مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (4) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (4) 2018

اختيار الشرائح بالاعتماد على مراكز القرار في طريقة التصنيع السريع للنموذج

الدكتور تمام سلوم*

(تاريخ الإيداع 3 / 5 / 2018. قُبِل للنشر في 19/ 7 / 2018)

□ ملخّص □

تعرض هذه المقالة طريقة التصنيع السريع للنموذج من أجل تصميم وتصنيع القطع الميكانيكية المعقدة المستخدمة في الميكانزمات النموذجية الوظيفية. تعتمد هذه الطريقة على تقسيم القطع المعقدة إلى عدة قطع بسيطة قابلة للتصنيع على آلات التشغيل المبرمجة ذات السرع العالية انطلاقا من قطع خام ذات سماكات مقبولة تقريبا 40 مم من مواد مقاومة و خاصة الألمنيوم. سنركز في هذه المقالة على كيفية اختيار مستويات التقطيع الى شرائح من اجل تجنب المرور بالمناطق الوظيفية وذلك بالاعتماد على مراكز القرار وقمنا بعرض الخوارزميات المقترحة لتحديد هذه المستويات حيث تعتبر هذه المرحلة هي اهم المراحل في طريقة التصنيع السريع للنموذجURP .

الكلمات المفتاحية: النمذجة السريعة – مستويات التقطيع– مراكز القرار – الميكانزمات الوظيفية.

*مدرس – قسم الهندسة الصناعية في كلية الهندسة الميكانيكية جامعة حلب – سوريا.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (4) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (4) 2018

The choice of slicing by using decision centers in URP

Dr. Tammam Salloum*

(Received 3 / 5 / 2018. Accepted 19 / 7 / 2018)

□ ABSTRACT □

This paper presents the manufacturing process for complex parts in the aim of building functional prototype mechanisms. Functional prototypes are used during testing in order to validate new product design. Their layouts are very similar to the final product, wherein lies the interest of testing many modifications. The mechanism must respect the functional geometrical requirements and be capable of withstanding forces or, for example, ensuring a tight seal. The principle being proposed consists of decomposing the complex parts into several simple ones that can then be manufactured on a five-axis, high-speed milling machine from thick (approximately 40 mm) sheets made of resistant materials, notably aluminum. The problem is the choice of slicing in order to avoid cutting functional areas; This paper also presents a detailed application using CATIA

Key words: Rapid Prototyping, Sheet thickness, Decision centers

* **Assistant Professor – Industrial Engineering Dep - Mechanical college-University Of Aleppo - Syria**

مقدمة

النمذجة السريعة هي تكنولوجيا تستند مباشرة إلى التصميم بمساعدة الحاسب التي تسمح بإنتاج موديل صلب فيزيائي ثلاثي البعد انطلاقا من موديل افتراضي ثلاثي البعد و حسب الطريقة المستخدمة فان القطع يمكن أن تصنع باستخدام مواد متعددة مثل الورق، المواد البلاستيكية، الخشب و أيضا المعادن و لكن هذه القطع تصنع دائما من شرائح رقيقة.
إذا كانت النماذج الافتراضية المستندة إلى الموديلات الرقمية ثلاثية البعد تسمح بتحقيق المحاكاة الرقمية فان النماذج الفيزيائية تسمح بالاستخدام الحقيقي و تصبح في طور التطورات لتقنيات النمذجة السريعة أكثر فأكثر واصفة (مشابهة) للمنتج النهائي.[1]
النموذج الوظيفي يجب أن يسمح بالتحقق أثناء التجارب من غالبية الشروحات (المدلولات) الوظيفية و القيود المشروحة في دفتر الشروط لكي تكون قادرة على الوضع في الحالة الوظيفية. الميكانزم يجب أن يحترم المتطلبات الهندسية الوظيفية و يجب أن يكون قادرا على تحمل القوى و الطاقة و يجب أيضا أن يضمن خاصية إحكام السد (منع التسرب) على سبيل المثال حيث أنه في هذه الأيام القطع النموذجية المصنعة انطلاقا من البودرة أو السوائل لاتملك خواص ميكانيكية كافية و لا حتى الدقة المطلوبة حتى توضع داخل ميكانزمات وظيفية.

الدراسات المرجعية

شرح الباحث Merz [2] عدة طرق من اجل إنتاج نموذج معدني وذلك باستخدام أنظمة البثق المعدنية المقادة بواسطة الروبوتات. درس الباحث Hur [3] شكل جديد من نظام النمذجة السريعة والتي تستخدم كل من البثق والتصنيع. هذا النظام يقدم حل تصنيعي محسن باستخدام فوائد النمذجة السريعة و أنظمة التحكم الرقمي CNC.
.طور الباحث Claude Barlier [4] طريقة الستراتو كونسوبسيون (Stratoconception) المعتمدة على شرائح ذات سماكات رقيقة بين 2 إلى 10 مم مع سطوح اتصال دائما مستوية. تقطيع المواد الخام يكون باستخدام التفريز ثلاثي المحاور الذي يؤدي إلى ظاهرة التدرج أو باستخدام التفريز خماسي المحاور. درس الباحث Yves Houtmann [5] كيفية تقسيم الموديلات الثلاثية البعد إلى مناطق متعددة وكيفية اختيار مستويات التقطيع. وضح الباحث Benoit Delebecque [6] كيفية التجميع للشرائح الناتجة عن التقطيع بواسطة اللصق او بواسطة طرق التعشيق او باستخدام وسائل السنترة. اقترح الباحث Lauvaux [7] عدة برامج تستخدم فقط لإنتاج القطع الفنية بواسطة النمذجة السريعة. وضع الباحث Lesprier [8] طريقة تسمح بتصميم وإنتاج النماذج الثلاثية البعد باستخدام طريقتي النمذجة السريعة و طريقة التصنيع باستخدام آلات التشغيل المبرمجة.

