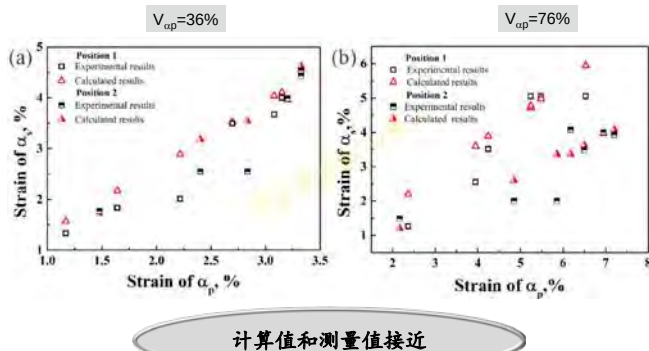
2 应变传递计算



n 平均位错数; L 晶粒尺寸; b 柏氏矢量; θ 柏氏矢量和加载轴的夹角; N_i 疲劳周次; E 杨氏模量; η 黏弹性系数; 假设开动的位错都是 $1/3\langle 11-20 \rangle$, θ 为 45°

35

2 应变传递计算



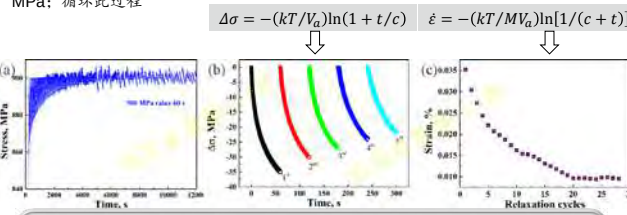
36

2 模型验证



实验方法: **重复瞬时松弛实验**

试验参数: 加载至900 MPa, 保持夹头位移, 松弛60 s, 再加载到900 MPa; 循环此过程

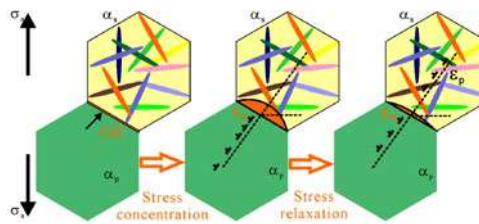


- Ti-6Al-4V合金在室温下存在应力松弛现象;
- 重复瞬时松弛实验200周时, 应力松弛量~10 MPa, 和60 s保载疲劳204周应力减少量(12 MPa)很接近;
- 900 MPa下松弛200周次生α相累积应变2.08%和经过204周保载疲劳后的应变1.33%和1.77%相近

Martin, J., B. L. Piccolo, T. Kruml and J. Bonneville (2002). "Mater. Sci. Eng. A.322(1): 118-125.

37

2 结论



- ✓ 通过准原位实验证实了应变传递的确存在;
- ✓ 通过定量表征疲劳损伤程度, 提出了应力松弛诱导应力重分配模型, 并通过重复瞬时松弛验证了模型的合理性。

38



活動二

會議紀要：

「嶄新鈹金材料與衝壓技術」研討會

2.2 「伺服壓力機技術發展和應用」分會議

一 由小松產業機械（上海）有限公司課長吳鐵軍先生和技術工程師殷迪凱先生主講

近年來，隨著科技的發展，壓力機是汽車、儀器、電子信息、電器機械等行業中鈹金材料加工最重要的工藝裝備，於此同時，由於市場對高質量、高精度、低價格品的需求越來越大，用於製造產品的加工設備的需求也越來越豐富，從而使製造業的國際競爭越來越激烈，然而對於新型鈹金材料精密加工而言，伺服化、數字化的壓力機開發進程還落後數十年。伺服壓力機是通過一個伺服電機帶動偏心齒輪，來實現滑塊運動過程，通過複雜的電氣化控制，可以任意編程滑塊的行程、速度、壓力等，甚至在低速運轉時也可達到壓力機的公稱噸位，通過傳動系統把電機的運動和能量傳給曲柄的滑塊機構，從而使胚料獲得確定的變形，製成所需的工件。伺服壓力機擁有很多傳統壓力機無法超越的優點，其結構特點有：

1. 結構小型、輕量化、功能複合化、集成化。
2. 延長元件壽命、提高系統的可靠性。
3. 降低液壓振動和噪聲。
4. 結合電子技術提高控制能力。

我國在這方面研究發展的沒有國外研究起步的早，僅是在個別高校進行過理論研究，但由於國民經濟的快速增長、市場國際化和人們消費觀點的上升，對製造產品的流綫型和個性化要求，各行業也引進了很多的國外的製造裝備。由於伺服壓力機製成品的高精度和良好的工作環境，而且還具有節能的優點，對當前全球節能環保政策更具有意義，勢必會在近期內得到認可和廣泛使用，也相信在不久的將來會取代現有壓力機在成形領域中的作用。可以見得今後伺服壓力機必定會取代傳統壓力機而成為鈹金塑形加工裝備的核心。

目前，伺服壓力機比較廣泛應用於發達國家，西班牙發格FAGE）、日本網野（AMINO）、日本小松（KOMATSU）、德國舒勒（SCHULER）等壓力機製造企業相繼推出了多種傳動結構、不同規格的伺服壓力機，獲取了

巨大的經濟效益。港生產力促進局（HKPC）致力以先進技術驅動香港企業提升生產力，引領本地工業的嶄新發展，開拓市場。透過是次鈹金材料與衝壓技術研討會等系列活動，邀請到了小松產業機械（上海）有限公司營業部經理向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員介紹日本小松在本領域的發展和應用現狀，以及相關投資要點、運作成本和新商機。

在是次研討會中，講者介紹了使用伺服壓力機的優點包括，改善生產成本，對應提升訂單的能力。其中具體表現為：相較於機械式壓力機每進行1個行程，伺服壓力機可以進行2.2個行程，生產效率提高2倍以上；伺服壓力機順送加工7小時後的閉合高度僅為-2um，精度高且穩定；導入伺服衝壓機後，打30000個件都沒有產生次品，模具壽命提高了30倍；500個/10萬個（0.5%）的次品產生，即導入伺服機後次品率降低到1/20；以及伺服機電力消耗減少了42%-71%，節約能源，降低噪音。此外，會議介紹了伺服衝壓機超越傳統衝壓機的原因。其複合驅動結構由交流電伺服馬達直接驅動，並且廢除了傳統的飛輪、離合器，達至伺服衝壓機只在實際作業中消耗電力；其滑塊實現了自由控制模式，可以提高模具壽命，降低次品率等優勢；其最大限度活用伺服機的「可視化」系統，消除生產的浪費情況；其下死點具備自動補正功能，提高了產品精度穩定性，降低作業工作量；其負載功能調整可以進行微小的自動補正閉合高度，防止由於負載變化而引起的精度惡化。另外，最新代伺服壓力機通過電磁式綫性尺計算下死點位置，滑塊調整馬達下死點位置可以補正 $\pm 10\mu\text{m}$ ，做到了更高效率，更高精度的技術要求。

講者分享了若干採用伺服衝壓機的典型案例。精密板鍛造成型加工案例的鐳射頭拾音器，導入效果：極高下死點精度，抑制振動，在加工中波動紊亂較少，提高了成型性和潤滑性，防止沖頭折斷；鋁鎂合金成型加工案例實現了以往普通壓力機不可實現的加工方式；眼鏡架成型加工實現了多段模式成型加工；煙灰缸成型加工案例實現了低速成型性，抑制發熱，防止燒傷，大幅度提高模具壽命。

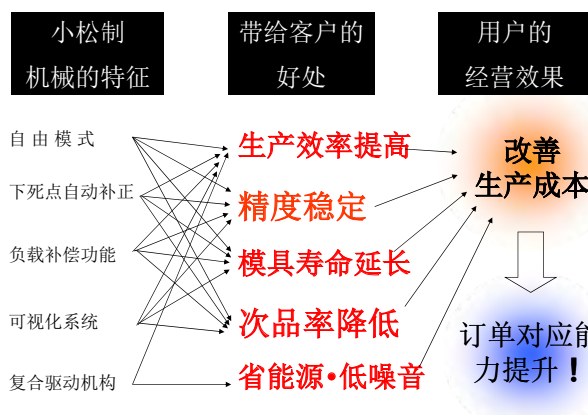
KOMATSU

伺服H1F系列



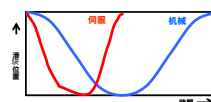
小松産業機械（上海）有限公司
营业部

小松制伺服压力机 “H1F系列”是怎样的机型？

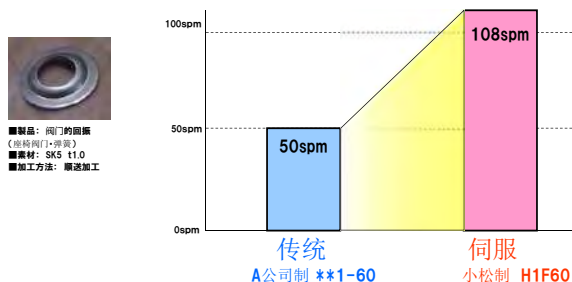


伺服压力机提高了 生产效率！

机械式压力机 每作1个行程
伺服压力机 可以作2.2个行程



使用同一模具情况下，也可实现 **2倍以上的SPM**



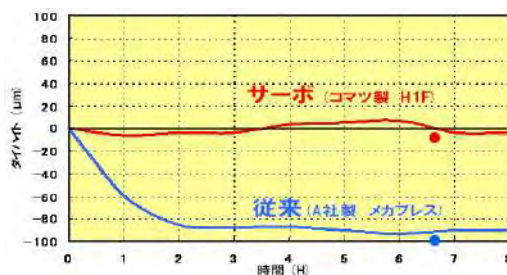
■製品：阀门的图板
（密封阀门+弹簧）
■素材：SKS t1.0
■加工方法：顺送加工

伺服压力机提高了 精度！

影响产品精度的闭合高度变化比较：

机械式压力机 顺送加工 7小时后的闭合高度 = $-90\mu\text{m}$
伺服压力机 顺送加工 7小时后的闭合高度 = $-2\mu\text{m}$

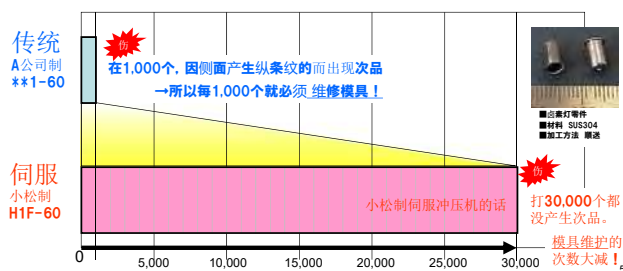
机械式压力机不可能做到的 **高精度** 加工、且非常稳定！



伺服冲压机提高了 模具寿命！

机械式冲压机的情况 打 1,000个 就产生次品。
导入伺服冲压机后、打 30,000个 都没产生次品！

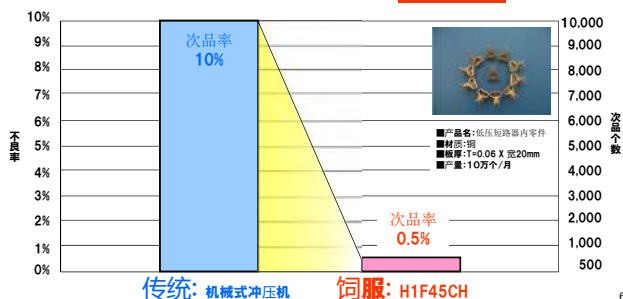
模具的寿命提高了 **30倍！**



伺服冲压机大大减少了 次品！

机械式冲压机的情况：1万个/10万个 (10%) 的次品产生
导入伺服冲压机后：500个/10万个 (0.5%) 的次品产生

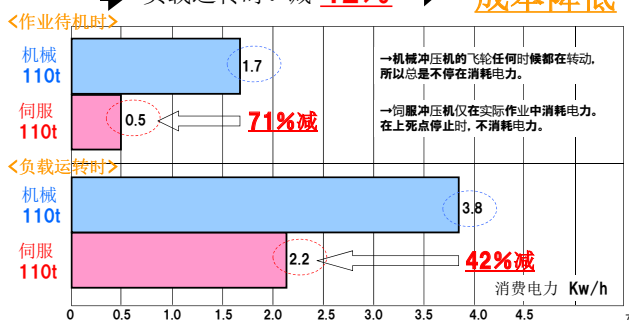
导入伺服机 次品率降低到 **1/20！**



伺服冲压机是 省能源/低碳 设计的冲压机！

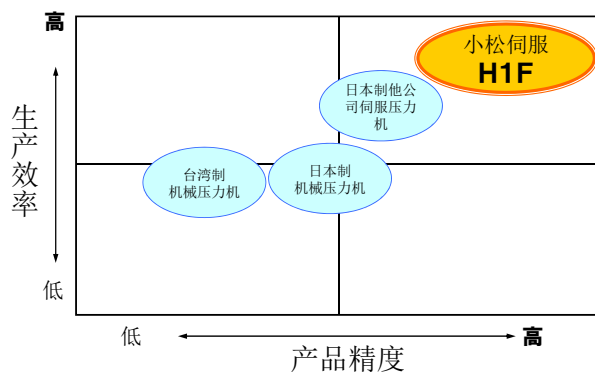
机械压力机 和 伺服压力机 的 电力消耗 比较

➡ 作业待机时: 减 **71%** ➡ 工厂经费的 **成本降低**
➡ 负载运转时: 减 **42%**



伺服冲压机是 高效率·高精度 的冲压机！

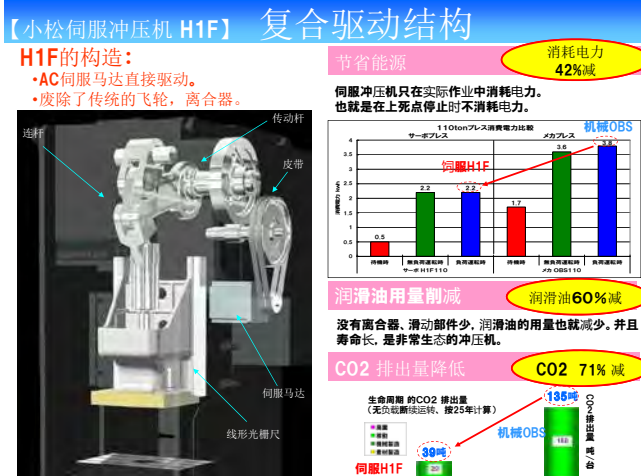
日本制高精度机械压力机不可能做到的 **高效率·高品质！**



超越冲压机常识的新技术！



超越冲压机常识的新技术！

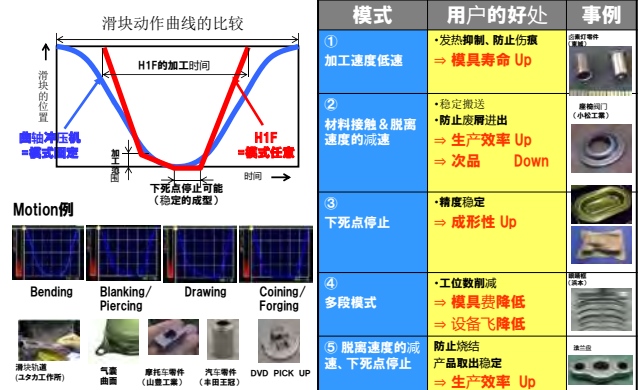


超越冲压机常识的新技术！

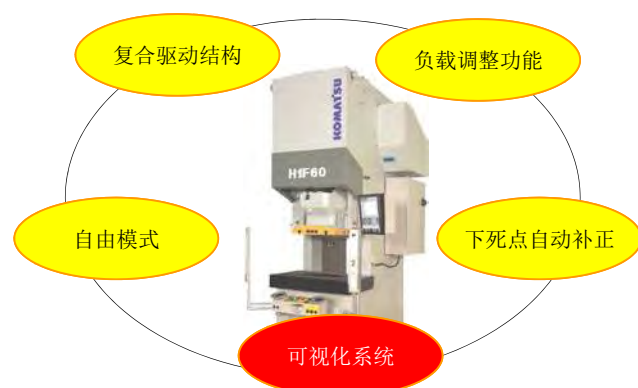


【伺服压力机 H1F】 自由模式

滑块自由控制可能！ 这个效果 非常明显！

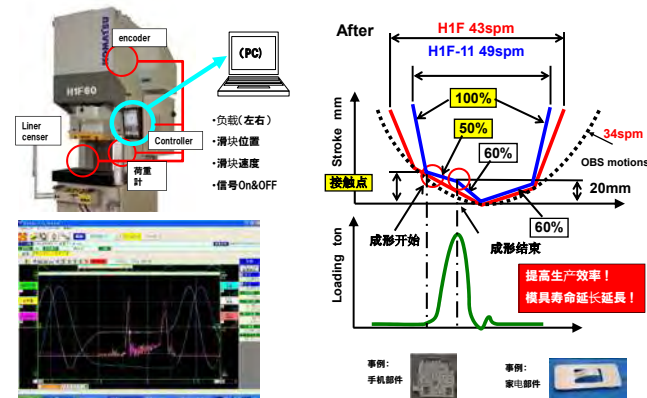


超越冲压机常识的新技术！



【小松伺服冲压机 H1F】 可视化系统

消除生产的浪费，最大限度活用伺服机的特点的“可视化”系统



超越冲压机常识的新技术！



【伺服冲压机 H1F】下死点自动补正功能

台湾制机
械冲压机

日本制机
械冲压机

日本制
他公司伺
服冲压机

■室内温度的变化
■长时间加工导致的模具温度上升
■长时间加工导致的机械内温度上升

↓

由于模具的热膨胀, 对精度的坏影响!

小松伺服冲压机 H1F

基于下死点自动补正功能, 使用线性光栅尺实测下死点位置, 在设定好的闭合高度值内自动补正。(容许值的精度在 $\pm 20\mu$ 范围自由设定)

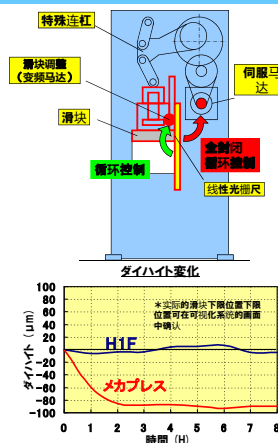
L

产品精度稳定!

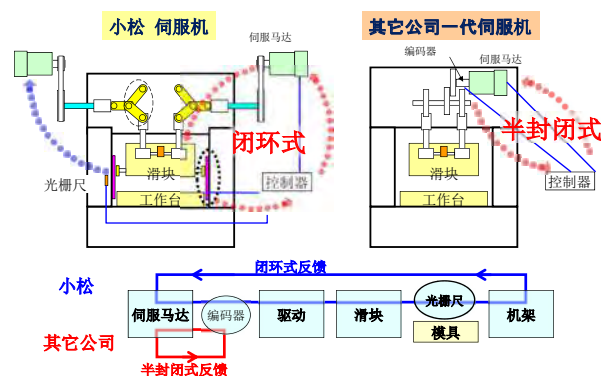
降低作业工作量!

延长模具寿命!

降低模具制作费!



伺服冲压机比较—反馈控制的差异「闭环式」与「半封闭式」



KOMATSU | 小松 18

伺服冲压机比较—下死点自动补正功能—采用耐振型线性光栅尺

特点 耐振型线性光栅尺为标准配置。



	H1F系列 (一代)	H1F-2系列 (二代)
检出方式	光电式+静电容量式	电磁诱导式
耐振动性 (指数)	○	◎
环境性能 (检出部耐污性)	○	◎

提高了信赖性!

19

超越冲压机常识的新技术!



【伺服冲压机 H1F】 负载调整功能

负载调整功能是：

伴随着模具温度上升，负载随时间而增加，以致产品出现缺陷的现象发生。
以往的下死点修正，不合理地向下调整而使负载一个劲地上升！

负载调整功能是微小地自动补正闭合高度，可自动补正附近10shot平均负载的闭合高度。容许值可自由设定（±5kN以上）。

→防止由于负载变化而引起的精度恶化！

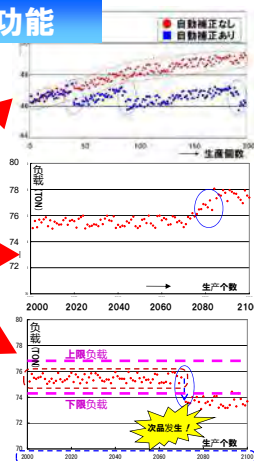
模具烧结的检查

模具烧结会使负载产生变化。
预先设定负重计的正常范围，能够起到预防废品大量产生的作用。

次品产生的早期发现

提前测定正常时负载的偏差，预先设定负重计的
正常范围，一旦检测出异常就自动停止。把
次品的损失降到最低限度。

可任意间隔进行抽样，便于管理（每1个、100
个、1000个、etc.）



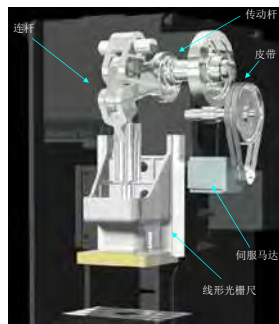
伺服2代压力机（110-200t）！



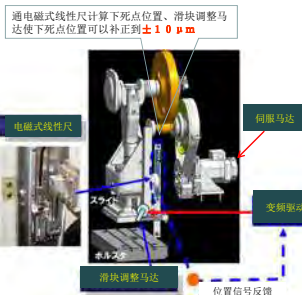
22

伺服2代冲压机—结构变更对比

小松一代单轴伺服冲压机
HIF-11



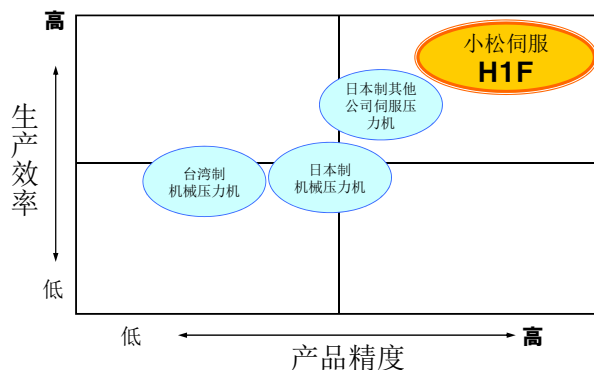
小松二代单轴伺服冲压机
HIF-2



KOMATSU | 小松 23

伺服冲压机是 高效率·高精度 的冲压机！

日本制高精度机械压力机不可能做到的 高效率·高品质！



采用伺服冲压机的典型案例！

- 1: 激光头拾音器——挤压加工
- 2: 镁合金盖板——加热保压加工
- 3: 钛合金眼镜架——1行程内反复冲压保压加工
- 4: 烟灰缸成形——低速保压加工
- 5: 防爆片成形——低速挤压保压加工
- 6: 手机摄像头保持架——自由模式低速保压加工

精密板锻造形成加工——激光头拾音器

- DVD 光拾器零件
- 材质 SPCC
- 加工方法 顺送加工
- 导入效果
 - 始终保持很高的下死点精度
 - 抑制振动、在加工中波动紊乱少
 - 提高了成形性和润滑性、防止了冲头的折断

为了安装激光发光器件、
要求精度达到 μ 级别的程度

根据板厚需要穿孔
($\phi 1$)



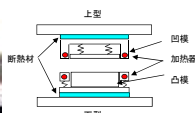
铝镁合金成形加工——保压保温

H1F80—CS

製品名: 数码相机外罩(单壳加工)
材質: Mg材
板厚: 0.5mm



金型構造

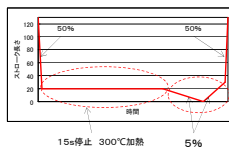


效果

- ①实现了以前普通压力机不可实现的加工方式，
再如中保压对素材加热。
- ②为了保证生产性以及成形性采用最合适的加工自由模式。

設定模式

为了对素材加热，途中15秒停止



眼镜架成形加工——1行程内多次冲压

- 素材 钛合金(形状記憶合金)
- 加工方法 单壳加工
- 導入効果
 - 多段模式
 - 减少回弹变量
(3段成形加工)



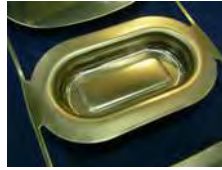
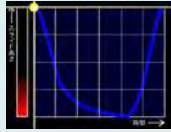
烟灰缸成形加工---拉伸效果

拉伸加工的时候, 是否遇到了拉破或者有有拉伤的情况?

拉伸加工用推荐模式

请降低成型速度试一试。加快返回速度的话, 对生产性并不会产生大的影响。

低速成形



- 优势1** 低速成形, 提高了成形性。特别是**不锈钢和高刚性材料**有显著效果。
- 优势2** 抑制发热, 防止灼伤、在**無潤滑**加工中也并不是完全不可能。大幅度提高金型寿命。
- 优势3** 即便降低成型速度、许可能量(仕事量)也不会完全降低。试模非常方便。

烟灰缸成形加工---刻印效果

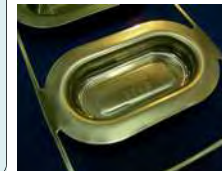
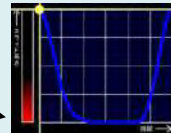
For Bending

長時間運轉的情況下, 刻印深度是否会出现波动?

刻印加工用推荐模式

精度发生波动, 相对困惑的场合、下死点尝试短時間保压。

下死点停止



- 优势1** 下死点短時間保压、**成形精度稳定**。刻印加工表现良好、**回弹抑制**也效果显著。
- 优势2** HIF的**下死点自動補正機能**作为標準裝備。通过线性光栅尺实测闭合高度, 实现下死点自動補正、完成稳定的高精度成形。(Pat.P)
- 优势3** 采用有稳定下死点精度的HIF, 可以取消限位柱。不在浪费无效负载。

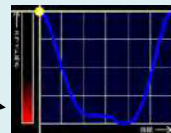
烟灰缸成形加工---冲裁效果

在降低騒音和振動的情況下, 提高模具寿命。

冲裁加工用推荐模式

模具在猛地接触瞬間、冲裁瞬間降速、騒音大幅降低。

低速冲裁



- 优势1** 在冲裁的瞬间降低速度、降低了过冲惯量。降低了模具的震动、大幅度提高模具的寿命。(Pat.P)
- 优势2** 上模和下模在接触的瞬间采用低速、不仅仅是冲切, 其他的加工方面噪音也会得到改善。

烟灰缸成形加工--- 自由模式

模式的设定自由自在

例如这类的顺颂加工推荐的模式是?



