الباب الثالث عشر

هندسة التشغيل الحديثة

تلبيس السطوح الخارجية

يجب حماية السطوح الخارجية للعديد من المواد من التأثيرات البيئية من خلال التلبيس. لهذا الغرض يسخر عدد كبير من طرق تلبيس السطوح الخارجية تحت التصرف.

التكنولوجيا الموثوقة:

ينتمي إلى الطرق الناجحة في تلبيس السطوح الخارجية «التخزيف» التلبيس بالخزف «والتتويت» التلبيس بالتوتياء. الخزف هو طبقة خارجية من النوع الزجاجي (من بين الأنواع العديدة من أكسيد السيليسيوم) الذي يُحمِّل على الطبقة الخارجية من خلال التغطيس، أو البخ، أو ذر البودرة ثم يشوى في درجة حرارة بين ٨٠٠-٩٠٠ درجة مئوية. يقاوم الخزف الأحماض ومحاليل الجلي وهو عازل للكهرباء، ويتحمل الضربات والصدمات والانحناء. يحمي التلبيس بطقة التوتياء مثلاً هيكل السيارة من الصدأ. فمن خلال التغطيس في محلول توتياء (التتويت بالنار) تنشأ على الأجزاء المنظفة والمعالجة مسبقاً طبقة من التوتياء بسماكة تصل إلى ٠,١ ميليمتر. تقع درجة حرارة حمام التوتياء بين ٤٥٠-٤٦٠ درجة مئوية، وتبلغ مدة التغطيس بضع دقائق. ولرفع مقاومة الصدأ يتم غالباً تزييت طبقة التوتياء أو تلبيسها بالكروم أو بالمواد البلاستيكية.

البخ الحراري ❶

في البخ الحراري يتم بخ مصهور المعدن على أرضية التصاق باردة. يستخدم في ذلك مسحوق المعدن (مثل كربيد التنغستين القاسي، أو نتريد التيتان، أو بوريد الكروم، أو أكسيد السيرقون)، وهنا لا تلتصق الجزيئات من خلال انصهارها مع مادة الأرضية، وإنما من خلال التعشيق والترابط الميكانيكي، لذا يجب تخشين سطوح

الأرضيات مسبقاً بشكل جيد بواسطة الجلخ بفرشاة، أو الخراطة، أو المعالجة الكيميائية (بمادة كاوية).

في البخ بالقوس الضوئي (الشكل ١آ) يشعل قوس ضوئي بين سلكي البخ في مسدس البخ بالقوس الضوئي، حيث ينصهر كلا السلكين عند حوالي ٤٠٠ درجة مئوية. يُذَرُّ المصهور على القطعة المراد تلبيسها بواسطة الهواء المضغوط، وعند استخدام أسلاك من معادن مختلفة يمكن وضع خلائط معدنية على سطح القطع المراد تلبيسها. في البخ البلازمي يمكن تشغيل مساحيق مع درجات صهر عالية جداً (حتى ٢٠٠٠٠ درجة مئوية) (الشكل ١ ب). ينفخ المسحوق بواسطة غاز حامل إلى لهبة البلازما حيث ينهصر هناك ثم يبخ. هنا تعني البلازما بأن يُسخن الغاز المستخدم في القوس الضوئي إلى درجة عالية جداً حتى تتحرر إلكترونات ونويات جزيئات الغاز (حالة التأين أو الحالة الشاردية). من خلال ذلك يتم التوصل إلى طاقة حرارية عالية جداً. هكذا يمكن أيضاً بخ المواد الغير معدنية (مثل الكوارتز على أساس السيليسيوم).

التلبيس بالمواد القاسية ❷

من أجل تخفيض قابلية التآكل للقطع، أي لرفع زمن الاستخدام تلبس آلات القطع في المثاقب والمخارط والفارزات ولقم المسننات بمعادن قاسية. فعلى سبيل المثال تلبس آلات القطع بطبقة ذهبية اللون من نتريد التيتان، وبذلك تستطيع البقاء أطول حتى ١٠ مرات (الشكل ٢). يتم تبخير نتريد التيتان تحت إعطاء غازات (مثل غاز الآزوت)، ثم تنقل إلى فرن، هناك توضع عند درجات حرارة بين ٧٠٠-١١٠٠ درجة مئوية. على السطح الخارجي للقطعة تنتقل (انتشاراً) جزيئات المادة القاسية إلى البنية التكوينية وتتحد مع جزيئات القطعة. تعرف هذه الطريقة بالاسم المختصر بـ CVD (بالإنكليزية Chemical Vapor Deposition = ترسيب البخار الكيميائي).

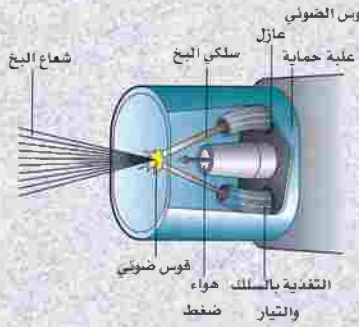
الغلفنة - الفصل الكهرليتي ❸

تستخدم في الغلفة سوائل ناقلة للكهرباء (محاليل كهرليتية)، حيث يتم تغطيس القطع فيها وتلبيسها بطبقة معدنية. تستخدم كمحاليل كهرليتية محاليل مائية، أو حمضية، أو قلوية. تتألف المصاعد (الأقطاب الموجبة) على الأغلب من المعدن المراد فصله «التلبيس به». فمثلاً لإجراء عملية التنحيس لمعدن الصفر يستخدم محلول كبريتات النحاس ($CuSO_4$) (الشكل ٣). تغطس القطعة في المحلول الكهرليتي وتوضع على القطب السالب (المهبط) في توتر مستمر. إضافة لذلك يغطس مصعد (القطب الموجب) من النحاس الذي يسوف يذوب في المحلول. تحت تأثير التوتر المستمر تنفصل جزيئات الملح المنشطرة كل حسب شحنتها. تنتقل شوارد النحاس الموجبة إلى القطب السالب - أي إلى القطعة - وتتراكم هناك. تتراكم طبقة التلبيس على القطعة من خلال تناقص شوارد النحاس الموجبة (كسب الإلكترونات). بنفس الوقت يعطي المصعد شوارد النحاس إلى المحلول وبذلك يتم ذوبانه. تفرغ الكبريتات السالبة شحنتها على المصعد.

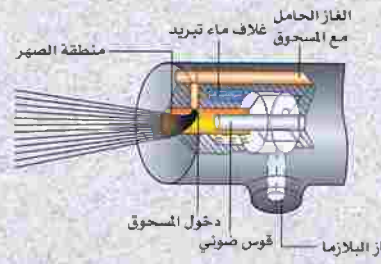
وبذلك لا يتم تلبيس القطع المعدنية (الناقلة) فقط، وإنما أيضاً المواد الصناعية. لذلك تحول كيميائياً إلى معادن، أي تُجعل ناقلة. مجال الاستخدام واسع: يمكن تلبيس الأدوات المنزلية، أو الأدوات الصحية، أو قطع السيارات.

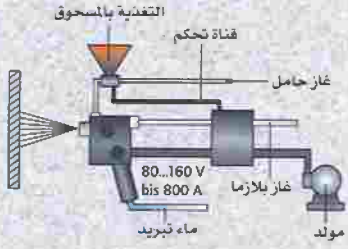
❶ البخ الحراري

ⓐ بالقوس الضوئي



ⓑ بالبلازما المسحوق

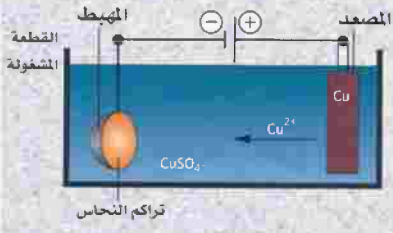




❷ ⓐ تلبيس آلات القطع النتريد التيتان

ⓑ التلبيس بالمواد القاسية

❸ الغلفنة: التلبيس بالنحاس



التحكم الحاسوبي الرقمي CNC
والمتحكمات المبرمجة PLC (SPS)

1 توجيه العمليات بالحاسوب CNC

بواسطة آلات التشغيل الموجهة بالحاسوب (بالإنكليزية: CNC = Computerized Numerical Control) يمكن إنتاج خراطة أو تفريز قطع معقدة (الشكل ١) سرعة وبدقة عالية. ويستخدم أيضاً توجيه العمليات بالحاسوب في مجالات أخرى.

2 الشروط التقنية للآلات

تملك الآلات الموجهة بالحاسوب حاسوباً للتحكم ولبرمجة المعلومات الهندسية (محيط أو شكل قطعة التشغيل) والمعلومات التكنولوجية (مثل سرعة الدوران، التغذية) والمعلومات عن أدوات القطع (مثل الأبعاد الهندسية، الموقع).

يمكن برمجة المخارط الموجهة بالحاسوب بحرية على محورين: محور لقياس الطول (محور الإحداثيات ص)، ومحور لقياس القطر (محور الإحداثيات س). لذلك تعشّق منزلقتان بواسطة كريّات على محوري الدوران المرتبطين بمحركي تغذية يتم التحكم بسرعة دورانهما. عن طريق جهاز ضوئي إلكتروني يمكن التعرف بدقة على وضعية أو موقع المنزلقتين. يدار محور الدوران الرئيسي كذلك عن طريق محرك دفع ذي تحكم بسرعة الدوران، بحيث يمكن التحكم لكل قطر خراطة بسرعة القطع المثلى لقلم الخراطة بواسطة حاسوب توجيه العمليات.

3 تقنية البرمجة

تبرمج حواف المشغولة في تقنية إحداثية. تحدد بدقة كل نقطة (P) من محيط التشغيل لقطعة الخراطة (الشكل ٣) في نظام الإحداثيات برقمين: الإحداثية س (القطر) والإحداثية ص (الطول). بالأوامر G (G = go: انطلق) يحدَّد كيف ستُحرَّك أداة القطع:

- G0 - تغير وضعية أداة القطع في الحركة السريعة.

- G1 - ربط مستقيمات.

- G2 - ربط دائري مع اتجاه عقارب الساعة.

- G3 - ربط دائري عكس اتجاه عقارب الساعة.