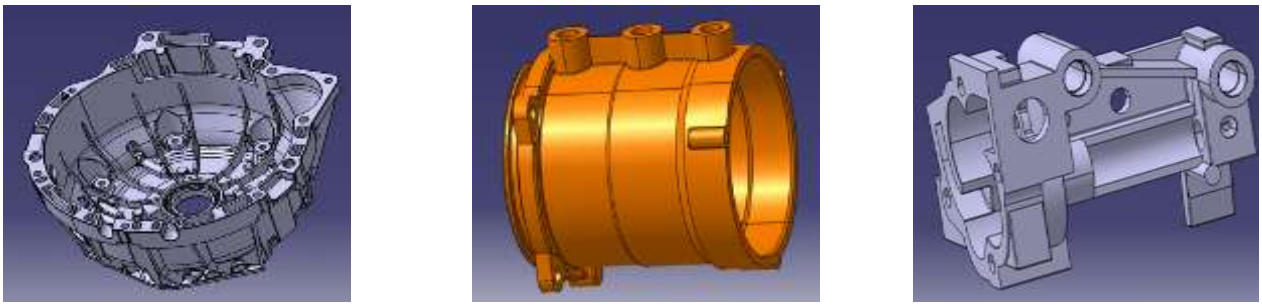
أهمية البحث وأهدافه

يهدف هذا البحث إلى وضع طريقة متكاملة كيفية اختيار الشرائح عند تصميم وتصنيع الميكانزمات الوظيفية بطريقة URP. الطريقة الجديدة المقترحة تسمح بتقسيم القطع النموذجية المراد إنتاجها إلى شرائح بحيث أن كل شريحة تكون بشكل سهل قابلة للإنتاج بالتصنيع. اتجاه التقطيع وسماكة الشرائح يتم اختيارهما من اجل إبقاء قدر الإمكان المناطق الوظيفية داخل نفس الشريحة و من اجل ضمان قابلية التصنيع أيضا. هذه القيود تقود دائما الى سطوح اتصال معقدة بين الشرائح حيث يهدف هذا العمل ايضا الى تطوير الية تقسيم القطعة الى شرائح وذلك باستخدام مفهوم مراكز القرار.

النتائج والمناقشة

النماذج الوظيفية

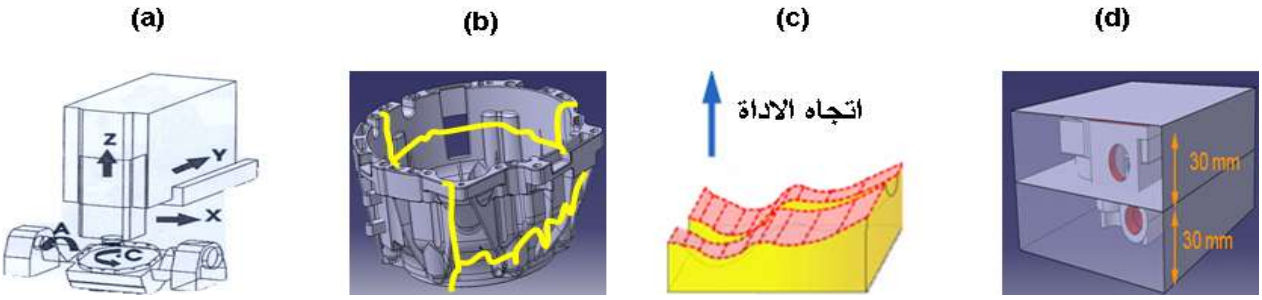
النماذج الوظيفية تستخدم في طور التجارب من اجل التحقق من التشغيل الجيد للميكانزم. هذه النماذج تصنع من المعدن أو من السبائك. شكل هذه النماذج و خصائصها يكونان قريبان من المنتج النهائي. النموذج الوظيفي يجب أن يستطيع تحمل القوى و القدرة ويجب أن يضمن خاصية إحكام السد (منع التسرب) و يجب أن يحترم الدقة المطلوبة للإجابة على المتطلبات الوظيفية. هذه القطع سوف تجمع داخل الميكانيزم و هذه القطع تملك سطوح وظيفية و تتطلب تجميع عالي النوعية الذي لا يمكن أن نحصل عليه إلا بالتصنيع. هذه القطع غالبا تكون معقدة و تكون صعبة الإنتاج فقط عن طريق التصنيع من قطعة خامة واحدة (شكل 1).



الشكل(1) قطع صناعية مختلفة من نوع كارتير

التقطيع إلى شرائح وظيفية

الهدف من هذه الطريقة URP هو إنتاج قطع ذات أشكال معقدة من أمثال القطع في الشكل 1 و ذلك بالتصنيع على آلات التشغيل المبرمجة و لكن بتقسيم كل قطعة إلى عدة شرائح مجمعة. القطع سوف تكون مصنعة من شرائح ذات سماكات تقريبا بحدود 40 مم سواء من مواد متوفرة في المخزن (المنيوم أو فولاذ) أو من مواد مقترحة لهذه القطع. هذه المواد سوف تكون مقاومة للقوى الميكانيكية و التآكل. التصنيع سوف يجري على آلة تشغيل مبرمجة عالية السرع ذات تحكم رقمي (شكل 2a) الذي يفتح إمكانيات متعددة.



الشكل (2) إنتاج القطع بالتقسيم إلى شرائح وظيفية

إن طريقتنا URP تختلف بشكل كبير عن الطرق الأخرى للستراتوكونسوبسيون (Stratoconception) بالخصائص التالية :

