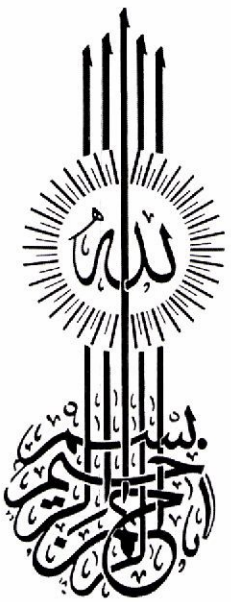

بسم الله الرحمن الرحيم

ميتالورجيا المساحيق

الطريقة والمنتجات

سلسلة آدم هلجر (ADAM HILGER) على أساليب التصنيع والمواد الجديدة

محرر السلسلة

جون وود (JOHN WOOD)

تأليف

جوردن داوسون

ترجمة

د. ماهر حمدي الصاحب

أستاذ مشارك قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة

جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ⓒ جامعة الملك سعود ، ١٤٢٠ هـ (٢٠٠٠م)

هذه ترجمة عربية مصرح بها لكتاب
Powder Metallurgy : The Process and its Products.
by Gordon Dowson .
Copyright©1990, IOP Publishing, Ltd.

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
داوسون ، جوردن
ميتالورجيا المساحيق : الطريقة و المنتجات / تأليف جوردن داوسون ؛ ترجمة ماهر حمدي الصاحب . - الرياض
٢٠٢ ص ، ١٧×٢٤سم
ردمك : ٩-٠٤٢ - ٣٧ - ٩٩٦٠
١ - التعدين الفيزيائي ٢ - المساحيق أ - الصاحب ، ماهر حمدي (مترجم)
ب - العنوان
ديوي ٦٦٩,٩ ٢٠/٢٨٨٩

رقم الإيداع : ٢٨٨٩ / ٢٠
ردمك : ٩-٠٤٢ - ٣٧ - ٩٩٦٠

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة وقد وافق المجلس على نشره - بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الثاني والعشرين للعام الدراسي ١٤١٧/١٤١٨هـ المعقود بتاريخ ٢٠/٢/١٤١٨هـ الموافق ٢٥/٦/١٩٩٧م.

مطابع جامعة الملك سعود ، ١٤٢٠ هـ

مقدمة المترجم

يسرني أن أضع هذا الكتاب «ميتالورجيا المساحيق . الطريقة والمنتجات» لمؤلفه جوردن داوسون، بين يدي القارئ العزيز منقولاً من اللغة الإنجليزية إلى اللغة العربية متضمناً منهاجاً أساسياً متكاملاً لمادة ميتالورجيا المساحيق. وتأتي ترجمة هذا الكتاب ضمن برنامج تشجيع التعريب بجامعة الملك سعود من خلال مركز الترجمة. وهو العمل الثاني في التعاون مع هذا المركز الجليل، الذي أسجل له وللقائمين عليه التقدير والشكر، على الموافقة الكريمة على قيامي بهذا العمل وتولي الجامعة مهمة طبعه وتوزيعه.

يعالج هذا الكتاب بصورة عملية وعلمية موضوع ميتالورجيا المساحيق واستخدامه في الصناعة حيث احتوى على أحدث معلومات هذه التقنية. وقد ركز الكتاب على الطرق والأساليب المستخدمة في تصنيع المساحيق ومنتجاتها بطريقة منطقية مبيناً المزايا الاقتصادية في هذه الصناعة الواسعة الانتشار. ويمتاز هذا الكتاب بغزارة مادته العلمية وتخصصها وبحسن تبويبه وسهولة أسلوبه بطرح المادة العلمية بحيث يعتبر من الكتب القيمة والمفيدة خاصة فيما يتعلق بالربط بين النظرية والتطبيق في هذا المجال. ويقع هذا الكتاب في عشرة فصول تتضمن شرح مبادئ وأساسيات ميتالورجيا المساحيق بسهولة ويسر ويربط بينها وبين التطبيقات العملية، كما يتضمن عدداً كبيراً من الأمثلة الصناعية والنماذج الهندسية والصور مع وصف واف لها مما يجعلها من أبرز سماته العملية في هذا المضمار. وليس ثمة جدال في أن الدارسين

بوجه عام سوف يستفيدون من هذا المرجع بعد أن تم نقله إلى العربية خدمة للمهندسين والفنيين والباحثين وكسباً للمكتبة العربية، وآمل آن يكون قد سد شاغراً في هذا الموضوع.

في ترجمتي لهذا الكتاب حاولت جهدي أن أجمع بين أمانة النقل عن المؤلف وسلامة الصياغة العربية وسلاسة الأسلوب اللغوي. وقد استعملت من المصطلحات الفنية ماهو مألوف ومستساغ ما أمكن. وقد توخيت الالتزام بضوابط الترجمة والقواعد التي أعدها مركز الترجمة بجامعة الملك سعود ما أمكن من حيث المبادئ الأساسية في اختيار المصطلحات العلمية ووضعها وذلك حسب قرارات مجامع اللغة العربية وخصوصاً مجمع اللغة العربية بالقاهرة. وتوخياً لاستكمال الفائدة فقد أوردت بعد العنوان العربي لكل بند النص الإنجليزي الوارد في الكتاب الأصلي. كما انني أوردت بعد كل مصطلح فني عربي وكذلك بعد أسماء المؤلفين التي ترد لأول مرة في المتن الأصل الإنجليزي. ولقد أبقيت المعادلات والرموز بالحروف اللاتينية وذيلت الكتاب بثبت لأهم المصطلحات العلمية التي وردت في الكتاب لكي تعين القارئ على الوصول للمعنى بأسرع وقت ممكن.