يبدأ كل سطر برمجة برقم. بالنسبة لجزء الخراطة المبين بالشكل ٣ لإنتاج الحافة النهائية انطلاقاً من الحافة المجهزة (المرسومة بالخط المتقطع نقطتين معترضة) يعطي البرنامج التالي:

N1 G0 X0 Z4 S280 F0.15 T2 M4

يرمز إلى جميع المعلومات الهامة بأحرف، وتحدَّد خصوصيتها بالأرقام التابعة لها (N1: الحركة ١، G0: انطلق بالحركة إلى نقطة البداية، S: سرعة القطع ٢٨٠ دورة / دقيقة، F: التغذية ٠,١٥ ميلمتر/ دورة، T2: استدعاء أداة القطع الموجودة على رقم ٢ لحامل أقلام القطع، M4: المغزل «محور الدوران» الرئيسي دوران يساري).

- Z0 X0 G1 N2 (انطلق إلى النقطة P1 مع تغذية).

- K10 I0 Z10 X20 G3 N3 (برمجة دائرة إلى النقطة P2، K، I إحداثيات نقطة المركز).

- Z45 X20 G1 N4 (خط مستقيم حتى بدء المخروط P3).

- Z80 X50 G1 N5 (مخروط حتى النقطة P4).

- K0 I5 Z85 X60 G2 N6 (برمجة دائرة حتى النقطة P5).

- Z85 X65 G1 N7 (ابتعد عن المشغولة النقطة P6).

- Z150 X150 G0 N8 (انتقل بحركة سريعة إلى نقطة تبديل المشغولة).

- M30 N9 (نهاية البرنامج).

المتحكمة المبرمجة PLC / SPS

يمكن بواسطة المتحكمة المبرمجة برمجة آلات الإنتاج وخطوط التجميع، وتجهيزات الفرز التي تعمل أوتوماتيكياً إلخ.. بسرعة ومن دون تكاليف توصيلات كبيرة. فعلى العكس من التحكم المبرمج بالتوصيل الذي يتم فيه إنشاء مسار التحكم من خلال القطع وتوصيلات التيار الكهربائي، تربط في المتحكمة المبرمجة المفاتيح وحساسات القياس وغيرها إلى مداخل وحدة تحكم مركزية في المتحكمة المبرمجة وتربط الصمامات المغناطيسية والمحركات وغيرها إلى المخارج.

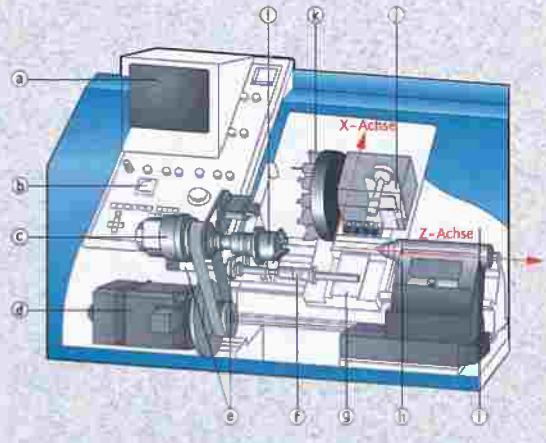
تتألف الكتلة المركزية في المتحكمة المبرمجة من معالج صغري، وذاكرة البرامج، ومؤقتات، ذواكر مؤقتة (RAM). يتألف البرنامج من سلسلة تعليمات تحكم التحكم، ويُعطى لكل تعليمة عنوان في ذاكرة البرنامج. تتألف التعليمة من قسم أوامر (العملية المطلوبة) ومن قسم ترتيب (الجهة المقصودة). يوجد في قسم الأوامر وصلات منطقية (و = UND، أو = ODER، لا = NIGHT)، وتعليمات تنظيمية أخرى مثل إشارة المساواة (=). ويعطى في قسم الترتيب مع أي المداخل والمخارج والعدادات يجب تنفيذ العملية. يمكن ربط عدة متحكمات مبرمجة عن طرق مجموعة مسارات (نظام توصيل خاص) مع بعضها حيث تتمكن من التواصل مع جميع المداخل والمخارج الموجودة.

بذلك يكون التحكم الأوتوماتيكي الكامل بمعمل إنتاج بيرة ممكناً. يمكن التحكم بجميع العمليات بواسطة المتحكمة المبرمجة سواء منها المتعلقة بالزمن (مثل مدة التحريك) أو المتعلقة بالمواد (مثل الخطوة اللاحقة في العملية عند الوصول إلى محتوى كحول محدد). تكمن الفائدة في مرونة البرمجة والتوسع السهل في المحطة).

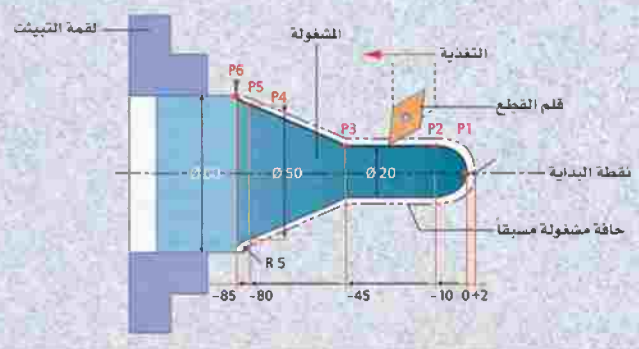
❶ فائدة مُحوسبة CNC

❷ مخرطة ذات توجيه بواسطة الحاسوب

ⓐ شاشة (عرض محاكاة الخراطة)
ⓑ التحكم بالعمليات بواسطة الحاسوب بواسطة لوحة المفاتيح
ⓒ المحور الرئيس
ⓓ محرك كهربائي ذو تحكم بسرعة الدوران
ⓔ محرك تغذية على المحور ،ص،
مع نظام قياس
ⓕ محور دودي ذو مزالق كروية لدفع المنزلقة على المحور ،ص،
ⓖ العربة المنزلقة طوليا على المحور ،ص،
ⓗ ماسك المشغولة ، الغراب المتحرك،
ⓘ حامل آلة التشغيل ، حامل مائل،
ⓙ العربة المنزلقة على المحور س
مع وحدتي الدفع والقياس
ⓚ حامل أقلام القطع ،12، قلم
ⓛ الترس مع اللقم تثبيت المشغولة



❸ رسم لقطة خراطة مع معطيات أبعاد التشغيل ونقاط التشغيل كمخطط من أجل برمجة العمليات بواسطة الحاسوب



التصنيع بمكاملة الحاسوب CIM

يعني التصنيع بمكاملة الحاسوب (بالإنكليزية Computer Integrated Manufac-turing) التشغيل المركب مع الحاسوب وله محاسن جمة في الإنتاج الحديث المرن. تُدعم وتسرَّع كل القرارات والعمليات في تحولات المنتج بواسطة التصنيع بمكاملة الحاسوب من مرحلة تلقي الطلبية وحتى التوريد بأفضل ما يمكن. في التصنيع بمكاملة الحاسوب تنشأ بنفس الوقت سلسلة معلومات عديمة الثغرات من أخبار الموجودات في المستودع، والتقدم في إنتاج طلبية ما، وحتى درجة تحميل آلة ما.

استخدام الأنظمة المدعَّمة بالحاسوب ❶

يتم إنتاج البضائع عادة ضمن ثلاث خطوات:

الخطوة الأولى: التطوير والتصميم.

الخطوة الثانية: تخطيط وتوجيه الإنتاج (PPS).

الخطوة الثالثة: التصنيع والمراقبة.

غالباً ما توزع الخطوات الثلاث هذه على أقسام التصميم، وتحضير الإنتاج، والتصنيع. في المصانع العادية يوجد لكل قسم قواعده وطرقه الخاصة من أجل تلبية الطلبية أو تنفيذ أوامر الإنتاج. تستخدم لهذه الأهداف برمجيات طوِّرت خصيصاً لذلك، فعلى سبيل المثال يستخدم في قسم التصميمات برمجيات تصميم بمساعدة الحاسوب ثنائية وثلاثية الأبعاد CAD D-٣ و D-٢، وثلاثي الأبعاد D-٣، فإذاً لم تعد تنشأ الرسومات على لوحة المرسم بالحبر والمسطرة، وإنما على شاشة الإظهار. تكون التغييرات وإعادة التصميم بمساعدة الحاسوب قابلة للتنفيذ بشكل أكثر سهولة وأوفر تكاليف. يصبح الرسم أسرع وذلك عن طريق مكتبة القطع المعيارية (البراغي، المحامل «المضاجع»، المسامير «الخوابير».. بواسطة برنامج الهندسة بمساعة الحاسوب CAE = Computer Aided Engineering) يمكن عرض قطع أو عناصر

البناء مثل صلابة البراغي وسماكة درزة اللحام. في قسم تحضير العمل تأتي برامج أخرى في الاستخدام. بواسطة التصنيع بمساعدة الحاسوب (CAM = Computer Aided Manufacturing) تحوَّل بيانات الرسم من أجل التصنيع على آلة تشغيل موجهة بالحاسوب. (CNC ←)، وتستخدم البيانات الهندسية لجزء ما في رسم على برنامج CAD (مثلاً محيط المشغولة من دون أبعاد) فيما بعد كأساس للإنشاء الأوتوماتيكي لبرنامج آلة تشغيل موجهة بالحاسوب.

بواسطة برامج تخطيط وتوجيه الإنتاج (PPS) يتم التحكم بقوائم القطع لمختلف العقود، وإجراء حسابات الزمن والتكاليف، وتخطيط ومراقبة تشغيل الآلات، وإدارة المستودعات «محاسبة التكاليف ومحاسبة المواد». في قسم التصنيع يأتي دور برامج تشغيل الآلات الموجهة بالحاسوب في الاستخدام. بمساعدة التحكم الرقمي المباشر (DNC = Direct Numerical Control) يصبح تبادل المعلومات من وإلى مختلف آلات التشغيل أكثر سهولة، لأن كل آلة مرتبطة مع حاسوب تشغيل مركزي، وتحصل عن طريقه على البرامج من قسم تحضير العمل.