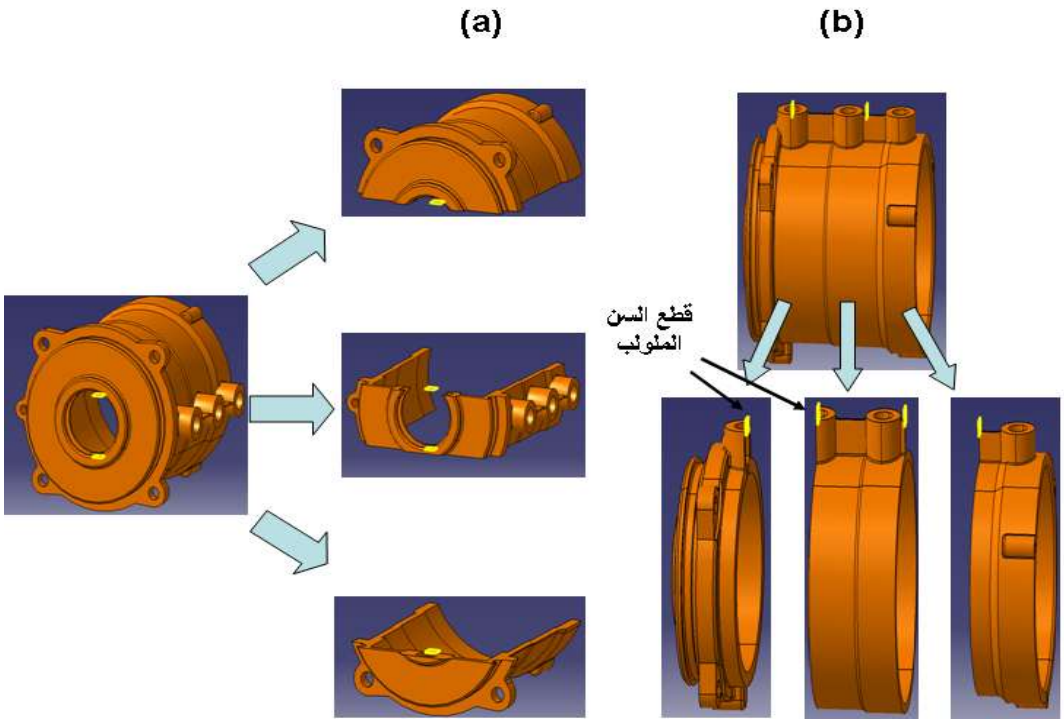
- التصنيع على آلات التشغيل المبرمجة ذات الخمس محاور(شكل 2a).
- الشرائح السميكة (ذات السماكات بحدود 40 مم) قابلة للتجميع في كافة الاتجاهات (شكل 2b).
- سطوح الاتصال بين الشرائح ليست بالضرورة مستوية (شكل 2c).
- التصنيع يكون أيضا داخل السماكات للقطع الخام (من على السطوح الجانبية) (شكل 2d).

الهدف أيضا من هذا الموضوع هو أتمتة هذه الطريقة URP في بيئة التصميم بمساعدة الكومبيوتر (CAD) باستخدام برنامج CAPP (Computer Aided Process Planning).

التقسيم إلى شرائح

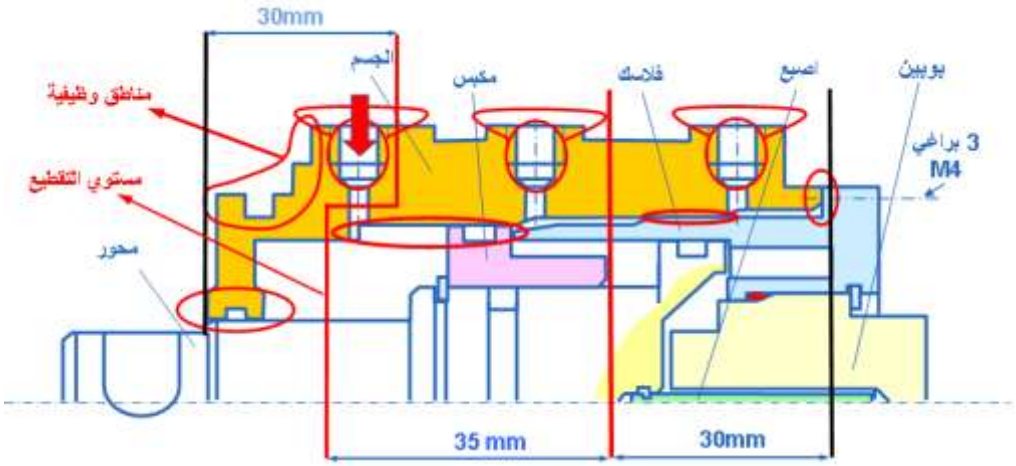
التقطيع

التقطيع هو المرحلة الأولى و الأهم التي يجب تنفيذها بعد الحصول على المعطيات (الموديل الرقمي للقطعة). هذا يعني إنشاء (توليد) الشرائح و ذلك بتقسيم الموديل إذا أمكن بدون المرور(بدون قطع) المناطق الوظيفية و بحيث نضمن قابلية التصنيع لكل شريحة. سماكة الشرائح تم تحديدها انطلاقا من سماكة القطع الخام المتوفرة على سبيل المثال 40 مم. انه من الصعب العمل داخل قطع ذات سماكات كبيرة لان ذلك يتطلب أدوات قطع طويلة جدا و بالنتيجة هشة و ذات قدرة قليلة من ناحية الدقة. الاتجاه الأفقي هو اتجاه المستويين الأكثر اقترابا و الذين يحتويان كل القطعة. هذا الاتجاه المبدئي يسمح بتقليل عدد وسماكات الشرائح. الشكل 3 يعرض تقسيم كارتير التحكم البينوماتيكي لعلبة السرعة حيث أن الرسمة بشكل مفصل موضحة في الشكل4 . في الشكل 3a المستويات الأفقية تمر(تقطع) المناطق الوظيفية . القطعة المركزية تكون هشة جدا. هذا الحل (حل المستوي الأفقي) يقطع سطوح التوجه للمكبس ومن الصعب ضمان خاصية إحكام السد (منع التسرب). الشكل 3b يعرض تقسيم الكارتير بواسطة المستويات الشاقولية . كل قطعة (كل مقطع) يكون قاسي بشكل جيد. و لكن بالمقابل على الجزء الأيسر من الشكل 3b و من اجل ضمان استمرارية الثقب فان مستوي التقطيع يقطع السن الملولب إلى قسمين و هذا الأمر يعقد الأمور أثناء التجميع.