推荐的模式

低速成形
提高成形性

低騒音模式

回程的时候高速,
提高生産性

下死点停止で
刻印精度安定

伺服效果事例 H1F110-2 (0型)

対象零件

製品名: 新能源汽车防爆片
材質: AL
板厚: 0.5mm
生産数: 試模100片



溝槽公差
0.06±0.015

加工工程 (順送)

- 1工程: 定位孔
- 2工程: 外周切断
- 3工程: 外周切断
- 4工程: 外周切断
- 5工程: 空位
- 6工程: 反成形
- 7工程: 空位
- 8工程: 空位
- 9工程: 整形
- 10工程: 切断

.....合計10工程

製品加工の課題

同样稳定生产, 速度不同, 稳定性不同, 防爆压力值也不同, 测试不同速度下的防爆压力稳定值

整线構成	K社高速圧力機	伺服圧力機H110-2 (0)
产线生産速度	100spm 原产速度	60spm 原产速度
安定加工的条件比較 模式設定	平均加工速度低下 由軸模式	成形部加工速度 90% 20% 80% 0.035UP 振子模式
振子模式	不可能	可能
下死点自由修正	不可能	±0.01
冲压后防爆压力值 (未退火)	最大1.30MPa 最小1.214MPa 差值0.086MPa	最大1.196MPa 最小1.152MPa 差值0.044MPa
退火后防爆压力值	最大0.875MPa 最小0.771MPa 差值0.104MPa	最大0.894MPa 最小0.804MPa 差值0.09MPa

低速模式+振子模式+0.03s停止, 在确保安定性・生産性的同时, 稳定性UP, 下死点自动修正机能±0.01mm利用, 沟槽及中部厚度较为稳定。
冲压后未退火的状态下小松0.044MPa 优于高速压机0.086MPa
产品退火后小松0.09MPa 优于高速压机0.104MPa

伺服效果事例 H1F150-2

対象产品

製品名: 手机摄像头零件
材質: CU
板厚: 0.3mm
TRY生産数: 500个



底部累计公差±0.01

加工工程 (順送)

- 1工程: 定位孔
- 2工程: 外周切断
- 3工程: 外周切断
- 4工程: 外周切断
- 5工程: 成形
- 6工程: 成形
- 7工程: 平面度成型
- 8工程: 空位
- 9工程: 空位
- 10工程: 平面度整形

.....合計17工程

製品加工の課題

外周拉伸表面不良多、底部平面度波动性大 无法稳定生产

产线構成	台湾製G2.110	サーボプレス150-2
产线生産速度	18spm (試産)	38spm (試模速度)
安定加工条件比較 模式設定	平均加工速度低下 由軸模式	成形部加工速度 50% 80% 60% 80% 0.02UP 振子模式
冲压模式	不可能	可能
底部平面度不良	50%	0%
外周拉伸表面不良	多	少

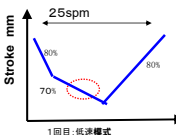
利用低速模式+振子模式・安定性・生産性得到確保的同时, 底部平面度不良率接近0%。
但是外周拉伸表面不良并非100%改善, 此問題还需要客户模具修正解决。

伺服效果事例 H1F150-2



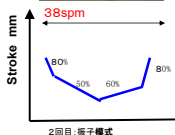


Stroke mm



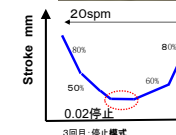
1回目: 低速模式

Stroke mm



2回目: 振子模式

Stroke mm



3回目: 停止模式

項目	1回目	2回目	3回目
接触速度 SPM	70% 25SPM	50% 38SPM	70% 0.2s停止 28SPM
設定模式的考慮方向	考慮到成形性, 首先降低速度, 尝试成形。	为了抑制不良品率, 降低速度, 但为了生産性不受到特别大的影响, 采用低速模式。	利用停止机能, 测试改善效果。
測定方法	500個中測定10個	500個中測定10個	500個中測定10個
結果 (平面度不良率)	30%	0%	10%

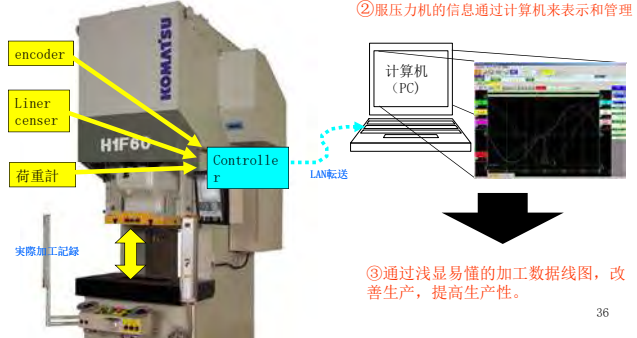
可视化系统的使用方法

可视化 职人工法的组成

①表示实际数据

②服压力机的信息通过计算机来表示和管理

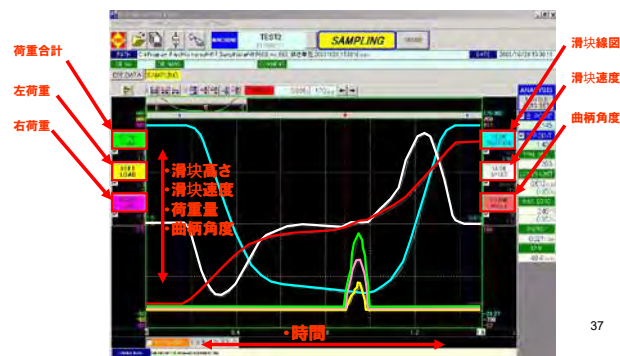
③通过浅显易懂的加工数据线图, 改善生产, 提高生産性。



「可视化系统」可以看到什么？

可视化 职人工法 运动模式画面

可以确认原来看不到的滑块的实际行动以及加工负荷

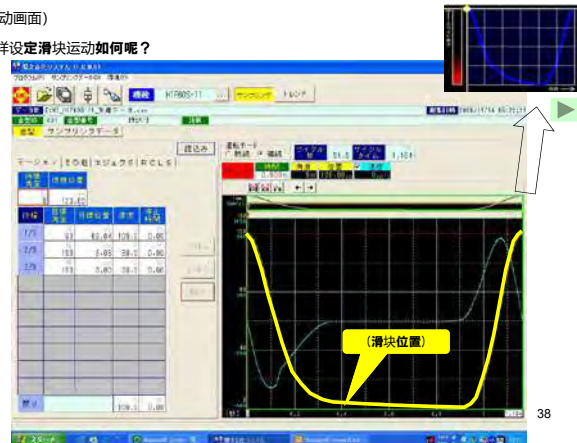


37

【家电配件】效果的活用“可视化”效果的使用

(模具运动画面)

例如这样设定滑块运动如何呢？

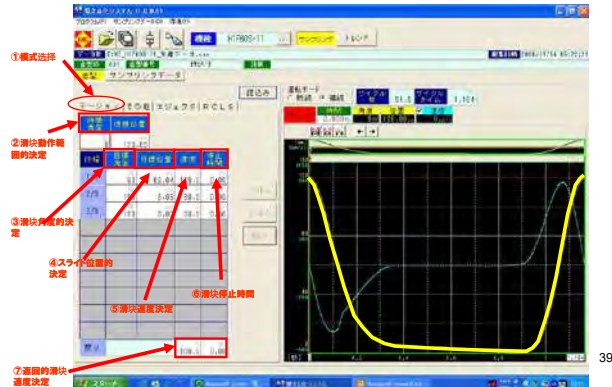


38

【家电配件】效果的活用“可视化”效果的使用

(模具运动画面)

例如这样设定滑块运动如何呢？

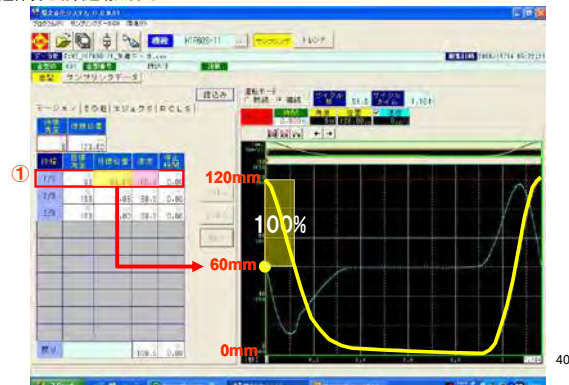


39

【家电配件】效果的活用“可视化”效果的使用

(模具运动画面)

例如这样设定滑块运动如何呢？

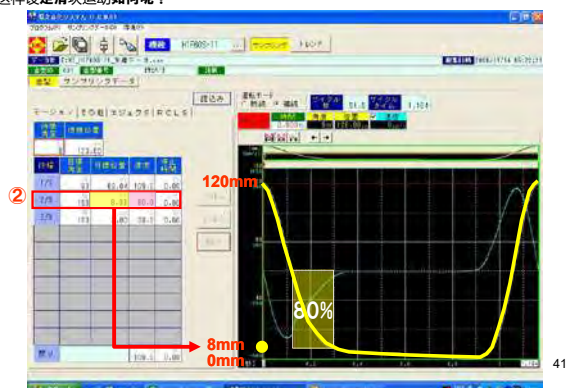


40

【家电配件】 效果的活用“可视化”效果的使用

(模具运动画面)

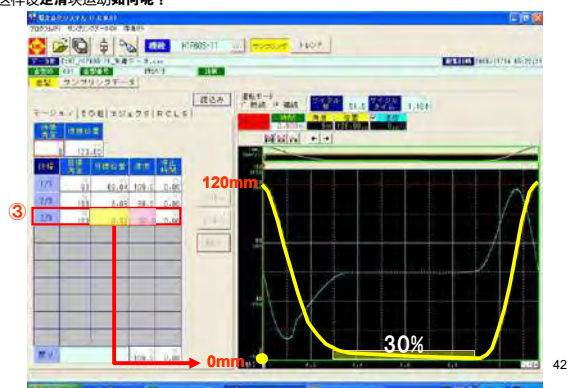
例如这样设定滑块运动如何呢？



【家电配件】 效果的活用“可视化”效果的使用

(模具运动画面)

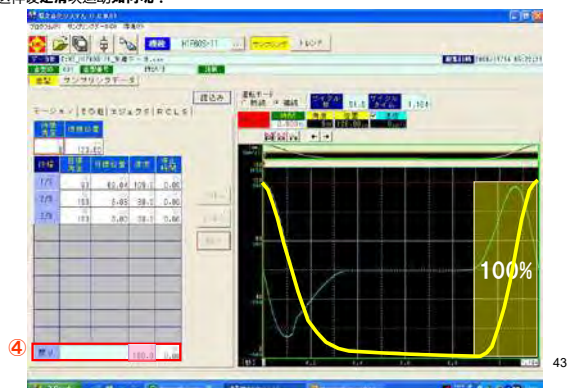
例如这样设定滑块运动如何呢？



【家电配件】 效果的活用“可视化”效果的使用

(模具运动画面)

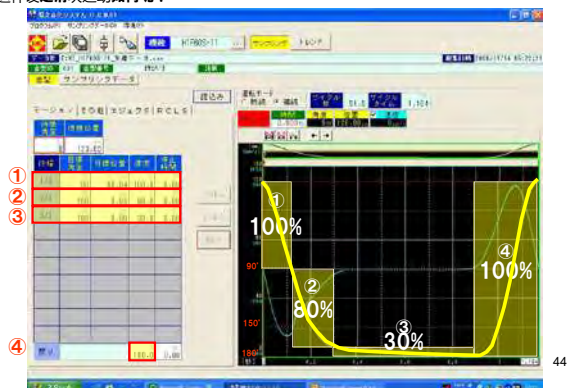
例如这样设定滑块运动如何呢？



【家电配件】 效果的活用“可视化”效果的使用

(模具运动画面)

例如这样设定滑块运动如何呢？



●新型可视化系统（成型状态监视功能）

线性光栅尺以及荷重计测定的数据在SIT-4操作画面中表示。不需要再连接到电脑，所以可以在生产现场直观的看到产品成形的状态。

抽样间隔：1msec



SIT4控制

【抽样监测功能】

滑块位置、速度、加工负载荷重（合计，左右）的实测值在一个行程内显示。

追求最合适的生产模式
追求最短的准备时间

伺服效果

生产性提高 精度提高
成形性提高 模具寿命提高

45

●新型可视化系统（成型状态监视功能）

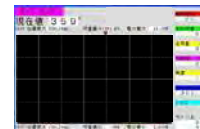
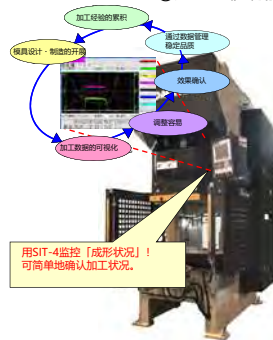
特点

成形状况监控系统是冲压加工时的分析工具。

- ①通过抽样功能，将1行程中的加工状况可视化。
- ②通过监视功能，将长时间生产的加工状况可视化。

【①抽样功能】

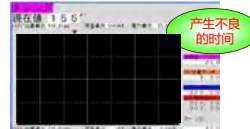
将1行程中的滑块位置、速度、成形荷重的实测值进行实时地计算、监控。因可见荷重发生位置、可根据其发生位置，简单地自由模式设定。



将成形情况可视化画面的例子

【②监视功能】

长时间搜集、显示生产下限位置、最大荷重的实测值。



将不良产生可视化画面的例子

46

●新型可视化系统（成型状态监视功能）

本来在实际工作中是不可见的滑块的动作，加工负荷现在可以确认。



47



KOMTRAX--移动揭示板



KOMTRAX--进度管理



KOMTRAX- 保全部品管理



KOMTRAX- 日报



●小松伺服冲压机 (小松伺服冲压机全球销售实绩)



56

活動三

會議紀要：

「嶄新鈹金材料與衝壓技術」研討會

2.3 「特定功能性多材料合金板材加工與成型技術及其應用」分會議

— 由中國長沙理工大學劉小春教主講

香港生產力促進局（HKPC）致力以先進技術驅動香港企業提升生產力，透過是次研討會，由中國長沙理工大學金屬研究所劉小春教授向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員介紹先進板狀材料加工與成型技術及應用現狀、先進材料表徵技術應用和典型複合板材的研究進展。

先進板狀材料加工技術部分主要介紹了兩種技術：疊軋技術（Accumulative roll bonding, ARB）和多功能板材表面加工技術。ARB曾被應用於大變形誘導晶粒細化工作。該技術可製備微米及納米尺度Cu/V板，納米尺度的Cu/V板每一個片層都是一個單晶，具有良好的力學性能與熱穩定性能，其超高熱穩定性基於自發形成的單晶與低能量介面。相對於單向ARB軋製技術，雙向交替ARB軋製技術製備的微米尺度Cu/Ta複合板材具有更好的力學性能及熱穩定性，製備的Cu/Nb複合板材自發形成低能納米層片結構具有高強高熱穩定性能。從文獻中可知，多功能板材表面加工技術使強納米材料具有梯度韌性，能夠提高材料強度、耐疲勞性、耐磨耐腐蝕性、表面粗糙度、表面合金化、粘合力等。長沙理工大學與合作單位北京航空航太大學研發出了雙面碾壓成型技術，該技術通過球形碾壓刀頭使蒙皮材料表面梯度細晶強化，製備的零部件主要應用於航空航太領域。雙面梯度納米結構薄板件特點是芯部韌、表面硬及具備額外加工硬化條件。

先進材料表徵技術部分主要介紹了長沙理工大學金屬研究所的金屬研究平台與設備。其中特色力學性能測試平台包括：透射電鏡（Transmission electron microscopy, TEM）原位力學樣品桿、掃描電鏡（Scanning electron microscope, SEM）原位拉伸高溫力學台、SEM原位納米壓痕實驗台及小尺寸視頻引伸計拉伸試驗機。高端微觀結構表徵平台包括：場發射SEM（EDS/EBSD）、聚焦離子束（Focused Ion beam, FIB）、場發射TEM及球差校正TEM。

典型複合板材的研究進展與性能部分主要介紹了以下三種材料：Cu/Fe層狀複合材料、Ti/Fe層狀複合材料及Ti/Cu層狀複合材料。鐵磁材料如純鐵、矽鋼、鐵鎳合金，可利用鐵磁材料的高磁導率引導磁力綫通過高穿透材料並在附近空間降低磁通密度從而達到磁遮罩目的。適用於低頻（<100 kHz）磁場的遮罩。缺點是電導率低而不適合高頻電磁場的遮罩。金屬良導體材料如銅板和鋁板，特點是具有較高電導率，適用於中高頻（100kHz—1.5GHz）磁場以及靜電場的遮罩。Cu/Fe層狀複合材料結合以上材料優點，可以作為良好的電磁遮罩材料。

鈦優點是高強度、輕質、耐腐蝕性能佳，缺點是成本高及不易成形。鋼優點是力學性能好、易成形及成本低，缺點是不耐腐蝕。Ti/Fe層狀複合材料兼具上述兩種材料的性能優勢，同時可以降低材料成本，逐漸成為單一鈦材的替代品，應用於化工、電力、石油、航空航太、海洋等領域。通過高倍TEM可以觀察到Ti/Fe介面基於原子尺度的結合。

鈦作為目前常用的陽極材料，其優點是良好的強度和韌性，高耐腐蝕、穩定性好及壽命長，缺點是能耗大（導電率僅為銅的3%），難與其他金屬焊接。Ti/Cu層狀複合材料作為新型陽極材料特點是兼具良好的導電性、焊接性和耐腐蝕性。通過光學表徵，可以觀察到Ti/Cu層狀複合材料焊合層有較明顯介面反應，反應物為CuTi₃。

使用熱/冷滾軋焊合製造的多功能合金薄板，在工業中具有潛在的大規模應用。材料的微結構仍有很大空間值得進一步探索，有望將微結構特徵與各種材料或設備的特性相關聯。通過獨特的機械測試平台，先進的微結構表徵平台和紮實的理論研究基礎，能夠實現產品質量評估和故障分析，先進材料的微觀結構表徵驅動設計及具有特定性能的新型材料的開發。




金属研究所

INSTITUTE OF METALS

Seminar on "Novel Sheet Metal Materials and Stamping Technologies"
 嶄新鈹金材料與衝壓技術研討會

In-House Specific Functional Multi-Material Alloy Sheets Manufacturing Technology and its Applications

---Microstructural characterization-driven design of advanced materials



刘小春 教授
xcliu@csust.edu.cn
 18512481029

2021-5-24
 长沙

长沙理工大学金属研究所



致谢：团队成员与合作者



全职科研 PI 团队：聚焦金属材料科学基础研究与理论创新

		
刘小春 教授 微观结构定量表征 表面强化与多功能化	刘玉敬 教授 3D 打印多孔医用钛合金 复合材料	吴翔 博士 高强高导铜合金 双合金复合板

- 北京航空航天大学 李小强 教授
- 中南大学 王日初 教授

致谢：全职科研助理团队



全职科研助理团队：专注科研方法与实验技能提升，对接企业项目与产品研发

		
邱成亮 硕士 小尺寸力学性能测试 材料成型处理	王艺卓 硕士 双高冲压工艺开发 高铜合金梯度纳米结构	张健 本科 强韧检测测试 电镀安装与维护
		
赵均坤 本科 FEM模拟与测试 材料微纳加工	刘健 本科 场发射 TEM 测试 TEM 数据解析	姚蒙 本科 材料热处理 机械加工

□ 先进板状材料加工与成型技术及其应用

□ 先进材料表征技术助力新材料研发与应用

□ 几种典型复合板材的研究进展与性能

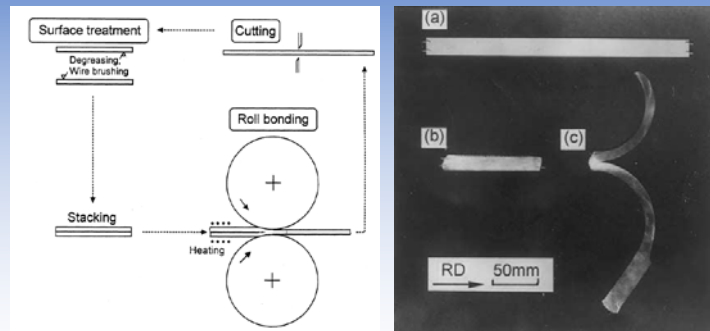
□ 先进板状材料加工与成型技术及其应用

□ 先进材料表征技术助力新材料研发与应用

□ 几种典型复合板材的研究进展与性能

1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)

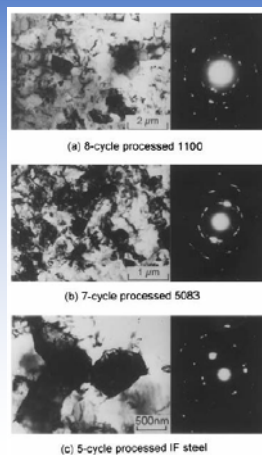
ARB技术, 1999首次被日本材料学家提出。



Y. SAITO, Acta Materialia, 1999

1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)

ARB技术曾经被广泛用于开展大变形诱导晶粒细化的工作。

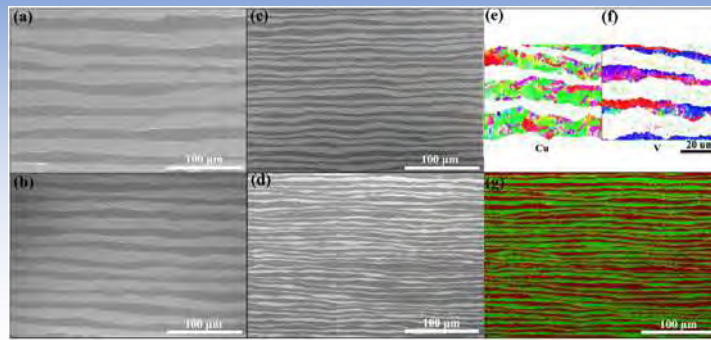


Y. SAITO, Acta Materialia, 1999

1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)



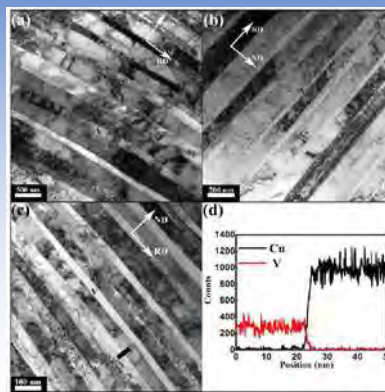
ARB 微米尺度Cu/V板制备技术



1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)



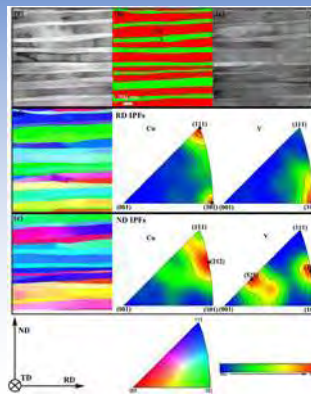
ARB 纳米尺度Cu/V板制备技术



1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)



ARB 纳米尺度Cu/V板制备技术: 每一个片层都是一个单晶

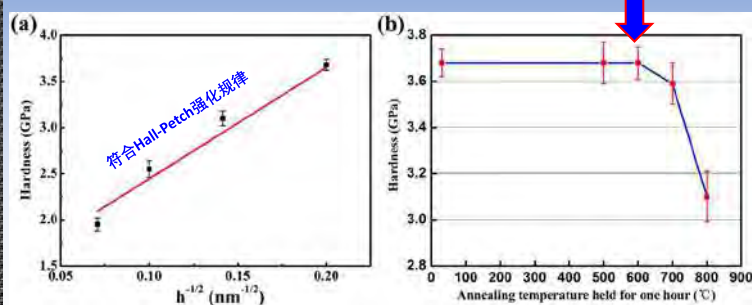


1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)



ARB 纳米尺度Cu/V板材的力学性能与热稳定性

超高热稳定性: 得益于自发形成的单晶与低能界面



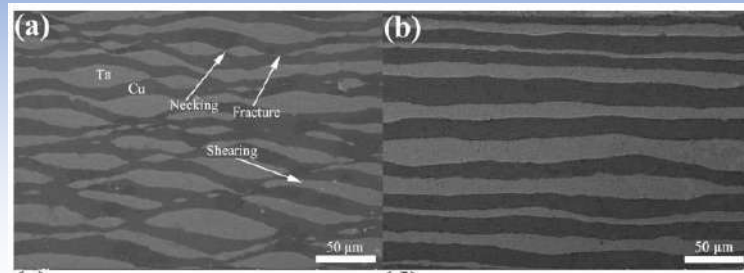
1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)



叠轧技术制备Cu/Ta复合板材

单向ARB轧制技术

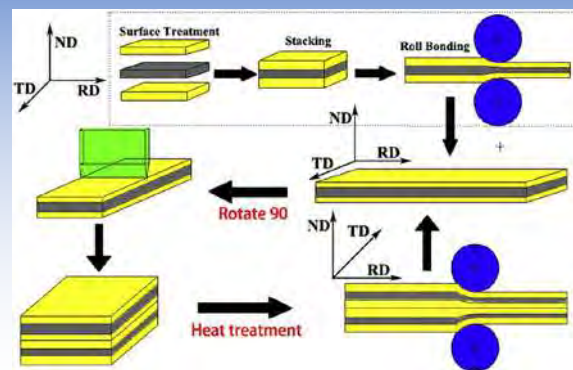
双向交替ARB轧制技术



1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)



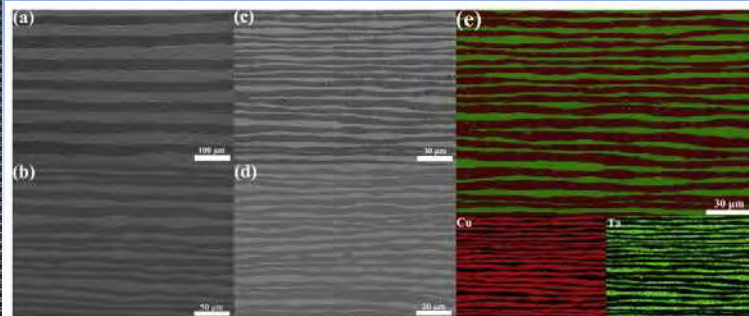
双向交替ARB轧制技术



1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)



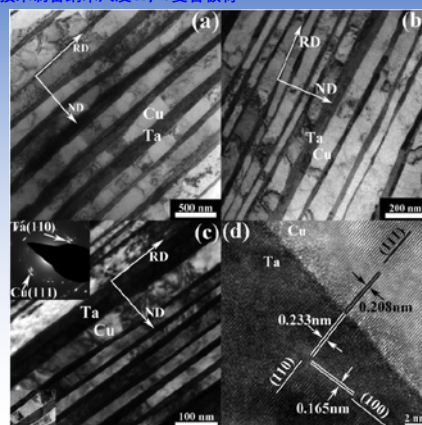
双向交替ARB 技术制备微米尺度Cu/Ta复合板材



1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)

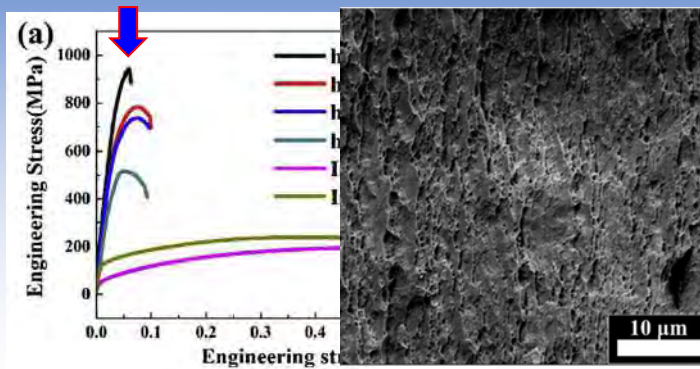


双向交替ARB 技术制备纳米尺度Cu/Ta复合板材



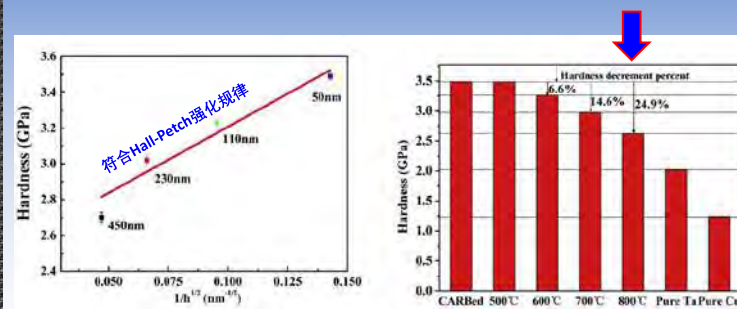
1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)

双向交替ARB 技术制备纳米尺度Cu/Ta复合板材：力学性能



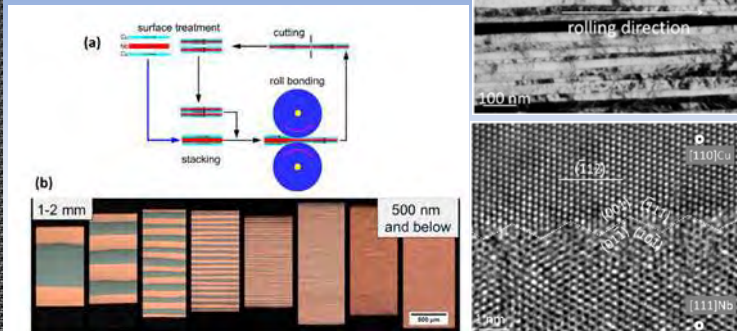
1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)

双向交替ARB 技术制备纳米尺度Cu/Ta复合板材：力学性能与热稳定性



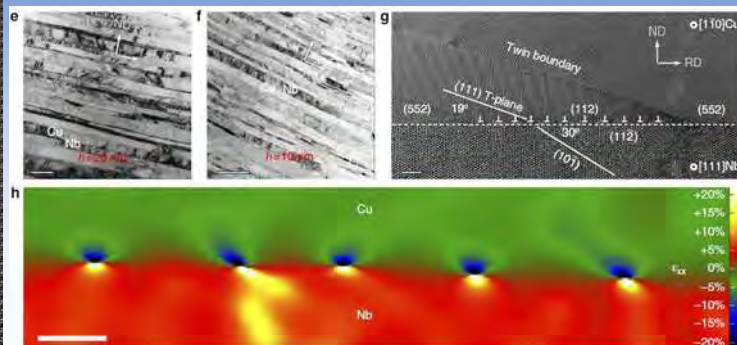
1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)

Emergence of stable interfaces under extreme plastic deformation
Zheng, S.J., PNAS, 2014



1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)

自发形成低能纳米层片结构，具有高强高热稳定

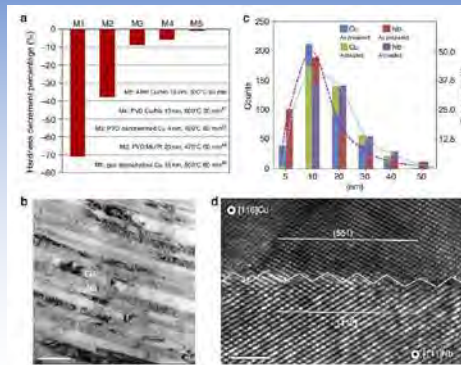


Zheng, S. J, nature Communications, 2013

1.1 叠轧技术 (Accumulative roll bonding, ARB)