بنفس الوقت تشمل برمجيات التحكم الرقمي DNC على بيانات الآلات وبيانات التشغيل (درجة التحميل، الاستطاعة، الحجم،..). بواسطة ضمان الجودة بمساعدة الحاسوب (CAQ = Computer Aided Quality) يمكن إدارة ومراقبة تدقيق القياسات وبرامج الاختيار. غير أن الكثير من المعلومات عند تنفيذ طلبية ما تهم جميع الأقسام الثلاثة معاً، ولكن من غير الاقتصادية بمكان وتقريباً من المستحيل أن تجعل جميع المعلومات مفتوحة لجميع الأقسام بنفس الوقت، إذا لم يكن بوسع أنظمة الكومبيوتر الوصول إلى بنك معلومات مركزي.

بنك المعلومات المركزي :

يمثل بنك المعلومات المركزي «قلب» التصنيع بمكاملة الحاسوب CIM، ويساعد مثلاً قسم التصميم في تصميم طول المشغولات بحيث يمكن تصنيعها أيضاً، لأن

البيانات الهامة للتصنيع كالحجم والاستطاعات مخزنة في بنك المعلومات الذي يتيح لقسم تحضير العمل العودة إلى بيانات رسم التصميم (CAD) لكي يستطيع بواسطتها إنشاء برامج للآلات الموجهة بالحاسوب من أجل قسم التصنيع من خلال برمجيات التصنيع بمساعدة الحاسوب CAM، كما يتيح بنك المعلومات لقسم التصنيع استدعاء الرسومات وبرامج الآلات الموجهة بالحاسوب وبيانات الاختبار وغيرها مباشرة من قسم التصميم أو من قسم تحضير العمل.

الشروط :

يجب أن تكون مسارات العمل الداخلية متوافقة «Compatible» (متناسبة مع بعضها) حتى يمكن ربطها (مكاملتها) مع بعضها. لذلك يكون استخدام التصنيع بمكاملة الحاسوب صعباً خصوصاً في المصانع القديمة التأسيس «النامية» لأن المسائل التنظيمية لايمكن حلها إلا بزمن طويل الأمد. لذلك يأتي استخدام التصنيع بمكاملة الحاسوب CIM غالباً بعد تغيير الإنتاج أو في مواقع الإنتاج الجديدة.

التصنيع بمكاملة الحاسوب CIM
التصميم
الاتصال مع شبكات أخرى
الحساب بمساعدة الحاسوب
CAE
التصميم ثنائي الأبعاد بمساعدة الحاسوب
CAD-2-D
التصميم ثلاثي الأبعاد بمساعدة الحاسوب
CAD-3-D
تحضير العمل
التصنيع بمساعدة الحاسوب وثنائي الأبعاد
CAM-2-D
التصنيع بمساعدة الحاسوب ثلاثي الأبعاد
CAM-3-D
توجيه وتخطيط الانتاج
PPS
تخطيط وتوجيه الانتاج
PPS
قياس / معايرة
قياس احداثيات ثلاثية الابعاد وتوجيه العمليات بالحاسوب
ضبط «معايرة» أدوات القطع
بنك المعلومات المركزي
التشغيل
آلة القص الشاقولي الموجهة بالحاسوب
فارزة موجهة بالحاسوب ثلاثية الأبعاد
مثقب موجه بالحاسوب
تحكم رقمي مباشر
آلة القص بالسلك الموجهة بالحاسوب
مركز التشغيل «المعالجة» موجه بالحاسوب
مخرطة موجهة بالحاسوب

تقنيات الاستخدام والإنسان الآلي

إذا دخل المرء اليوم إلى صالة إنتاج لشركة حديثة (مثلاً في صناعة السيارات) فإنه يرى فقد عدداً قليلاً من العمال. تقوم عربات من دون سائق بإحضار مواد العمل من آلة إلى آخرى، وتقوم أجهزة المناولة التي تُسيِّف القطع بأمان ووثوقية بتلقيم الآلات (تركيب المشغولات على المكنات). تقوم آلات التشغيل الموجهة بالحاسوب (← الآلات الموجهة بالحاسوب CNC) بخراطة أو فرز أو ثقب المشغولات التي سيتم لحامها أو تركيبها لاحقاً من قبل الإنسان الآلي. تنفذ حالياً الأعمال اليدوية ذات الحركات المكثفة في عمليات الوضع والشد والتصنيف والنقل والتركيب إلى حدود بعيدة بواسطة أجهزة الاستخدام والإنسان الآلي.

أجهزة الاستخدام ❶

تعد آلات النقل والمناورة وأجهزة المناولة من أجهزة الاستخدام. تستخدم آلات النقل لتحريك القطع الثقيلة (مثلاً في ورشات السباكة) أو في نقل الأحمال الخطرة (مثلاً في محطات توليد الطاقة النووية)، ويتم التحكم بها يدوياً عن بعد، وخلافاً للإنسان الآلي لايوجد لها تحكم أو توجيه مبرمج. وتستخدم أجهزة المناولة في الصناعة ذات الإنتاج التسلسلي، وهي معدة على سبيل المثال لتركيب المشغولات على آلات القطع أو على آلات تشغيل الصفيح. تجري الحركات غالباً من نقطة إلى نقطة، وفي العادة لا يخطط للحركة المنسقة لعدة محاور بنفس الوقت. فعند تحميل أو تلقيم مخرطة (الشكل ١) يستطيع جهاز المناولة أن يقطع المسافة من الآلة إلى المخزن فوق حامل طويل (بوابة)، وأن ينقل القطع المشغَّلة الجاهزة، وأن يضعها حسب الصنف، وأن يأخذ بواسطة القبضة قطعة خامية جديدة وأن يضعها في المخرطة للتلقيم والشد عن طريق البوابة من الأعلى. حسب عدد القطع تبرمج أجهزة المناولة إما بشكل ثابت أو بشكل حر (الإنتاج الرمن) تسمى التجهيزات الموجهة جزيئات بحساسات والقابلة للبرمجة بشكل حر وذات الحركة في اتجاهات متعددة قدر الإمكان بالإنسان الآلي.

بنية الإنسان الآلي الصناعي ❷ ❸

الإنسان الآلي هو عبارة عن تجهيزات تطبيقية قابلة للبرمجة مزودة بمقابض ومعدات إذا أراد المرء أن يخرط جسماً فراغياً لا على التعيين بواسطة الإنسان الآلي فيلزم ست اتجاهات للحركة (الشكل ٢): يجب الوصول إلى الأبعاد الثلاث للفراغ (الطول والعرض والارتفاع) من خلال المحاور الرئيسية ١-٣، وحول كل محور يجب أن يكون الدوران ممكناً (محاور جانبية ٤-٦). كلما كان للإنسان الآلي محاور (مفاصل) أكثر، كلما كان أكثر حركة، وهذا يعني كلما امتلك درجات حرية «طلاقة» أكثر. لا تحسب بذلك إمكانيات حركة المقابض.

يكون أيضاً الإنسان الآلي ذو ست درات الطلاقة (F = ٦؛ مثلاً الإنسان الألي في أعمال اللحام) مقيد في مجال ولايستطيع دوماً الوصول إلى جميع المواقع اللازم عملها في المشغولة. يفترض بمساعدة تجهيزات ضبط الموقع والمناورة أن يكون ممكناً تغيير (تحريك) المشغولة في موقعها. تكون هذه التجهيزات قابلة للبرمجة الحرة بحيث يمكن تدوير أو رفع المشغولة أثناء التشغيل. تعد دقة ضبط المكان ودقة التكرار أحد المعايير الهامة للتصنيع بواسطة الإنسان الآلي وتقع في الإنسان الآلي الصناعي بين ٠,٢ - ٤ مليمتر.

تستخدم كأنظمة دفع في الإنسان الآلي الصناعي محركات كهربائية أو هيدروليكية أو أنظمة أسطوانات هيدروليكية أو أنظمة هواء مضغوط.

برمجة الإنسان الآلي:

يمكن أن تتم برمجة الإنسان الآلي وفق ثلاثة أنواع مختلفة: في البرمجة النصية يكتب سير البرنامج من خلال أوامر تعليمات لكل محور «في لغة البرمجة الخاصة بالإنسان الآلي» التي تكون مكلفة جداً عند درجات الطلاقة الكثيرة. أما في طريقة التعليم الداخلي فيقاد الإنسان الآلي يدوياً إلى نقاط المجال، وتخزن مواضع المحاور التي يتم التحرك عليها فيما بعد. وفي المسارات الصعبة الخاصة (على سبيل المثال

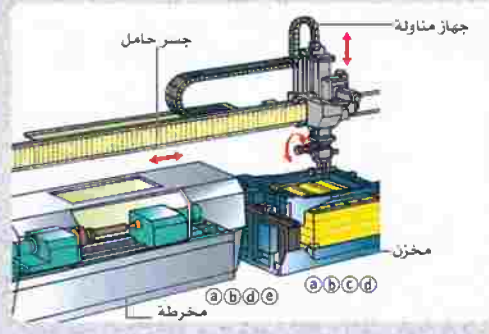
في الدهان) تستخدم البرمجة التراجعية، حيث يقاد الإنسان الآلي (أو أي حساس مطابق) يدوياً، وحوالي كل ٢٠ ميلي ثانية يخزن كل موقع لحركة المسار.

التصنيع بواسطة الإنسان الآلي ❸

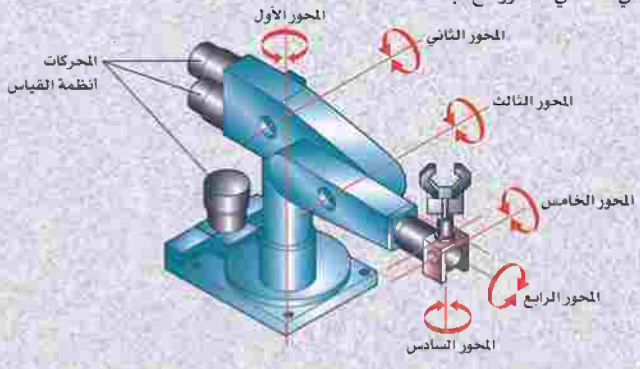
يعد اللحام أحد مجالات الاستخدام الهامة للإنسان الآلي، فبمساعدته يمكن أيضاً تصنيع القطع المعقدة (مثل المبادل الحراري لمرجل تسخين / الشكل ٣). فبينما يضع عامل اللحام نتيجة عمله دوماً نصب عينيه ويراقبها، فإن الإنسان الآلي «أعمى»، لدرجة أنه لا يلاحظ غياب المشغولة لولا وجود الحساسات. لذلك يجهز الإنسان الآلي بحساسات لمس (كبسات) أو حساسات بصرية أو إلكترونية. يتحسس بواسطتها مثلاً موقع وشكل المشغولة ويستطيع أني صحح ذاتياً البعد أو المسافة. ومجال آخر لاستخدام الإنسان الآلي الصناعي هو التركيب النهائي أو التجميع.