الشكل (3) التقسيم باستخدام مستويات أفقية وشاقولية

الشكل 4 يعرض حلا بواسطة مستوي تقطيع متدرج الذي لا يمر(لايقطع) السطوح الوظيفية للكارتير



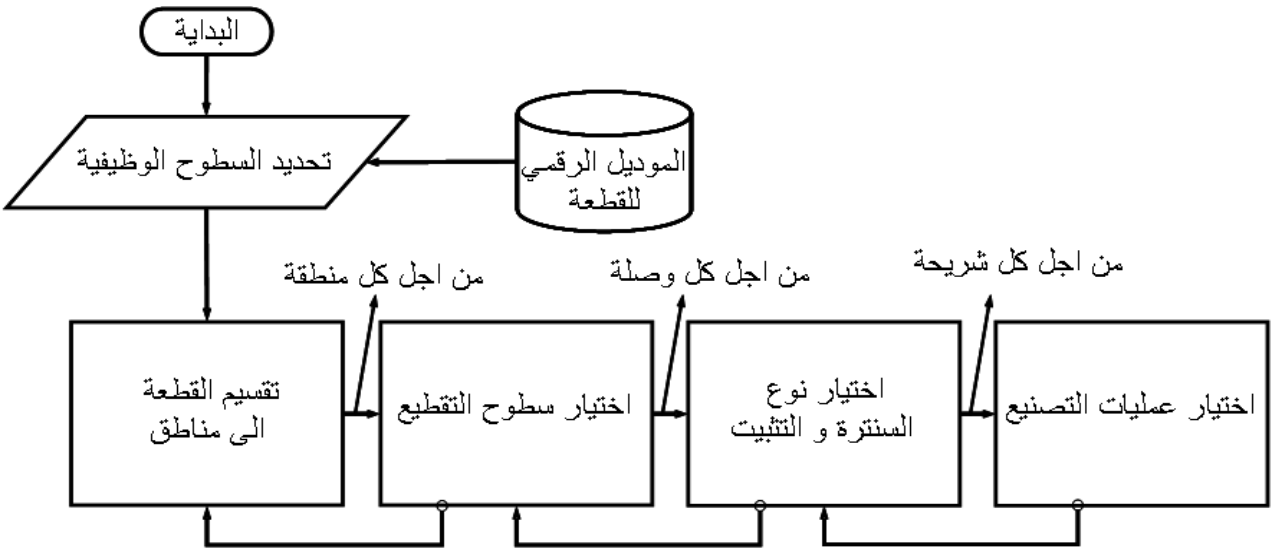
الشكل (4) التقطيع باستخدام مستوي متدرج

مراكز القرار

إن طريقة اختيار نوع التقطيع (نوع مستوي التقطيع) تكون مقيدة (مرتبطة بقيود) بشكل كبير و خاصة بإمكانية تحقق خطط التصنيع للقطع. لهذا السبب سوف يكون من الضروري إنشاء (صياغة) قواعد مختلفة. الحل الذي تم اختياره هو مفهوم مراكز القرار التي تم تطويره من قبل السيد الان شيب في عام 1993 [10] [9]

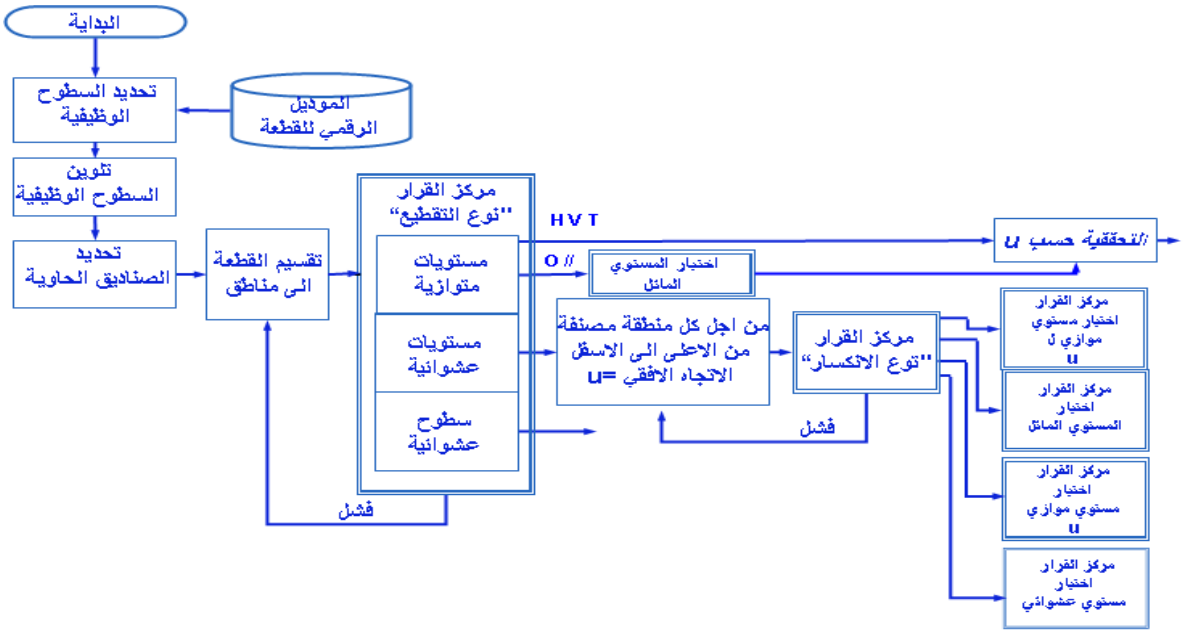
مركز القرار هو عبارة عن مجموعة من القواعد السامحة باختيار فعل (حل) من بين مجموعة أفعال (مجموعة حلول) معروفة بشكل كامل (محددة بشكل كامل). مركز القرار هذا يحتوي على قواعد الإلغاء لكل فعل (لكل حل) و يحتوي أيضا على ساحة (مجال) الحلول الذي يختار الفعل (الحل) الذي يجب وضعه (اختياره) من بين الحلول القابلة للتطبيق. مجال (ساحة) الحلول يكون مبني على تصنيف بسيط شرطي للحلول أو على تخمين متعدد المعايير(التكلفة و الوقت) من اجل اختيار الحل الأكثر فاعلية

.