آمل أن يجد القارئ الفائدة المرجوة من مادة هذا الكتاب، وأن تكون اللغة العربية عوناً له على زيادة هذه الفائدة وتكريسها. وإني لأتمنى أن أكون قد أديت بهذا العمل المتواضع بعضاً من واجبي نحو الدارسين والفنيين والباحثين والقراء ونحو اللغة العربية التي حملت وماتزال راية الفكر ومشعل الحضارة.

المترجم

مقدمة محرر السلسلة

أضحى جلياً بصورة واسعة الآن أن المقررات في الهندسة وعلم المواد في الكليات والمعاهد التقنية والجامعات يجب أن ينظر إليها ضمن السياق العام للتصنيع . وخلافاً للكلام المداهن الذي كان يبديه طلبة الهندسة «للمواد» والذي ينظر إليه حالياً على أنه أساس لابد منه في تدريب الأشخاص الذين يقع على عواتقهم أخذ القرارات في التصميم . ومايزال هناك حاجة إلى البحث والتدريس في الأسس الفيزيائية والكيميائية للمواد (والتي يطلق عليها علم المواد والذي يُغطى في الفيزياء والكيمياء وعلوم الأحياء بالإضافة إلى علم المعادن وأقسام علم المواد) حيث تكمن ثغرة حقيقية عند الأخذ بالاعتبار تصميم المواد والهندسة . وتهدف هذه السلسلة إلى تقديم كتب تحوي آخر ماتوصل إليه العلم في هذا المجال والتي توضح العلاقة البينية بين تصنيع المواد والتصميم . ولم يقصد بهذه الكتب أن تكون رسائل أو بحوث على المبادئ في المواد ولكنها صممت للطلبة الذين يقدرون الحاجة إلى تقدير آداء «المواد» بصورة كميّة بدلالة العوامل الأساسية لها بقصد استخدامها في الحالات الحقيقية والتطبيقات .

ويهتم المعلمون في الجامعات جداً ، بأن الخريجين في التصنيع والعلوم المرتبطة بها يجب أن يكونوا على دراية تامة بالتبعات ومايترتب على المواد ، وأساليب التصنيع ومعايير التصميم في الهدف النهائي . ويجدر التنويه هنا بأن هذا المجال قد غطي جيداً في العديد من الدول الصناعية باستخدا م فرُقْ أو مجموعات العمل في أسلوب التصميم . وقد أوضحت مسوحات حديثة أجَريت في المملكة المتحدة ، في صناعات

كثيرة ، بأن هناك نقصًا مروعًا في المعرفة في المواد وأساليب التصنيع بين مهندسي التصميم . ويقع اللوم الآن على هذه الحالة لكثير من النقص في أفضلية المنافسة في تطبيق أساسيات العلوم في المشكلات الحياتية الحقيقية . وقد طلب من المؤلفين في هذه السلسلة معالجة كل من المواد وأساليب التصنيع ضمن هذا السياق . وأريد بهذه الكتب أن تكون مقرراتً ذات اهتمام لطلبة الهندسة ومهندسي التصنيع على وجه الخصوص . وقد كتبت أساساً من قبل أشخاص لهم خبرة عظيمة بالجانب الصناعي في الهندسة . ولاتتطلب مستويات عالية من المهارات الرياضية . إضافة إلى ذلك فقد توخي أن تكون ذات فائدة للمهندسين التطبيقيين الذين هم في حاجة إلى التآلف مع مجال جديد أو مادة جديدة في سياق له ارتباط بهم . ويقاس نجاح هذه السلسلة بالقدر والمدى الذي تؤثر فيه في مهندسي التصميم والإنتاج لعمل منتجات جديدة بطريقة مبتكرة .

جون وود

شكر وتقدير
Acknowledgments

يود المؤلف أن يسدي الشكر إلى العديد من مصنعي المركبات الملبّدة الذين شاركوا في تقديم هذه البنود لتضمينها في الجزء الخاص بالأمثلة والتوضيحات في المتن. وأيضاً إلى مصنعي المساحيق هوجنز آي بي Hoganas AB ، نوردتشي افنيري Norddeutsche Affinerie وإلى شركة منتجات المعادن اس سي ام SCM Metal Products لتوفيرها الصور والمعلومات التقنية.

وبسرور خاص أسجل تقديري للمساعدة العظيمة جداً والتشجيع الذي تلقيته من موظفي تحرير تقرير مسحوق المعادن Metal Powder Report وخاصة بي وليامز B Williams.