❶ جهاز تطبيقي أثناء تحميله لمخرطة

خطوات العمل :
ⓐ الإمساك
ⓑ التخديم : تحميل ،ربط القطعة، فك القطعة عن المخرطة، وصفها
ⓒ الترتيب، التصنيف
ⓓ ضبط الموقع
ⓔ الربط



❷ رجل آلي سداسي المحاور مع قبضات



❸ رجل آلي صناعي أثناء لحام مبادل حراري لمرجل تدفئة

الهندسة الدقيقة «التقنيات الميكروية» /١/

في حين يلخص المرء طرق إنتاج البنى الدقيقة غالباً تحت مفهوم الهندسة الدقيقة، يفهم أكثر من هندسة الأنظمة الدقيقة الترتيب الذي يهتم بمشاريع التأثير المشترك الأمثل تقنياً للعناصر الدقيقة الجزئية. ولكن الحدود تنطمس بشكل ملحوظ بين هذين المفهومين.

الإلكترونيات الدقيقة ❶

من خلال تصغير عناصر البناء الإلكترونية (الإلكترونيات الدقيقة) وتركيبها الوظيفي الأمثل (تكاملها) مع دارات التوصل العالية التعقيد بواسطة طرق إنتاج متوازية ذكية يوضع فيها العديد من عناصر البناء على نفس الحامل بنفس الوقت في خطة إنتاج واحدة يمكن إنتاج رقائق السيليسيوم البنوية (Chips؛ الشكل ١) بأعداد كبيرة جداً. تستخدم لذلك بالدرجة الأولى تقنيات الطباعة على الحجارة وتقنيات الطبقات الرقيقة.

تغطي بمادة السيليسيوم (الشريحة Wafer) بطبقة دهان ضوئي بسماكة أقل من واحد ميكرون (١ ميكرون = ٠,٠٠١ ميليمتر)، تُشع هذه الطبقة من خلال «قناع» بضوء فوق بنفسجي. يتألف القناع من حامل يسمح بمرور الأشعة فوق البنفسجية (مثل زجاج الكوارتز) وبنى لاتسمح بمرورها (مثل الكروم). حسب استخدام الدهان الإيجابي أو السلبي تزال كيميائياً مجالات الدهان التي تغيرت أو التي لم تتغير من خلال الإشعاع. تعرَّض الرقائق في خطوة لاحقة لزرع شوارد «إيونات» أو للتبخر، أو لتآكل الطبقة السطحية كيميائياً. وهكذا يمكن تغيير الخواص المعدنية للمجالات المكشوفة بشكل مموه: يمكن تشكيل مسارات توصيل أو طبقات عزل أو إدخال الإشابة السلبية أو الإيجابية (← عناصر البناء من أنصاف النواقل). يمكن تكرار هذه العمليات عدة مرات من أجل دارات التوصيل الأكثر تعقيداً.

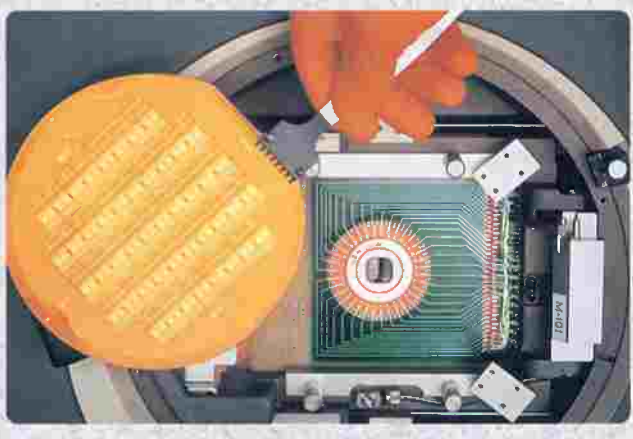
يجب كتابة القناع بحد ذاته مرة واحدة مباشرة، ويستخدم لذلك قلم الأشعة الإلكتروني الذي يولِّد شعاعاً دقيقاً مكثفاً من الإلكترونات، ويكتب بواسطته على طبقة دهان حساسة. تتحدد الطباعة على الحجر بالأشعة فوق البنفسجية المنفذة بعد ذلك بواسطة القناع في قدرتها على الانحلال خلال طول موجات الأشعة فوق البنفسجية ويمكن في الوقت الحالي بشكل معياري إنتاج بنى ذات عرض متناقص حتى ٠,٣٥ ميكرون.

طرق أخرى في الهندسة الدقيقة ❷ ❸

بالإضافة إلى طرق تقنيات الطباعة على الحجر والتلبيس وتآكل السطوح كيميائياً تستخدم التقنيات الدقيقة أيضاً طرق التشغيل التقليدية، وكذلك طرق التشغيل التقنية الدقيقة المتطورة، وزيادة على ذلك فإنها تسلك طرق جديدة بالكامل. يمكن إزالة طبقات السيليسيوم السطحية من الأماكن التي تكون غير محمية بطبقة بنيوية مسبقة مثلاً من مقاوم للضوء أو من أية مادة أخرى من خلال عمليات تآكل السطوح كيميائياً بشكل جاف أو رطب. يمكن أن يكون مجال التآكل الكيميائي متفاوتاً جداً. وهكذا تتوجه بعض عمليات التآكل الكيميائي وفق البنية البلورية نسبياً نحو الطبقة السطحية. لاتقوم العمليات الأخرى بالتآكل الكيميائي فقط «باتجاه العمق»، وإنما أيضاً «باتجاه الجوانب». يمكن أن ينجم عن ذلك بالإضافة إلى الجدران البنيوية العمودية أيضاً جدران مائلة، أو يمكن الحفر الموجه تحت المجالات المحمية. يساعد هذا على سبيل المثال في إنشاء النبى الجسرية الرقيقة التي يمكن أن تحرك سكونياً، أو في إنتاج «الألواح المهتزة» بحرية (الأعمدة المنحنية).

أيضاً يمكن استخدام الأشعة الليزرية (← الليزر) في تشكيل البنى الدقيقة. يمكن مثلاً استخدام الأشعة فوق البنفسجية العالية الطاقة الناتجة عن الليزر الأكسيمي في تبخير المادة. لذلك يتم غالباً اختيار طريقة الكتابة المباشرة التي

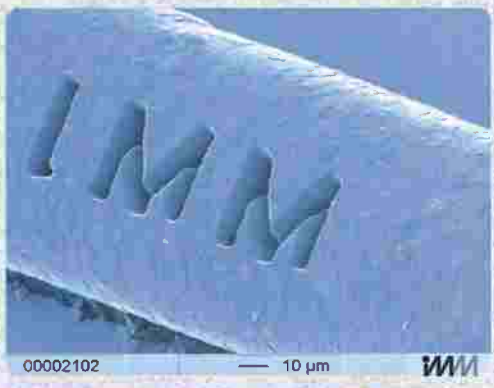
تعتمد على تحريك المشغولة بالنسبة إلى شعاع الليزر. وهكذا يتم حسب عدد النبضات المخزنة إنتاج نماذج حفر عميقة أو غير عميقة بدقة متناهية (الشكل ٢). وباستخدام أشعة ليزرية ذات أطوال موجات أخرى يمكن إنشاء نقاط أو درزات لحام صغيرة جداً، حيث يمكن بواسطتها بناء أو إحكام أنظمة دقيقة (الشكل ٣). عند استخدام غازات خاصة في غرفة المعالجة يمكن بالشعاع الليزري المركز حتى فصل المواد، وبالتالي يمكن إنشاء بنى دقيقة مجدولة. يعتمد كذلك القص بالشرار الدقيق على نقل المادة، حيث يوضع توتر بين إلكترود التشغيل والمشغولة اللذين يوجدان في سائل عازل كهربائياً. إذا اقترب الإلكترود من المشغولة ينطلق شرار سريع يؤدي إلى قص (إزالة) المادة من على المشغولة. يعدل الازدياد الحاصل في المسلفة بتقديم الإلكترود. يمكن مقارنة هذا القص العمودي بطبع ختم ساخن على قطعة جليد. القص أو الحفر بالأسلاك الذي يتم فيه اختيار سلك معدني ناعم (غالباً ذو سماكة ٣٠ ميكرون فقط) بمثابة إلكترود هو أقرب في التشبيه إلى منشار ناعم. بهذه الطريقة يكون مثلاً الفولاذ القاسي جداً قابلاً للتشكيل الميكروي بدقة عالية جداً.



1 رقاقة

اختبار رقاقة توصيل
دقيقة مصنوعة
من السيليسيوم

2 شعرة انسان حفر عليها كتابة من خلال إزالة المادة (التبخير) بواسطة الليزر الأكسيمي



تم التصوير في جهاز
ميكروسكوب الكتروني شبكي

3 مضخة ميكروية بجانب شكالة ورق

يتألف الجسم الأساسي من جزء شفاف (في
الاعلى) ومن جزء ملون بالأسود (في الأسفل)
تم لحامها بواسطة ليزر - نيوديم - غرانات.

الهندسة الدقيقة «التقنيات الميكروية» /٢/

يتعلق الأمر في الهندسة الدقيقة في تصغير ومكاملة وإنتاج العناصر الوظيفية الضوئية والمائعة (السائلة) أيضاً بالإضافة إلى العناصر الوظيفية الإلكترونية وبأعداد كبيرة. لا تكون هذه البنى في جميع الحالات مبنية مثل دارات التوصيل بشكل مسطح (مستوي)، وإنما تكون ثلاثية الأبعاد. فضلاً عن ذلك يجب بناء عدد كبير من المواد المتنوعة بدءاً من المعدن، إلى الخزف وحتى الزجاج واللدائن «البلاستيك» وهذا يطرح مشاكل أيضاً عند مكاملة مختلف في مجموعة وظيفية واحدة أو في نظام واحد. غالباً ما يُفضَّل التكامل المزدوج (المركب)، حيث تعطى أهمية كبيرة لتقنيات البناء والتوصيل.