自发形成低能纳米层片结构, 具有高强高热稳定

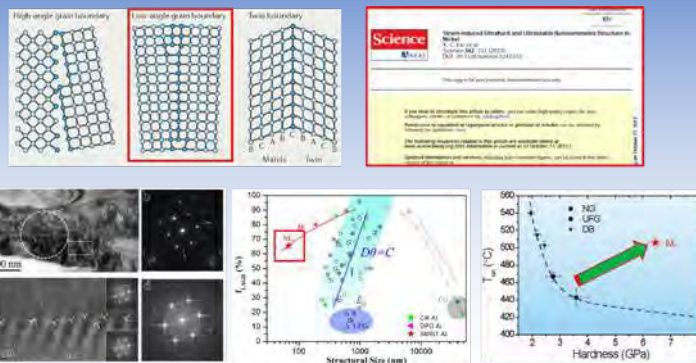


Zheng, S. J., nature Communications, 2013

大塑性变形诱导自发形成低能界面



Boundary Engineering: semi-coherent LAGB

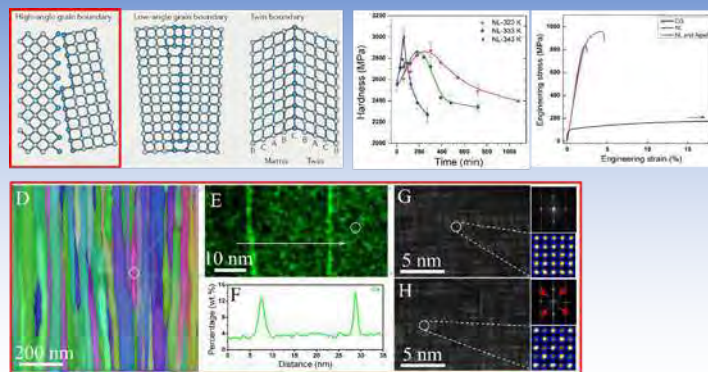


X.C. Liu, J.W. Zhang, K. Lu, Science, 2013

大塑性变形诱导自发形成低能界面

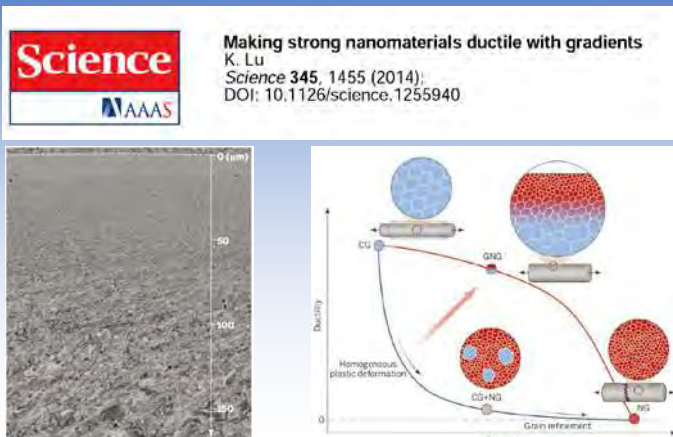


Boundary Engineering: incoherent HAGB

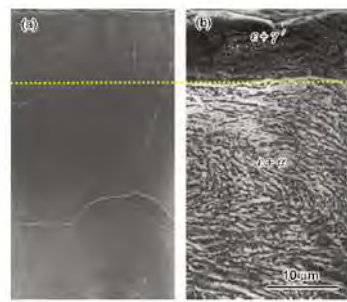


X.C. Liu et al., Acta Mater., 182, 207 (2020)

1.2 多功能板材表面加工技术



1.2 多功能板材表面加工技术



Tong, W. P. Science, 2003

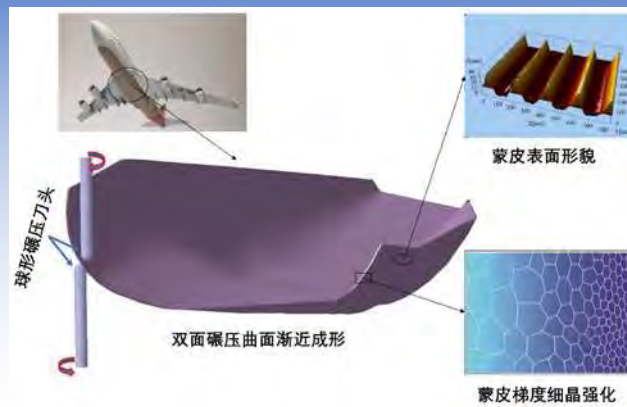


1.2 多功能板材表面加工技术：双面碾压成形



合作单位：北京航空航天大学 李小强 教授

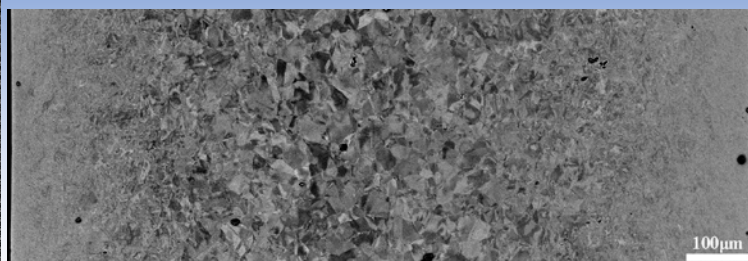
1.2 多功能板材表面加工技术：双面碾压成形



1.2 多功能板材表面加工技术：双面碾压成形

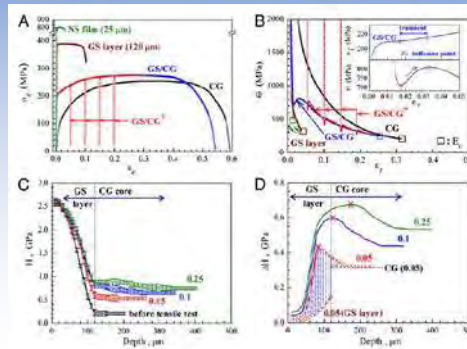


双面梯度纳米结构薄板件：芯部韧、表面硬



1.2 多功能板材表面加工技术：双面碾压成形

双面梯度纳米结构薄板件：具备额外加工硬化



报告内容

□ 先进板状材料加工与成型技术及其应用

□ 先进材料表征技术助力新材料研发与应用

□ 几种典型复合板材的研究进展与性能

2.1 先进材料研究与表征平台



代表性论文题目	杂志名称	发表时间
Strain-induced aligned and ultrathin nanolaminated structure in nickel	Science	2019
Formation of nanolaminated structure in nickel by means of surface mechanical grinding treatment	Acta Materialia	2019
Strain-induced microstructure refinement in pure Al below 100 nm in size	Acta Materialia	2018
Deformation induced grain boundary segregation in nanolaminated Al-Cu alloy	Acta Materialia	2018
Compressive and fatigue behavior of beta-type titanium porous structures fabricated by electron beam melting	Acta Materialia	2017
Microstructure defects and mechanical behavior of beta-type titanium porous structures manufactured by electron beam melting and selective laser melting	Acta Materialia	2016
Controlling hydrogenated catalytic performance in metallic glasses	Advanced materials	2016
Additive Manufacturing of Titanium Alloys by Electron Beam Melting: A Review	Advanced Engineering Materials	2016
Lightweight springs based on graphene@SiC aerogel composites for high-performance microwave absorption	Chemical Engineering Journal	2016
Selective laser melting manufactured porous Fe-based metallic glass matrix composites with remarkable catalytic activity and reusability	Applied Materials Today	2016
Enhanced fatigue characteristics of a topology optimized porous titanium structure produced by selective laser melting	Additive Manufacturing	2016
Characterization of lattice defects and tensile deformation of biomimetic Cu ₂ Fe ₃ Si ₃ alloy produced by selective laser melting	Additive Manufacturing	2019
Formation of nanolaminated structure in an intermetallic-free Ti-6Al-4V	Scripta Materialia	2015
Early plastic deformation behavior and energy absorption in porous β-type biomedical titanium produced by selective laser melting	Scripta Materialia	2016
Processing and properties of topologically optimized biomedical Ti-6Al-4V scaffolds manufactured by selective laser melting	Materials Science and Engineering A	2015
Beta-type Ti-6Al-2Zr alloys with large plasticity and significant strain hardening	Materials & Design	2019
Microstructure stability and tensile properties of Cu-3Ag-1Zr alloy fabricated by rapid solidification and cold rolling	Materials Characterization	2019
Ultrafine grained Cu-3Ag-1Zr (i = 0.5, 1.0 wt%) alloys with high strength and good ductility fabricated through rapid solidification and cold rolling	Materials Science and Engineering A	2020



TEM原位力学
样品杆



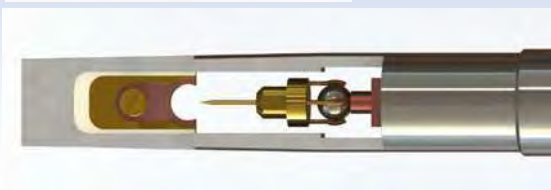
SEM原位拉伸
高温力学台



SEM原位纳米
压痕实验台



小尺寸视频引伸
计拉伸实验机



研究平台与设备：特色力学性能测试平台

研究平台与设备：特色力学性能测试平台

TEM原位力学
样品杆

SEM原位拉伸
高温力学台

SEM原位纳米
压痕实验台

小尺寸视频引伸
计拉伸实验机

研究平台与设备：特色力学性能测试平台

TEM原位力学
样品杆

SEM原位拉伸
高温力学台

SEM原位纳米
压痕实验台

小尺寸视频引伸
计拉伸实验机

研究平台与设备：高端微观结构表征平台

场发射SEM
(EDS/EBSD)

聚焦离子束
FIB

场发射TEM

球差校正TEM

研究平台与设备： 高端微观结构表征平台

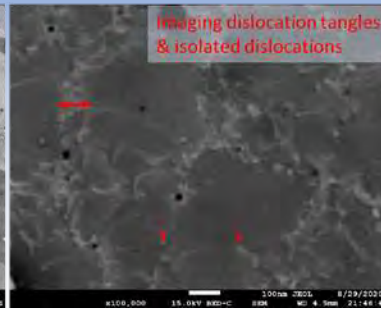
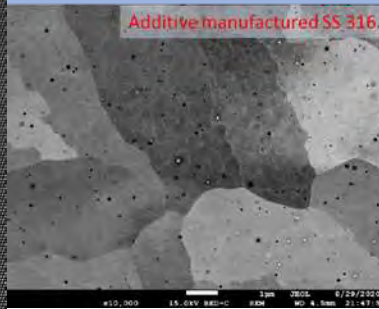


场发射SEM

EBSD

场发射TEM

球差校正TEM



研究平台与设备： 高端微观结构表征平台

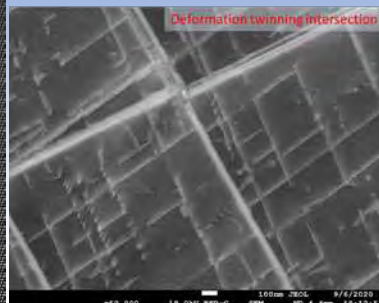


场发射SEM

EBSD

场发射TEM

球差校正TEM



研究平台与设备： 高端微观结构表征平台

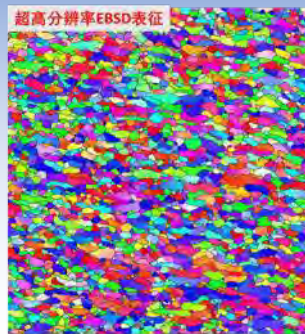


场发射SEM

EBSD

场发射TEM

球差校正TEM



研究平台与设备： 高端微观结构表征平台



场发射SEM

EBSD

场发射TEM

球差校正TEM



研究平台与设备：高端微观结构表征平台

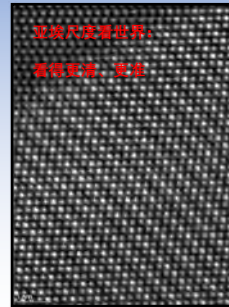


场发射SEM

EBSD

场发射TEM

球差校正TEM



研究平台与设备：高端微观结构表征平台

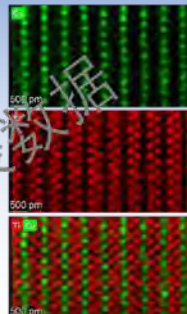
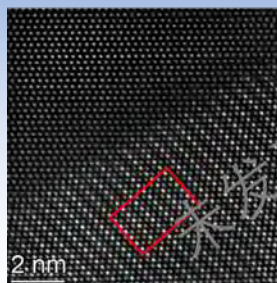


场发射SEM

EBSD

场发射TEM

球差校正TEM



2.1 先进材料研究与表征平台

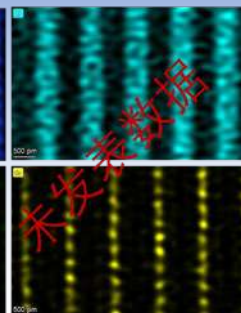
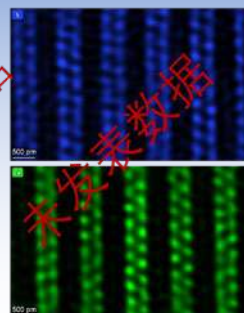
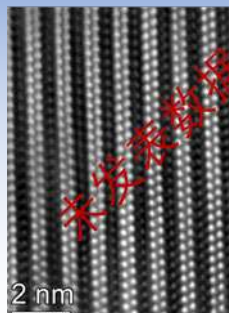


场发射SEM

EBSD

场发射TEM

球差校正TEM



报告内容



□ 先进板状材料加工与成型技术及其应用

□ 先进材料表征技术助力新材料研发与应用

□ 几种典型复合板材的研究进展与性能

3、几种典型复合板材的研究进展与性能



- 1、Cu/Fe层状复合材料
- 2、Ti/Fe层状复合材料
- 3、Ti/Cu层状复合材料

3、几种典型复合板材的研究进展与性能



- 1、Cu/Fe层状复合材料
- 2、Ti/Fe层状复合材料
- 3、Ti/Cu层状复合材料

3.1 Cu/Fe层状复合材料



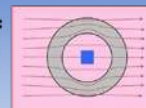
电子设备电磁信息泄漏
电磁环境污染
电磁波干扰
↓
电磁屏蔽材料

铁磁材料和金属良导体材料是最常用的屏蔽材料

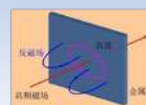
3.1 Cu/Fe层状复合材料



铁磁材料，如纯铁、硅钢、坡莫合金(铁镍合金)，屏蔽原理：利用铁磁材料的高磁导率引导磁力线通过高穿透材料并在附近空间降低磁通密度而达到磁屏蔽目的。适用于**低频(< 100 kHz) 磁场**的屏蔽。缺点：电导率低而不适合高频电磁场的屏蔽。



金属良导体材料，如铜板和铝板，特点：具有较高电导率的金属良导体，适用于**中高频(100 kHz~1.5GHz) 磁场**以及**静电场**的屏蔽。

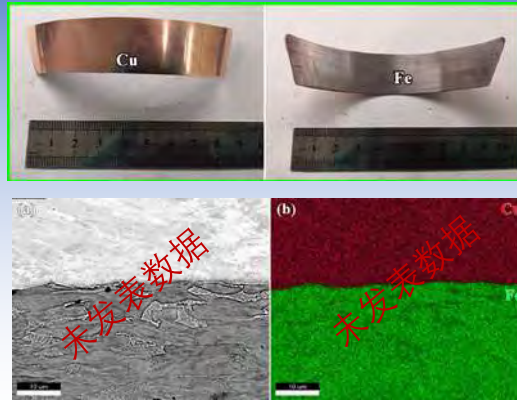


高导电



高导磁

3.1 Cu/Fe层状复合材料



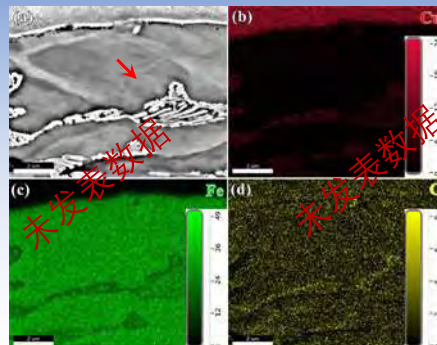
3.1 Cu/Fe层状复合材料



Cu/Fe层状复合材料组织和力学性能

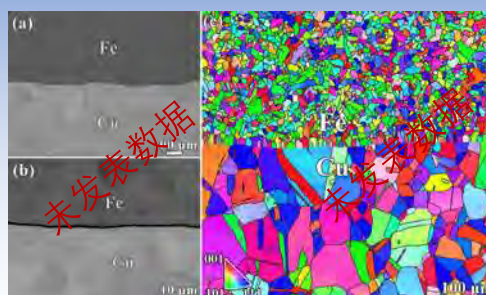
3.1 Cu/Fe层状复合材料

界面附近Cu元素向Fe层扩散



3.1 Cu/Fe层状复合材料

退火态Cu/Fe叠层复合材料组织



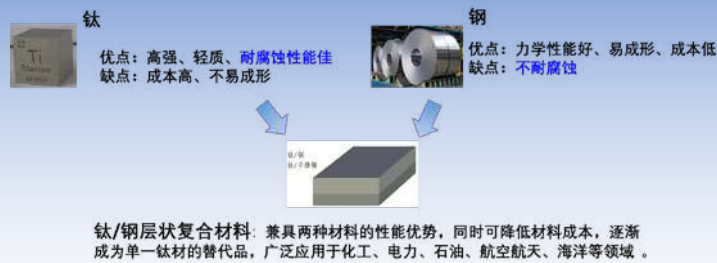
3、几种典型复合板材的研究进展与性能

1、Cu/Fe层状复合材料

2、Ti/Fe层状复合材料

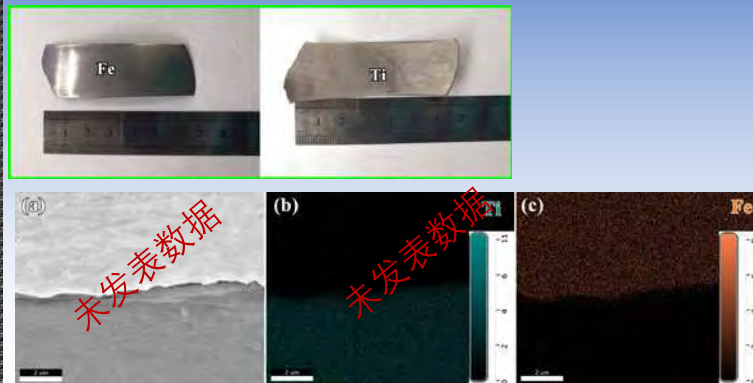
3、Ti/Cu层状复合材料

3.2 Ti/Fe层状复合材料



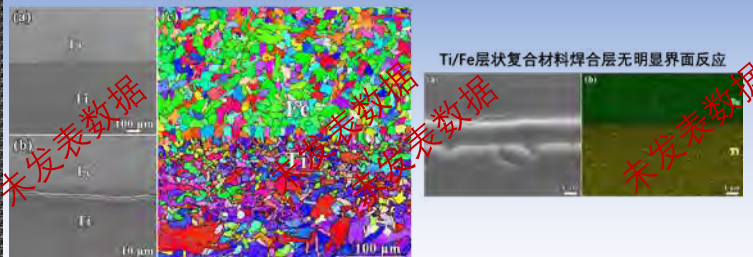
3.2 Ti/Fe层状复合材料

Ti/Fe层状复合材料组织及力学性能

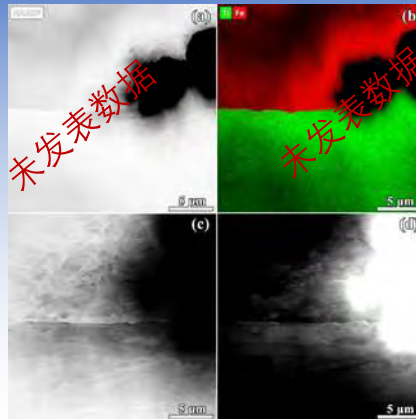


3.2 Ti/Fe层状复合材料

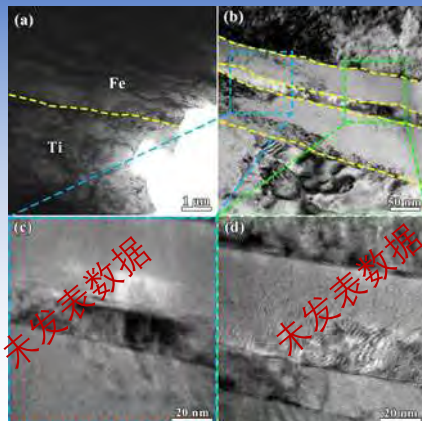
Ti/Fe层状复合材料组织



3.2 Ti/Fe层状复合材料



3.2 Ti/Fe层状复合材料



高倍TEM电镜下观察Fe/Ti界面达到原子尺度的结合。

3、几种典型复合板材的研究进展与性能

- 1、Cu/Fe层状复合材料
- 2、Ti/Fe层状复合材料
- 3、Ti/Cu层状复合材料

3.3 Ti/Cu层状复合材料



目前在用阳极材料：
钛



优点：良好的强度和韧性、高耐腐蚀、稳定性好、寿命长

缺点：能耗大（导电率仅为铜的3%），难与其他金属焊接

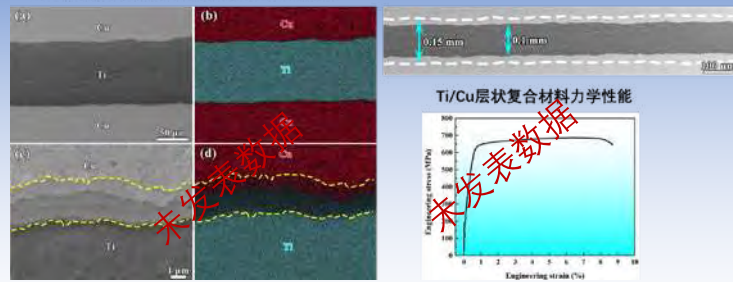
新型阳极材料：
Ti/Cu层状复合材料



特点：兼具良好的导电性、焊接性和耐腐蚀性等优点

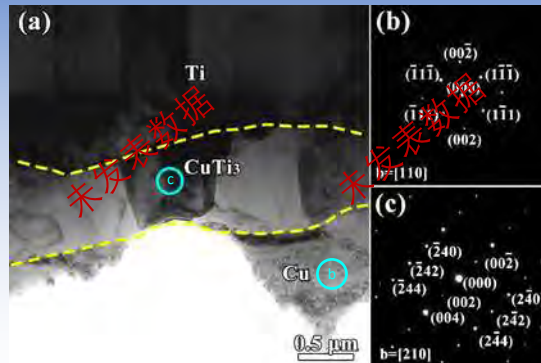
3.3 Ti/Cu层状复合材料

Ti/Cu层状复合材料焊合层有较明显界面反应

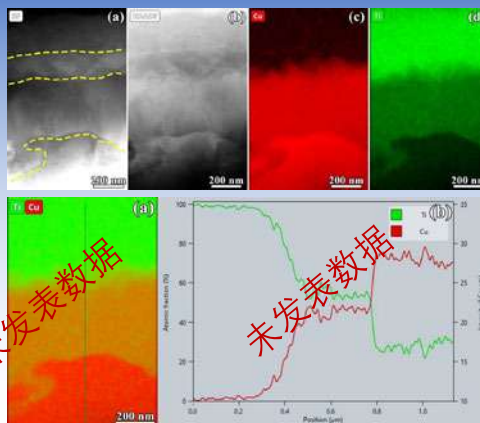


3.3 Ti/Cu层状复合材料

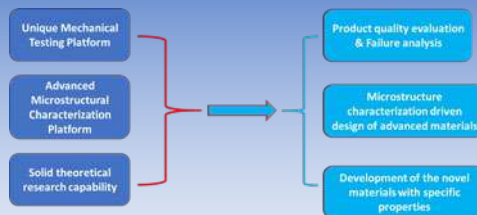
界面反应物为CuTi₃



3.3 Ti/Cu层状复合材料



Summary



- We may fabricate multi-functional alloy sheets by using warm/cold roll bonding, which may have its potential large-scale application in industry, deserving our efforts to explore.
- There is plenty of room for the exploration of mysterious microstructures and correlating microstructural features with properties in all kinds of materials or devices





07.05

seminar



「嶄新鑄錠材料與 壓鑄技術」研討會

活動一

會議紀要：

「嶄新鑄錠材料與壓鑄技術」研討會

3.1 「提高壓鑄模使用壽命的優質塗層」 分會議

— 由香港生產力促進局智能製造業務部資深顧問張智恆主講

香港生產力促進局（生產力局）致力以先進技術驅動香港企業提升生產力，透過是次國際技術研討會，由智能製造業務部資深顧問張智恆向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員介紹壓鑄模及其相關技術的使用訣竅和壓鑄參數優化，並提供案例分享與分析，讓與會者了解壓鑄材料和技術在不同行業的投資成本效益、優勢和限制，引領本地工業探索新方向。

張智恆顧問在研討會中提出壓鑄工藝是將壓鑄機、壓鑄模和合金三大要素有機地組合而加以綜合運用的過程。其中壓鑄模具是壓鑄生產中重要的工藝設備。金屬液在壓鑄模具中冷卻凝固，最終形成壓鑄件。壓鑄件的形狀、尺寸、品質、以及壓鑄生產的順暢性都與壓鑄模具密切相關。因此，正確合理地設計壓鑄模具至關重要。在壓鑄過程中，因在每個壓鑄循環初期，模具型腔要承受熔融合金的急熱作用，工作表面會產生壓縮熱應力；壓鑄結束後要在模具內噴潤滑劑，進行急冷，因而又在其表面產生拉應力。在這樣的交變熱應力作用下，模具表面會產生熱疲勞微裂紋，隨著壓鑄循環次數的增加，微裂紋急劇擴展，形成龜裂紋。如果在裂紋周圍同時伴隨有熔融合金對模具型腔的沖刷及腐蝕，模具表面會進一步損壞，最終造成模具的早期開裂甚至報廢。因此，考慮到大批量、低成本、高效率地生產合金壓鑄件，

同時減少待模維修時間，可在模具表面沉積多元素塗層。由於塗層表面硬度高，耐磨脫模型性能優良、表面摩擦小，能有效地改善壓鑄件的綜合使用性能。現時壓鑄行業中，常見的塗層有金屬氮化物硬質塗層（TiN、TiCN、TiAlN、ZrN、CrN）、類金剛石塗層、金剛石塗層。金屬氮化物硬質塗層硬度高、熔點高、耐磨性好、化學穩定性強，廣泛應用於金屬邊緣以保持機械模具的耐腐蝕性。類金剛石塗層是一種非晶態薄膜，由於具有高硬度、高彈性模量、低摩擦因數、耐磨損以及良好的真空摩擦特性，多用作耐磨塗層，可顯著提高壓鑄模使用壽命及加工品質。金剛石塗層硬度高，摩擦系數低，具有良好的力學性能、機械性能、熱穩定性及耐腐蝕性，可令模具更持久耐用，並大幅提升壓鑄件的質量和生產效率。研討會中張智恆顧問也詳細介紹了常用的塗層製備方法（物理氣相沉積、熱絲化學氣相沉積、離子體化學氣相沉積法等）及硬度、耐磨性、塗層薄膜附著力、摩擦性和物理性等塗層性能檢測方法和機理。

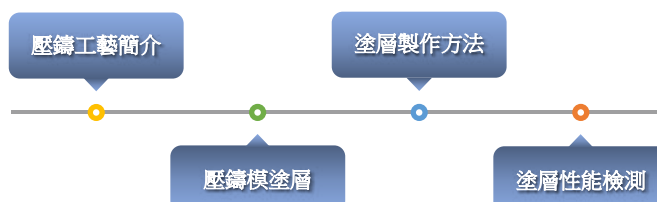
提高壓鑄模使用壽命的優質塗層

張智恆 博士
資深顧問
香港生產力促進局智能製造業務部

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

目錄



MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

壓鑄工藝簡介

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

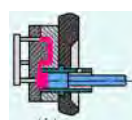
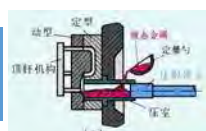
壓鑄工藝簡介

壓鑄工藝簡介



將熔融金屬在高壓
高速下充填壓鑄模，
並在高壓下結晶
凝固形成鑄件。

- 壓鑄工藝是將壓鑄機、壓鑄模和合金三大要素有機地組合而加以綜合運用的過程。
- 壓鑄時金屬按填充型腔的過程，是將壓力、速度、溫度以及時間等工藝因素得到統一的過程。
- 這些工藝因素又相互影響，相互制約，並且相輔相成。



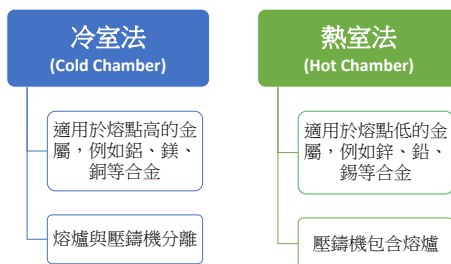
(資料來源：百度百科) Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