الشكل (5) المخطط الإجمالي لطريقة التصنيع السريع للنموذج URP

المشكلة الإجمالية يجب أن تكون مقسمة إلى مجموعة مشكلات متعددة أكثر بساطة. الشكل 5 يعرض المخطط الإجمالي لطريقتنا التصنيع السريع للنموذج ***URP*** . الشكل 6 يعرض الطريقة الإجمالية السامحة باختيار نوع التقطيع هذه الطريقة صعبة ولكن تحاكي مراكز القرار التي تحوي قواعد قابلة للتعديل من قبل المستخدم. إذا في المستقبل تم إيجاد حل جديد يكفي فقط إضافة أسهم خرج إضافية لمراكز القرار المقصودة بدون تخريب الإنشاء الإجمالي للطريقة (المخطط الإجمالي للطريقة). سوف نركز في مقالتنا هذه على كيفية اختيار سطوح التقطيع بالاعتماد على مراكز القرار



الشكل (6) المخطط الإجمالي لاختيار نوع التقطيع

الشكل 6 يعرض طريقة اختيار نوع التقطيع للقطع الميكانيكية . انطلاقا من الموديل الرقمي للقطعة فان المصمم يصمم القطع الوظيفية الحاوية على سطح أو عدة سطوح وظيفية و ذلك بإعطائها احد الألوان التالية :

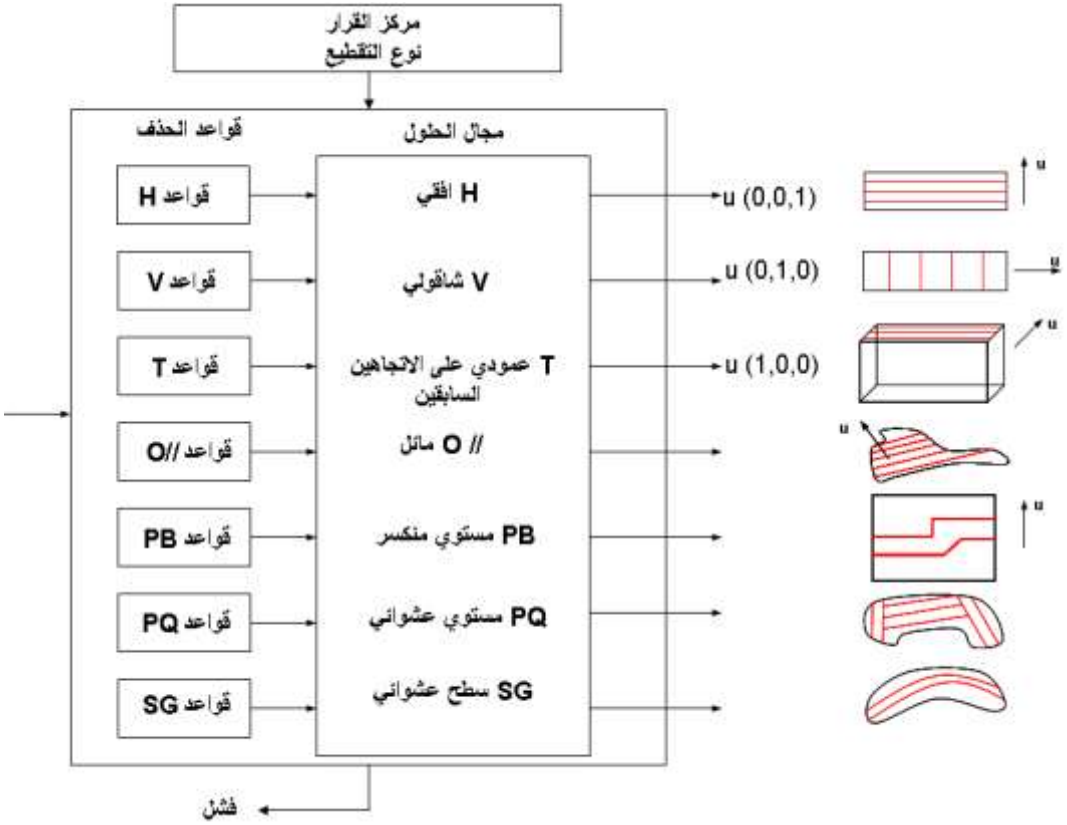
- اللون الأحمر يعني أن المنطقة لا يمكن أن تكون مقطوعة (يعني من الممنوع مرور أي مستوي بهذه المنطقة)
- اللون الأزرق يعني أن المنطقة يمكن أن تكون مقطوعة في حالة التخشين و لكن عملية الإنهاء يجب أن يتم تنفيذها بعد التجميع
- اللون الأصفر يعني أن المنطقة يمكن أن تكون مقطوعة (يعني من المسموح مرور مستوي التقطيع بهذه المناطق ذات اللون الأصفر)

من اجل تحديد الاتجاهات المبدئية للقطعة سوف نحدد الصندوق الحاوي للقطعة ككل و الصندوق الحاوي لكل منطقة. من اجل كل صندوق حاوي فان الاتجاه الذي يتطابق مع البعد الأصغر للصندوق سوف يكون الاتجاه المبدئي ويدعى ***u***

بشكل عام القطعة تدرس كاملة و في بعض الحالات القطع الكبيرة يمكن أن تقطع إلى مناطق متعددة من قبل المصمم قبل الدراسة من اجل سهولة الحل.

انطلاقا من هذه المعطيات يجب إجراء اختيارات مختلفة. تركيبة الشكل 6 تفرض البدء بنوع التقطيع . مركز القرار في الشكل 7 يختار نوع التقطيع من بين 7 حلول ممكنة. الحلول الأربعة الأولى تتألف من تحديد التقطيع بواسطة

مستويات متوازية بسيطة في الاتجاهات الأفقية و الشاقولية و الاتجاه العمودي على هذين الاتجاهين(يعني الاتجاهات الثلاثة للصندوق الحاوي للقطعة) أو في اتجاه وحيد مائل مطلوب تحديده.



الشكل (7) مركز القرار اختيار نوع التقطيع

الحلين الأخريين يشملان التقطيعات المعقدة إما بواسطة مستويات ذات اتجاهات عشوائية أو منكسرة أو بواسطة سطوح عشوائية.

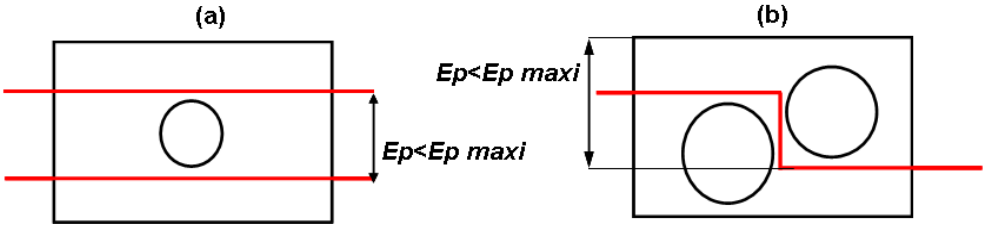
من اجل كل حل يستطيع المستخدم أن يحدد على الأقل قاعدة حذف و التي يمكن أن تمنع هذا الحل فعلى سبيل المثال يمكن أن نصوغ قاعدة للسطوح العشوائية (إن التقطيع بواسطة سطوح عشوائية ممنوع إذا كان يوجد ضغط هيدروليكي بين سطوح الاتصال بين الشرائح).