1 تقنية ليغا LIGA

لإنتاج بنى دقيقة بأعداد كبيرة، تعرض نفسها طريقة ليغا LIGA المطورة في ألمانيا والتي تتألف من الخطوات الرئيسية: الطباعة على الحجر Lithographic (LI))، والتشكيل الغلفاني (G)، والتشكيل النهائي (A) (الشكل ١). فمن أجل بنية ثلاثية الأبعاد يجري في خطوة الطباعة على الحجر تشكيل طبقة دهان ضوئي (مقاوم) يصل سمكها حتى ١ مليمتر. وحتى يمكن للأشعة اختراق طبقة سميكة كهذه وتغييرها كيميائياً يفضل استخدام الإشعاع التوافقي (أشعة رونتجن بطول موجة نموذجي ١ نانومتر = ١×١٠^{-٩} متر). مع تشتت (انتشار) ضعيف وشدة عالية. بعد التظهير «التخميص» تستخدم اللوحة الحاملة الناقل كهربائياً كقطب سالب في مغطس غلفاني. يؤدي ذلك إلى ملء الفراغات البينية لبقايا الدهان بالمعادن وتنشأ بنية معدنية متممة، حيث تحرر من بقايا الدهان، ويمكن استخدامها الآن في آلة صك، أو في آلة صب بالحقن كشكل أصلي (نموذج) للنقل الكثير للبنى الدقيقة في منتجات المواد الصناعية. الطريقة قابلة للتوسيع على المنتجات الكثيرة من المعدن أو الخلائط المعدنية أو المواد الخزفية.

الاستعمالات 2 3

يقدم استعمال البنى الدقيقة «الميكروية» محاسن في جميع المجالات التقنية: يرغب الجراحون دائماً في معدات أكثر صغراً ودقة حتى يستطيعوا التوصل إلى نتائج مثالية بأقل تدخلات جراحية ممكنة (← الجراحة بأقل تدخل). توجد في مرحلة التطوير الميكانيكيات الصغيرة (الشكل ٢) والمحركات البالغة الصغر على رأس أنابيب القطرة المزودة بمنابع ضوئية. في صناعة السيارات بالإضافة إلى العديد من حساسات التوجيه والتحكم الإلكترونية الدقيقة تجد حالياً حساسات التسارع المتناهية في الصغر استخداماً: يتألف جوهرها مثلاً من كتلة بالغة الصغر معلقة بشكل قابل للحركة. فإذا اصطدمت السيارة بجسم ثاني، فإن ذلك سيؤدي إلى تحرر الحقائب الهوائية Airbags (←). وفي الاتصالات ومعالجة المعلومات فإن الألياف الزجاجية «البصرية» على أفضل طريق لأن تصبح وسيط النقل للمستقبل من أجل كل أنواع المعلومات (← نواقل الأمواج الضوئية). عند ربط الألياف الزجاجة مع بعضها أو مع عناصر «أحجار» بناء الاستقبال والإرسال الإلكترونية البصرية الملائمة تكون أعلى درجات الدقة مطلوبة بسبب مقطع الألياف الصغيرة من أجل تقليل الضياعات الضوئية ما أمكن. وهنا تساعد عناصر ضبط الموقع مثلاً في وصلات الربط «جك وإبريز». ولقيادة الإشارات الضوئية وتفريغها ومعالجتها أيضاً يمكن بطرق تقنية الطبقات الرقيقة على أساس السيليسيوم أو بتقنيات LIGA تحقيق رقائق إلكترونية Chips ذات مسارات ناقلة ضوئية (البصريات التكاملية).

هندسة الموائع الدقيقة:

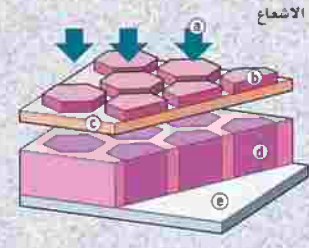
يفترض في المستقبل التحكم بتنفيذ التفاعلات الكيميائية على أكثر المجالات صغراً بمساعدة أنظمة الموائع (السوائل ذات الأنظمة القائدة والموجهة). توجد القنوات الصغيرة ذات البنية الدقيقة «الميكروية» السوائل المنقولة بمضخات بالغة

في الصغر (← الهندسة الدقيقة /١/). من خلال الترتيب المناسب لغرف المزج يتم التوصل حتى في السوائل الغير قابلة للمزج التي تكون جاهزة للتفاعل فقط في طبقاتها المتجاورة مع بعضها إلى تشكيل مساحات متجاورة مع بعضها كبيرة جداً. تمتلك القنوات والغرف البالغة في الصغر نسبة عالية من السطوح الخارجية بالنسبة للحجم المحصور، وبذلك تكون السيطرة الجيدة على درجة الحرارة ممكنة التي تعد غالباً شرطاً أساسياً في التفاعلات الكيميائية الحيوية الصعبة من أجل الحصول على نتائج جيدة. تساعد مكاملة الألياف الزجاجية في نظام كهذا في التحكم في التدفق وصفاء المنتج، ويقال عنها أيضاً مع عناصر المزج وغرف التفاعل والمضخات المصغرة على حجر بناء واحد: أنها مخبر على رقاقة «Lap on a chip». وإذا رُغب في إنتاج المنتج الكيميائي بكميات كبيرة، فيتم توصيل عدة مفاعلات ميكروية على التوازي، وهنا يستخدم نفس مبدأ الطبيعة، حيث تعمل الخلية كمفاعل دقيقة «ميكروي». لاتكون مثل هذه التوصيلات على التوازي معرضة للتشويشات والتوقف عند تعطل أحد المفاعلات الميكروية الدقيقة.

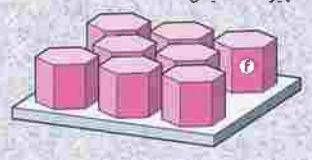
❶ خطوات التشغيل في تقنية LIGA

① الاشعاع

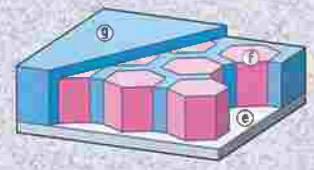
ⓐ اشعاع توافقي
ⓑ بنية امتصاصية
ⓒ غشاء القناع
ⓓ طبقة الدهان الضوئي (مقاوم)
ⓔ صفيحة اساس ناقلة كهربائياً
ⓕ بنية مقاومة
ⓖ معدن
ⓗ الفراغ في القالب
ⓘ لدائن (كتلة التعبئة)
ⓙ البنية اللدنة



② التظهير ، التحميض،



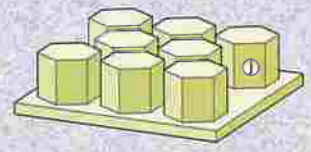
③ التشكيل الغلفاني



④ استخدام القالب

⑤ تعبئة القالب

⑥ سحب القالب



❷ علبة سرعة فلكية صغيرة جداً متعددة المراحل تم تشكيل قطعها بواسطة تقنية LIGA من اللدائن

❸ محرك غاية في الصغر ذي قطر 1.9 ملم (في اليسار) مربوط بفلنجة مع علبة سرعة فلكية صغيرة جداً (العلبة البيضاء في اليمين، في الأسفل قطع علبة السرعة، وللمقارنة ابرة خياطة

التقنية (التكنولوجيا) الناموترية:

يعد توفير المكان والطاقة والمواد والتكاليف ريش الدفع لجميع الجهود من أجل تصغير مجموعات العمل التقنية. فإذا أراد المرء متابعة العمل في الهندسة الدقيقة «التقنيات الميكروية» (←) التي تظهر أحجار بناء ذات أبعاد واحد بالألف من الميليمتر (واحد ميكرون، u) وعُشر الميلمتر بدقة ميكروية، فسوف يتم الدخول إلى مجال الأبعاد النانومترية.

واحد نانو متر (nm = 1.10-9m) هو جزء من مليون من الميليمتر. وهذا يطابق النسبة بين طول قطار بضاعة بالنسبة إلى طول قطر الأرض. يتراوح طول موجة رونتجن في مجال النانومترات، في حين يبلغ طول موجة الضوء المرئي بضع مئات النانومترات. كذلك يمكن توصيف الجزيئات بالنانومترات بشكل جيد، فمثلاً يبلغ عرض شريط الحمض النووي المزدوج DNA حوالي ثلاثة نانومترات.

الحدود الفيزيائية:

في الحقيقة وضعت حدود فيزيائية أمام طرق إنشاء البنى الدقيقة «الميكروية» كما في الطباعة على الحجر مثلاً (← الهندسة الدقيقة). وهكذا لا يزال يبلغ قياس عرض أصغر بنية في معالج بنتيوم ٠,٣٥ ميكرون. يتحدد مقدار انحلال الطباعة على الحجر من خلال طول الموجة المستخدمة. الليزر الإكسيمي الذي يعطي نبضات أشعة فوق بنفسجية بطول موجة ١٣٩ نانومتر، تساعد في زيادة التحسين، وكذلك استعمال أشعة رونتجن عوضاً عن الأشعة فوق البنفسجية. يكفي لأشعة رومنتجن موازاة وشدة جيدتين، ولكن يلزم مسرِّع إلكترونات مكلف (Synchrotron).

لإنتاج طبقات متناهية في الرقة من عدد محدد من طبقات الذرات توجد طرق مثل التراكم الإشعاعي الجزيئي، وفيها تتراكم الذرات المنثورة طبقة فطبقة على أساس (حامل)، تحدد مسبقاً بنيته البلورية في ذلك «أماكن هبوط» الذرات القادمة

وتؤمن الترتيب في طابور «سدىً ولحمة». كيفما تترتب الذرات في المصفوفة، فسوف تتأثر هذه المصفوفة (فمثلاً عند جزيئات الخزف النانومترية إلى مصفوفة لدنة). تمتلك تلك المواد الرابطة المسماة بالمركبات النانومترية بالمقارنة مع المصفوفات غير المركبة قساوة أعلى بكثير، وتكون على سبيل المثال في المصفوفة الشفافة شفافة كذلك.