壓鑄工藝簡介



壓鑄工藝種類



MAKE SMART
SMARTER

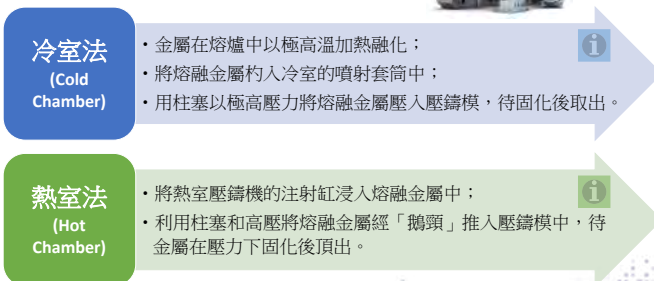


Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

壓鑄工藝簡介



壓鑄工藝種類



MAKE SMART
SMARTER



Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

壓鑄工藝簡介



壓鑄工藝主要優勢				
壓鑄件尺寸精度高，差異小，表面光滑度高（取決於壓鑄模表面光滑度）。	由於嚴苛的壓鑄條件，壓鑄件結晶粒度小，強度及表面硬度高。	壓鑄工藝是利用壓鑄模內腔對熔融金屬施加高壓，因此金屬利用率高。	應用範圍廣闊，從餐具、玩具、機械五金配件等小零件，到汽車、飛機等複雜零件均適用。	生產率高，壓鑄件無需後續加工，壓鑄模可重複使用，甚至可實現自動化生產，節省成本。

MAKE SMART
SMARTER



Copyright © 2021 HKPC All rights reserved

壓鑄工藝簡介



壓鑄工藝主要劣勢				
壓鑄工藝使用熔融狀態的金屬，由於其填充腔室時流速高，不穩定，壓鑄件內部容易產生氣孔。	因壓鑄機價格昂貴，受尺寸限制，生產大型壓鑄件較為困難。	對於內凹複雜的壓鑄件，生產較為困難。	壓鑄模在使用過程中會有損耗與失效的可能，壽命較低，增加成本。	壓鑄所需設備費用高昂，壓鑄模製作複雜、製造周期長，因此僅適用於大規模生產，小批量生產不經濟。

MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



壓鑄模特點



- 壓鑄模設計 → 壓鑄件生產問題
- 影響壓鑄模使用壽命的主要形式



熱疲勞龜裂損壞	表面劃痕	碎裂	溶蝕
壓鑄模反覆激冷激熱，產生變形，出現熱應力，引發微裂紋。反復施加的壓力及溫度會使微裂紋擴大，使壓鑄模失效。	熔融金屬噴射進壓鑄模時，在壓力作用下，壓鑄模表面可能會產生劃痕或電加工痕跡，影響壓鑄件質素。	當壓鑄模表面形成的劃痕或電加工痕跡沒有被打磨或處理而繼續使用時，壓鑄模薄弱處容易形成裂紋，甚至斷裂。	較活潑的金屬，例如Zn、Al、Mg，與壓鑄模有較好的親和力，特別是Al易咬模，導致壓鑄模可能出現溶蝕現象。



Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



壓鑄模塗層



Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



壓鑄模塗層

壓鑄模塗層需具備以下特徵

表面硬度高	耐磨性好	脫模性好	表面摩擦小	壓鑄件無需後處理
高硬度塗層可使壓鑄模表面不易受到損傷，大幅延長模具的使用壽命。	塗層耐磨性好，可保護壓鑄模表面不易被合金顆粒磨損。	使固化后的壓鑄件易於從壓鑄模中取出，減少脫模劑的使用。	如壓鑄模塗層表面粗糙，會影響壓鑄件質素，并且合金固化後不易取出。	對不同合金壓鑄件無影響，壓鑄件無需二次加工或清洗。



Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



金屬氮化物硬質塗層

TiC、TiCN、TiAlN、ZrN、CrN等硬質塗層

- 特性：
 - 硬度高
 - 熔點高
 - 耐磨性好
 - 化學穩定性高



多元合金氮化物

- 由於結合強度、內應力、生產需要等原因，多元合金氮化物應運而生，可有效延長模具的耐用度和適應性。



圖片來源：大永真空設備股份有限公司 Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



類金剛石塗層 (DLC coating)



類金剛石 (Diamond-like carbon)

- 與金剛石和石墨同屬硬質碳元素結構，碳原子主要以 sp^3 和 sp^2 雜化鍵結合。
- 硬度和耐磨性能介乎金剛石和石墨之間。
- 擁有石墨的自潤滑功能。
- 兼具高硬度和優異摩擦性能。



PS：DLC在高溫下， sp^3 雜化碳會漸漸轉化為 sp^2 雜化碳。

MAKE SMART
SMARTER

圖片來源：宁波德耐納米塗層有限公司 Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



金剛石塗層 (Diamond coating)



金剛石塗層 (鑽石塗層)

- 具有大量的 sp^3 雜化碳和少量的 sp^2 雜化碳
- 特性：
 - 硬度高
 - 摩擦係數低
 - 耐摩性高
 - 化學穩定性好
 - 熱穩定性好
- 可令模具更持久耐用，並有助提升壓鑄件的質素和生產效率。



MAKE SMART
SMARTER

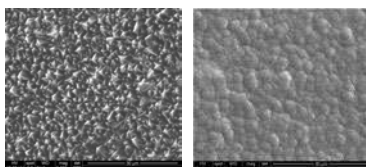
圖片來源：久嚴科技、珠海中納金剛石有限公司 Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



金剛石塗層 (Diamond coating)



	MCD	NCD
	微米金剛石塗層 (Microcrystalline Diamond Film)	納米金剛石塗層 (Nanocrystalline Diamond Film)
塗層晶粒尺寸	500納米 - 幾微米	10 - 100納米
優勢	附著力高	摩擦係數小，表面更光滑
劣勢	摩擦係數較大	附著力低



MAKE SMART
SMARTER

Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



MCD/NCD複合塗層



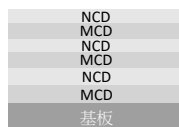
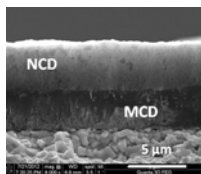
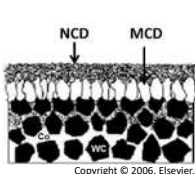
MAKE SMART
SMARTER

JOM, Vol. 67, Issue 7, pp 1565-1577, July 2015 Copyright © 2021 HKPC All rights reserved



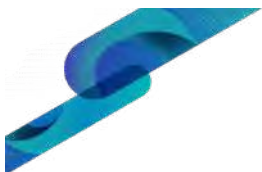
MCD/NCD複合塗層

- 結合MCD與NCD的優勢，製造MCD/NCD複合塗層，兼具高附著力及表面高光滑度的優點。
- 并且有助於消除薄膜的殘留應力，提高薄膜附著力。



壓鑄模塗層比較

塗層	硬度 (HV)	摩擦係數
TiN塗層	2000 - 2400	0.45
TiCN塗層	3000 - 3300	0.15
類金剛石塗層	1700 - 4000	0.1
金剛石塗層	7000 - 10000	0.05 - 0.1
天然金剛石	10000	0.08 - 0.1



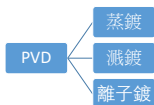
塗層製作方法



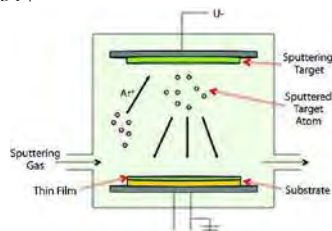
塗層製作方法——PVD

物理氣相沉積 (PVD)

- 利用物理过程來進行薄膜沉澱的技術。



- PVD鍍膜厚度一般為0.3 - 5微米
- 提高工件表面硬度，耐磨性，耐腐蝕性及化學穩定性
- 鍍後無須再加工





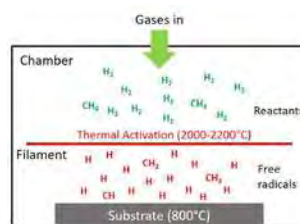
塗層製作方法——HFCVD



熱絲化學氣相沉積 (HFCVD)

- 使用熱絲分解源氣體分子，形成自由基、離子和分子的混合物，撞擊基板並沉積成薄膜。

- 優勢：
 - 設備簡單
 - 生產成本低
 - 沉積速度快
 - 鍍後無須再加工



MAKE SMART SMARTER



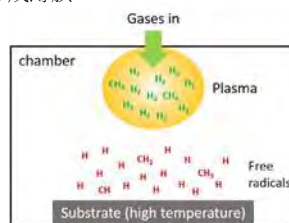
塗層製作方法——PECVD



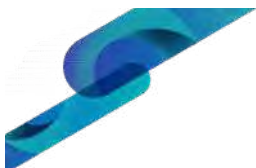
離子體化學氣相沉積 (PECVD)

- 源氣體在等離子作用下離子化，形成激發態的活性基團，這些游离的活性基團沉積到基板上，形成薄膜。

- 優勢：
 - 相對低溫
 - 避免熱絲污染
 - 沉積條件穩定
 - 可沉積在複雜形狀的基底上
 - 鍍後無須再加工



MAKE SMART SMARTER



塗層性能檢測

MAKE SMART SMARTER



塗層性能檢測——硬度及耐磨性

- 研究塗層的硬度及耐磨性



硬度計



耐摩擦試驗機

MAKE SMART SMARTER



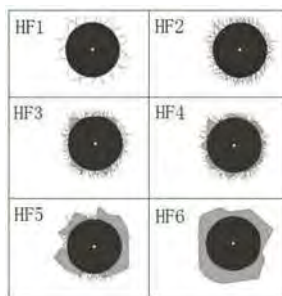
塗層性能檢測——附着力



- 洛氏壓痕測試



洛氏硬度機



壓痕結合力參考對照表

MAKE SMART
SMARTER



塗層性能檢測——摩擦性能



- 研究塗層的摩擦性能，包括摩擦係數，摩擦力及磨損量



往復摩擦磨損試驗機

MAKE SMART
SMARTER



塗層性能檢測——物理檢測



SEM

用於分析塗層表面成分、
元素含量及磨損程度



Raman

用於分析金剛石塗層 sp^3 雜化碳
和 sp^2 雜化碳比例

MAKE SMART
SMARTER



Thank you

Hong Kong Productivity Council
香港生產力促進局

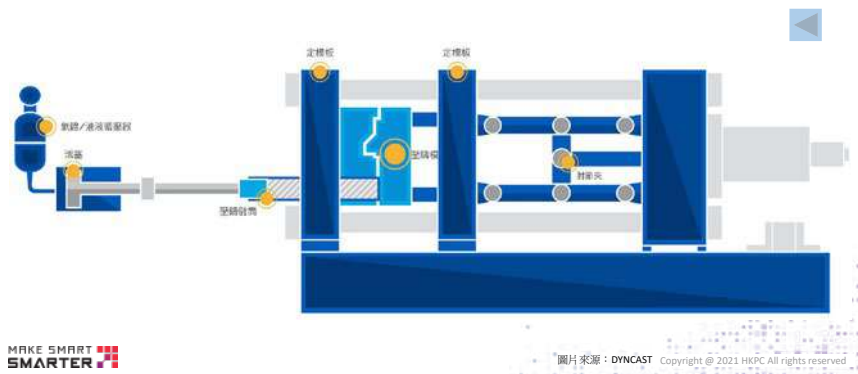
HKPC Building, 78 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong
香港九龍德輔道中78號生產力大樓
+852 2788 8678 www.hkpc.org

MAKE SMART
SMARTER

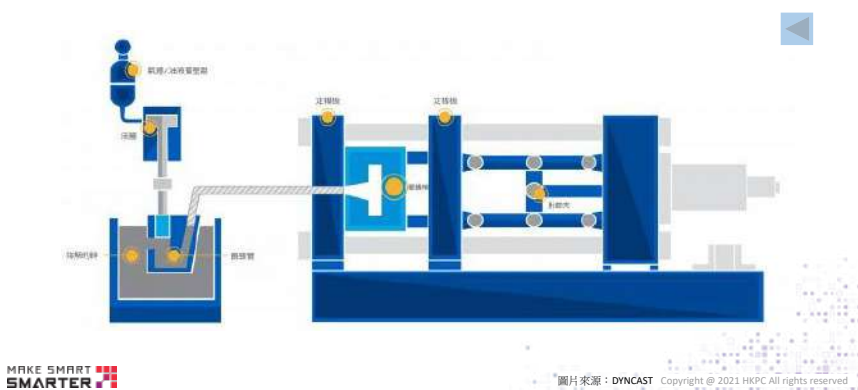




冷室壓鑄機



熱室壓鑄機



活動二

會議紀要：

「嶄新鑄錠材料與壓鑄技術」研討會

3.2 「輕量化真空壓鑄新技術」分會議

一 由中國重慶理工大學材料科學與工程學院周志明教授主講

汽車輕量化，就是在保證汽車的強度和安全性能的前提下，盡可能降低汽車的整備重量，從而提高汽車的動力性能，減少燃料消耗，降低排氣污染。大量數據顯示，汽車重量降低一半，燃料消耗也會降低將近一半。由於環保和節能需要，汽車輕量化已成為世界汽車發展的潮流。實現材料輕量化的方法包括輕量化材料、輕量化工藝和輕量化設計等，從中國汽車工程學會2016年發佈的《節能與新能源汽車技術路線圖》可以看到，多材料車身輕量化技術成為輕量化技術主要發展方向，然而國內和國際水準尚有較大差距。

是次新技術研討會，周志明教授介紹了真空壓鑄技術在實現汽車材料輕量化方面的應用研究成果，並分享兩個實際的應用案例：真空壓鑄減震塔和真空壓鑄前縱樑的應用。

案例一：真空壓鑄減震塔壓鑄技術

減震塔又稱為減震器支架，是汽車車身的關鍵承載部件，懸架系統的減震器，將減震彈簧安裝在減震塔上。一般結構較為複雜，對汽車的舒適性、操縱穩定性起到至關重要的作用。首先需要對汽車減震塔的零件結構進行分析：零件整體壁厚不均勻，加強筋處最大厚度達到6-7mm，其餘部位在2.5-3mm之間。為保證零件的強度及剛度，凸部及凹部均有沿表面分佈的加強筋，凹部亦設有頂杆位置。其次進行模擬仿真，包括前處理、充填、凝固、壓室模型驗證、空氣壓力變化以及缺陷分析和預測等。

案例二：真空壓鑄前縱樑壓鑄技術

前縱樑用作汽車車身結構的主要承載和安全防護部件。傳統的前縱樑採用低合金鋼板冷衝壓成型，斷面形狀一般為槽型，通過吸能盒與前防撞樑連接。首先對新能源汽車鋁合金前縱樑的三維模型及壁厚分析，找到能夠實現輕量化的目的一體化成型設計方案。再透過模具設計動作，對模具結構和側抽芯機構及推出機構拆解分析，找出合適的分型面，設計好澆注及排溢系統，將模具系統中的鑄件、澆道、溢流槽和水管分別導入到電腦輔助工分析軟件中，在網格劃分模塊中設置實體，並劃分可變網格。最後進行充型過程、卷起順序凝固等過程的模擬，進行缺陷預測分析。



轻质高强压铸铝合金产品应用现状

重庆理工大学 周志明



博士
博导
教授

重庆市英才·创新创业领军人才

重庆巴渝学者特聘教授

重庆市学术技术带头人后备人选

重庆市首届科技创新争先奖

江苏省“双创”人才

- 材料成型及控制工程**国家一流专业**负责人
- 主编“特种铸造”等教材5部，指导学生“互联网+”等学科竞赛**13项国家奖励**；
- 获省部级教学成果奖励6项，其中**重庆市教学成果一等奖1项**。
- 在“Advanced Energy Materials”、“Advanced Functional Materials”等期刊发表论文80多篇（SCI/EI收录41篇）；
- 授权专利**68项**（发明专利22项）；
- 获**省部级科技奖励8项**，其中**重庆市科技进步一等奖3项**。

汇报提纲



一 为什么轻量化

二 汽车轻量化技术发展现状

三 真空压铸减震塔

四 真空压铸前纵梁

五 最新进展

“3060”碳目标

即2030年实现碳达峰，2060年实现碳中和

2021年-2030年：实现碳排放达峰

2031年-2045年：快速降低碳排放

2046年-2060年：深度脱碳，实现碳中和

中国规模以上企业
单位工业增加值能耗



• 相当于节能4.8亿吨标准煤
• 节约能源的成本，大约节约了4000亿元

中国绿色建筑



惠及2100多万户居民

中国新能源汽车



目前，中国是全球新能源汽车保有量最多的国家

为什么轻量化

➢ 2020年11月2日,《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》



为什么轻量化

汽车轻量化是实现汽车产品节能减排的有效措施。



重庆理工大学

5

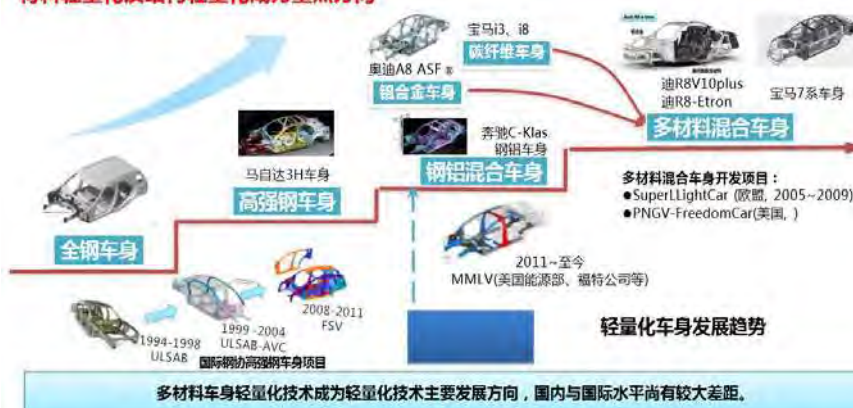
汇报提纲

- 一 为什么轻量化
- 二 汽车轻量化技术发展现状
- 三 真空压铸减震塔
- 四 真空压铸前纵梁
- 五 最新进展



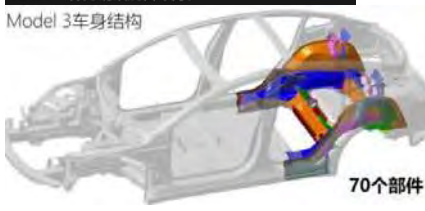
轻量化技术运用现状与重点趋势

材料轻量化及结构轻量化成为重点方向





Model 3车身结构



Model Y车身结构



后下部车身70个零件变成了Model Y两个零件，更少的零件将有助于车身组装，并减少潜在的故障点。特斯拉Model Y与Model 3基于同样的造车平台，车上有75%的共享零部件，在剩余的25%中，Model Y解决工厂生产效率的方式是引进一体式铸造工艺，将70个后车体合为一体，减少了零部件数量。



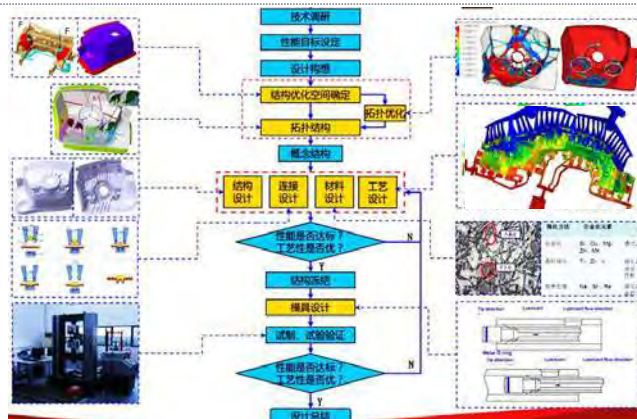
汇报提纲

- 一 为什么轻量化
- 二 汽车轻量化技术发展现状
- 三 真空压铸减震塔
- 四 真空压铸前纵梁
- 五 最新进展





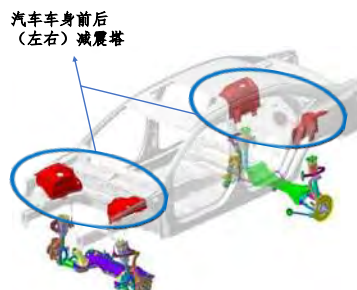
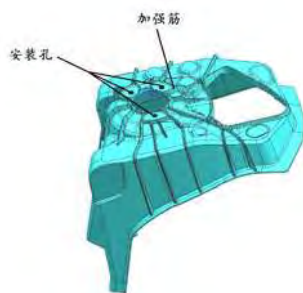
工艺路线



产品介绍

汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真

减震塔：又称又称为减震器支架，是汽车车身上的**关键承载部件**，悬架系统的减震器，减震弹簧安装在减震塔上。一般**结构较为复杂**，对汽车的**舒适性、操纵稳定性**起到至关重要的作用。



产品介绍

汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真

A 传统钢制减震塔

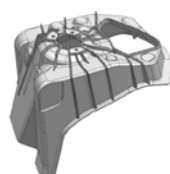
5-7个零件冲压+焊接成型



成型**工艺复杂，步骤多**；不可避免存在**焊接内应力**，从而导致零件**性能不稳定，寿命短**。

B 真空压铸减震塔

真空压铸一体成型一个零件



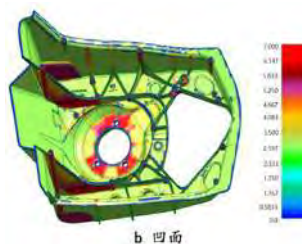
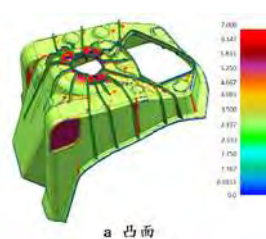
- ①轻量化：**减重效果明显**，铝合金压铸减震器塔替换钢制结构可实现约**40%的减重**；
- ②模块化：多个钢制冲压件合为**1个铸件**；
- ③高刚性：显著提升**局部刚度**；
- ④高精度：**CT4-CT5级**；

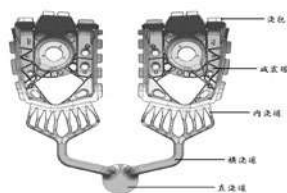
产品介绍

汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真

零件结构分析

零件**整体壁厚不均匀**，加强筋处最大厚度达到**6-7mm**，其余部位在**2.5-3mm**之间。为了保证零件的强度以及刚度，凸部及凹部均有沿表面分布的**加强筋**，凹部设置**顶杆位置**。



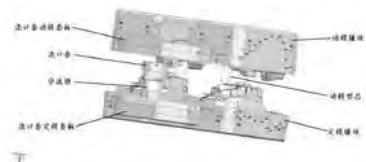
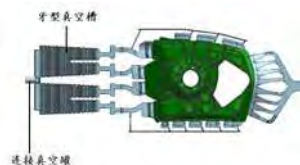


浇注系统

模具设计中，铸件能否充型完整，浇注系统起到直接的作用。浇注系统分别包含直浇道、横浇道、内浇道、铸件以及溢流槽。

通过对排气槽抽真空的方式，抽出型腔内的多余气体，可以保证铸件含气量的下降，从而提高产品质量。排气槽外接真空罐。

排气及真空系统

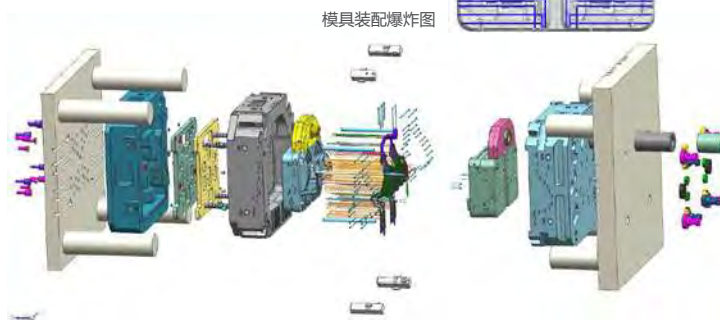


成型零件

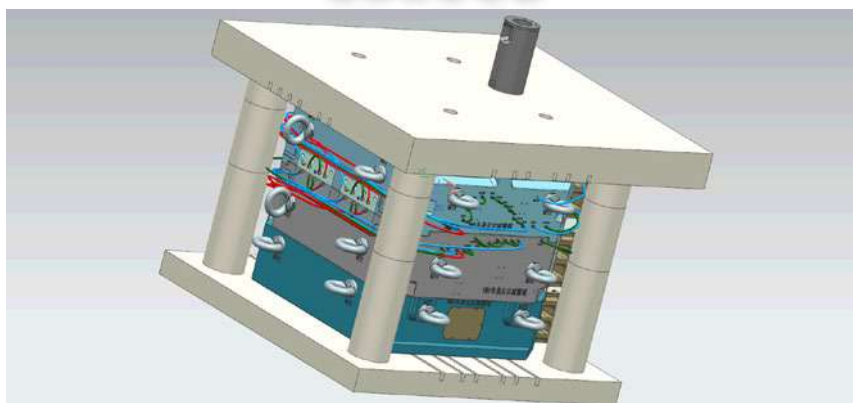
型腔的设计非常复杂，通常包含铸件的成型收缩率、模具磨损率等多重因素，通过三维软件模具制造模块，求出计算出型腔的尺寸及结构。

冷却系统可以保证铸件在模具内快速冷却，从而缩短开模时间，以及降低局部缩松缩孔含量。冷却系统如图为成型模块内部冷却水道分布示意图。

模具装配爆炸图



模具拆卸动画



模拟仿真—前处理

汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真

01 实体设置与网格划分

将实体stl模型导入Anycasting，分别为直浇道、横浇道、内浇口、溢流槽、铸件、排气槽。根据均匀网格划分，将实体划分网格为 9.67×10^7 个。



02 基本任务过程设定

分析类型为真空压铸，材料设置为ADC12铝合金，模具以及冲头设置为SKD61。

03 热传导系数设定

根据相关文献设置边界条件：模具与空气之间的换热系数为 $100\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，动模与定模之间的换热系数为 $400\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，模具与铸件之间的换热系数为 $5000\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

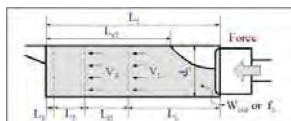


模拟仿真—前处理

汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真

04 压室模型

压室模型是前处理中一个重要的参数设置环节，越接近实际的参数设置得到的结果相对越真实。



LS: 压室总长度

V_L/L_1 : 低速区速度/低速区长度

V_H/L_2 : 高速区/高速区长度

ds: 冲头直径

根据前处理的设置以及相应的工艺参数，将压室模型参数设置为下表所示：

压室			熔体装载		
长度	内径	压射余料	重量	充满度	浇注温度
1180mm	160mm	35mm	19Kg	33%	660℃

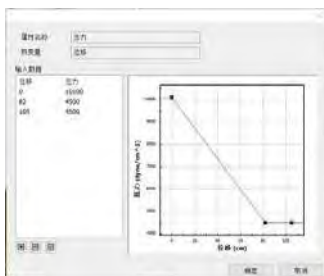
压射			
低速区速度	高速区速度	低速区长度	高速区长度
0.2m/s	4.2m/s	820mm	425mm

模拟仿真—前处理

汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真

05 真空值设定

真空压铸中一个重要的参数设定就是真空度的选择，根据真空度的大小，将真空压铸分为低、中、高真空度压铸，理论上来说，真空度越大，含气量越低。

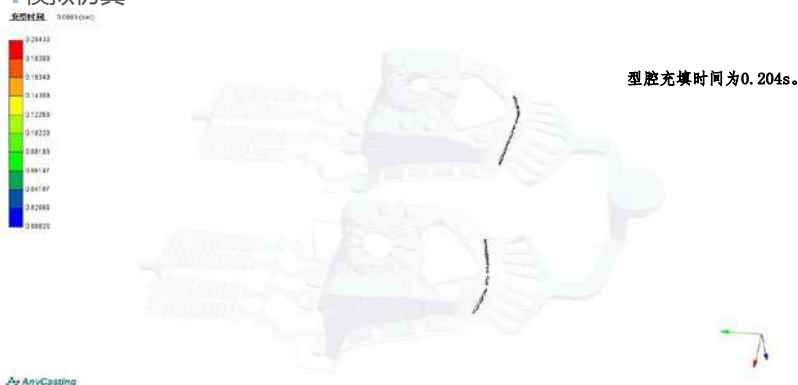


根据相关文献参考，将真空值设置为450mbar（也就是45KPa），并且真空度的大小随冲头位移变化。

- 激活简单单背压模型一大气压为101KPa。
- 冲头位移0mm—真空度为大气压。
- 冲头位移820mm（低速阶段）—45KPa。
- 冲头位移1050mm（充填完毕）—45KPa。