بعد التنقية (الفلترة) بواسطة قواعد الحذف يوجد عدة حلول ممكنة . إن ساحة (مجال) الحلول تقارن بين هذه الحلول وتقترح حلا. الحل الذي تم اختياره سوف يتم اختباره بواسطة الخطوات اللاحقة الموجودة في الشكل 6 و إذا كان الحل الذي تم اختياره غير ممكن تحقيقه فإننا سوف نعود داخل مركز القرار الذي سوف يختار حلا آخر. إذا لايوجد أية حلول فان مركز القرار نفسه سوف يعلن انه في حالة فشل و سوف نعود إلى مركز القرار الذي قبله

قابلية تحقق التقطيع بالاتجاه u

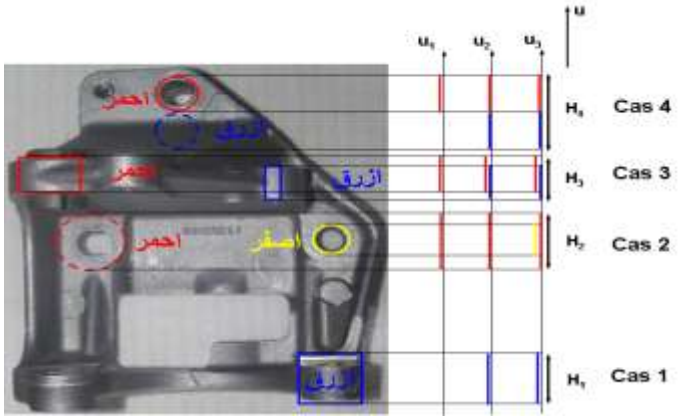
بعد مركز القرار الذي اختار اتجاه التقطيع *u* يجب التحقق فيما إذا كل المناطق الوظيفية يمكن أن تكون معزولة في شرائح في هذا الاتجاه. المشكلة التقنية هو إنتاج شرائح حاوية على المناطق الوظيفية بدون تقطيعها (بدون مرور مستوي التقطيع فيها) من اجل ذلك يجب معرفة المخزون من المواد الخام المتوفرة من المادة المرغوبة. هذا المخزون يعطينا السماكة العظمى المتوفرة و التي يمكن أن نرمز لها ب E_{Pmaxi}. الشكل *8a* يعرض منطقة وظيفية ممثلة هنا بثقب بسيط. إذا سماكة هذه المنطقة الوظيفية اصغر من السماكة العظمى للقطعة الخام فانه يمكن أن ننتج هذه

المنطقة في شريحة محدودة بمستويين بسيطين بدون المرور بهذه المناطق الوظيفية. الشكل 8b يعرض قطعة مؤلفة من منطقتين وظيفيتين فان مستوي التقطيع يجب أن يكون منكسرا.



الشكل (8) شرائح وظيفية كلاسيكية

الشكل 9 يعرض خوارزمية (الغور يتم) التحقق من التقطيع حسب الاتجاه u . المبدأ يتألف من إسقاط كل المناطق غير القابلة للتقطيع (الملونة باللون الأحمر) على مستقيم u_1 و المناطق الملونة بالأحمر و الأزرق على مستقيم u_2 ثم الأنواع الثلاثة من المناطق الوظيفية الملونة بالأحمر و الأزرق و الأصفر على مستقيم u_3. الهدف هو إيجاد (إذا أمكن) شرائح حاوية للمناطق الوظيفية بدون المرور فيها (أو بدون أن تقطعها). الحالة H_3 تعرض انه يجب أن تأخذ بعين الاعتبار الارتفاعات لمناطق متعددة. الحالة H_4 تعرض منطقتين وظيفيين من حيث المبدأ يجب الأخذ بعين الاعتبار مجموع ارتفاعهما لتجنب الفراغ الذي قد ينشا أثناء التجميع.