المؤلف

المحتويات
Contents

الصفحة

مقدمة المترجم ..... هـ
مقدمة محرر السلسلة ..... ز
شكر وتقدير ..... ط
تمهيد ..... م
الفصل الأول : لماذا تصنع الأشياء من المساحيق ؟ ١
الفصل الثاني : صناعة المساحيق ١١
الفصل الثالث : توصيف خواص المساحيق وخلطها ٢٥
الفصل الرابع : التدميج ٣٩
الفصل الخامس : التلبيد ٥٥
الفصل السادس : عمليات مابعد التلبيد ٧١
الفصل السابع : التركيبات والخواص الميكانيكية وطرق الاختبار ٨١
الفصل الثامن : مركبات ميتالورجيا المساحيق المسامية ١٠١
الفصل التاسع : منتجات خاصة وتركيبات أخرى ١١١
الفصل العاشر : منتجات ميتالورجيا المساحيق المشكلة واختصاصات أخرى .. ١١٩
- الأمثلة ١٣٩

المراجع ١٧٥
ثبت المصطلحات العلمية
اولاً : عربي - إنجليزي ١٧٧
ثانيا : إنجليزي - عربي ١٨٧
كشاف الموضوعات ١٩٧

تمهيد
Introduction

إن ميتالورجيا المساحيق التي يرمز إليها عموماً بأحرفها الأولى في اللغة الإنجليزية بـ PM أو P/M يمكن أن تعرّف على أنها إنتاج لأشياء صناعية مفيدة من مساحيق المعادن دون المرور بحالة الانصهار. ولذلك ينبغي أن تشتمل على الأقل على شيء من الاعتبارات الخاصة بالأساليب التي يتم بواسطتها إنتاج المساحيق، وذلك لأن سلوك المساحيق في مراحل التقوية consolidation اللاحقة يمكن أن تكون معتمدة بصورة مميزة على خصائص المساحيق والتي تكون بدورها متأثرة بإسلوب الإنتاج المستخدم.

وعلى هذا فإن بإمكاننا التمييز بين خطوتين مهمتين في ميتالورجيا المساحيق:

١ - إنتاج المسحوق.

٢ - تقويته.

وقد تمت معالجة هذين الموضوعين في الفصول اللاحقة، ولكن سيكون من المفيد في هذه المرحلة إعطاء ملخص لتسلسل العمليات التي تلي صناعة المساحيق في الشكل المناسب.

وعلى هذا فإن الخطوات الأساسية تنطوي على مناح ثلاثة هي:

١ - مزج أو خلط المساحيق، والتي تضم عادة مادة عضوية لتعمل كمزيِّت أثناء القيام بالخطوة التالية، ولتكون بمثابة اختبار للتأكد من الانسجام مع المقاييس المعيارية المقررة سلفاً.

٢ - وضع خليط المساحيق في قالب تشكيل mould أو قالب صوغ die مناسب وتدميجه وتقويته عن طريق الضغط ليصبح على شكل يشار إليه على أنه شيء «مدمّج»

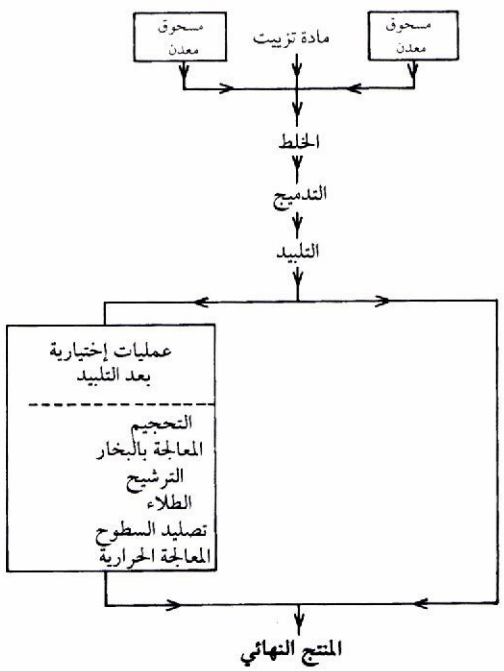
compact على شاكلة حبوب الأسبرين. ويجب أن تكون الأشياء المدمّجة ذات قوة كافية لتتيح تناولها ونقلها دون إحداث تكسير أو تفتيت، ولكنها ليست بحال من الأحوال قوية بشكل يناسب أيّا من التطبيقات الهندسية.

٣ - تسخين هذه المدمّجات، في جو واق عموماً لجعل الحبيبات الدقيقة تلتحم مع بعضها مولدة بذلك القوة المطلوبة للاستعمال. ويدعى أسلوب التسخين هذا، «أي التدميج بالضغط والحرارة» بالتلبيد sintering. ولذلك فإنه يشار إلى المركبات التي تصنع بصورة منفردة بواسطة ميتالورجيا المساحيق على أنها «القطع الملبدة sintered parts" أو «المركبات الملبدة» sintered components. وهناك تعبير آخر شائع الاستخدام وهو «قطع ميتالورجيا المساحيق» PM parts. وهذه المصطلحات الثلاثة مستخدمة دون تمييز في مطبوعات ميتالورجيا المساحيق.