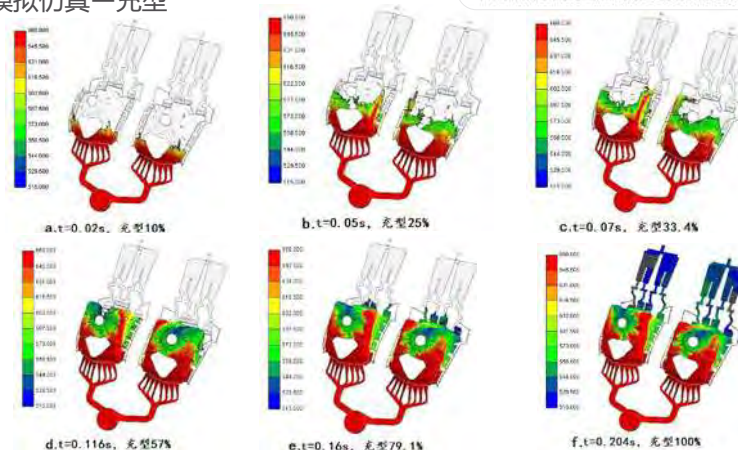
模拟仿真

汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真

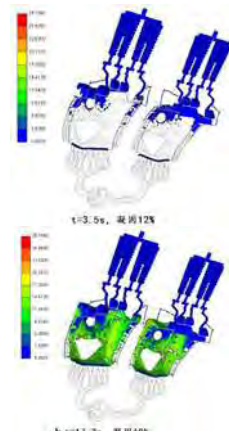


模拟仿真—充型

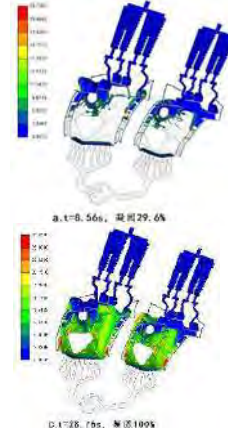
汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真



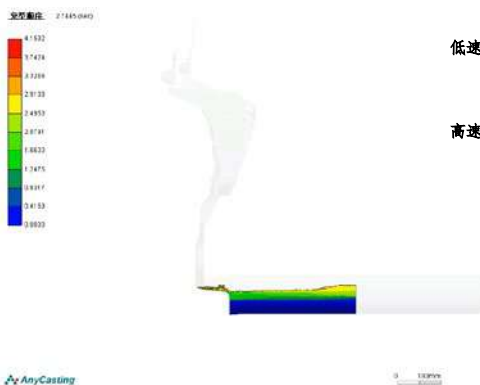
模拟仿真—凝固



汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真



模拟仿真—压室模型验证



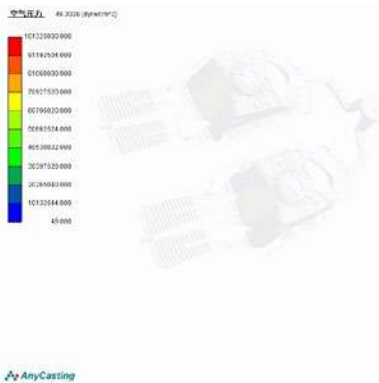
汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真

低速阶段：金属液平稳向前推进，并无滴流现象

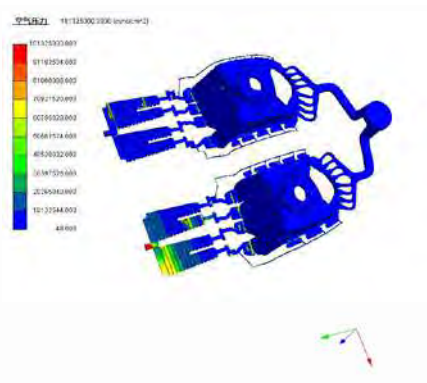
高速阶段：金属液刚好到达内浇口，此时充模型腔可保证气体含量最少。

充填完毕。

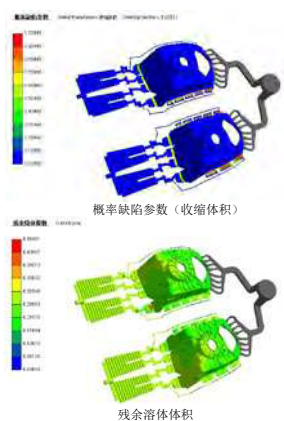
模拟仿真—空气（型腔）压力变化



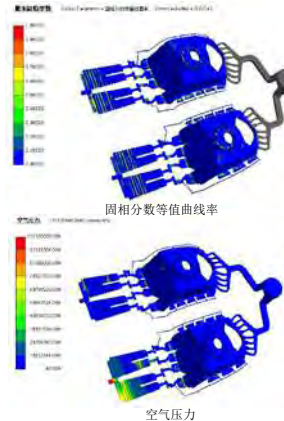
汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真



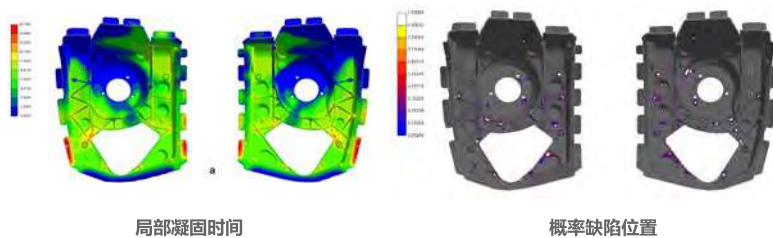
模拟仿真—缺陷分析



汽车减震塔真空压铸模具及数值仿真



由于减震塔零件存在较多的顶杆位置设计以及**筋肋结构**，顶杆及筋肋处壁厚较大，因此铸件整体壁厚不非常均匀，在凝固后期在**壁厚较大处可能会出现缩松缩孔等缺陷**。



汇报提纲

- 一 为什么轻量化
- 二 汽车轻量化技术发展现状
- 三 真空压铸减震塔
- 四 真空压铸前纵梁
- 五 最新进展



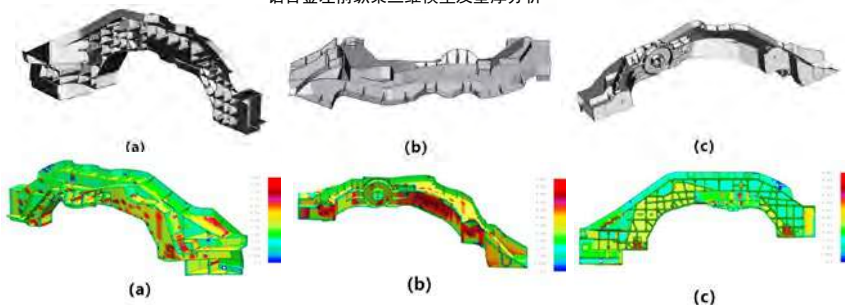
传统钢制前纵梁



前纵梁的位置如左图所示，用作汽车车身结构的主要承载和安全防护部件。传统的前纵梁采用低合金钢板冷冲压成型，断面形状一般为槽型，如右图通过吸能盒与前防撞梁连接。

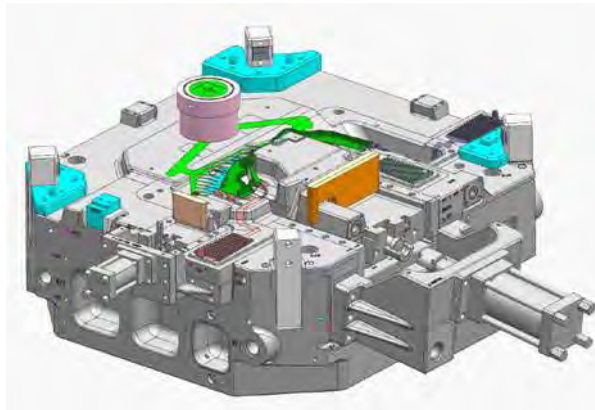
新能源汽车铝合金前纵梁

铝合金左前纵梁三维模型及壁厚分析

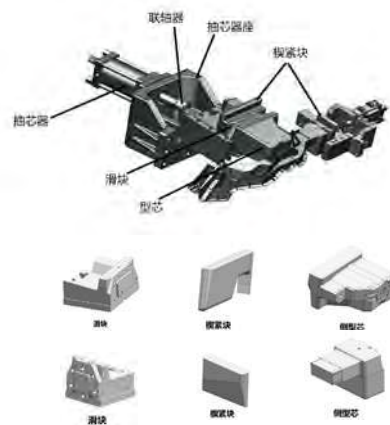
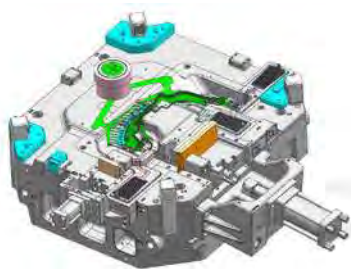


汽车零部件采用铝合金能够达到新能源汽车的轻量化的目的。如图 (a) 在前纵梁的底部设置大量的加强筋以及凸台增加前纵梁的强度，在图 (a) 右端及图 (c) 中段中的吸能盒及圆盘结构能够一定程度上实现前纵梁总成的一体化成型。

侧抽芯动画

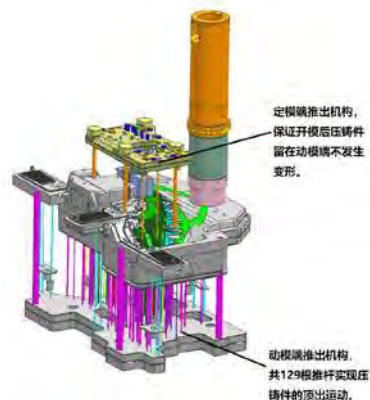
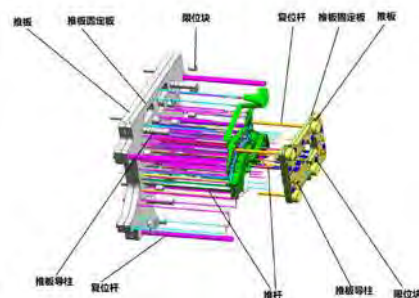


侧抽芯机构



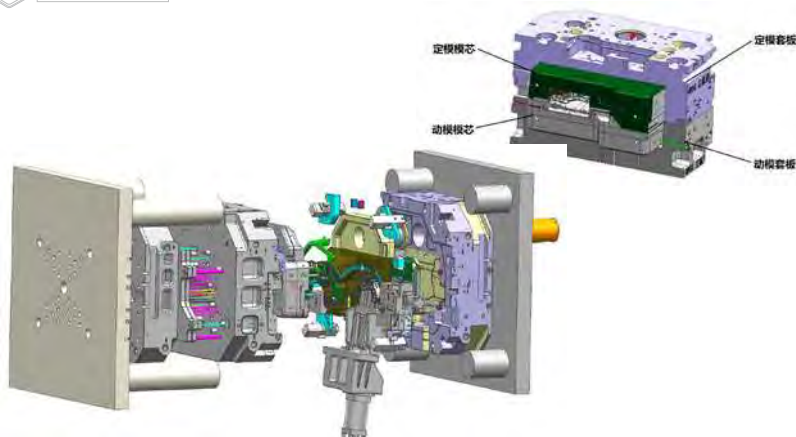
由于前纵梁圆盘处需要采用斜侧抽芯，所以两处均采用了液压抽芯，抽芯机构的组成如右图所示。

推出机构

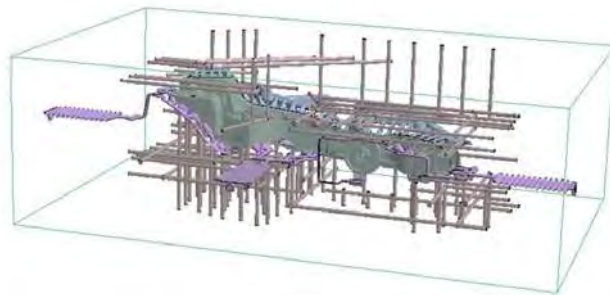


在动模两端都设置了推出机构，动模端采用机动直线推出，定模端采用液压直线推出。两端均采用复位杆实现推出机构的复位运动。

模架



AnyPRE前处理



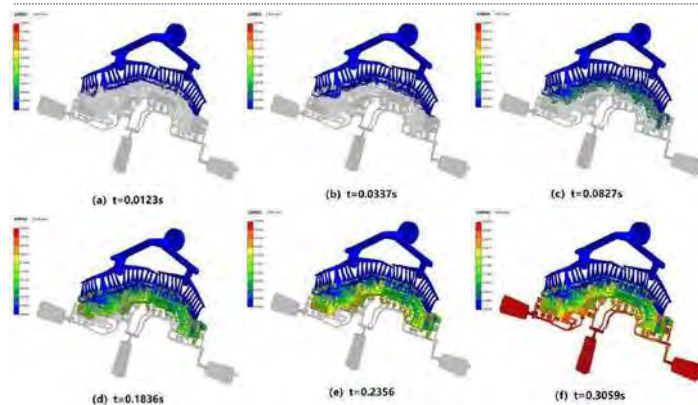
将模具系统中的铸件，浇道，溢流槽和水管分别导入到anyPRE中，在网格划分模块中设置实体，并划分可变网格，

AnyPRE前处理

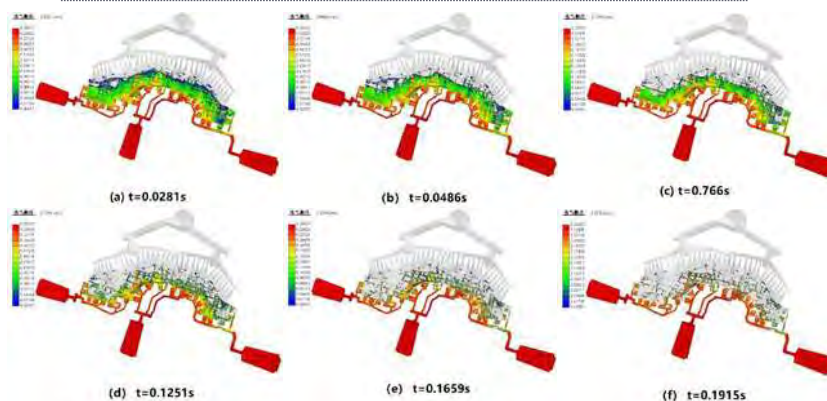


铸件材料为ADC12铝合金，模具材料为SKD61铸钢。工艺目标为真空压铸，分析类型为充型分析及充型前后的热/凝固分析。**选择内浇道充填速度为45m/s，浇注温度为670℃，模具初始温度为220℃。**铸件与模具的热传导系数为0.05，与空气的热传导系数为0.001。激活收缩模型，流体流动模型，微观组织模型，动态粘度，粒子追踪。

充型过程模拟

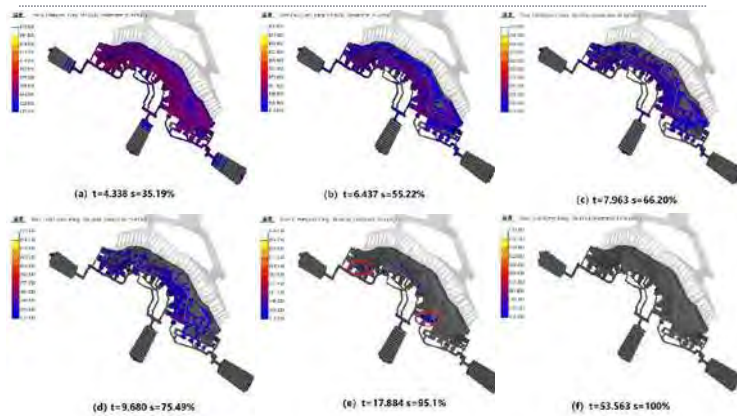


卷气顺序

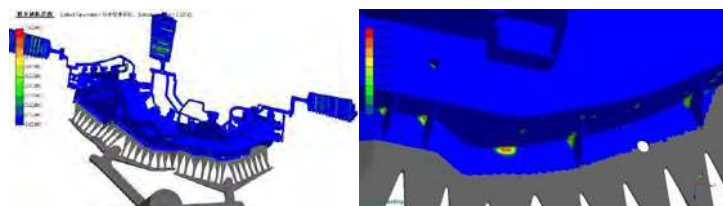




凝固过程模拟



缺陷预测分析



多数缺陷集中在排溢系统中，压铸件整体缺陷较少，说明整个压铸工艺及压铸模具设计的合理性。但是在前纵梁外侧分型面薄壁处出现缺陷几率较大，特别是薄壁与加强筋连接位置出现缺陷概率较大。其可能的原因是前纵梁侧面壁厚不均，铸件靠近内浇口的薄壁充型效果不好，部分位置充型时间较晚，导致充型前期可能存在卷气现象。



汇报提纲

- 一 为什么轻量化
- 二 汽车轻量化技术发展现状
- 三 真空压铸减震塔
- 四 真空压铸前纵梁
- 五 最新进展





4月10日,美利信科技与国内知名企业海天金属“联姻”, 8800吨压铸机全球首发, 创造了世界之最,



4月27日,力劲Dreampress 9000T”超大型压铸单元全球首发仪式在宁波举行。国内汽车零部件龙头企业、瑞企瑞立集团收入囊中。还签约订购了力劲集团的6800吨、8000吨智能压铸单元。

**一体压铸成型工艺正推动着汽车生产工艺迎来革命性飞跃,
切实担当起推动我国压铸“创新、绿色、智能发展”的行业责任!**

谢谢大家聆听!



zhouzhiming@cqut.edu.cn

13640502416





活動三

會議紀要：

「嶄新鑄錠材料與壓鑄技術」研討會

3.3 「無孔壓鑄新技術」分會議

一 由中國松山湖實驗室高級工程師趙國瑞博士主講

壓鑄技術，因其可量產性、高尺寸精度、良好表面處理、薄壁成型、高強度、複雜形狀設計、可切削加工等多項健全性和經濟性特點，被工業界廣泛採用，並形成完善的上下游配套組織。壓鑄設備可分為熱室壓鑄和冷室壓鑄，其中前者是金屬熔煉、保溫與壓射裝置聯為一體的壓鑄機，主要適用於鋅合金、錫合金和鉛合金的壓鑄成型。而後者的熔煉、保溫與壓射裝置分開設置，常用於鋁合金和銅合金的壓鑄成型。

到目前為止，隨著鋁合金壓鑄技術在汽車精密部件行業的發展，已形成動力系統（缸體、曲軸箱、進氣管等），傳動系統（變速器殼體、支架等），轉向系統（鏈條蓋、齒條殼體等）、底盤總成（懸置支架與橫樑）、車身（輪轂、骨架、裝飾件等）等多系統應用範例，形成龐大市場。

壓鑄工藝是將壓鑄生產的三個要素，即壓鑄合金、壓鑄模具和壓鑄機進行有機組合和運用的過程，其中壓鑄過程中的壓力、速度、溫度和氣氛是決定壓鑄產品成品質量的關鍵。目前壓鑄技術及工藝的特點如下：

- 快速充型，生產效率極高；
- 高壓下成型產品緻密性高產品強度及高硬度；
- 產品表面光潔度優良，一般可達到Ra 6.3，甚至Ra 1.6；
- 可生產壁厚較薄的零件，鋁壓鑄壁厚最薄可達0.5 mm；
- 加工餘量小（盡量小於0.25 mm）

壓鑄工藝也有以下缺點：

- 充型快，金屬液湍流狀態內部捲入氣體多，產品氣孔率差；
- 產品的延伸率降低；
- 不可熱處理，熱處理時內部氣體會膨脹，導致產品出現鼓包或裂開等缺陷；
- 加工量過大會使表面緻密層破壞，內部氣孔顯露，導致產品強度降低；
- 模具成本高，模具壽命短

現階段核心問題是如何最大程度消除氣孔。因此，在是次會議報告中，松山湖實驗室趙國瑞博士主要向大會報告現階段先進壓鑄工藝，包括真空壓鑄、充氧壓鑄、半固態壓鑄、局部擠壓、鑄鍛一體、以及超高/低速壓鑄等最新工藝，並對現有壓鑄技術從零件毛坯成本、微觀組織結構、成型精確度、最終零件加工成本、機械特性五大方面進行歸納比較。總括而言，半固態技術在微觀組織致命性、成型精度和機械可加工性方面可媲美鍛造技術。而壓力鑄造（包括局部擠壓和鑄鍛一體）這在五大特性方面表現優良，穩定性最佳。

Void-Free Die Casting Technologies

Dr. G. R. Zhao (赵国瑞)
Songshan Lake Materials Laboratory

目录

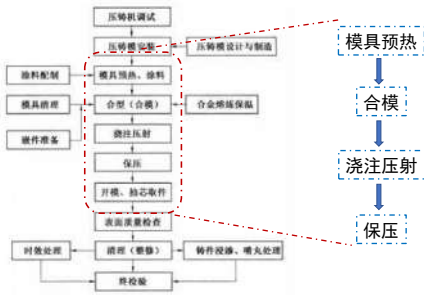
- 一、压铸技术简介
- 二、特殊压铸方法
- 三、总结

一、压铸技术简介

压铸概念

✓ 将熔融的合金在高速条件下充型并在高压下冷却凝固成型的一种精密铸造方法。

压铸过程



一、压铸技术简介

压铸优点

1 量产性

压铸能将形状复杂的产品用一道工序就可以大批量生产。但是，需要低切的产品成本相当高，一般不设计成底部切断。

2 尺寸精度

和其他铸件相比，压铸的尺寸精度相当高，并且表面能加工得很光滑，用于各种领域。

3 表面处理

由于压铸产品表面很光滑，镀金、涂装都很方便容易。

4 壁厚

可制造薄壁，形状复杂的产品。对部件轻量化有很大的贡献。

5 强度

机械强度根据产品壁厚不同，即使薄壁也可以得到强度高的产品。另外，每单位面积越薄的话，强度就会提高。

一、压铸技术简介

压铸优点



5

一、压铸技术简介

压铸发展历史

- 1838年：压铸法生产铅字
- 1905年：用于工业生产的压铸机
- 1907年：鹅颈式气压压铸机（生产铝合金铸件）
- 1920年：冷室压铸机
- 1927年：立式冷室压铸机
- 1958年：真空压铸
- 1966年：提出精、速、密压铸法，出现双冲头压铸
- 1969年：提出充氧压铸
- 70年代到现在，则是电子技术和计算机技术加速用于压铸工艺与设备的大发展阶段。数控压铸机、计算机控制压铸柔性单元及系统(压铸FMC及FMS)和压铸工艺与设备计算机辅助设计(CAD)的出现，标志着压铸生产开始从经验操作转变到科学控制新阶段，从而使铸件的质量、自动化程度及劳动生产率都得到极大的提高。
- 我国的压铸起步于20世纪40年代，目前，国产压铸机从一般小型到大型的压铸机均有生产。



➢ 2010年以后，汽车尤其是新能源汽车的发展，促进了压铸行业的快速发展。

6

一、压铸技术简介

压铸发展历史

- ✓ 特斯拉一体压铸大型汽车部件带动了压铸行业（压铸机、铸件设计、压铸材料及工艺）的跨越式发展。

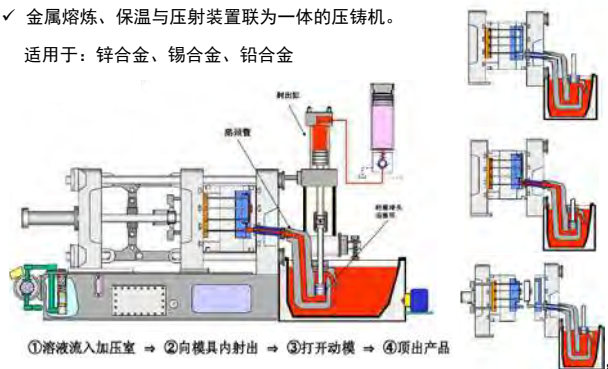


7

一、压铸技术简介

热室压铸机

- ✓ 金属熔炼、保温与压射装置联为一体的压铸机。
- 适用于：锌合金、锡合金、铝合金

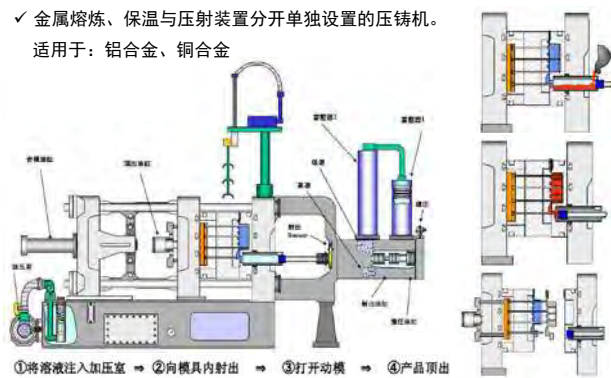


8

一、压铸技术简介

冷室压铸机

- ✓ 金属熔炼、保温与压射装置分开单独设置的压铸机。
- 适用于：铝合金、铜合金



一、压铸技术简介

铝合金压铸市场——千亿级

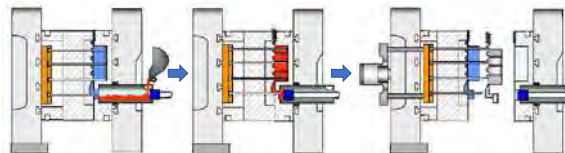


铝合金铸件主要应用与汽车精密零部件		中国汽车铝合金铸件市场容量测算			
应用	部件	2018A	2019E	2020E	2021E
动力系统	缸体、缸体盖、缸盖罩、曲轴箱、汽缸盖罩盖、油底壳、进气管、发电机壳体、发动机齿轮室、发动机各类支架等	2803.89	2663.70	2743.61	2825.92
传动系统	变速器壳体、换挡拨叉、变速箱支架	156.00	160.00	170.00	180.00
转向系统	链条盖、齿条壳体与涡轮壳体	436.00	448.62	476.66	504.70
底盘总成	悬挂支架与横梁	1682.34	1794.49	1906.65	2018.80
车身	轮毂、骨架及装饰件	841.17	897.25	953.32	1009.40
其他	减震器下端盖、离合器踏板及刹车踏板等				

一、压铸技术简介

压铸工艺参数

- ✓ 压铸工艺是将压铸生产的三要素，即压铸合金、压铸模具和压铸机进行有机组合和运用的过程。
- ✓ 主要是对压力、速度、温度和气氛进行合理的选择和控制。



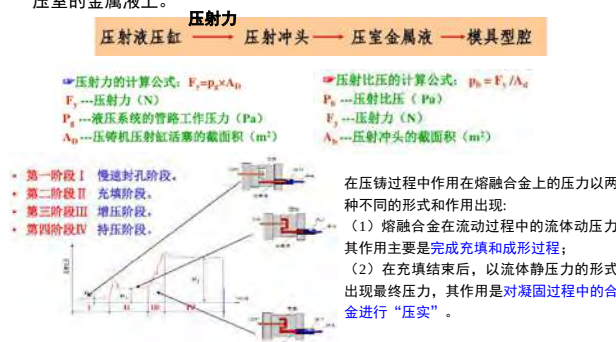
压射比压：5-150MPa
充填速度：10-50 m/s
充型时间：0.01-0.2s

工艺特点：
高速充型与高压凝固

一、压铸技术简介

压铸工艺参数——压力

- ✓ 压铸压力是由泵提供的，通过油液传递给压射活塞，再经压射冲头作用在压室的金属液上。



一、压铸技术简介

压铸工艺参数—压力

常见金属材料的压射比压（MPa）

合金	铸件壁厚≤3mm		铸件壁厚>3mm	
	结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	20-30	30-40	40-50	50-60
铝硅、铝铜合金	25-35	35-45	45-60	60-70
镁合金	30-40	40-50	50-65	65-80
铜合金	40-50	50-60	60-70	70-80

13

一、压铸技术简介

压铸工艺参数—压力

选择压射比压要考虑的主要因素

因素	选择条件及分析	
压铸件结构特性	壁厚	薄壁件压射比压可选高些，厚壁件增压比压可选高些
	形状复杂程度	复杂铸件压射比压可选高些
	工艺合理性	工艺合理性好，压射比压可选低些
压铸合金特性	结晶温度范围	结晶温度范围大，增压比压可选高些
	流动性	流动性好，压射比压可选低些
	密度	密度大，压射比压、增压比压均可选高些
	比强度	比强度大，增压比压可选高些
浇口系统	浇口阻力	浇道阻力大，压射比压、增压比压均可选高些
	浇口散热速度	散热速度快，压射比压可选高些
排溢系统	排气道布局	排气道合理，压射比压可选高些
	排气道截面积	截面积足够大，压射比压、增压比压均可选低些
内浇口速度	要求内浇口速度	内浇口速度大，压射比压可选高些
温度	合金与压铸模温差	温差大，压射比压可选高些

一、压铸技术简介

压铸工艺参数—速度

✓ 压射速度：液压缸内的液压推动压射冲头前进的速度。

✓ 充填速度：液态金属在压力作用下，通过内浇道进入型腔的线速度。

充填速度过小，会使铸件的轮廓不清，甚至不能成形；

充填速度过大，会引起铸件粘模并使铸件气孔率增加，力学性能下降。

充填速度选择的一般原则：

- ✓ 对于厚壁或内部质量要求较高的铸件，应选择较低的充填速度和高的增压比压；
- ✓ 对于薄壁或表面质量要求较高的铸件，应选择较高的比压和高的充填速度；
- ✓ 合金的浇注温度较低，合金和模具材料的导热性能好，内浇道厚度较大时，要选择较高的充填速度。