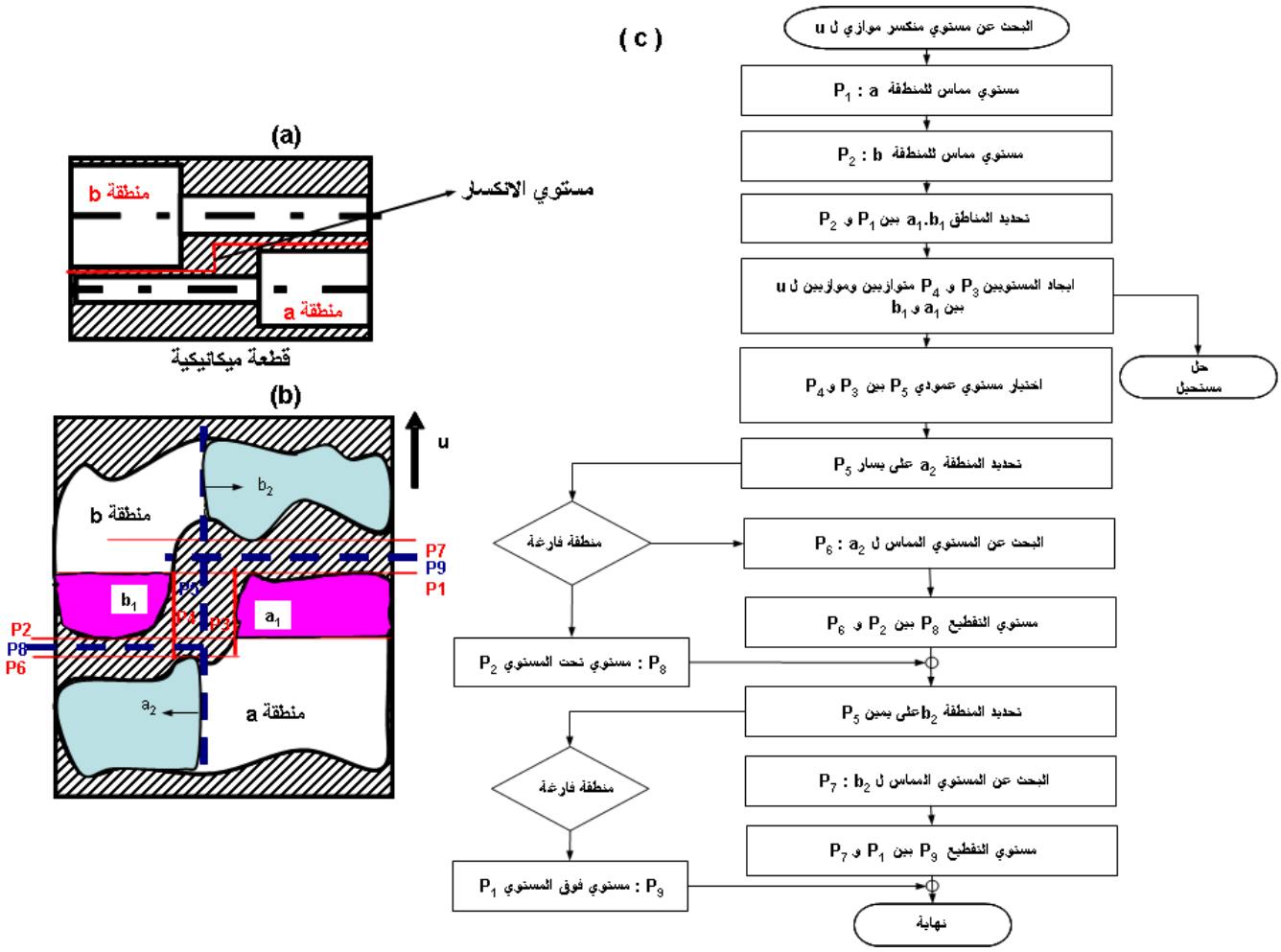


الشكل (9) قابلية تحقق التقطيع بالاتجاه u

إذا كل الارتفاعات H_i المحصول عليها على المستقيم u_1 اصغر من السماكة العظمى E_{Pmaxi} عندئذ التقطيع وفقا للاتجاه u يكون قابلا للتحقيق و لكن يبقى دراسة تجميع الشرائح وقابلية التصنيع و إلا فان الحل سوف يكون فاشل.

اختيار نوع التدرج في المستوي المتدرج

إذا المستويات H V T و المائلة المتوازية تمر بالمناطق الوظيفية يعني إذا إمكانية التحقق وفقا للاتجاه u غير محققة فقط بسبب وجود منطقتين وظيفتين منزاحتين كما في الحالة 3 في الشكل 9 فان مركز القرار" نوع التقطيع " يقترح الحلول المعقدة "المستوي المنكسر أو المستويات العشوائية أو السطوح العشوائية". هذه الأنواع من التقطيع تتجنب المرور بالمناطق الوظيفية. الشكل 10a يعرض قطعة بمنطقتين مؤلفة من ثقبين . التقطيع بواسطة مستوي بسيط غير ممكن في هذه الحالة. بعد اختيار مركز القرار لحل التقطيع بواسطة المستويات العشوائية في الاتجاه u فان مركز القرار يجب أن يحدد نوع الانكسار.



الشكل (10) خوارزمية اختيار المستوي المتدرج مع انكسار موازي لu

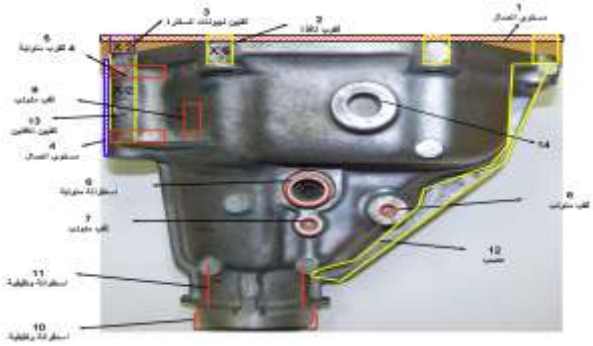
الشكل 10b يعمم هذه الحالة بواسطة المنطقتين a و b ذوات الأشكال العشوائية. الشكل 10c يعرض مراحل البحث على مستوي موازي للاتجاه u الذي يسمح بالمرور من مستوي إلى أخر.نبحث عن المستوي P_1 العمودي على u و المماس للمنطقة a و عن المستوي P_2 العمودي على u و المماس للمنطقة b. هذين المستويين P_1 و P_2 يحددان المناطق a_1 و b_1 . يجب الان تحديد المستويين P_3 و P_4 الموازيين للاتجاه u ويبعدان عن بعضهما قدر الإمكان ويمران بين المنطقتين a_1 و b_1 . إذا لا يوجد حل فان القرار يكون في حالة فشل. ليكن P_5 المستوي المتوسط ل P_3 و P_4 . P_5 يحدد المناطق a_2 , b_2 . نبحث عن المستوي P_6 المماس للمنطقة a_2 و العمودي على u و نبحث عن المستوي P_7 المماس للمنطقة b_2 و العمودي على u . مستوي التقطيع يجب أن يمر بين P_1 , P_7 ثم بين P_2 , P_6 بالمرور ب P_5. اختيار طريقة التقطيع يعتمد على هذا النوع من المحاكاة الهندسية.

تطبيق على قطعة ميكانيكية معقدة

هذا الجزء يعرض تطبيق طريقتنا URP (التصنيع السريع للنموذج) على قطعة ميكانيكية معقدة من نوع كارتير مصنوعة سابقا بالسباكة شكل 11.

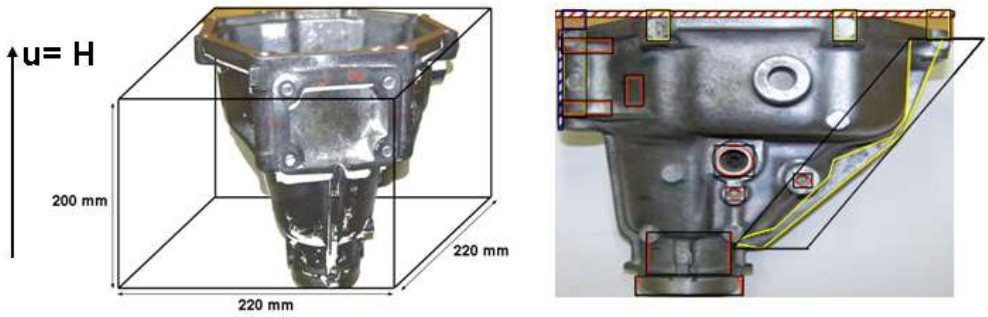
الشكل (11) قطعة ميكانيكية معقدة من نوع كارتير

هذه القطعة هي كارتير علبة سرع حاوية على عدة مناطق وظيفية.