وتكون درجة حرارة التلبيد عادة أدنى، بل وفي كثير من الحالات أدنى بكثير من نقطة انصهار المعدن، كما يحدث التحام الحبيبات الدقيقه بواسطة الانتشار الذري، ومن هنا جاء المصطلح «التلبيد لحالة الصلابة» solid state sintering وعلى أية حال، فإنه في بعض الحالات المهمة حيث يكون المعدن المعنى عبارة عن سبيكة أو خليط معدني له مدى انصهار، (التي تقابل نقطة الانصهار في المعادن)، فإن التلبيد قد يتم القيام به عند درجة حرارة كافية لتوليد كمية صغيرة من السائل، والتي كما يكون متوقعاً، تساعد بصورة واضحة جلية في عملية الانتشار diffusion process. وعندئذ يشار إلى هذا الأسلوب على أنه «تلبيد حالة السيولة» liquid phase sintering. وبما أن جوهر أسلوب ميتالورجيا المساحيق هو - في معظم الحالات - إنتاج مواد لها الشكل النهائي المطلوب بصورة رئيسية، فإنه تبعاً لذلك يمكن التسامح باستخدام كميات قليلة فقط من مرحلة السيولة وإلا فإن الشيء المراد عمله يكون عرضة للالتواء أو لفقد شكله وتشوهه. وأحد الأمثلة النموذجية للتلبيد بحالة السيولة هو من الاستخدام الواسع الانتشار لخليط مسحوق الحديد مع نسبة مئوية صغيرة من مسحوق النحاس. حيث يتم تلبيد مثل هذه المخلوطات عند حوالي ١١٢٠° مئوية، أي حوالي ٤٠° فوق درجة انصهار النحاس.

وفي بعض الحالات الخاصة يتم الجمع بين الخطوتين (٢) ، (٣)، أي أن يكون خليط المسحوق خاضعاً للضغط ولدرجة حرارة مرتفعة في وقت واحد ، وقد أشير إلى هذا الأسلوب على أنه «الكبس على الساخن» hot pressing أو أسلوب «التلبيد بالضغط» pressure sintering .

وفي كثير من الحالات يخضع المكوّن بعد عملية التلبيد لعمليات إضافية هي : إعادة الضغط لتصحيح الأبعاد [وهي عملية تزيد أيضا القوة] ، ومعالجة السطوح مثل حالة تقسية السطوح الخارجية (التصفيح) case hardening ، والصقل أو التنعيم بالدوران لإزالة الحواف الخشنة barrelling . . . إلخ . وهذه العمليات التي تلي التلبيد ستكون الموضوع الخاص بفصل مستقل . أما مختلف مراحل أسلوب ميتالورجيا المساحيق ، بما في ذلك التي لم يسبق ذكرها فقد تم توضيحها بصورة بيانية تخطيطية في الشكل رقم (١) .



الشكل رقم (١) تسلسل العمليات في إنتاج المدمجات بالتلبيد.

التطور التاريخي لميتالورجيا المساحيق

The Historical Development of PM

بالرجوع تاريخياً إلى الوراء فإن أصول ميتالورجيا المساحيق يمكن إرجاعها إلى العصور الغابرة عندما كانت قدرة الإنسان على القيام بصهر المعادن - مثل النحاس والحديد والفضة والذهب - محدودة. فبدلاً من الصهر كان المهنيون يقومون بتدميج وتلبيد وتصليد شذور المعادن النفيسة التي تكون موجودة بصورة طبيعية وكذلك حلقات nuggets أو تركيبات إسفنجية من المعادن التي يمكن إنتاجها عن طريق اختزال خاماتها عند درجات الحرارة المنخفضة او بالطرق عند درجة الحرارة العادية أو المرتفعة. وهذه العملية مع العديد من التعديلات كانت تستخدم في الحديد حتى القرن الحالي، والعديد من الأمثلة الجلية على الحديد المطاوع مازالت موجودة. وفي الأونة الأخيرة فإن هذا الأسلوب قد تدنى مدلوله نوعاً ما ليشير إلى أشياء يفترض فيها أن تكون تزيينية تصنع من الحديد المطاوع.

أما الازدهار التالي لميتالورجيا المساحيق، فقد تبع إدخال البلاتين الذي جلبه الفاتحون من أمريكا الجنوبية. ولم يكن بالمستطاع صهر هذا المعدن، ولكن في الجزء الأول من القرن التاسع عشر قام العاملون في إنجلترا وإسبانيا وروسيا بتطوير أساليب مماثلة من أجل إنتاج البلاتين المطاوع - للاستخدام على نطاق واسع جداً كبواتق في المختبرات الكيماوية - وذلك عن طريق ما كان يعرف بصورة أساسية بأنه أسلوب ميتالورجيا المساحيق الحديث. وكان قد أشير إلى «وولاستون» Wollaston على أنه أبو ميتالورجيا المساحيق.

وكان التطور التالي بواسطة معدن آخر ذي نقطة انصهار أعلى - وهو التنجستين tungsten. وكان هذا المعدن، ولا يزال ذا أهمية للاستخدام كفتيلة متوهجة لمصابيح الإنارة الكهربائية. والتي كانت حتى ذلك الحين تصنع من الكربون. الذي كان بطبيعة الحال بالغ القصافة. وعلى خلاف الأمثلة التي اقتبست آنفاً والمتعلقة بمنتجات ميتالورجيا المساحيق "PM" فإن «التنجستين» المطاوع مازال يصنع من المساحيق. وقد أشير إليه بصورة أكثر توسعاً في الفصل التالي.