低速压射速度的选择

压室充满度 (%)	压射速度 (cm/s)
≤30	30~40
30~60	20~30
>60	10~20

$$v_{充} = \mu \sqrt{2g \cdot \frac{P_b}{\gamma}} = 0.358 \sqrt{2g \cdot \frac{P_b}{\gamma}}$$

P_b 是压射比压； γ 是液态金属的重度

合金	简单壁厚件	一般铸件	复杂壁厚件
锌、铜合金	10~15	15	15~20
镁合金	20~25	25~35	35~40
铝合金	10~15	15~25	25~30

15

一、压铸技术简介

压铸工艺参数—温度

浇注温度

从压室进入型腔时金属液的平均温度。一般用保温炉内的温度表示。

- ✓ 浇注温度过高，合金收缩大，铸件易产生裂纹，铸件的晶粒粗大，脆性大；
- ✓ 浇注温度过低，易产生冷隔、表面出现流纹和浇不足等缺陷；
- ✓ 在压力较高时，应降低浇注温度。

合金	铸件壁厚至3mm		铸件壁厚>3mm	
	结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	含铝的	420-440	430-450	410-430
	含铜的	520-540	530-550	510-530
铝合金	铝硅系	620-650	650-690	620-640
	铝硅铜系	630-660	640-690	630-650
	铝镁系	640-660	650-700	620-660
镁合金		640-680	660-700	620-660
铜合金	普通黄铜	880-930	900-950	850-900
	硅黄铜	900-950	920-980	880-930

含铝的锌合金温度不宜超过450℃，否则结晶粗大。

16

一、压铸技术简介

压铸工艺参数——温度

压铸模的温度

$$t_m = 1/3t_f \pm 25^\circ\text{C}$$

压铸模在使用前要预热到一定的温度

作用：避免高温金属液对冷压铸模的“热冲击”，以延长模具的使用寿命；避免金属液在模具中因激冷而很快失去流动性，使铸件不能顺利充型。

模具温度过高易发生黏模、烧伤、疏松、缩孔等缺陷。

预热温度（单位：℃）

合金 铸件结构特性		壁厚至3毫米		壁厚大于3毫米	
		结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	预热温度	130~180	150~200	110~140	120~150
	连续工作保持温度	180~200	190~220	140~170	150~200
铝合金	预热温度	150~180	200~230	120~150	150~180
	连续工作保持温度	180~240	250~280	150~180	180~200
铝镁合金	预热温度	170~190	220~240	150~170	150~180
	连续工作保持温度	200~220	260~280	180~200	180~200
镁合金	预热温度	150~180	200~230	120~150	170~190
	连续工作保持温度	180~240	250~280	150~180	200~240
铜合金	预热温度	200~230	230~250	170~200	200~230
	连续工作保持温度	300~325	325~350	250~300	300~350

17

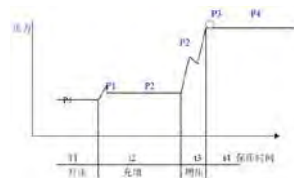
一、压铸技术简介

理想的压铸状态

理想状态应是：开始时以低速从一端顺序填充，排出气体，然后增加填充速度，充满型腔，压实铸件。

三级压铸机：

- ✓ 一级压射：压射冲头慢速前进，排出压室的气体，直至金属液充满压室。
- ✓ 二级压射：按压铸件的结构、壁厚选择适当的压射速度，在金属液不凝固的情况下，型腔基本充满。
- ✓ 三级压射：在充满型腔的瞬间，压射冲头以高速、高压施加在金属液上使压铸件在静压力作用下凝固，以获得表面光洁、轮廓清晰、内部组织致密的压铸件。



T1---金属液在压室中未承受压力的时间；P1为一级(慢速)

t2---金属液于压室中在压射冲头的作用下,通过内浇口充满型腔的时间；P2为二级(快速)

t3---充填刚刚结束时的瞬间；P3为三级(增压)

t4---最终静压力；P4为补充压实铸件

18

一、压铸技术简介

压铸工艺特点

- ✓ 快速成型，生产效率极高。
- ✓ 充型快，金属液湍流状态，内部卷入气体多，产品气孔率差。
- ✓ 高压下成型产品致密性高产品强度及表面硬度高，但产品的延伸率较低。
- ✓ 不可热处理。热处理时内部气体会膨胀，导致产品出现鼓包或裂开等缺陷。
- ✓ 产品表面光洁度好，一般可达到Ra6.3甚至可达Ra1.6。
- ✓ 可生产壁厚较薄的零件，铝压铸壁厚最薄可达0.5mm。
- ✓ 加工余量小(尽量小于0.25mm)，加工量过大会使表面致密层破坏，内部气孔显露，导致产品强度降低。
- ✓ 模具成本高，模具寿命小。

核心问题：
如何最大程度消除气孔？

新工艺

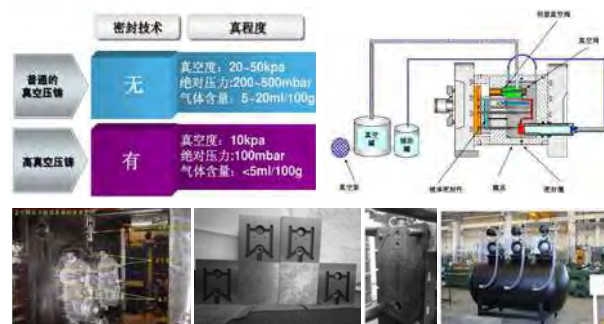
- 气氛 { 真空压铸
充氧压铸
- 温度 { 半固态压铸
- 压力 { 局部挤压
铸锻一体
- 速度 { 超高速压铸
超低速压铸

19

二、特殊压铸方法

真空压铸

- ✓ 通过在压铸过程中抽除压铸模具型腔内的气体，消除或减少压铸件的气孔，从而提高压铸件力学性能、可淬火性能、焊接性能及表面质量的压铸工艺。

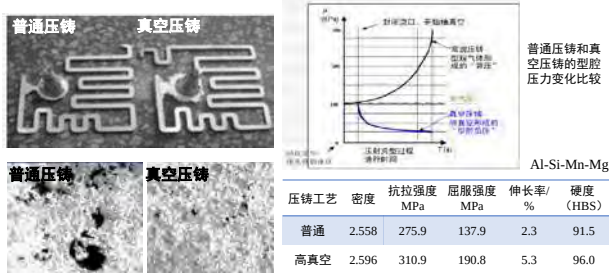


20

二、特殊压铸方法

真空压铸

- ✓ 传统压体在压射结束时，最后填充点气压高达3-4个大气压；
- ✓ 真空压铸在压射结束时，最后填充点气压可小于0.1个大气压；
- ✓ 金属液填充时，型腔内部压力降低。填充阻力减少，金属液流动性提高，可以生产充填流程更长的金属铸件。

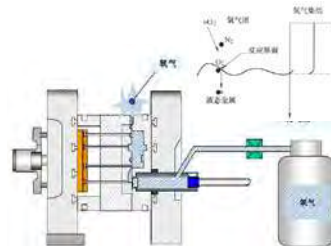


21

二、特殊压铸方法

充氧压铸

- ✓ 将干燥的氧气充入压室和压铸模腔。以取代其中的空气。
- ✓ 充填时，氧气一方面通过排气槽排出；另一方面由喷射的铝液与没有排出的氧气发生化学反应而产生氧化铝微粒，分散在压铸件内部，减少气孔。



- 特点：
- 1、减少气孔，提高力学性能；
 - 2、可对充氧压铸件进行热处理，提升强度；
 - 3、可焊接；
 - 4、与真空相比，结构简单，投资少，操作方便。

22

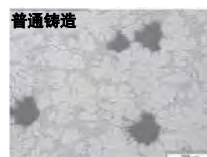
二、特殊压铸方法

充氧压铸



真空充氧压铸与普通压铸铸件致密度比较

压铸方法	充氧时间/s	密度/g·cm ⁻³		密度相对变化 (%)	W _{Al₂O₃} (%)
		T6处理前	T6处理后		
普通压铸	0	2.624	2.371	9.5	0.08
	2	2.66	2.582	2.6	0.195
真空充氧压铸	3	2.656	2.584	2.7	0.2
	4	2.658	2.634	0.9	0.24



真空充氧压铸与普通压铸铸件力学性能比较

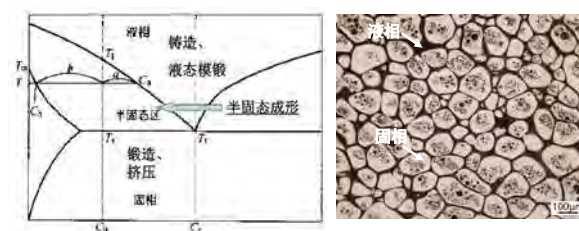
压铸方法	热处理	抗拉强度 /MPa	伸长率 (%)
普通压铸	—	244	4.6
	—	259	5.7
真空充氧压铸	T5	314	9.6
	T4	302	10.6

23

二、特殊压铸方法

半固态压铸

- ✓ 将制备的固相呈近球状晶、液相围绕其周围的合金及其复合材料半固态浆料，在半固态温度（处于液相线和固相线之间）下利用压铸技术成形零件的工艺。

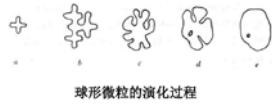


24

二、特殊压铸方法

半固态压铸

- ✓ 半固态成形的技术核心是制备半固态浆料，使固液混合浆料或者坯料获得非枝晶组织，固相必须球化或者细化，合金组织一般含有10-100 μm 的球形晶、近球形晶或者等轴晶。



球形微粒的演化过程

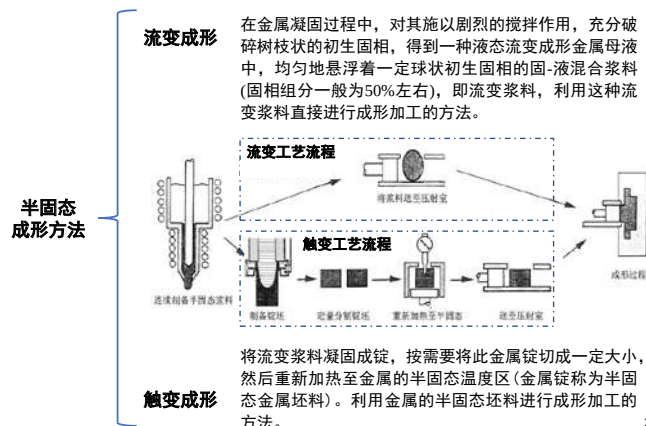
由于搅拌的作用，造成晶粒之间互相磨损、剪切及液体对晶粒剧烈冲刷，枝晶臂被打断，形成更多细小晶粒，其自身结构逐渐向蔷薇形演化，随温度下降，最终演化称为简单的球形结构。

半固态浆料的制备方法：

- ✓ 机械搅拌法；
- ✓ 电磁搅拌法；
- ✓ 近液相线铸造法；
- ✓ 应变诱发熔化激活法；
- ✓ 溅射沉积法；
- ✓ 紊流效应法。

25

二、特殊压铸方法



26

二、特殊压铸方法

半固态压铸——工艺特点

- ✓ 压射比压一般比液态金属压铸高20-30%；低速压射速度可比液态金属压铸时快。
- ✓ 铸件质量高。因晶粒细化、组织分布均匀、体收缩减少、热裂倾向下降，基本上消除了疏松倾向，力学性能大幅度提高。
- ✓ 成形温度低（如铝合金可降低120°C以上），可节省能源；凝固收缩小，故成型体尺寸精度高，加工余量小，近净成形。
- ✓ 模具寿命延长。半固态浆料成形时的剪切应力，比传统的枝晶浆料低三个数量级，故充型平稳、热负荷小。
- ✓ 成形合金范围广。非铁合金有铝、镁、锌、锡铜、镍基合金；铁基合金有不锈钢、低合金钢等。
- ✓ 制造金属基复合材料。利用半固态金属的高粘度，使密度差大、固溶度小的金属制成合金，也可有效地使不同材料混合，制成新的复合材料。

27

二、特殊压铸方法

半固态压铸——性能

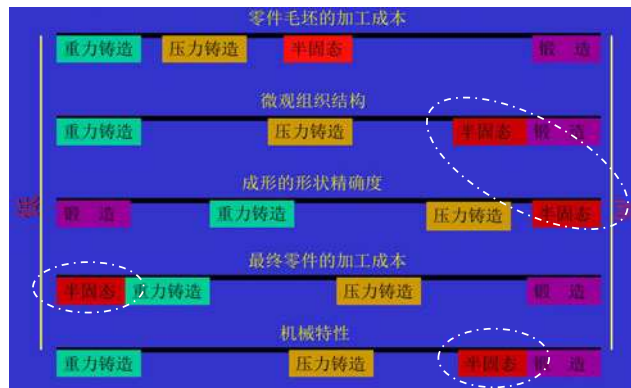
合金	加工方法	热处理状态	屈服应力/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HB
A356 Al7Si0.3Mg	SSM	T6	240	320	12	105
	SSM	T7	260	310	9	100
	PM	T6	186	262	5	80
	PM	T51	138	186	2	9
	CDF	T6	280	340	9	
A357 (Al7Si0.6Mg)	SSM	铸造	115	220	7	75
	SSM	T4	150	275	15	85
	SSM	T4	276	386	8.8	89
2017 (Al4CuMg)	W	T4	275	427	22	105
	SSM	T6	277	366	9.2	
	CDF	T6	230	420	8	
2024 (Al4Cu1Mg)	W	T6	393	476	10	
	W	T4	324	469	19	120
	SSM	T8	310	352	5	89
	W	T6	260	400	8	
2219 (Al6Cu)	SSM	T6	290	330	8.2	104
	W	T6	275	310	12	95
	SSM	T6	361	405	6.6	
6061 (Al1MgSi)	SSM	T6	290	330	8.2	104
	W	T6	275	310	12	95
	SSM	T6	361	405	6.6	
7075 (Al6ZnMgCu)	SSM	T6	361	405	6.6	
	CDF	T6	420	560	6	
	W	T6	505	570	11	150

注：CDF为闭模锻造；PM为金属模铸造；SSM为半固态加工；W为锻造加工。

28

二、特殊压铸方法

半固态压铸——综合比较



二、特殊压铸方法

半固态压铸——典型应用

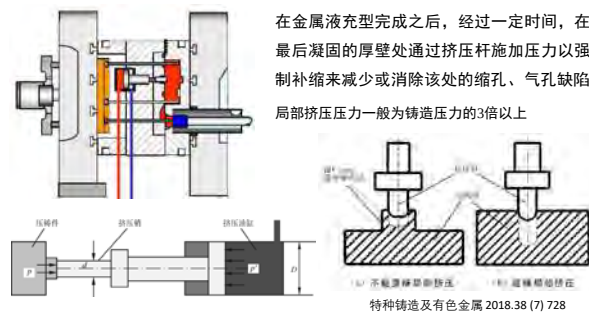


30

二、特殊压铸方法

局部挤压

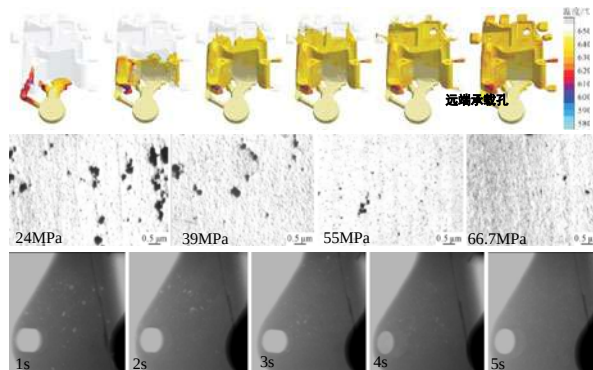
- ✓ 局部加压是在模具内直接安装油缸，对产生缩孔的部位（一般为壁厚位置）直接进行加压，抑制缩孔，以获得高质量的压铸件。



特种铸造及有色金属 2018.38 (7) 728 31

二、特殊压铸方法

局部挤压——发动机支架

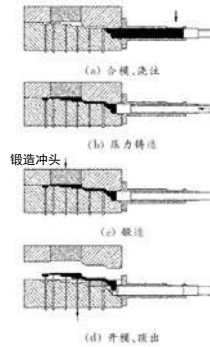
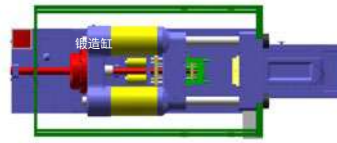


特种铸造及有色金属 2017.37 (10) 1088 32

二、特殊压铸方法

铸锻一体

先利用压射装置完成压铸工作，再利用锻压装置对刚压铸好的铸件进行锻压工作，使得模具内的铸件中疏松部分得以压实，并迫使模具内存留的气泡排出，从而获得密度高、无气泡、应力小、韧性好、力学性能好的压铸产品。

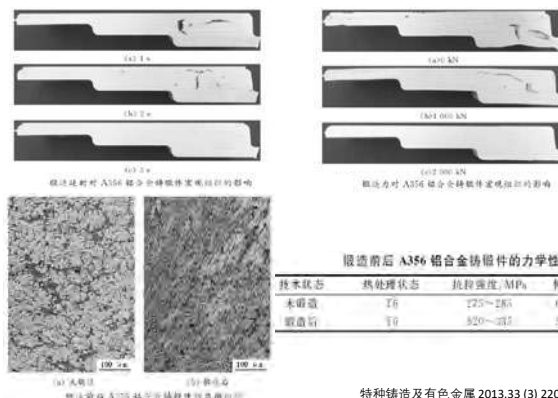


特种铸造及有色金属 2013.33 (3) 220

33

二、特殊压铸方法

铸锻一体



特种铸造及有色金属 2013.33 (3) 220

34

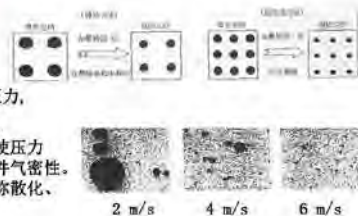
二、特殊压铸方法

超高速压铸

压射速度达 6 m/s

优点:

- 1) 增大金属液充型压力, 有更好的成形性能;
- 2) 快速升压、加压, 使压力效果增大, 提高铸件气密性;
- 3) 把气体压碎, 使其弥散化、微细化。



应用: 汽车转向器壳体, 原由 3 个零件构成, 现为 1 件成形。



转向器壳体

35

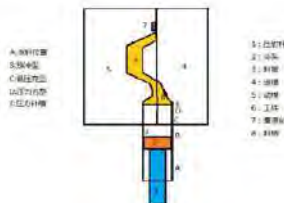
二、特殊压铸方法

超低速压铸

压射速度: 0.05~0.15 m/s, 层流充填。

- 优点: 1) 气体减少。
2) 可进行 T6 处理。
3) 适合高强度、耐压产品。

应用: 引擎座
材料: AC4H-H



层流模型图

层流: 型腔内流体介质流动时, 流体质点沿流向作有规则的平行运动, 各质点互不碰撞, 互不混合。流体可以看作而无数以流场中心为基点的薄层一层套一层作同向平行运动。

36

三、总结

- 降低气孔率。
- 九千吨已至，万吨机不会太远。
- 半固态压铸，未来可期。

37

谢谢大家！

A close-up photograph of a metal grinding process. A rotating metal wheel is grinding a cylindrical workpiece, creating a dense spray of bright orange sparks. The background is a blurred industrial setting with blue and green tones.

08.27
seminar



「嶄新模具及
工程產品材料與
先進加工技術」
研討會

活動一

會議紀要：

「嶄新模具及工程產品材料與先進加工技術」研討會

4.1 「快速加工用工具鋼和工程鋼」分會議

— 由中國大連理工大學講師**范蓉博士**主講

香港生產力促進局（HKPC）致力於以先進技術驅動香港企業提升生產力，透過是次研討會，由中國大連理工大學范蓉副教授向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員介紹快速加工用工具鋼和工程鋼。

研討會分為四部分：1) 工具鋼的定義和分類；2) 工具鋼用途和模具鋼；3) 工具鋼評價指標；4) 新興的鋼結構快速加工方式。工具鋼是用以製造切削刀具、量具、模具和耐磨工具的鋼。工具通常的使用組織為回火馬氏體和化合物，高含碳量約為0.65%至1.55%，會加入提高淬透性和形成碳化物的元素Cr（鉻）、W（鎢）、Mo（鉬）、V（鈮），提高紅硬度的元素W（鎢）、Mo（鉬）、V（鈮）、Co（鈷）。工具鋼的分類按成分可分為碳素工具鋼和合金工具鋼，其中合金工具鋼可分為低合金工具鋼和高速工具鋼。

碳素工具鋼是高碳成分的鐵碳合金，碳含量約0.65%-1.35%，牌號組成為TX[X][A]，其中X[X]代表含碳千分之幾，[A]代表高級。其製備方法需要先預備熱處理，採用球化退火工藝，形成鐵素體集體和粒狀滲碳體，降低硬度便於切削加工。最終熱處理採用淬火加低溫回火，形成回火馬氏體、粒狀滲碳體和殘餘奧氏體。優點是成本低、耐磨性和加工性較好，缺點是熱硬性差，淬透性低。當工作溫度達250℃時，鋼的硬度和耐磨性急劇下降，硬度從HRC207下降到HRC60以下。用於製造尺寸不大，可製作形狀簡單的低速刀具，如手用衝頭、鑿子、銼刀、機用低速鑽頭等。

低合金工具鋼是碳素工具鋼的基礎上加入少量合金元素，保持高碳同時，加入鉻（Cr）、錳（Mn）、矽（Si）、鎢（W）、鈮（V）等，合金元素的含量總和一般不超過5%。與碳素鋼對比，其淬火變形小、開裂傾向小。牌號組成為[X]Δ[X]Δ[X]，其中第一個[X]代表含碳千分之幾，超過10則不列出；Δ[X]代表含合金元素及含量，一般為百分之幾，小於1.5%則不列出。種類包括9SiCr、CrW5、CrWMn等。其製備方法與上述碳素工具鋼相

同。採用低合金工具鋼製造產品的工藝路線為下料—球化退火—機加工—淬火—低溫回火—精加工。優點是成本不高，硬度與碳素工具鋼相同，淬火變形小，開裂傾向小。缺點是熱硬性、淬透性不太高，不適用於製作大尺寸、複雜的模具和高速刀具。

高速工具鋼是製造高速切削刀具用鋼，含碳量約0.7%-1.6%。含有大量W、Mo、Cr、V、Co等合金元素，其中W和Mo可提高熱硬性，Cr提高耐回火性，V細化晶粒。合金牌號的定義形式是W[X][X][X][X]，是合金元素，[X]是合金元素含量，含量小於1.5%則不列出。W系有W18Cr4V、9W-18Cr4V，Mo系有W2Mo8Cr4V、Mo8Cr4V2，W-Co系有W6Mo8Cr4V2、W6Mo5Cr4V3。採用高速工具鋼製造產品的工藝路線為下料—鍛造—退火—機加工—淬火+回火—噴砂—磨削加工。其中鍛造具有成形和改善組織的雙重作用，球化退火可得到索氏體和細顆粒狀碳化物，淬火可形成隱針馬氏體、粒狀碳化物和較多殘餘奧氏體，回火採用3次可形成回火馬氏體、粒狀碳化物和少量殘餘奧氏體。高速工具鋼在工作時可承受拉、壓、切、扭、衝擊震動、摩擦等力的作用。

工具鋼可用作於量具鋼，如千分尺、塊規等；刀具鋼，如車刀、銑刀等；模具鋼，如冷衝模、熱擠模等。量具鋼高的硬度和耐磨性，尺寸穩定性高，熱處理變形小。刀具鋼製造各種切削加工工具的鋼種，硬度：HRC>60。具有高耐磨性，耐磨性取決於硬度、韌性和碳化物；具有熱硬性，即鋼在高溫下保持高硬度的能力；具有韌性和塑性，以免刀具在使用過程中崩刃、折斷。模具鋼可分為冷作模具，鋼淬火後的硬度在HRC60以上，且具有足夠的耐磨性；熱作模具，碳含量中等（wt 0.35%~0.70%），淬火後的硬度稍低，為HRC50-55，但韌性良好。其中冷作模具鋼用於製造各種冷成型模具，優點是價格便宜，加工性能好，滿足模具

的工作要求，如T8A，T10A，T12A，9Mn-2V，9SiCr，CrWMn，Cr6WV等。缺點是淬透性差，熱處理變形大，耐磨性較差，壽命較低。常用的冷作模具鋼有高碳高鉻模具鋼，如Cr12型冷作模具鋼Cr12，Cr12MoV等，工件負荷大、尺寸大、形狀複雜。熱作模具鋼用於製造各種使用加熱金屬或液態金屬成型的模具。

工程鋼是含碳量小於0.3%的合金，主要用於結構和工程目的，添加了鈦、銅、鉻、鎳、鋁等。具有高強輕質的特點，可製造用於汽車的零部件。

新興的鋼結構快速加工方式有3D列印製備鋼結構工藝；3D列印點陣材料；金屬3D列印器件如空客A350寬體客機掛架、SPACEX龍飛船2號的核心部件SuperDraco發動機；3D列印工具鋼如17-4 PH不銹鋼抓手、鎳鉻鐵合金625(Inconel 625)坩堝夾；無缺陷3D列印馬氏體鋼零部件等。

- 今次研討會旨在向業界展示嶄新模具、工程產品材料及其相關技術，並提供個案分享及分析，藉以讓參加者知道這些新材料和技術，在不同行業展現的成本效益、優勢和限制，引領本地業界邁向全新發展，拓展市場機遇。這項活動是「金屬工業飛躍－採納嶄新材料及關鍵加工技術」系列的其中一個研討會。



Tooling and Engineering Steels for Rapid Machining

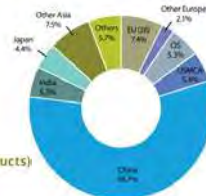
快速加工用工具鋼和工程鋼

范蓉
大連理工大學



2020年统计数据

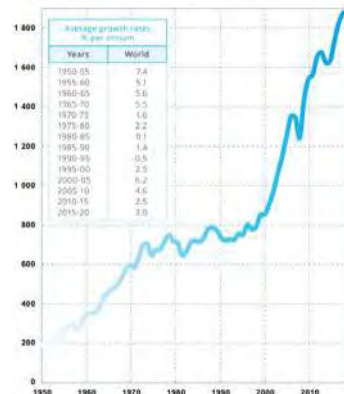
Crude steel production
World total: 1 878 million tonnes



Apparent steel use (finished steel products)
World total: 1 772 million tonnes



million tonnes, crude steel production



工欲善其事
必先利其器



工具鋼（Tool steel），是“工業之母”



工程钢

工程或结构领域使用



分享内容

- 1 工具钢的定义和分类
- 2 工具钢用途和模具钢
- 3 工程钢评价指标
- 4 新兴的钢结构快速加工方式



6

工具钢

用以制造切削刀具、量具、模具和耐磨工具的钢。

工具通常的使用组织为回火马氏体和化合物

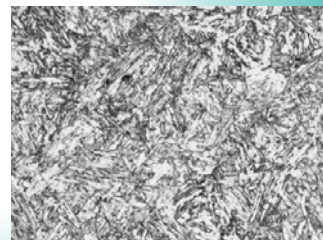
高含碳量：0.65%-1.55%

提高淬透性和形成碳化物的元素

Cr W Mo V

提高红硬度的元素

W Mo V Co



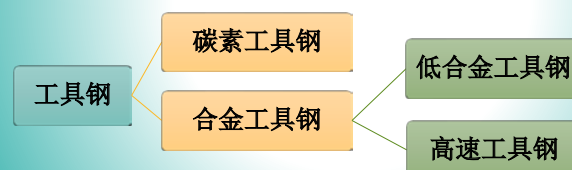
工具钢分类

7

工具钢的分类

按成分

- (1) 碳素工具钢：高碳成分的铁碳合金
- (2) 低合金工具钢
- (3) 高速工具钢：（钨-钼高速钢、含钴、铝、钒等特种高速钢）



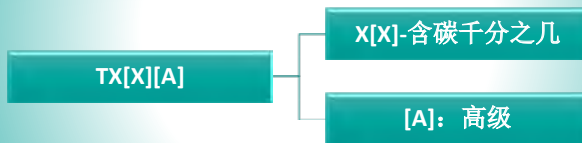
工具钢分类

8

碳素工具钢

碳含量：0.65-1.35%

牌号组成部分：



工具钢分类

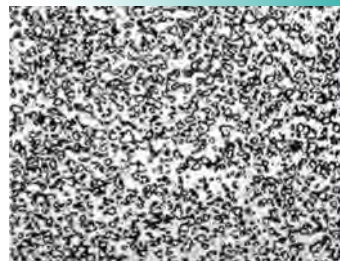
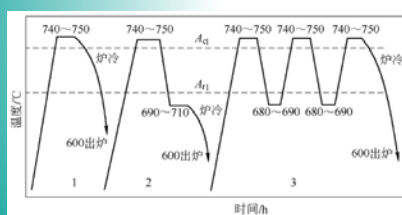
碳素工具钢牌号性能及用途

牌号	C%	Mn%	Si%	性能	用途
T7	0.65~0.74	≤0.40		亚共析成分钢，随含碳量增加而增加，有较好的强度和塑性配合，但切削能力较差	适于承受振动、冲击，硬度适中 有韧性 的工具，如冲头、尖嘴钳等
T8	0.75~0.84			共析成分钢，淬火易过热，强度和塑性较低，不宜做受大冲击的工具，但经热处理后有较高的硬度和耐磨性	用于有较高硬度和耐磨性的工具，如冲头、剪钳、金属切削刀具等
T8Mn	0.85~0.90	0.40~0.60		性能近似 T8	用于制造截面较大的工具
T9	0.85~0.94	≤0.35		性能近似 T8，但有较好的淬透性，能获得较深的淬硬层	用于 一定硬度和韧性 的工具，如冲头、钻头、磨削工具等
T10	0.95~1.04			过共析钢，在 700~800℃ 加热时仍能保持细晶粒，不致过热；淬火后钢中有大量的过剩碳化物，增加耐磨性	用于制造 工作时不变形 ，耐磨性要求较高，不受剧烈振动，具有韧性及锋利刃口的工具，如刨刀、冷冲模、锯条等
T11	1.05~1.14			除具有 T10 的特点外还具有较好的综合机械性能	
T12	1.15~1.24	≤0.40		含碳量高，淬火后有较多的过剩碳化物，耐磨性且硬度较高，但韧性低	用于不受冲击、高硬度的工具，如锉刀、锯条、量具等
T13	1.25~1.35			含碳量最高的工具钢，硬度很高，碳还增加且分布不均匀，力学性能差	刨刀、挫刀、剃刀、切削工具、拉丝工具、制丝工具及硬加工工具等

碳素工具钢组织

预备热处理

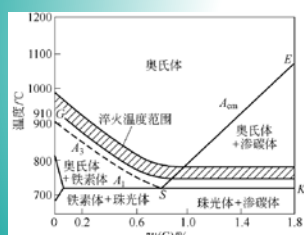
- 球化退火工艺
- 铁素体基体 粒状渗碳体
- 降低硬度便于切削加工



碳素工具钢组织

最终热处理

- 淬火加低温回火
- 回火马氏体 粒状渗碳体 残余奥氏体



碳素工具钢特点

优点：成本低，耐磨性和加工性较好。

缺点：热硬性差，淬透性低

当工作温度达 250℃时，钢的硬度和耐磨性急剧下降，硬度从 HRC207 下降到 HRC60 以下。

应用：制造尺寸不大，形状简单的低速刀具，如手用冲头，凿子，锉刀，机用低速钻头等



13

低合金工具钢

碳素工具钢的基础上加入少量合金元素

保持了高碳的同时，加入铬（Cr）、锰（Mn）、硅（Si）、钨（W）钒（V）等，合金元素的含量总和一般不超过 5%。

与碳素钢对比：淬火变形小、开裂倾向小

[X]Δ[X]Δ[X]

含合金元素及含量
[百分之几，小于1.5%不写]

含碳量的千分之几，
超过10不写

种类：
9SiCr
CrW5
CrWMn
...