تسمح البنى ذات الأبعاد النانومترية في كثير من الحالات استخدام تأثيرات الفيزياء الكمية التي لا تظهر في «العالم الميكروي» أبداً. وهكذا يمكن الإمساك بالإلكترونات بطريقة نوعية تماماً من خلال بعض مواقع الذرات في طبقات أنصاف النواقل السميكة، الأمر الذي أدى إلى تحسين عناصر البناء الإلكترونية البصرية.

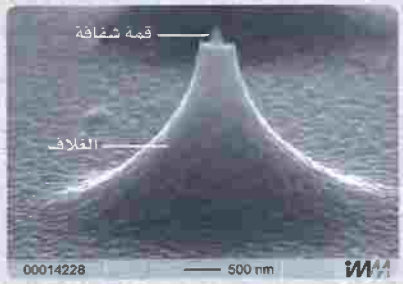
المجهر الميكروي ذو النفق الشبكي ❶ ❷ ❸

يتعمد ميكروسكوب النفق الشكبي أيضاً على التاثير الكمي «الكوانتي» : يقرَّب راس إبرة مدبب للغاية تماماً بالقرب من سطح مادة (الشكل ١). إذا كان البعد عن الذرة الخارجية في رأس الإبرة لا يزال بضع نانونترات فقط، فتستطيع الإلكترونات «عبور نفق» الثغرة الغير ناقلة في الحقيقة، ويجري تيار (الشكل ٢). من خلال رسم شدة التيار عند المسح الشكبي لسطح ما فستنتج إذاً بنية الارتفاعات وغالباً ما تشتت ذري (الشكل ٣). هذه الأنواع من تقنيات المسابير الشبكية هي قيد البحث عند توضيح بنية الطبقات السطحية، ولكنها أيضاً لم تعد لتنسى عند مراقبة الجودة الصناعية. يمكن بواسطة قمم المسابير هذه أيضاً «التواصل» مع السطوح المختبرة، أو حفر بنى، أو حتى زلق ذرات بمفردها على السطح هنا وهناك.

الهندسة الجزيئية:

إلا أن طرق الطباعة على الحجر، أو استخدام حزم الأشعة، أو المسابير الضوئية غير كافية الدقة من أجل تشكيل بنى معقدة ذات أبعاد نانومترية. تسلك الطبيعة طريق مغايرة تماماً: فقد زودت الخلايا الحياة بالجزيئات التي تستطيع التعرف على

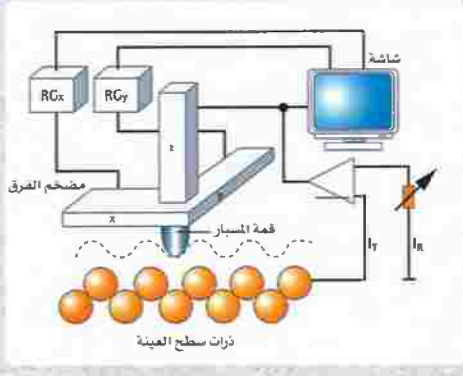
جزيئات مناسبة أخرى، وأن تحضرها للتفاعل مع جزيئات جديدة أخرى. تعمل الأنزيمات بالدرجة الأولى وفق مبدأ القفل والمفتاح هذا. لذلك فإن هدف التكنولوجيا النامومترية هو إنتاج ما سُمَّى الإنسان الآلي النانومتري الذي يستطيع إنشاء المنتج المرغوب من أحجار البناء الأساسية الجزيئية. يمكن تخيل هذا الإنسان الآلي النانومتري على أن ترتيبات جزيئية معقدة. الخيال أو الحلم هو بمساعدته مثلاً في تركيب مواد غذائية مباشرة دون المرور بالطريق الملتوية عبر الزراعة، ولجعل الفيروسات التي اخترقت إلى الدورة الدموية في المرضى غير ضارة. طبعاً يجب أن يكون لهؤلاء البنائين صفة أساسية بالدرجة الأولى: يجب أن يكونوا قادرين على إعادة تصنيع أنفسهم (إعادة التصنيع)، لكي يحصل تحول مادي كاف وإنتاج فعال على سبيل المثال.



❶ رأس مسار الميكروسكوب نفق بصري (SNOM) صورت بواسطة مجهر الكتروني شبكي

تحاط النواة التي تسمح بمرور الضوء ويظهر فقط في أعلى القمة ويشكل فتحة من حوالي 100 نانو متر، إذن أصغر بكثير من طول موجة الضوء المستخدم

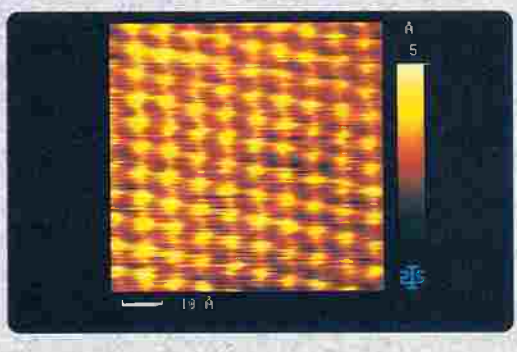
❷ مبدأ مجهر النفق الشبكي



ينظم ارتفاع قمة المسبار فوق العينة من خلال الفرق بين شدة تيار النفق وشدة التيار العمود القابلة للمعايرة، من اشارات مولدات المنصة يتم الحصول على البيانات الضرورية للعرض (احداثيات x -y إشارة z للإضاءة).

IT= تيار النفق
IR= التيار العمودي
RGX RGy = مولدات المنصة

❸ شكل سطح غرافيت تم مسحه بواسطة مجهر نفق شبكي



تم وضع مفتاح ألوان للصورة بواسطة عمود متدرج (في اليمين) (قارن الشكل 2) هذا يعني المناطق المضيئة تطابق الارتفاعات والمناطق القاتمة تمثل الانخفاضات. ينتمي ترتيب ذرات الكربون إلى النموذج السداسي النظامي

الليزر /١/

خلافاً لمصادر الضوء التقليدية والطبيعية (مثل المصباح والشمس) فإن ضوء الليزر قوي جداً، ووحيد اللون، ومحزوم بحدة. كل واحد من هذه الصفات تميز الليزر وتكسبه إمكانية استخدام جديدة في الطب، والعلوم، وإلكترونيات التسلية، والرسم والإخراج، والاتصات، وتشغيل المواد. وضعت الأسس النظرية لمبدأ الليزر منذ عام ١٩١٧ من قبل ألبرت آينشتاين في النظرية الكمية (الكوانتية)، ولكنها عرفت عدة عقود في أهميتها التطبيقية، استطاع تيودور هارلد مايمان عام ١٩٦٠ أن يحقق تقنياً أول ليزر (ليزر الياقوت الأحمر Rubinlaser) الذي أشع ضوءاً أحمر عميقاً. يوجد اليوم عدد كبير لأنواع الليزر المختلفة، بحيث تسخر تحت التصرف أنظمة ليزر مناسبة ليس فقط من أجل مجال أطوال الموجات المرئية للطيف الكهرومغناطيسي (الشكل ١). تماماً كالضوء المرسل من جميع المنابع الضوئية الأخرى فإن الليزر هو إشعاع ينتشر على شكل موجات. ينتمي إلى صفات الليزر الخاصة: أحادية اللون = Monochromaise، والتماسك = Kohaerenz.

أحادية اللون 2

يظهر اللون الأبيض التقليدي المرسل من خلال موشور طيفاً من عدة ألوان. يظهر كل واحد من هذه الألوان لنفسه شريطاً عريضاً نسبياً في مجال الترددات. تمتلك في إشعاع الليزر جميع قطارات الموجات تقريباً نفس التردد أو طول موجه وحدي (الشكل ٢). وبالتالي يكون ضوء الليزر من حيث الطيف شريطاً ضيقاً (أحادي اللون). يوجد أنواع من الليزر تشع من حيث المبدأ فقط تردداً وحيداً ثابتاً، وفي تلك الأنواع يمكن حتى اختيار طول موجة وحيد مع عرض خط غاية في الصغر ضمن مجال طيف معين (مثل ليزر الملونات). بواسطة الموشور أو الشبكة المتكاملة في الليزر يتم البحث عن أطوال الموجات هذه (تعيين طول الموجة). تمكّن التقنيات الخاصة من استكمال أو توسيع مجال الطيف، وهذا يمكن مضاعفة تردد الليزر

المرسل لعدة مرات عندما يرسل الضوء عبر بلورات مناسبة، لكن شدة الضوء تتناقص بوضوح.

التماسك 3

تمتلك جميع قطارات أمواج الإشعاعات الليزرية نفس المطال، وهي تنشأ بنفس الوقت وتتحرك «بخطوة موحدة» بنفس الاتجاه، هذا يعني أنها ملتحمة من حيث الزمان والمكان (الشكل ٣). لأن العديد من قطارات الأمواج المتوازية المتساوية التغطية - أي في الطور - تتداخل مع بعضها، يتم الحصول من خلال تراكم (تداخل) قطارات الأمواج مع شدة إشعاع ليزرية عالية. هذا التداخل المتساوي الطور لقطارات الأمواج يشترط إضافة عظمى لقمم الأمواج (المطالات).

الشدة العالية وإمكانية التركيز:

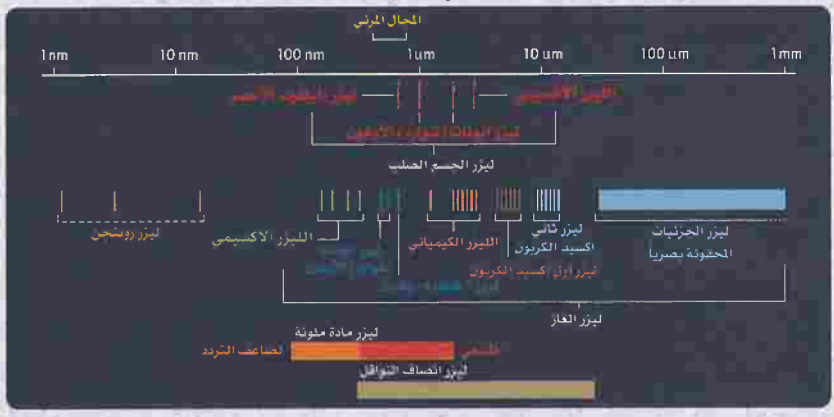
بسبب التماسك المكاني تتحرك قطارات الأمواج على مسافات بعيدة بشكل متوازٍ تقريباً وتنتج شعاعاً ليزرياً شديداً ومتماسكاً بشكل حاد (الشكل ٣ و٤)، يبين انتشاره العرضي على العكس من المصباح التقليدي (بيل الجيب الضوئي) حتى على مسافة بعيدة انتشاراً ضئيلاً (انفراج شعاعي). لذلك يمكن لشعاع الليزر أن يقاد إلى مسافات طويلة في نواقل ضوئية. وهذا يسمح بتوجيه مرن للشعاع وتحديد موضعه بدقة.