وهناك منتج هام ثان وهو الذي لانزال نستخدمه كثيراً جداً، مثل فتائل أسلاك التنجستين ، وكان طليعياً ورائداً في الولايات المتحدة الأمريكية ، ألا وهو المحمل الانزلاقي المسامي porous bearing . فبخلاف المنتجات السابقة التي كانت تصنع من المساحيق لأن المعدن المعني لايمكن تطويره ومعالجته فوراً بواسطة الصهر ، فإن المحامل المسامية تصنع بواسطة ميتالورجيا المساحيق بفضل المزايا الخاصة التي تنجم عن هذا الأسلوب . والأكثرية العظمى من هذه المركبات هي من البرونز (١٠٪ نحاس و١٠٪ قصدير) والذي يمكن صهره بكل يسر وسهولة ، وفي الحقيقة ، فإن البرونز المصبوب مستخدم بصورة عامة كمادة «حاملة» ، ومع هذا ، فإن المحامل عندما تكون مصنوعة بواسطة ميتالورجيا المساحيق يمكن عندئذ ترتيبها بحيث إن كمية كبيرة من المسامية أو النفاذية المترابطة تبقى موجودة وإذا أستخرج الغاز وتم سحبه من المسام وغمرت الأجزاء في زيت التزليق «التشحيم» ، فإن المسام تكون مملوءة بالزيت . وتستخدم مثل هذه الأجزاء كمحامل على مدى واسع في الالآت الصغيرة الدورانية و الترددية ، كما أنها في أفضل الحالات لاتتطلب المزيد من زيت التزليق أثناء العمر المقرر للمعدات . متى قمت آخر مرة بتزييت مكنستك الكهربائية؟ إن مثل هذه الأجزاء المفعمة بالزيت يشار إليها على اختلاف أنواعها على أنها ذاتية التزييت أو على أنها «المحامل المحتفظة بالزيت» . ويكون حجم الزيت المحتجز عموماً مابين ٢٠ و ٣٥٪ من الحجم الإجمالي .

وفي الوقت نفسه تقريباً ، أي بعد وقت قصير من الحرب العالمية الأولى ظهر لأول مرة إلى حيز الوجود منتج آخر مهم من منتجات أسلوب ميتالورجيا المساحيق . ففي عام ١٩٢٥م ، منح شروتر Shroter من شركة أف كروب الألمانية F.Krupp براءة الاختراع الخاصة بأسلوب ومنتج مؤلف من ذرات كاربيد التنجستين المتماسك بواسطة «أسمنت» مؤلف من الكوبالت cobalt المعدني . وكانت هذه الماده تستخدم أصلاً على شكل قوالب لسحب الأسلاك من التنجستين ، على أنها بديل عن قوالب السحب الماسية . ومن هنا جاء الاسم التجاري «ويديا» "Widia" المشتقة من العبارة الألمانية «وي ديامنت» German Wie Diamant (شبيه الماس) . ووجد ، تبعاً لذلك أن هذا « الكاربيد المسمنت» cemented carbide أو كما يدعى الآن « المعدن الصلب» Hardmetal ، هو في غاية الفائدة والأهمية أيضا كمادة لأدوات القطع ، كما أن المهندسين على تمام المعرفة

بمصطلح «عدد القطع الكاربيدية» carbide tools . أما حالات الروابط الأخرى غير الكوبالت ، والذي هو باهظ الثمن ويأتي بصورة رئيسية من أماكن يطلق عليها سياسياً الأقاليم غير المستقرة ، فقد تم بحثها وتحليلها بصورة مكثفة جداً ولكن ، حتى الآن ، وجد أن لها تطبيقات محدودة فقط . وعلى أية حال ، فإن كثيراً من البدائل والحبيبات الصلبة الإضافية وجد أنها تعطي خصائص ومزايا محسنة . وتشمل هذه البدائل كاربيدات معادن أخرى - مثل التيتانيوم والتانتاليوم والنيوبيوم . . . إلخ - وكذلك النتريدات والبوريدات . وعلى هذا فإن المناقشة المفصلة للكاربيدات المسمنتة وما شابهها هي خارج نطاق هذا الكتاب . ولكن قصر وإيجاز هذه الفقرة ينبغي أن لا يسمح له بإخفاء الحقيقة القائلة بأن صناعة المعادن الصلبة قد حققت الآن مستوى من المبيعات أكثر بكثير جداً من صناعة ميتالورجيا المساحيق المتبقية برمتها .