14

低合金工具钢组织

预备热处理

- ◆ 球化退火
- ◆ 铁素体基体
- ◆ 粒状渗碳体
- ◆ 降低硬度便于切削加工

最终热处理

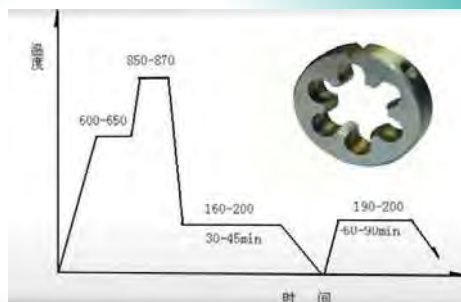
- ◆ 采用淬火加低温回火
- ◆ 回火马氏体
- ◆ 粒状渗碳体
- ◆ 残余奥氏体

15

低合金工具钢

制造工艺路线

- ◆ 下料
- ◆ 球化退火
- ◆ 机加工
- ◆ 淬火
- ◆ 低温回火
- ◆ 精加工



16

刀具钢

制造各种切削加工工具的钢种

硬度：HRC>60

高耐磨性：耐磨性取决于硬度、韧性和碳化物

热硬性：钢在高温下保持高硬度的能力。

韧性和塑性：以免刀具在使用过程中崩刃、折断



低合金工具钢

制造工艺路线

- ◆ 下料
- ◆ 球化退火
- ◆ 机加工
- ◆ 淬火
- ◆ 低温回火
- ◆ 精加工

优点

- ◆ 成本不高
- ◆ 硬度与碳素工具钢相同
- ◆ 淬火变形小
- ◆ 开裂倾向小

缺点

- ◆ 热硬性、淬透性不太高
- ◆ 不适于制作大尺寸、复杂的模具和高速刀具

高速工具钢

高速工具钢是制造高速切削刀具用钢

含碳量：0.7%-1.6%

含有大量W、Mo、Cr、V、Co等合金元素

提高热硬性

W

Mo

提高耐回火性

Cr

细化晶粒

V

高速工具钢

牌号是主加元素和含量百分数组成

W[×]□[×]□[×]□[×]

□—合金元素，[×]—合金元素含量

• 含量<1.5%不列

W系：W18Cr4V、9W18Cr4V

Mo系：W2Mo8Cr4V、Mo8Cr4V2

W-Mo系：W6Mo5Cr4V2、W6Mo5Cr4V3

高速工具钢

加工路线

下料→锻造→退火→机加工→淬火+回火→喷砂→磨削加工

锻造

具有成形和改善组织的双重作用

球化退火

得到索氏体+细颗粒状碳化物

淬火

隐针马氏体
粒状碳化物
较多残余奥氏体

回火

采用3次
回火马氏体
细颗粒状碳化物
少量残余奥氏体

20

高速工具钢

在工作时承受拉、压、切、扭、冲击振动、摩擦等力的作用



21

工具钢的用途

- 1) 量具钢：千分尺、块规等
- 2) 刀具钢：车刀、铣刀等
- 3) 模具钢：冷冲模、热挤模等



测量量具接触



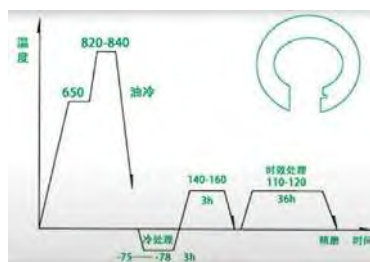
机器零件用钢往往必须进行热处理强化



22

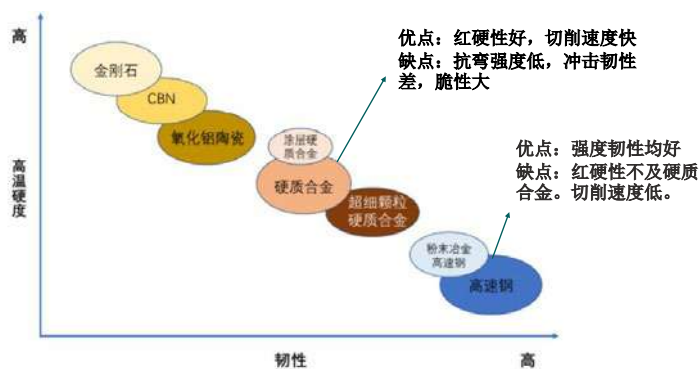
量具钢

高的硬度和耐磨性，尺寸稳定性高，热处理变形小



23

切削刀具的材料分类



模具钢

冷作模具：钢淬火后的硬度在 HRC60 以上，且具有足够的耐磨性

热作模具：碳含量中等（wt 0.35%~0.70%），淬火后的硬度稍低，为 HRC50-55，但韧性良好。



冷作模具



热作模具



塑料模具

模具钢

冷作模具钢

用于制造各种冷成型模具

T8A, T10A, T12A, 9Mn2V, 9SiCr, CrWMn, Cr6WV等

优点：价格便宜，加工性能好，满足模具的工作要求。

缺点：淬透性差，热处理变形大，耐磨性较差，寿命较低。



模具钢

冷作模具钢

高碳高铬模具钢：Cr12型冷作模具钢

Cr12, Cr12MoV等。

- 淬透性好
- 淬火变形小
- 耐磨性好



- 负荷大
- 尺寸大
- 形状复杂

模具钢

热作模具钢

制造各种使用加热金属或液态金属成型的模具



工具钢

29

模具钢

成分	性能要求	常用牌号
热作模具钢 wC=0.3%~0.6%, 合金元素有 Cr、 Mn、Ni、Mo、W、 Si 等	高硬度、强度、红硬性、耐磨性和韧性所。具有良好的 高温强度、热疲劳稳定性、导热性和耐蚀性 ，较高的淬透性	5CrMnMo、5CrNiMo
冷作模具钢 wC=1.0%~2.0%, 加入合金元素 Cr、 Mo、W、V 等	高硬度、强度、耐磨性、足够的韧性 ，以及高的淬透性、淬硬性和其他工艺性能	Cr12、Cr12MoV

30

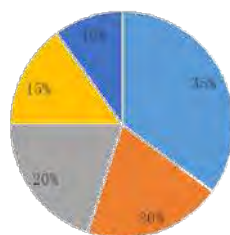
模具钢市场

品牌	德系	日系	国产
车企			
模具钢进口	瑞典 ASSAB, 奥地利 BOHLER, 德国葛利兹, 德国凯德, 德国布德鲁斯, 德国萨尔, 德国道博, 法国埃赫曼	日本大同, 日立, 高周波, 山阳, 不二越等	抚顺特钢, 宝武特冶, 长城特钢, 天工国际等

31

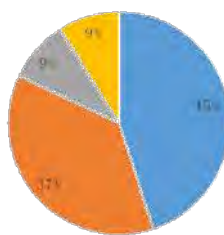
模具钢市场

模具及模具钢的主要下游行业



我国的模具分类销售额占比情况

■ 汽车
■ 家电
■ 电子
■ 建材
■ 其他



■ 注塑模具
■ 冲压模具
■ 铸造模具
■ 其他模具

32

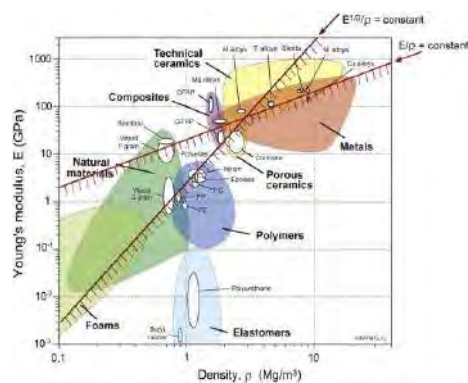
工程钢

工程钢是一种合金，含碳量一般小于**0.3%**

主要用于结构和工程目的，添加了钛、铜、铬、镍、铝等。

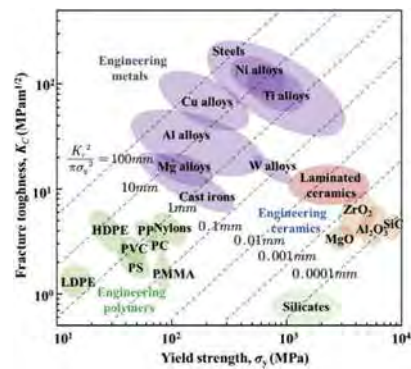


工程钢评价指标



高强
轻质

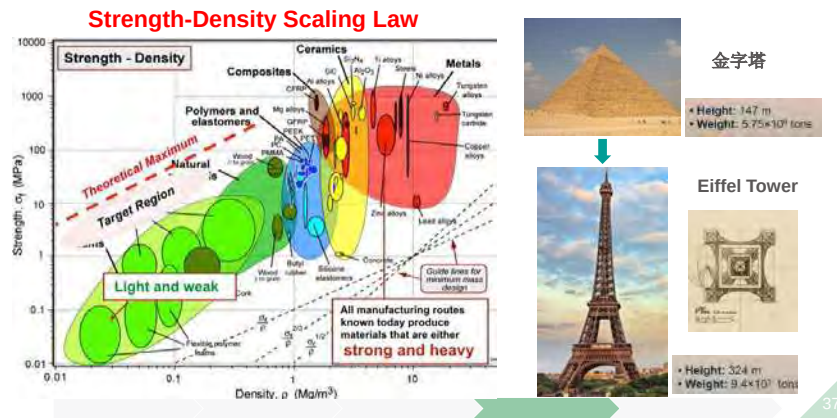
工程钢评价指标



工程钢应用

汽车零件

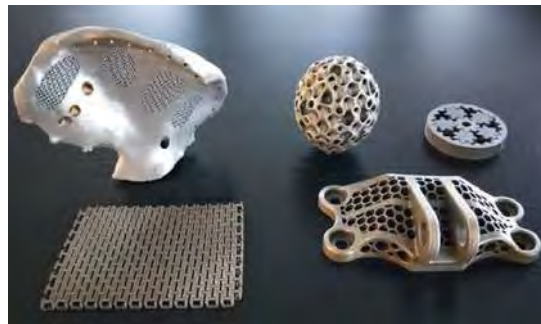




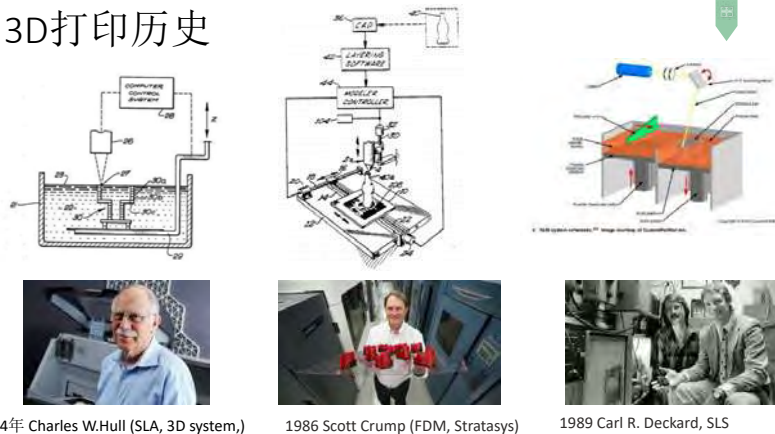
新兴的3D打印制备钢结构工艺



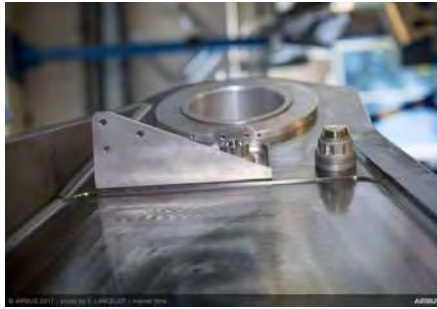
3D打印点阵材料



3D打印历史



金属3D打印器件



空客A350宽体客机挂架



SPACEX 龙飞船 2 号的核心部件
SuperDraco发动机

3D打印工具钢

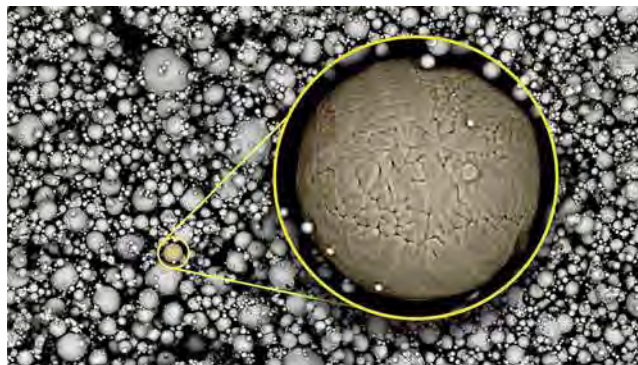


金属3D打印机制作的17-4 PH不锈钢抓手



3D打印的镍铬铁合金625(Inconel 625)坩埚夹

无缺陷3D打印马氏体钢零部件



谢谢！



活動二

會議紀要：

「嶄新鈹金材料與衝壓技術研討會」研討會

4.2 「鋁合金高固相半固態鑄造技術及計算機模擬的應用」分會議

一 由中國維士因科技有限公司總經理孫晶瑩博士主講

香港生產力促進局（生產力局）致力於以先進技術驅動香港企業提升生產力，透過是次研討會，由中國瀋陽維士因科技有限公司孫晶瑩博士向香港企業家、中高層管理者以及工程技術研究員，介紹鋁合金高固相半固態鑄造技術及計算機模擬的應用。

維士因博士的工作站以科技為基礎，著眼於科學研究與技術發展的前沿問題。由於現時企業與高校技術資源不均，公司致力為中小企建設一個平等、開放、高水準的技術服務平台。公司的核心業務主要圍繞汽車結構件輕量化、高端鑄造工藝的開發、鑄造工藝計算機模擬、新型高性能金屬材料的研發、衛生級管道的研發、抗氫塗層與表面納米層的製備等新型高科技領域。

1. SEED (Swirled Enthalpy Equilibration Device, 旋轉熱焓平衡製備高固相半固態漿料設備) 技術優勢：相對於傳統壓鑄工藝，半固態成形SEED技術變形抗力小，可一次大變形量加工成形形狀複雜，而且精密度及性能要求較高的零部件，具有淨成形、高質量、高性能、低能耗、低成本等眾多獨特優點。
2. SEED技術市場前景：高固相半固態技術是「十三五」計劃重點支持研發的汽車輕量化技術之一，在2016年開始實現產業化，目前國內僅有5家可批量生產高固相半固態鑄件的公司，包括銀寶山新、戴卡斯町、BLOOM、北京宇遠汽車部件有限公司、二寧禾科技。隨著「雙碳時代」的來臨，汽車輕量化和5G基站建設發展迅速，鋁合金半固態產品市場應有千億規模。

3. 半固態鑄造核心技術：合金設—熔體處理—漿料製備—產品與模具設計—數值模擬—壓鑄技術—熱處理。
4. 技術落地案例分享—山東工廠建立：設備規劃（5條線，840T壓鑄機）→半固態設備調試→設備穩定運行→產品工藝開發→產品試模→產品批量供貨（箱體支架-歐曼、蓄電池箱體支架、搖臂總成-陝汽等）。

參考並對比液態壓鑄和半固態壓鑄的聯繫與區別，設置合理的模擬參數及模型：以黏度為變量，工藝參數包括澆鑄溫度、鑄件材質、模溫、速度等。分析液態壓鑄和半固態壓鑄的測試結果發現：

- 半固態對溫度非常敏感，對工藝要求高。這更需要軟件協助完成相應測試，以達到最佳目的；
- 電腦模擬可精準預測流態有助於產品工藝改善，並提供有效幫助；
- 電腦模擬提供更多參數選擇，可對新工藝開發提供有效幫助。

沈阳维士因科技有限公司

您看到的正是您所需要的。
What you see is what you need.

铝合金高固相半固态铸造技术及计算机模拟的应用

报告人：孙晶莹 博士



WELCOME

——欢迎页——

维士因博士工作站以科技为基础，不断发展创新。以质量为保证，制造优良产品。公司着眼于科学研究与技术发展的前沿问题，基于企业与高校技术资源不均衡的现状，致力于中小企业建设一个平等、开放、高水平的技术服务平台。以技术为核心，紧跟市场需求。秉承为客户创造价值，针对企业的痛点，为企业解决瓶颈，为社会做贡献的准则。

核心产业结构



旗下产业介绍

公司的核心业务主要围绕汽车结构件的轻量化、高端铸造工艺的开发、铸造工艺计算机模拟、新型高性能金属材料的研发、卫生级管道的研发、抗氢涂层与表面纳米层的制备等新型高科技领域。

汽车轻量化

汽车轻量化意义

汽车轻量化定义：在保证汽车的强度和安全性能的前提下，尽可能地降低汽车的整备质量，从而提高汽车的动力性能，减少燃料消耗，降低排放污染，**未来电动汽车势必要大力发展轻量化！**

整车重量减少100kg
油耗：-0.4L/100km
CO₂：-10g/100km



轻量化方法



铝合金半固态铸造技术介绍

在北美每年压铸件的生产超70亿美元。压铸件大概35%用于其他的应用，65%是用于汽车工业。随着汽车特别是新能源汽车行业的轻量化，要求汽车件产业减重、创新转型升级，开发汽车产业新材料，生产比传统压铸更轻、性能更优的合金品质件。

目前合金件最主要的成形方式是常规压铸，该工艺具有生产效率、成本低等优势，但是铸件致密度低，气孔和缩孔含量高，严重减低了件的力学性能和疲劳寿命，不能满足汽车行业对于品质、性能、寿命的要求。在市场要求下，半固态压铸成形固相率流变技术SEED的推出满足了汽车制造商对件质轻的要求。

固相率半固态压铸成形技术SEED可以生产比传统压铸更轻的件。能够制造出复杂形状的薄壁件，半固态压铸成形技术较低的成形温度使得模具热冲击小，延长模具寿命。相对等热变形成形工艺，半固态成形变形抗力小，从而可一次大变形加工成形形状复杂且精密度及性能要求较高的件，克服传统压铸中成本、不能成形复杂件的缺点，具有净成形、质轻、性能、低能耗、低成本等诸多独特的优点。



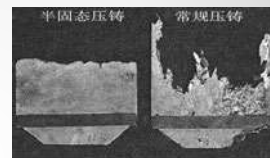
半固态铸造技术

压铸过程与普通压铸过程相似



液态压铸
液态合金填充，凝固过程全部在模具内

半固态压铸
半固态浆料填充，模具外开始凝固，模具内完全凝固



半固态铸造优势！

- ◆形状复杂，尺寸精度高；
- ◆优异的力学性能
- ◆表面质量好
- ◆气密性好
- ◆导热、导电性好

汽车轻量化



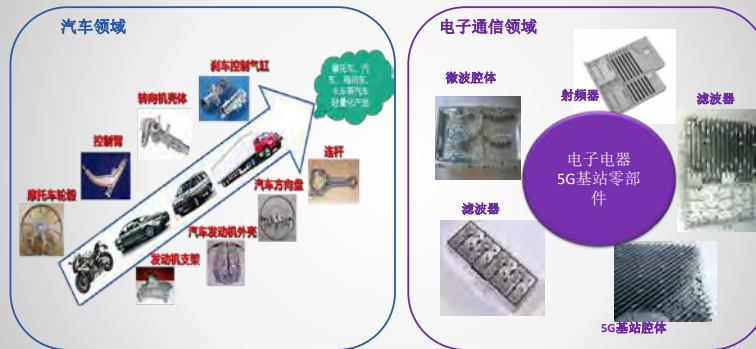
5G基站建设



合金牌号/Alloy Grade	抗拉强度(MPa) Tensile Strength	屈服强度(MPa) Yield Strength	延伸率(%) Elongation	加工形式/Processing Form
A356-T5	372-378	255	10	半固态压铸
A356-T6	221-241	290-317	13-19	半固态压铸
A357-T5	200-207	269-283	9-11	半固态压铸
A357-T6	276-286	338-345	9-11	半固态压铸
A319-T6	310-330	400-410	7-9	半固态压铸
A201-T7	410-420	460-470	5-7	半固态压铸
A356-T4	207	283	10	金属型铸造
6061-T6	275	310	12	锻造

铝合金半固态铸件强度大，可替代普通铸钢件和锻造件！

铝合金半固态产品应用前景



随着双碳时代的到来，汽车轻量化和5G基站建设发展迅速，铝合金半固态产品市场巨大！

半固态铸造国内发展现状

半固态压铸成形技术已被列为国家“十三五”计划重点支持研发的汽车轻量化技术之一，固相半固态技术在2016年开始实现产业化，截止目前，国内仅有5家可批量生产固相半固态铸件的公司。



半固态铸造特点

避免卷气，提高铸件致密性

在流动过程中，半固态金属呈现出有序、可控的宏观流动状态。利用这一特性，可以使金属流体按设计顺序有序充填金属模具型腔，将型腔空气推至型腔末端，最后通过排气槽排出，避免了型腔气体的卷入，减少气孔缺陷，提高铸件的致密性。

减少铸件内部缩孔

与液态金属相比，半固态金属在凝固过程中的体积收缩率较小。在自然凝固的条件下，同等体积的半固态金属产生的缩孔体积要比液态金属少。

减小热裂发生倾向

半固态压铸成形还能有效减少铸件的热裂倾向。热裂产生的根源是合金在凝固过程中产生的内应力，半固态压铸成形技术，消除了枝晶搭接产生的内应力，同时减小合金收缩量，从而减小热裂的发生倾向。

提高铸件气密性

半固态压铸成形技术减少了铸件的气孔缺陷和疏松缺陷，使铸件内部非常均匀、致密，从而大大的提高了铸件的气密性。

可热处理和焊接

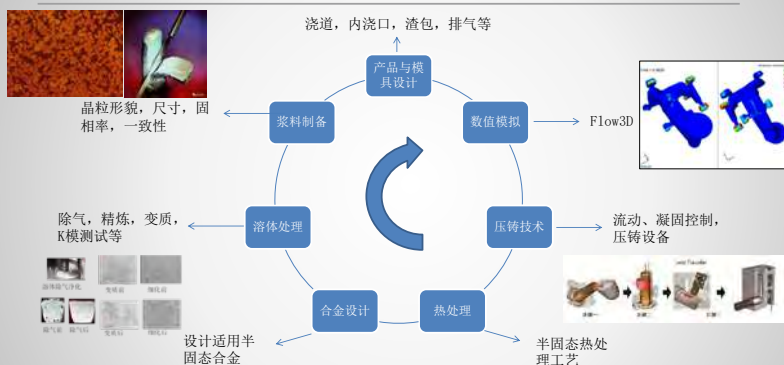
优质的半固态压铸成形件，由于内部没有气孔，铸件可进行高温热处理，从而可进一步提升产能，且铸件具有良好的可焊性。

模具寿命长

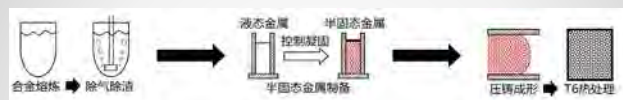
半固态较低的成形温度使得模具热冲击小，延长模具寿命。



半固态铸造核心技术



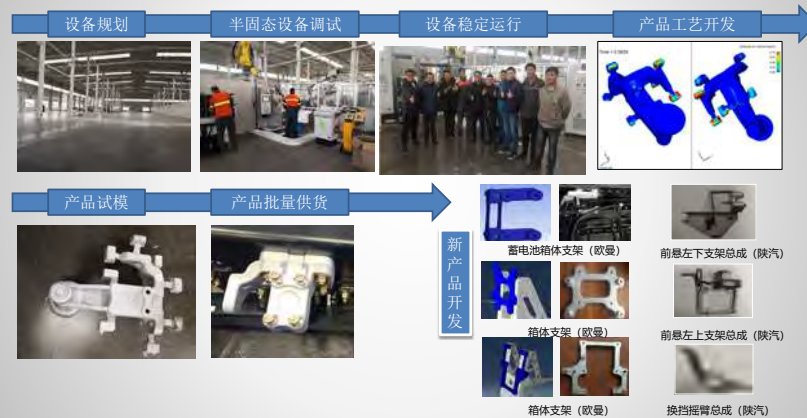
SEED半固体铸造过程



- 1、通过合金熔炼得到铝液，再对铝液进行 气 渣处理。
- 2、通过浇勺从保温炉内将处理后的铝合金熔液舀出，并倒入制浆单元中的筒状坩埚内。
- 3、制浆单元匀速摇晃筒状坩埚内的铝液，同时控制铝液的辐射 温，控制铝液温度 至固液两相区，并生成球状的半固态组织，从而得到半固态成形所 的浆料。
- 4、通过机器人抓手将坩埚及半固态浆料夹至半固态成形设备，通过卸料装置将坩埚内的半固态浆料推入完成半固态成形。
- 5、完成后续的热处理、机加工、表 处理等工序。



半固态技术落地实例-山东工厂建立



生产线

全自动半固态压铸生产线5条，生产效率，且可以较好的控制产品稳定性和一致性。



全自动半固态SEED单元（加拿大STAS进口，目前世界范围内被大家认可的最好的半固态浆料制备设备）



840T压铸机（瑞士布勒进口，目前世界范围内被大家认可的压铸行业内尖设备）



计算机模拟在半固态压铸中的应用

- 由于半固态金属浇注温度低，大大减少了对压室、压铸型腔和压铸机的热冲击，因而可以提高压铸模的使用寿命。
- 半固态金属粘度比液态金属大，内浇口处流速低，因而充填时少飞溅，无湍流，卷入的空气少；由于半固态金属收缩小，所以铸件不易出现疏松、缩孔，铸件质量高。