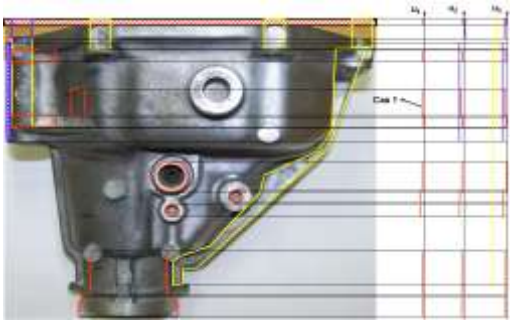
الشكل (12) المناطق الوظيفية للقطعة من الداخل ومن الخارج

الشكل 12 يعرض المناطق الوظيفية للقطعة من الداخل و الخارج. المنطقة 14 لا تتطلب أي دقة و يمكن أن تكون مقطوعة (مستوي التقطيع يمر بها) لذلك هي غير ملونة من قبل المصمم وسوف تكون مهملة في خطوات التحليل اللاحقة. من اجل تحديد الاتجاه المبدئي للتقطيع u تم تحديد الصناديق الحاوية للقطعة ككل و لكل منطقة وظيفية وثم تم تحديد الاتجاه u شكل 13.



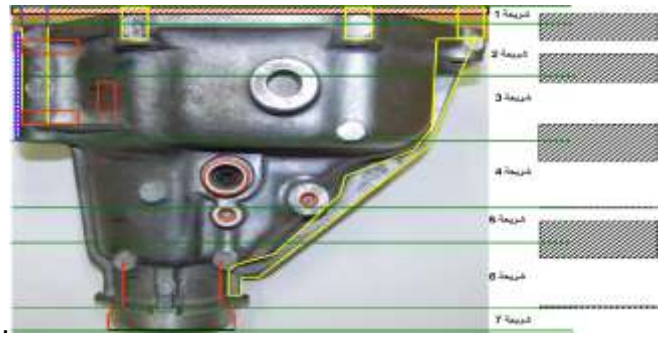
الشكل (13) الصناديق الحاوية للقطعة ككل و لكل منطقة وظيفية

انطلاقا من هذه المعطيات فان مركز القرار شكل 7 يقترح عدة حلول وسوف نبدأ بالتقطيع الأفقي، الشكل 14 يعرض المناطق التي يمكننا فيها اختيار مستويات التقطيع وذلك بعد إسقاط المناطق الوظيفية على الاتجاهات u_1, u_2, u_3.



الشكل (14) إسقاط المناطق الوظيفية على u_1, u_2, u_3

الشكل 15 يوضح مستويات التقطيع المقترحة



الشكل (15) مستويات التقطيع المقترحة

الاستنتاجات والتوصيات:

في هذه المقالة تم عرض الطريقة المقترحة URP (التصنيع السريع للنموذج) التي تسمح بإنتاج القطع المعقدة من اجل تصنيع الميكانزمات الوظيفية النموذجية. حيث يتم تقسيم القطعة المعقدة إلى عدة شرائح قابلة للتصنيع من مواد خام ذات سماكات تقريبا 40 مم من المادة المرغوبة (المنيوم أو فولاذ أو.....). لقد عرضنا الطريقة الإجمالية لاختيار مستويات التقطيع باستخدام مفهوم مراكز القرار وهذه الطريقة تشمل مجموعتين من مستويات التقطيع : التقطيع البسيط //O T V H و التقطيع المعقد PB, PQ, SG. ووضحنا كيفية اختيار المستويات وفق الاتجاه u وقابلية التحقق من هذا الاتجاه ووضعنا الخوارزميات اللازمة لكل حالة من حالات مستويات التقطيع المقترحة وقمنا بتطبيق هذه الطريقة على قطعة ميكانيكية معقدة من نوع كارتير

المراجع:

[1]. A.BERNARD and G. TAILLANDIER*" Le prototypage rapide "* HERMES,Paris 1998

[2].K.HATMAN, K.KRISHNAN, R.MERZ "*Robotic-assisted shape deposition manufacturing* " IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego, May1994

[3]. J.HUR, K.HU, Z.KIM, " *Hybrid rapid prototyping system using machining and deposition* Computer-Aided Design 34(10):741–754 2002

[4]. C.BARLIER, SHAN PING LIAN, Hu SHENGSUN, " *Procédé de réalisation de pièces mécaniques, en particulier de prototypes, par décomposition en strates avec retournement, strates élémentaires obtenues selon le procédé et pièces mécaniques ainsi obtenues*", brevet n°98 14688 1998

[5]. Y.HOUTMANN " *Décomposition avancée de modèles numériques CAO pour le procédé de Stratoconception Développement des outils associés* ", Ph.D. thesis, Université Henri Poincaré Nancy 2007

[6]. B. DELEBECAUE " *Intégration de fonctions avancées à l'inter-strate de pièces réalisées par le procédé de Stratoconception, Méthodologie et développement des outils associé* ", Ph.D. thesis, Université Henri Poincaré Nancy 2007

[7]. G. LAUVAUX " *La réalisation d'œuvres d'art par prototypage rapide avec le procédé de Stratoconception.*", Ph.D. thesis, Université de Reims Champagne-Ardenne 2005

[8] T. LESPRIER *" Conception et Fabrication de Prototypes Modulaires à fonctionnalités évolutives* ", . Ecole Centrale de Nantes and Université de Nantes 2005

[9] A. CHEP *" A knowledge based-representation and a decision based-approach for advanced manufacturing systems* ", . Proceedings from the 30th International MATADOR Conference. Manchester, March 1993

[10] B. ANSLMETTI *" A decision-based approach: application to the automatic design of process planning* ", Prod Plan Control 6(4):345–351 1995