المركبات الملبّدة

Sintered Components

لم يتم تطوير المنتجات التي نتناولها بصورة رئيسية في هذا الكتاب والتي يشير إليها المصطلح «الأجزاء الملبدة» على نطاق تجاري ، إلا بعد الحرب العالمية الثانية . وعلى خلاف منتجات ميتالورجيا المساحيق التي تناولناها آنفاً ، والتي لسبب أو لآخر كان أسلوب ميتالورجيا المساحيق هو الأسلوب الصناعي العملي الوحيد لها ، حيث كان التطور الذي حدث بعد عام ١٩٤٠م لمركبات كان بالإمكان صنعها تقريباً بصورة فورية عن طريق الأساليب التقليدية - مثل الصب casting ، والحدادة (والتشكيل بالحرارة والتطريق) forging ، والتشكيل بالختم والكبس stamping ، أو التشغيل من القضبان المتوافرة machining . وكان التبرير لعملها من المساحيق هو بصورة حاسمة تقريباً مسألة التكلفة . وعلى هذا فإن الرجوع إلى أمثلة مركبات عصرنا الحاضر الموضحة في نهاية الكتاب تبين أنه حتى الآن وفي معظم الحالات أن الاقتصاد في التكلفة هو الميزة الرئيسة التي يدّعى بها لتبرير صنع هذه الأجزاء من المساحيق . ومع هذا ، فإنه في عدد من الحالات ، كان الأداء المحسن للمركبات مبرراً لهذا الادعاء ، فعلى سبيل المثال نجد أن المثال رقم ٣١ ، والذي هو عبارة عن قالب للقوارير الزجاجية والمثال

رقم ٣٥ والذي هو عبارة عن قالب تسنين من صلب عالي السرعة ، تقدم نماذج وأمثلة يعطي فيها أسلوب ميتالورجيا المساحيق منتجات أفضل وأرخص . وعلى هذا فإن مسألة التكلفة المهمة قد تم تناولها واستقصاؤها بشيء من التفصيل في الفصل التالي . وعلى أية حال فإن المنتج الذي يمكن أن يقال عنه بأنه هو الذي أطلق زناد التطور له مايبرره في أماكن أخرى . فيوجد لدى أوروبا الغربية رواسب من خام النحاس محدودة جداً كما أن نقص النحاس فيما يتعلق بأطواق القذائف المدفعية أدى إلى البحث عن بدائل ممكنة . فالحديد الصلب ليس مناسباً بسبب صلابته ، ولكن البحث أثبت بأن الحديد الملبّد – والذي هو مسامي تبعاً لذلك – كان حسن الأداء بصورة مرضية .

وبالرغم من هذا النجاح فإن خطوات ميتالورجيا المساحيق الأولى كانت مترددة جداً ، ففي أحد الاجتماعات التي عقدت في لندن ذهب أحد الخبراء إلى حد التشكيك فيما إذا كانت الأجزاء الملبّدة يمكن استخدامها إطلاقاً في تطبيقات المحامل المعرضة للأحمال . وقد أظهرت التطورات اللاحقة كم كانت هذه الأحكام بعيدة عن الهدف . ففي غضون العقود الأربعة اللاحقة أدت التحسينات في النوعية والمكونات للمساحيق المتاحة ، إلى تطوير أساليب تدميج أفضل ، وتصميم أدوات تدميج محسنة وأفران تلبيد وأجواء أفران أفضل بالإضافة إلى مجموعة كبيرة من معالجات مرحلة مابعد التلبيد post-sintering ، أدت هذه كلها إلى القبول العام للأجزاء الملبدة كبديل عن الأجزاء المصنوعة بأساليب أخرى ، ليس فقط بسبب تدني التكلفة ، بل وفي كثير من الحالات لأنها توفر خصائص في المنتجات النهائية أفضل من تلك التي يمكن الحصول عليها بالأساليب التقليدية وهذه التطورات هي موضوع فصل لاحق .

وسيكون من الأهمية بمكان في هذه المرحلة أن نلقي نظرة على نوع الأجزاء التي نتحدث عنها ، وأن نجد تطبيقات لها . فإذا ماتناولنا المسألة الأخيرة أولاً ، فإن دليلاً دقيقاً تماماً للسوق نجده واضحاً في الشكل رقم (٢) والذي يتضح منه أن السيارات هي أكبر المستهلكين بصورة منفردة ، للأجزاء الملبّدة . وقد بذلت ولاتزال تبذل مجهودات هائلة في سبيل تطوير أسواق أخرى وتقليل اعتماد صناعة ميتالورجيا المساحيق على صناعة السيارات ، وقد لاقت هذه الجهود نجاحاً شديدا ، إلا أنه في الوقت الحاضر فإن ازدهار صناعة ميتالورجيا المساحيق مرتبط بصورة لامفر منها بصناعة

السيارات . ويوضح الشكل رقم (٣) نخبة صغيرة جدا من الأشياء الموجودة في الخدمة في الوقت الراهن ، كما يوضح الشكل رقم (٤) بعض الأجزاء المستخدمة في تطبيقين آخرين ، وهذه تقدم جواباً على السؤال الأول - الذي يقول مانوع الأجزاء التي تصنع بإسلوب ميتالورجيا المساحيق PM ؟ ولكن محاولة ذكر وجدولة كل هذه الأجزاء ستكون مهمة مستحيلة ، حيث إن هناك جهات صانعة لديها مخزون من أدوات الكبس ، يصل عددها إلى ١٠ر٠٠٠ بالرغم من أنها ليست جميعها مستخدمة في وقت واحد كما أنه توجد هناك شركة واحدة تقدم أجزاء جديدة بمعدل أعلى من مئة أخرى في السنة الواحدة .