➤如何在软件中实现呢？

低合金工具钢组织

预备热处理

- ◆ 球化退火
- ◆ 铁素体基体
- ◆ 粒状渗碳体
- ◆ 降低硬度便于切削加工

最终热处理

- ◆ 采用淬火加低温回火
- ◆ 回火马氏体
- ◆ 粒状渗碳体
- ◆ 残余奥氏体

15

参数设置

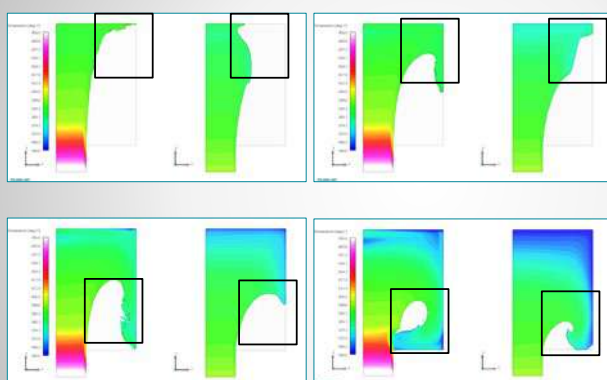
仿真参数及模型

工艺参数	
浇注温度	650° C/600° C
铸件材质	AZ91D
模温	200° C
速度	10 m/s

结果分析

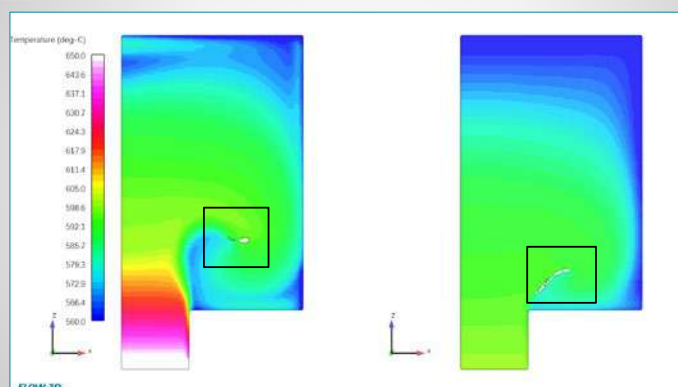


结果分析



- 半固态金属由于黏度更大，少飞溅，无湍流，卷入的空气少。
- 除了浇注温度不同，其它相同条件下，可以看到半固态条件下最后包卷位置偏下，效果更优。

结果分析



参数设置

工艺参数	
浇注温度	600° C
铸件材质	AZ91D
模温	200° C
速度	10 m/s / 5 m/s

结果分析

温度分布



半固态压铸- 10 m/s

温度分布

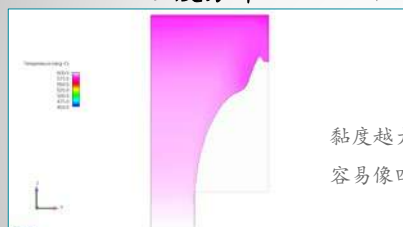


半固态压铸- 5 m/s

结果分析

Flow-3D 真实反映
的瞬态变化流态

温度分布



半固态压铸- 10 m/s

温度分布

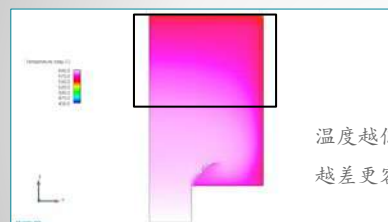


半固态压铸- 5 m/s

黏度越大，流态更
容易像四周扩散

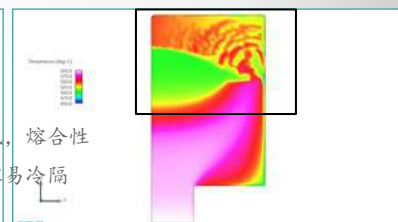
结果分析

温度分布



半固态压铸- 10 m/s

温度分布

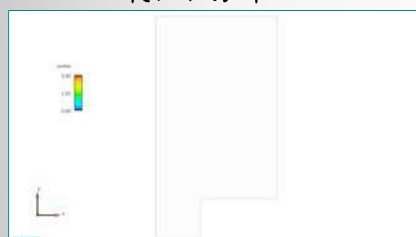


半固态压铸- 5 m/s

温度越低，熔合性
越差更容易冷隔

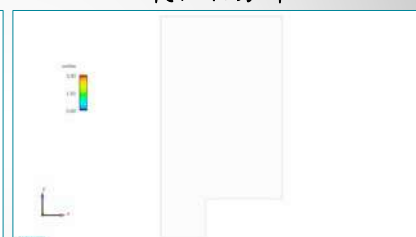
结果分析

氧化物分布



半固态压铸- 10 m/s

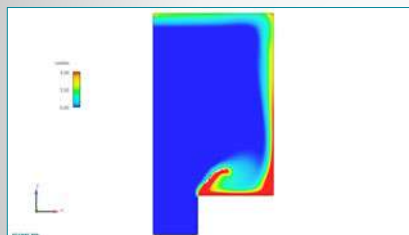
氧化物分布



半固态压铸- 5 m/s

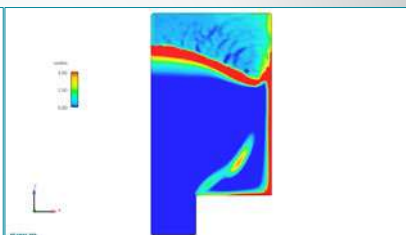
结果分析

氧化物分布



半固态压铸- 10 m/s

氧化物分布

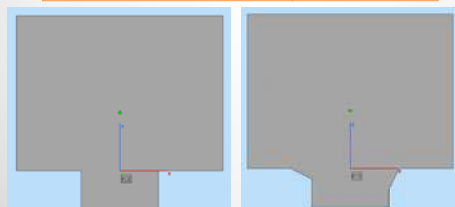


半固态压铸- 5 m/s

参数设置

仿真参数及模型

工艺参数	
浇注温度	600° C
铸件材质	AZ91D
模温	200° C
速度	5 m/s / 8 m/s



结果分析

氧化物分布



半固态压铸- 5 m/s

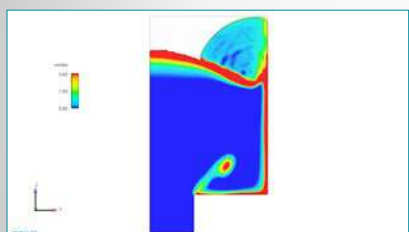
氧化物分布



半固态压铸- 8 m/s

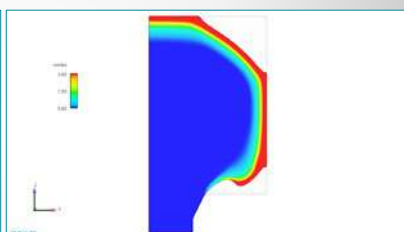
结果分析

氧化物分布



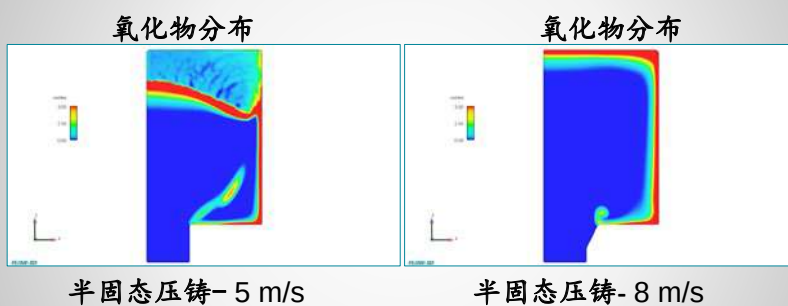
半固态压铸- 5 m/s

氧化物分布



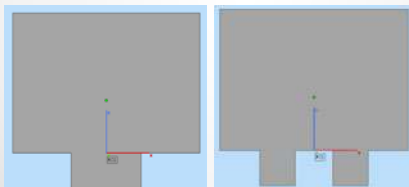
半固态压铸- 8 m/s

结果分析

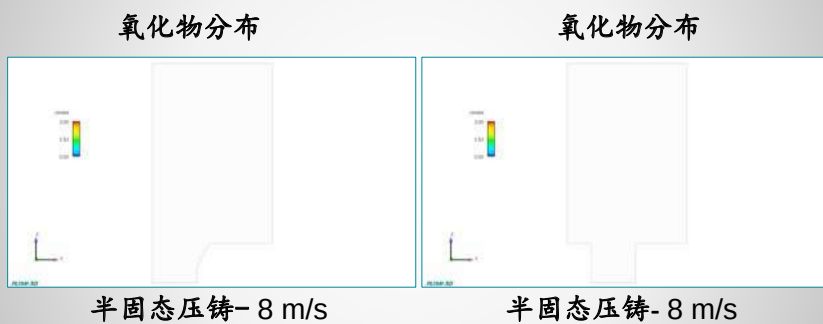


参数设置

工艺参数	
浇注温度	600° C
铸件材质	AZ91D
模温	200° C
速度	8 m/s

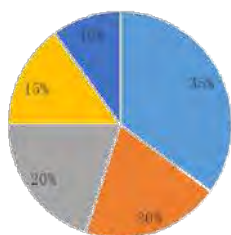


结果分析

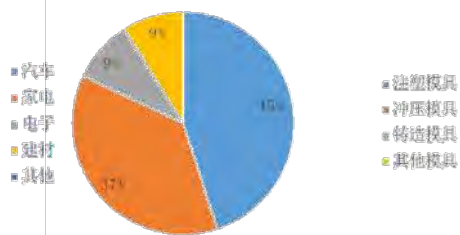


模具钢市场

模具及模具钢的主要下游行业



我国的模具分类销售额占比情况



小结

- 半固态对温度非常敏感，对工艺要求高。这个更需要软件协助我们完成这些相应的测试，以达到最优的目的。
- 计算机模拟可精准流态有助于产品工艺改善，并提供有效的帮助。
- 计算机模拟提供更多参数选择，可对新工艺开发提供有效的帮助。

结束语



我们是未来的开创者

铝合金高固相半固态铸造技术

孙晶莹 博士
总经理



Jingying.sun@wesszin.com



+86 150 4037 2028





活動三

會議紀要：

「嶄新模具及工程產品材料與先進加工技術」研討會

4.3 「陶瓷材料在工裝/ 工程產品製造和加工技術中的應用」分會議

— 由中國廣東工業大學郭偉明副教授主講

近年來，陶瓷材料由傳統陶瓷，即天然礦物為原料，經過粉碎混合、成型、燒結等工藝製成的各種製品，亦稱為「普通陶瓷」。其後逐漸發展成「先進陶瓷」，如採用高度精選或合成的原料，具有精確控制的化學成份，按照便於控制的技術進行製造，並具有優異特性的陶瓷。先進陶瓷可向結構陶瓷和功能陶瓷兩大類方向發展，並取得顯著效果。先進結構陶瓷具有高強度、高硬度、高彈性模量、耐高溫、耐磨損、耐腐蝕、抗氧化、抗熱震等特性，主要用於極端環境下的耐久持續使用。而對於功能陶瓷，指的是有電、磁、光、熱、化學、生物等特性，且具有相互轉化功能，其在新能源、人造牙齒、關節等領域有不可替代的作用。

目前，陶瓷材料的製備分為造粒、成型和燒結三部分。其中造粒要求球體顆粒的流動性好，才能提升後續的成型和燒結效果。造粒方法分為手工造粒和噴霧造粒兩種；隨後成型過程主要是在將陶瓷粉末製備成一定形狀和尺寸，且內部成分均勻和緻密度高的陶瓷胚體。關於成型方法，目前主要流行的方式包括乾壓成型、等靜壓成型、注漿成型等方式。最後陶瓷胚體需要進行高溫（ $>1200^{\circ}\text{C}$ ）環境下進行燒結，才能促進晶粒的長大，並消除氣孔等缺陷，進而獲得緻密成品。關於燒結方法，目前比較常見的有放電等離子體燒結、微波燒結和熱等靜壓燒結。

是次會議報告中，廣東工業大學郭偉明教授分享了最新的氧化鋁增韌氧化鋁陶瓷、塞隆陶瓷、碳化矽陶瓷新材料在高強度模具、耐磨軸承和人工骨關節等領域的最新進展。其中郭教授詳細介紹了其研究團隊在塞隆陶瓷刀具的製備工藝，即通過複合燒結的方法，採用TiN, TiCN, SiC等顆粒增強 α/β -SiAlON陶瓷，使其具備了高硬度（17~20 GPa），高強度（600~1200MPa）和高韌性（5~9）的優勢。令塞隆陶瓷刀具兼具氮化矽刀具的韌性、強度和晶須刀具的耐磨性、高溫抗氧化性，是加工高溫合金的理想刀具。

先进结构陶瓷及其应用

郭伟明
广东工业大学

目录

- 1. 先进结构陶瓷
- 2. 陶瓷刀具

目录

- 1.先进结构陶瓷
- 2.陶瓷刀具

陶瓷

传统陶瓷

天然矿物为原料，经过粉碎混合、成型、烧结等工艺制得的各种制品，也称为“普通陶瓷”。

先进陶瓷

采用高度精选或合成的原料，具有精确控制的化学组成，按照便于控制的技术进行制造，并具有优异特性的陶瓷。可分为**结构陶瓷**和**功能陶瓷**两大类。

先进陶瓷

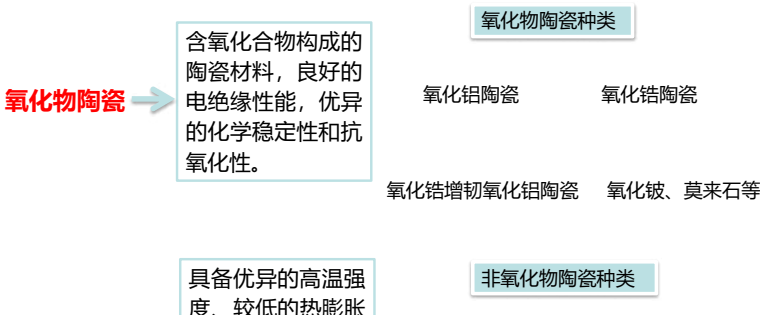
先进结构陶瓷：

作为工程结构材料使用的陶瓷。它具有高强度、高硬度、高弹性模量、耐高温、耐磨损、耐腐蚀、抗氧化、抗热震等特性。

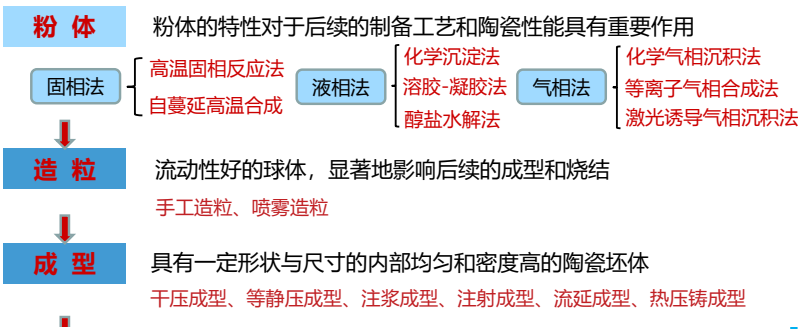
先进功能陶瓷：

指具有电、磁、光、热、化学、

先进结构陶瓷



陶瓷制造



氧化铝陶瓷

以 Al_2O_3 为主晶相。主要特点：①硬度高、耐磨性好；②电绝缘性能好；③化学稳定性好；④成本低；⑤脆性大。

Al_2O_3 陶瓷：

(1) 一般工业用氧化铝陶瓷。为了达到致密化和降低烧结温度，引入形成玻璃液相助烧剂。 $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 体系， $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 体系。
75瓷、85瓷、95瓷

	Al_2O_3
纯度/%	99.99
抗弯强度/MPa	400-600
维氏硬度/GPa	17-20

氧化铝陶瓷应用

氧化铝基板

氧化铝刀具

氧化铝耐磨耐高温配件

氧化锆陶瓷

氧化锆性能

主要由 ZrO_2 组成，具有**高韧性**、**高抗弯强度**和优异的**隔热性**的特点。

氧化锆分类

主要分为两大类：①部分稳定氧化锆陶瓷（PSZ）；②四方相稳定氧化锆陶瓷（TZP）。

氧化锆陶瓷应用

随着5G的商用，智能**手机外壳**：玻璃/塑料/**陶瓷**将成为主要原料。

高硬度、耐磨损、亲肤性、散热性和均热性好、质感好、不屏蔽信号

氧化锆陶瓷应用

关键问题

□高性能氧化锆粉体

□保证良率

□后期加工

氧化锆陶瓷应用

人工关节

全瓷义齿

陶瓷阀门

氧化锆增韧氧化铝(ZTA)陶瓷

氧化铝陶瓷硬度高，但其断裂韧性和强度比较低。通过添加 ZrO_2 增韧补强的 Al_2O_3 陶瓷（ZTA陶瓷）的断裂韧性可达 $10\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，抗弯强度可达 1GPa 。

ZTA陶瓷制备：

ZTA的烧结有**无压烧结**、**热压烧结**和**热等静压烧结**。常用的稳定剂主要有 Y_2O_3 和 CeO_2 。

热压烧结ZTA强度和韧性随 $t\text{-ZrO}_2$ 含量的变化

ZTA陶瓷应用

陶瓷劈刀

碳化硅陶瓷

主要由 SiC 组成，具有**高温性能高**、**热膨胀系数小**、**硬度高**、**抗热震和耐化学腐蚀**等优良特性，**但强度和断裂韧性相对较低**。

在高达 1400°C 的温度下，仍能保持其强度，在高温领域有着广泛的应用。

碳化硅陶瓷

一、反应结合碳化硅

通过Si溶液或Si蒸气与C之间反应生成的 β -SiC来结合原有SiC而形成RBSiC。**近净尺寸成型，成本低，使用温度1400℃以下。**

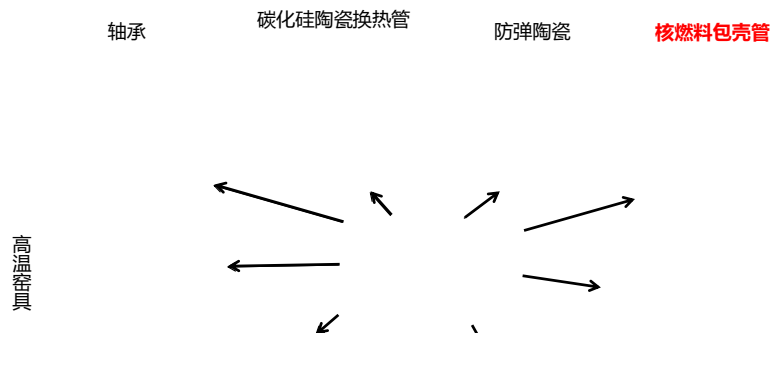
二、热压烧结

常用添加剂有 Al_2O_3 、 RE_2O_3 等，热压温度在2000℃左右，压力为10~40MPa。**致密度和力学性能高，形状简单。**

三、常压烧结

引入少量B、C、Al烧结助剂，在2000~2100℃、无压烧结可达到98%的高致密度。**使用温度可达1600℃，力学性能一般。**

碳化硅陶瓷应用



氮化硅陶瓷

氮化硅(Si_3N_4)陶瓷特性

- ①**强度高，断裂韧性较好。**室温强度可达1000MPa以上；
- ②**热膨胀系数小，有良好的导热性能，**抗热震性很好；
- ③**化学性能稳定，**能经受强烈的放射辐射；
- ④**密度低，**电绝缘性好。

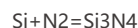
氮化硅陶瓷烧结

氮化硅在1800℃以上会发生分解与蒸发。

Si_3N_4 是强共价键化合物，自扩散系数很低，**难以通过单纯的固相烧结来实现致密化。需要加入一定量的**

氮化硅粉体

(1) 硅粉直接氮化法。工艺较为成熟，生产成本相对较低，粉体中含有较多的 β 相，影响高性能氮化硅陶瓷的制备。



(2) 硅亚胺热解法。氮化硅粉具有极高的 α 相含量，粒径均匀细小，烧结活性优异，适合高性能氮化硅陶瓷的制备。日本UBE公司生产氮化硅粉。

陶瓷散热基板

主要陶瓷基板的性能参数

Performance	AlN	Al ₂ O ₃	Si ₃ N ₄
Density/ (g·cm ⁻³)	3.28	3.90	3.18
Coefficient of thermal expansion/ 10 ⁻⁶ K ⁻¹	4.3	7.4	3.2
Thermal conductivity/ W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	180	25	40~100
Flexural strength/MPa	300~400	300~350	980
Elastic modulus/GPa	2-4	3-4	4-8

陶瓷轴承球

轴承球各材料性能对比表

材料名称	密度(g/cm ³)	维氏硬度(GPa)	韧性(MPa·m ^{1/2})	抗弯强度(MPa)
Si ₃ N ₄	3.20-3.30	14-18	5.0-8.0	600-1000
Al ₂ O ₃	3.95	18-20	3.0-5.0	300-500
ZrO ₂	6.0	12-14	8.0-12.0	950-1200
SiC	3.10	20-24	2.0-4.0	≥450
GCr15轴承钢	7.85	7	25.0	2400

氧化锆与氮化硅轴承球对比

- 氧化锆制备工艺相对简单，成本较低。
- 氧化锆韧性好，有利于轴承的稳定使用。
- 氧化锆白色，用于食品机械行业。
- 氮化硅弹性模量和抗压强度高，利于承受应力。
- 氮化硅热膨胀系数较小，有利于减小轴承对温度变化的敏感性。
- 氮化硅的耐高温、耐腐蚀及优良的化学稳定性，

赛隆陶瓷

赛隆陶瓷（Sialon）与Si₃N₄结构类似，Si-N键被Al-O或Al-N键取代而形成的固溶体。其常温 and 高温化学性能稳定优异，耐磨性能好，热膨胀系数很低，抗热冲击性能好，抗氧化性强。

- α-赛隆陶瓷：由Si₃N₄、AlN和金属离子氧化物反应烧结而成。
- β-赛隆陶瓷：β-Si₃N₄晶格中固溶Al₂O₃形成，化学式可写为Si₆₋₂Al₂O₂N₈₋₂。

α-赛隆陶瓷和β-赛隆陶瓷的性能对比

性能指标	α	β
密度/g·cm ⁻³	3.22	3.25
硬度/GPa	19~24	15~16

其他结构陶瓷

高导热**氮化铝**基板

碳化硼陶瓷零件

氧化镁热电偶保护套管

目录

1.先进结构陶瓷

2.陶瓷刀具

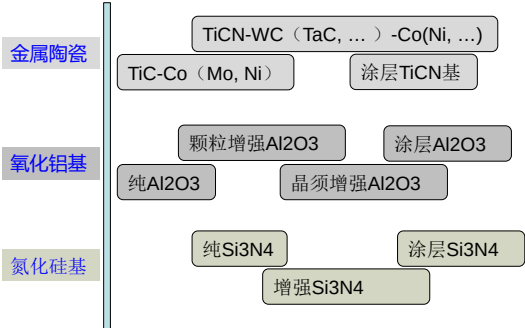
刀具材料发展

- **陶瓷刀具**硬度高，耐磨性好，切削速度快，加工硬质合金刀具不能加工的高硬度材料，实现以车代磨；
- **立方氮化硼刀具**具有更高的硬度和耐磨性，硬度仅次于金刚石，优良的化学稳定性，适合切削高硬度及难加工材料；
- **金刚石刀具**硬度高，导热性和耐磨性好，可在高速切削中获得高加工精度和加工效率。

陶瓷刀具

- **高耐磨性和红硬性**，减少换刀次数，减少刀具磨损而造成的尺寸误差。
- **耐热性和抗高温氧化性好**，在高温下长时间的高速切削，切削速度提高10倍。
- **对冲击和振动比较敏感**，机床必须具有良好的刚性、足够的功率和高的转速。

陶瓷刀具种类与发展



金属陶瓷刀具

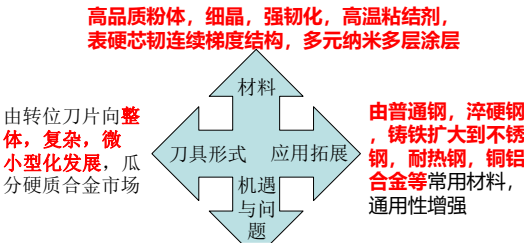
组成：碳、氮化物+金属粘结相
芯环结构：芯部接近硬质相成分，
环部为添加相和粘结相固溶于硬质相形成的复杂固溶体
性能：各组分含量，显微形貌决定

金属陶瓷刀具

- 与硬质合金相比，金属陶瓷刀具具备：
- 长寿命---具有高硬度和高耐磨性
 - 高效率、高精度---高速切削，被加工件具有更好的光洁度
 - 低成本----不含或少含战略性资源W和Co

金属陶瓷刀具在发达国家市场已近占1/5~1/4，正在快速发展，已成
为传统硬质合金刀具的理想替代刀具

金属陶瓷刀具



氧化铝基陶瓷刀具

1. 白瓷刀具

2. 黑瓷刀具

白瓷刀具

组成：氧化铝晶粒（+增强氧化物晶粒）
纯氧化铝由细晶结构组成，但强度韧性低
增强白瓷由第二相氧化锆等弥散强化，强韧性更好
硬度17~20GPa，强度600~1000MPa，韧性3~6

白瓷刀具

刀片，精加工可达1200m/min，粗加工达700m/min
加工效率优于金属陶瓷
使用成本低于PCBN
中等硬度钢，灰铸铁类加工，极佳性价比

黑瓷刀具

组成：氧化铝+非氧化物（TiC，TiCN，WC等）
高硬度增强相的弥散强化，强韧性更好：**硬度20~25GPa，强度800~1200MPa，韧性3~7**

黑瓷刀具

刀片，加工范围涵盖白瓷，扩展到更低硬度合金钢，以及高硬度淬硬钢，冷硬铸铁等
也可用于镍基合金高速连续车削
加工铸铁成本稍高于白瓷
低于PCBN

晶须刀具

组成：氧化铝陶瓷晶粒+碳化硅晶须
碳化硅晶须增加硬度，韧性，热导率
晶须质量，尺寸，及分散，混合等工艺重要影响性能
硬度20~23GPa，韧性5~10

晶须刀具

连续切削主要损坏形式为沟槽磨损，但抗沟槽能力远胜于黑瓷，半切深后刀面磨损量对切削影响很小

高速铣削主要损坏形式为沟槽磨损，剥落，崩刃
微崩刃后新的切削刃继续进行切削，有自锐性
粗铣效率极高

加工范围涵盖白瓷，黑瓷，扩展到
高强度，高温合金等难加工材料。

氮化硅基刀具

组成：氮化硅晶粒（+增强相晶粒）
基体晶粒长棒状自增韧结构
增强相有TiN，TiCN，SiC等
硬度15~17.5GPa，强度800~1500MPa，韧性5~10

氮化硅基刀具

主要损坏形式为后刀面磨粒磨损，粘结磨损，与黑瓷类似，前刀面磨损量对切削影响很小，断续稳定性胜于黑瓷

加工范围基本涵盖白瓷，黑瓷，扩展到中等强度硬度材料，低速范围适用性增强，通用性更好；加工高温合金也可用

断裂韧性和抗热震性能好，具有良好的抗冲击能力

塞隆陶瓷刀具制备

组成： α/β -SiAlON（+增强相），TiN，TiCN，SiC等
结构与性能：类似氮化硅，为氮化硅晶型固溶体，长棒状晶粒自增韧；氮化硅和氧化铝的优点结合；硬度17~20GPa，强度600~1200MPa，韧性5~9

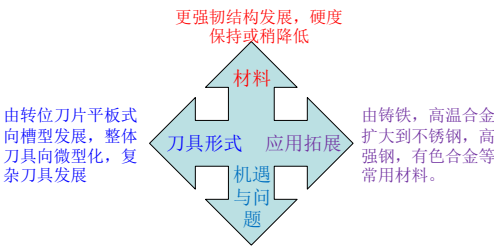
塞隆陶瓷刀具切削性能

切削主要损坏形式为后刀面
粘结磨损，微崩刃，沟槽磨损，抗沟槽能力优于晶须陶瓷

铣削主要为粘结剥落，崩刃
微崩刃后，刃口自锐
粗铣效率及稳定性均高于晶须陶瓷

加工范围涵盖白瓷，黑瓷，晶须陶瓷，以及氮化硅
兼具氮化硅刀具的韧性、强度和晶

塞隆陶瓷刀具发展



其它陶瓷刀具

(1) 氧化锆基陶瓷刀具

主要用于美工刀，厨刀等；近年来使用高硬度氧化锆基铣刀，用于石墨，有色金属等高速铣削；用于超高速牙钻等医疗刀具等。

(2) 硼化钛基刀具

TiB₂-TiN刀具、TiB₂-Al₂O₃刀具等。高温强度优异，硬度高，但热膨胀系数大，断续加工热冲击影响大。可

谢谢大家!

wmguo@gdut.edu.cn



在本刊物 / 活動內(或由項目小組成員)表達的任何意見、研究成果、結論或建議，並不代表香港特別行政區政府、創新科技署或創新及科技基金一般支援計劃評審委員會的觀點。

Any opinions, findings, conclusions or recommendations expressed in this material/event (or by members of the project team) do not reflect the views of the Government of the Hong Kong Special Administrative Region, the Innovation and Technology Commission or the Vetting Committee of the General Support Programme of the Innovation and Technology Fund.