نتيجة للانفراج القليل للأشعة فإنه من الممكن حزم (تركيز) شعاع الليزر بواسطة العدسات في نطقة يمكن تصغير قطرها حتى حجم طول موجة الليزر، الخاصة أو الميزة التي تستخدم خصوصاً في التشغيل الصناعي الدقيق للمواد (الثقب؛ القص، ← الليزر في التشغيل) وفي الطب (مثل المشرط الليزري، ← الليزر في الطب). وهنا يأتي في صالح المستخدمين بالإضافة إلى الانفراج القليل للأشعة شدة الخرج العالية التي يمكن زيادتها من خلال الحزم. تتحدد شدة الإشعاع فضلاً عن ذلك من خلال نوع الليزر. هناك أنظمة ليزر ترسل أشعة مستمرة، وأخرى تشع

الضوء على شكل نبضات قصيرة. تقع مدة النبضات في الأنظمة النبضية عند ١٠؟ ثانية وحتى ١٠؟ ثانية. وفي ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون CO2-Laser يكون كلا نوعي التشغيل ممكناً. في نظام التشغيل المستمر (نظام الخط المستمر) يمكن الوصول بهذا الليزر إلى استطاعات من بضع عشرات الكيلو واط، وفي نظام تشغيل النبضات من ١٠٠ واط وحتى ١٠؟ واط. يمكن تحقيق استطاعات الذروة من هذه النوع في الحقيقة قط بطرق تقنية خاصة كتلك التي تسمى الوصل الجيد Guetes-chaltung أو ربط الموديلات Modenkopplung يتم فيها تكبير استطاعة الخرج من خلال تصغير مدة الإشعاع. يمكن اليوم بهذه الطريقة إنتاج نبضات ضوئية غاية في الشدة والقصر في مجال ١؟ ثانية وحتى ١٠؟ ثانية.

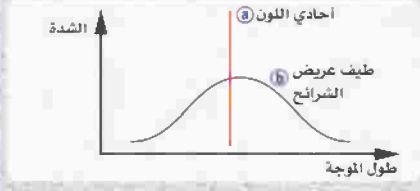
1 لمحة عن أهم أنواع الليزر في الطيف الكهرومغناطيسي

طول موجة الليزر ثابت التردد ومجالات أطوال الموجات الليزر بمقياس لوغارتيمي
(من مجال رونتجن ومجال الأشعة تحت الحمراء، فوق المجال المرئي، حتى مجال الأشعة فوق الحمراء والمجال الميليمتري)

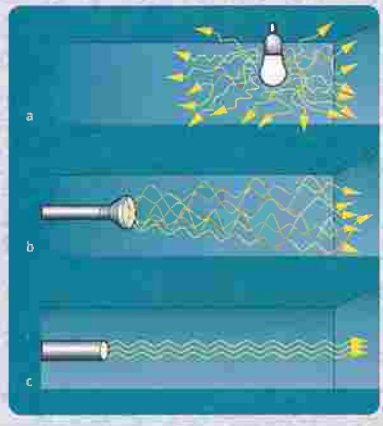


2 مقارنة بين عرض الشريط الطيفي

ⓐ الليزر
ⓑ مع منبع ضوء تقليدي



3 مقارنة بين منبع ضوئي يرسل أشعة
غير متماسكة (مصباح، بيل جيب)
مع منبع يرسل أشعة متماسكة (ليزر)



4 شعاع ليزر مُركز في تشغيل المواد

الليزر /٢/

تختلف أنواع الليزر عن بعضها من خلال حجمها وكذلك بشكل خاص من خلال تردد إشعاعاتها المرسلة. ينشأ إشعاع (إصدار) ضوء الليزر من خلال التأثير المتبادل لذرات أو جزيئات المادة المعينة ذات النشاط الليزري (الوسط الفعال) مع الفوتونات. تقسم أنواع الليزر عادة حسب أوساطها الفعالة إلى: الليزر الغازي، وليزر السوائل، وليزر الجسم الصلب، وليزر أنصاف النواقل (الديودات) وليزر بلازما رونتجن.

مبدأ الليزر ❶ ❷

يسترجع المبدأ الأساسي في توليد الضوء الليزر مختصراً في حروف كلمة LA-SER التي تشكل بداية أحرف الكلمات Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation وهذا يعني: إثارة تضخيم الضوء من خلال الإصدا المهيِّج للأشعة (إصدار مهيِّج أو محرِّض). تُحدد هذه العملية من خلال البنية الذرية للأوساط الفعالة وبالأخص لحالات الطاقة (مستويات الطاقة) أو لتوزع الإلكترونات ضمن الذرات (الشكل ١).

- الامتصاص: لرفع إلكترون إلى مستوى طاقة أعلى في الذرة يجب عليه أن يأخذ (يمتص) طاقة. ولدى حث الإلكترون وبذلك الذرة (من خلال الضوء مثلاً) يجب أن يتطابق تردد الفوتون (أصغر جزيء للإشعاع الكهرومغناطيسي) تماماً مع فرق الطاقة AE بين مستويي طاقة.

- الإصدار العفوي أو التلقائي: في الحالة المحرَّضة يتريث الإلكترون حوالي ١٠-٨ ثانية ويقفز بعد ذلك تلقائياً من جديد ليعود إلى المستوى الأدنى، أي إلى الحالة الأساسية للذرة. أما الفوتون الذي تم امتصاصه أساساً فيقذف عفوياً في أي اتجاه فراغي لا على التعيين. في منبع ضوء تقليدي تهيج العديد من الذرات أو الجزيئات بنفس الوقت، ولكن الانتقال إلى الحالة الاساسية يحصل بصورة إحصائية، بحيث تطلق قطارات الأمواج في أوقات مختلفة وفي كل الاتجاهات. هذا الإشعاع غير متماسك.

الإصدار المهيَّج: إذا تم إرسال فوتون ثاني بنفس تردد الفوتون الأول، فسوف يتم إشعاع كلاً من الفوتون الذي تم امتصاصه وكذلك الفوتون الثاني المأخوذ بنفس الوقت من الذرة من جديد. يُحرَّض الإصدار، وهذا يعني يُحث أو يهيج قبل أن ينبعث الفوتون الأول الذي تم امتصاصه تلقائياً. ففي عملية الإصدار المهيج تكون كل من اتجاهات الإشعاع وكذلك أطوار وأطوال موجات كلا الفوتونين متساوية، ويكون الضوء المنبعث متماسك وكثيف. يستطيع كلا الفوتونات المقذوفان بدورهما الآن أن يحثا من جديد إلكترونين محرَّضين للقيام بإصدار مهيج متزامن. تؤدي هذه العملية إلى تضخيم منهمر في عدد الفوتونات. يعمل الليزر إذاً كمقوٍ للضوء.

كان من الممكن أن تكون العملية الثانية بمفردها الحالة المثلى، إلا أن عمليات الإشعاع التلقائي وعمليات الامتصاص تتنافس مع الإشعاع المهيَّج. ولكن يمكن جعل الإصدار المحثوث ملائماً، إذا وجدت ذرات في الحالة المهيجة أكثر من ذرات في الحالة الأساسية. يعد هذا التوزيع شرطاً لإنتاج إشعاع متماسك، ويدعى التعاكس، لأن الأمر يتعلق بعكس الاحتلال المطابق للأعداد بخلاف الاحتلال الممكن لمستويات الطاقة عند درجات الحرارة العادية. يمكن تحقيق شرط العكسية من خلال أنظمة ليزر ثلاثية أو رباعية المستويات (الشكل ٢). ففي نظام الليزر الثلاثي المستويات (مثلاً في ليزر الياقوت الأحمر) «تضخ» الإلكترونات من خلال الضوء إلى المستوى E3، ثم تتحول من غير إشعاع إلى مستوي الليزر الأعلى E2 الذي يوجد فيه الآن إلكترونات أكثر بكثير من الحالة الأساسية E1. لقد حصلت عملية عكسية. لأن الإلكترونات في مستوى الليزر العلوي تتريث زمناً طويلاً نسبياً حتى تهيج لإرسال إشعاع ليزري. لكن تشكل جميع أنواع الليزر أساساً للأنظمة الرباعية المستويات لأنها تتطلب استطاعة ضخ أقل لتوليد الانعكاس.

بنية الليزر ❸ ❹

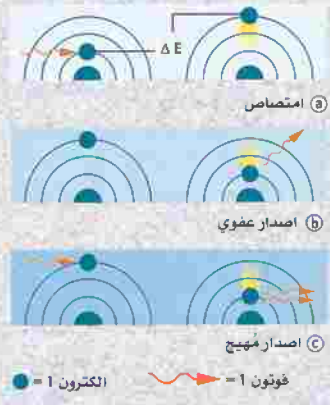
تتألف البنية النموذجية لكل ليزر من ثلاثة أحجار بناء أساسية (الشكل ٣، ٤):

- وسط فعّال ليزرياً: هنا يُولِّد الإشعاع الليزري من خلال الإصدار المهيَّج.

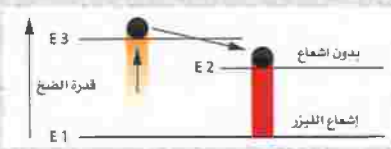
- منبع ضخ (تغذي بالطاقة): وهذا يقدم الطاقة الضرورية لتوليد الانعكاس، حسب نوع الليزر مثلاً من خلال منابع ضوئية (مصابيح برق أو ليزر ثاني)، أو من خلال تفريغ الغاز، أو من خلال الحث الإلكتروني أو الكيميائي.