ولأسباب ستظهر في فصل لاحق ، فإن أجزاء ميتالورجيا المساحيق هي عادة ماتكون صغيرة تماماً . ففي إحدى الشركات ، من المعروف كحالة استثنائية أن معدل وزن الأجزاء المصنوعة هو من الفئة التي تزن ١٠ جم وبالرغم من أن هذه عبارة عن حالة استثنائية ، إلا أن الأكثرية العظمى من الأجزاء الملبّدة تزن أقل من ١ كجم . وتبين الأمثلة جزءاً واحداً فقط يزن أكثر من ١ كجم والجزء المعين ، المثال رقم ٣٤ ، هو حالة خاصة ، وهي عبارة عن جسم صمام من الزركونيوم ، وليس جزءاً من هيكل تشغيل الآلة ، كما يجب ملاحظة أن أسلوب التدميج تحت ضغوط متماثلة من جميع الجهات المستخدم iso-static compaction قد أزال بصورة كبيرة قيود الحجم (انظر الفصل الرابع) . ومع أنه قد أخذت في الظهور أجزاء متزايدة الحجم - وأكبرها في العالم حتى الآن وهي تزن حوالي ٤ كجم - إلا أنه ، كما سنوضح ذلك فيما بعد ، فإن هناك قيوداً فنية واقتصادية قاسية على حجم القطعة التي يمكن إنتاجها مباشرة عن طريق الضغط والتلبيد . أما فيما يتعلق بالشكل ، فإن الأمثلة تبين أن التنوع هائل جداً ، فبعض الأجزاء والقطع تبدو وكأنها على شكل هندسي في منتهى البساطة بينما نجد من ناحية أخرى أشكالا بالغة التعقيد . وعلى هذا فإن أسلوب ميتالورجيا المساحيق مناسب بصورة خاصة للإنتاج الاقتصادي للأشكال المعقدة لأن من بين مزاياه ليس فقط القدرة على إنتاج الأشكال المطلوبة والأبعاد فحسب ، ولكن أيضا بدون الرجوع إلى المكننة . وقد تم اقتباس كثير من الأمثلة التي يتضح فيها إزالة أوتقليل كمية المكننة . كما هو واضح في الأمثلة أرقام ٤و٢٢ و ٢٩ . وينطبق هذا على المركبات المسننة ، بصورة خاصة ، ذات العلاقة الوثيقة في هذا المجال .

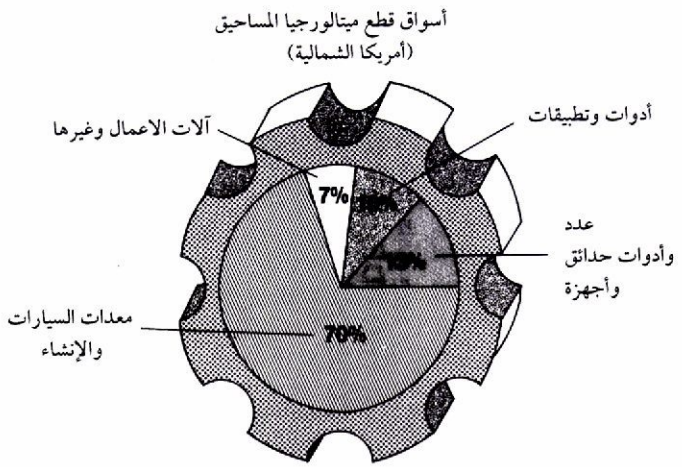
وهناك قيود على الأشكال التي يمكن إنتاجها ، متعلقة بصورة رئيسية بالمتطلبات التي تقول بأن الشيء المدمج أو الملبدّ يجب أن يخرج قطعة واحدة من قالب الصوغ ، ولكن طالما أن هذا الأمر مأخوذ في الاعتبار في مرحلة التصميم فإنه ليس بالعقبة التي لايمكن التغلب عليها . وهذه الناحية ، بالإضافة إلى بعض الحيل المتاحة من أجل التغلب على هذه الحدود والقيود ، قد تمت تغطيتها في الفصول اللاحقة .

كل ماذكر آنفاً يشير بصورة رئيسة الى ما يطلق عليه تعبير الأجزاء الميكانيكية mechanical parts ، والتي هي ، على أي تقدير ، أكبر مجموعة إلى حد بعيد جداً . وحيث إن الأكثرية تتألف من الحديد والفولاذ . فقد جمعناها معاً تحت مسمى أجزاء حديدية ferrous parts ، ولكن أطناناً هائلة من الأجزاء المصنوعة من النحاس ، والنحاس الأصفر ، والبرونز والألومنيوم يتم إنتاجها ، كما أن أجزاء من سبائك التيتانيوم الملبدة قد أخذت في الظهور في الآونة الأخيرة . ومع هذا ، فإنه بالإضافة إلى الأجزاء الميكانيكية فإن أنواعاً أخرى قد تم إنتاجها على نطاق واسع وتضم المحامل ذاتية التزييت self-lubricating bearings ، والمركبات المغناطيسية ، والملامسات الكهربائية والمرشحات filters ومواد الاحتكاك الخاصة بالقوابض clutches والكوابح brakes ، وكما أشير إليه آنفاً ، أجزاء المعادن الصلبة الخاصة بأدوات التشغيل المعدنية ، وقطع التآكل wear parts عموماً وأدوات القطع المعدنية على وجه الخصوص .