- مرنان: ويتألف من ترتيب مرايا ويخدم إعادة ربط الإشعاع الليزري. بين مرآتين أو عدة مرايا عاكسة بشدة يبنى ويقوّى إشعاع الليزر، الذي يقرن بعد ذلك من خلال مرآة نفَّاذة (شفافة) جزئياً.

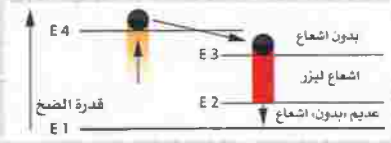
❶ أهم العمليات في تهيج الذرات



❷ حالات الطاقة «القدرة» في أنظمة الليزر

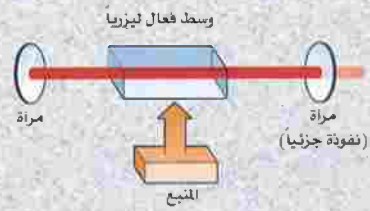


ⓐ نظام ليزر ثلاثي المستويات

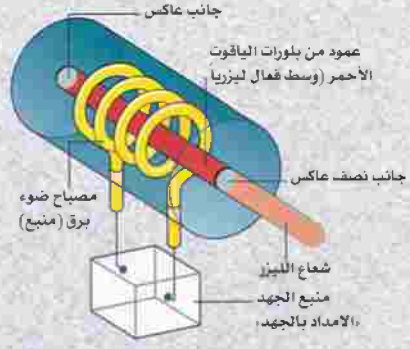


ⓑ نظام ليزر رباعي المستويات

❸ ⓐ البنية الأساسية للليزر



ⓑ بنية ليزر الياقوت الأحمر



❹ مرنان ليزر المادة الملونة

الليزر في هندسة التشغيل

تناسب الأشعة المكثفة والمحزومة كما هي في الليزر (←الليزر) كأداة عمل لثقب، أو قص، أو لحام، مواد لا على التعيين أو لتشغيلها من جوانب أخرى. تطور في السنوات الأخيرة استخدام الليزر إلى تكنولوجيا في هندسة التشغيل احتلت مكانها في مختلف المجالات التقنية كما هو الحال مثلاً في الميكانيك الدقيق والبصريات والإلكترونيات وتكنولوجيا أنصاف النواقل.

مبدأ تشغيل المعادن 1

يعتمد تأثير الليزر في هندسة الشغيل بشكل أساسي على أخذ الطاقة القادمة مع الأشعة من قبل سطح المادة وفي موقع محدد يتم تحويلها إلى حرارة، وخلال أجزاء من الألف أم من المليون من الثانية يمكن أن تنشأ درجات حرارة بعدة آلاف درجة مئوية. وحسب قوة ومدة الإشعاع تنصهر أو تتبخر المادة (الشكل ١). وفي درجات حرارة أقل من درجة الانصهار يمكن بواسطة الليزر تقسية السطوح الخارجية. بعد الصهر يمكن لحام، أو خلط المواد، أو الكتابة عليها. كما يمكن استخدام تبخير المواد في حفر ثقوب، أو قص أسلاك، أو عندما تتحرك المادة فرز شقوق، ويمكن حمل المادة المتبخرة لتشكيل طبقات تلبيس وإكساء رقيقة.

محاسن التشغيل بالليزر:

بالمقارنة مع الطرق الشائعة يقدم التشغيل بالليزر إضافة إلى الجودة العالية على الأغلب للمنتجات أيضاً محاسن حاسمة أخرى:

- من خلال تأثير الأشعة العديم التلامس والخالي تقريباً من القوى ينعدم تآكل واهتراء العدة : «آلات القطع أو التشغيل» المعهود في الطرق الأخرى، حتى أنه يمكن تشغيل المواد القاسية والهشة والقابلة للكسر بسهولة، بحيث لا داعي لربط أو تثبيت المشغولة.

- يستطيع شعاع الليزر إنتاج نماذج ذات أشكال لا على التعيين بسرعة وبجودة عالية وغالباً بدون أعمال إنهاء لاحقة.

هناك طرق تشغيل لايمكن تنفيذها إلا بواسطة الليزر، من بينها مثلاً عملية لحام الإلكترودات في الأنابيب المفرغة من الهواء وذلك من خلال اختراق الزجاج.

- يمكن توجيه شعاع الليزر بسهولة بواسطة مرآة وألياف من الكوارتز. وهذا يمكّن بالدجة الأولى بالتعاون مع الأنظمة المؤتمتة «الإنسان الآلي» من عمليات تشغيل مرنة.

إلا أنه أثناء عمليات التشغيل يمكن أن تنشأ مواد ضارة على شكل غازات ينبغي سحبها والتخلص منها.

الليزر من أجل عمليات التشغيل ❷ ❸

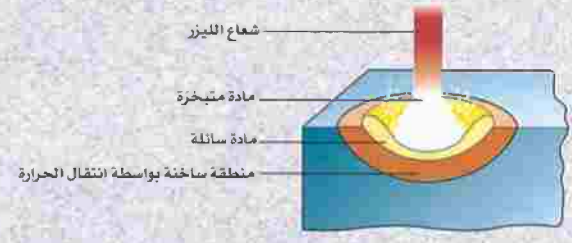
لتحقيق المتطلبات المتعددة الجوانب يتم العمل على الأغلب بثلاثة نماذج من الليزر: ليزر ثاني أكسيد الكربون (الليزر الغازي)، وليزر النيوديم (ليزر الجسم الصلب)، وليزر إكسيمر (ليزر غازي).

يمثل ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون (CO2- Laser) (الشكل ٢) إلى الآن أهم مصدر أشعة لعمليات التشغيل، فهو يعمل في مجال الأشعة تحت الحمراء، ويستعمل بشكل مستمر أو متقطع، وله مردود جيد يصل حتى ٢٠٪، ويمكن دمج أو حزم شعاعه حتى عشر ميليمترات مما يؤدي عند استطاعات الخرج العالية إلى كثافات ضخمة في الإنتاج. ففي صفائح الفولاذ يمكن الوصول إلى سرعات قص ولحام تبلغ بضعة أمتار في الدقيقة. لذلك يستخدم ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون بالدرجة الأولى في معالجة المشغولات المتوسطة والكبيرة، مع أنه في الوقت الحالي لايزال يتركز الجزء الأكبر من الاستخدام في أعمال القص واللحام (الشكل ٣)، وكذلك لتقسية المواد في صناعة السيارات وعند موردها، تكون أجهزة ليزر غاز ثاني اكسيد

الكربون الصناعية كبيرة الحجم نسبياً، لذلك تضع التكاليف والنفقات على الأجهزة بعض الحدود على الاستخدام. كلك يعمل ليزر النيوديم في مجال الأشعة تحت الحمراء، ولكن عند طول موجات واستطاعات أشعة أقل، ويستعمل في الأغلب في الأعمال النبضية بصورة متقطعة، ولأن أشعته تسمح بتركيزها (حزمها) بحدة أكثر يأتي استخدام هذا الليزر أساساً في تقنيات الأعمال الدقيقة والبصريات والإلكترونيات، ويمكن بواسطته قطع تقريباً جميع أنواع المواد المعدنية وغير المعدنية أو ثقبها أو لحامها. ويستخدم كذلك لتعليم الماركات والكتابة على الزجاج أو الحلي من خلال صهر أو تبخير المواد. عدا عن ذلك يمكن نقل الأشعة عبر ألياف من الكوارتز بحيث يمكن وصلها مباشرة مع الآلات الأوتوماتيكية «الإنسان الآلي» الصناعية.

يرسل ليزر أكسيمر أشعته فوق البنفسجية ذات الموجات القصيرة والموجهة في نبضات قصيرة فقط بأطوال بعض النانو ثانية (جزء من ألف مليون ١×١٠^{-٩} من الثانية)، وهي تسمح بحزمها حتى أقل من ميكرومتر، وتستخدم على الأغلب في فصل البنى الميكروية، أو في فتح أدق الثقوب للمصافي والبخاخات مثلاً. وتستغل الأشعة النبضية في الإلكترونيات لتشكيل بنى ميكروية في أنصاف النواقل. وبالإشارة إلى المستقبل فمن الممكن من خلال نقل المواد دون تسخين محيطي (Photo ablation) تشكيل دارات توصيل إلكترونية كاملة من الرقائق الدقيقة «الميكروشيبس Microchips».

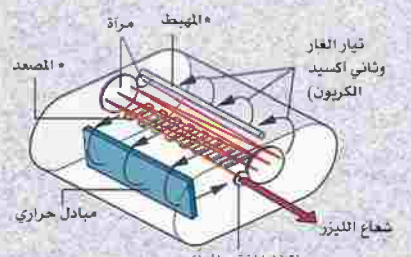
❶ نقل المادة عن طريق الليزر



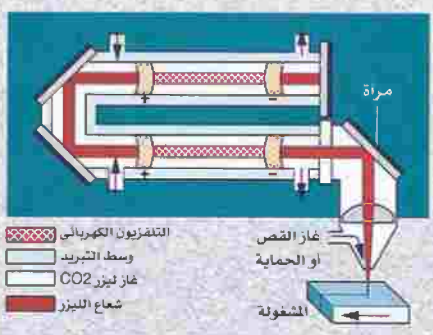
حسب شدة الاشعاع تتبخر المادة أو تنصهر

❷ ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون

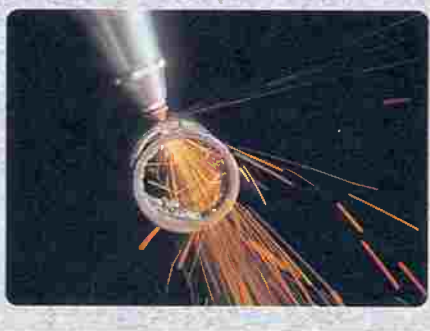
ⓐ البنية الأساسية
يتم نقل الطاقة من خلال تفريغ الغاز بين قطبين (مصعد ومهبط)



ⓑ البنية التخطيطية لتشغيل المواد



❸ القص بواسطة الليزر



الليزر في هندسة التشغيل