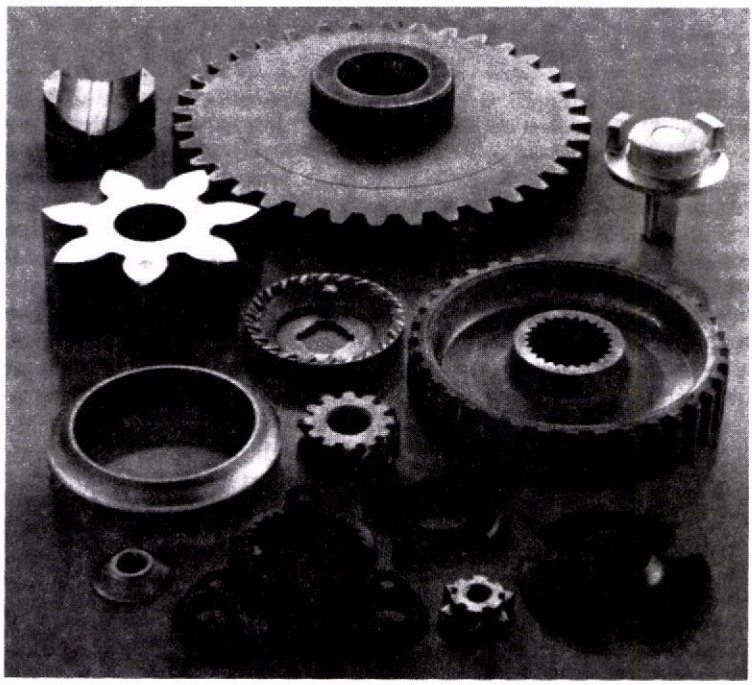
ومما له علاقة بالمعادن الصلبة هناك مثال جيد لفئة أخرى من منتجات ميتالورجيا المساحيق والتي أصبحت ذات أهمية متزايدة ألا وهي السبائك المعدنية الخزفية cermets ، والتي يقصد بها مادة مركبة ذات ذرات سيراميكية دقيقة في نسيج معدني metallic matrix . وفي الحقيقة ، فإن المعدن الصلب ، في هذه الفئة ، ماهو إلا حالة خاصة جداً .

وهناك منطقة أخرى من مناطق ميتالورجيا المساحيق المستقلة والمنفصلة تماماً آخذة في التطور بسرعة ، ألا وهي إنتاج المواد المشكلة من كتل billets الحديد الخام أو ماشاكلها . وهذه الكتل المعدنية ذات القاعدة المسحوقية يتم تطويرها وتشغيلها بالأسلوب نفسه وباستخدام الآلات نفسها مثل كتل حديد الصب ingot المعدة للتشكيل ، أي عن طريق البثق extrusion ، والدلفنة rolling والضغط والطرق press-forging . . . إلخ . والتبرير للبدء بالمساحيق يكمن بصورة رئيسة في الخصائص المحسنة

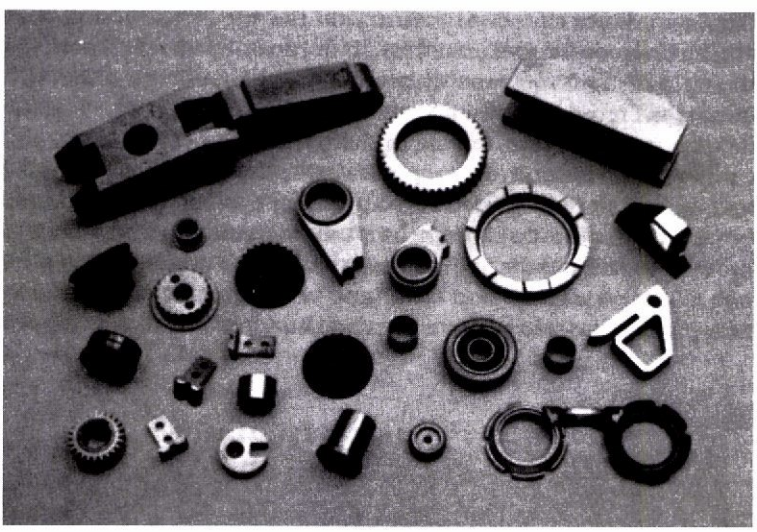
والخاصة التي يمكن الحصول عليها في المنتجات النهائية . أما القيود الخاصة بالحجم والمقاييس القابلة للتطبيق في الأجزاء المضغوطة أو الملبدة بصورة مباشرة فلا تنطبق على هذه الحالات لأسباب تم شرحها في الفصل العاشر .



الشكل رقم (٢) المستخدمون الرئيسيون للمركبات الملبدة.



الشكل رقم (٣) بعض الأجزاء المستخدمة في السيارات. (مانسمان **Mannesmann**).



الشكل رقم (٤) أجزاء عالية قوة التحمل مستخدمة في آلات النسيج ومعدات التشغيل الخشبية. (ميتالسينتر اس آر إل **Metalsinter SRL**).