Hadhramout University Journal of Natural & Applied Sciences

Volume 15 | Issue 2 Article 15

2021

Design and Performance of a 3D-knitting Mechanism for Fiber Reinforced Metal Alloys

Mahmood AL – Asad
Mechanical and Electrical Engineering Faculty - Al-Baath University- Syria

Mahmood AL – Asad
Mechanical and Electrical Engineering Faculty - Al-Baath University- Syria

Makky AL – Muhanad
Mechanical and Electrical Engineering Faculty - Al-Baath University- Syria

Follow this and additional works at: https://digitalcommons.aaru.edu.jo/huj_nas

Recommended Citation
AL – Asad, Mahmood; AL – Asad, Mahmood; and AL – Muhanad, Makky (2021) "Design and Performance of a 3D-knitting Mechanism for Fiber Reinforced Metal Alloys," *Hadhramout University Journal of Natural & Applied Sciences*: Vol. 15 : Iss. 2 , Article 15.
Available at: https://digitalcommons.aaru.edu.jo/huj_nas/vol15/iss2/15

This Article is brought to you for free and open access by Arab Journals Platform. It has been accepted for inclusion in Hadhramout University Journal of Natural & Applied Sciences by an authorized editor. The journal is hosted on Digital Commons, an Elsevier platform. For more information, please contact rakan@aaru.edu.jo, marah@aaru.edu.jo, u.murad@aaru.edu.jo.

تصميم وأداء آلية الحياكة ثلاثية الأبعاد لألياف تدعيم السبائك المعدنية

محمود الأسعد* المهند مكي**

وردان وحود***

الملخص

تم في هذا البحث تصميم آلية حياكة ثلاثية الأبعاد لألياف تدعيم السبائك المعدنية، و ابتكار أداء حركة مناسب يتيح تشكيل و نسج أشكال هندسية مطابقة إلى حدٍ ما شكل القطعة المراد تدعيمها من خلال التحكم بمسار ألياف الربط العرضية.حيث يتم توصيف كل مجسم هندسي من خلال مجموعة من المصفوفات ثلاثية الأبعاد، حيث يتم تقسيم الشكل الهندسي إلى شرائح شاقولية متوازية، وكل شريحة (Slice) تتميز بمصفوفة خاصة (matrix) بها وفق مايتناسب مع المجسم الهندسي.يتم استخدام هذا المجسم المحاك بشكل ثلاثي الأبعاد (3D woven) في التدعيم من خلال وضعه في ضمن قالب لحقن المادة الأساس فيه والحصول على القطعة المطلوبة مدعمة بالألياف في الاتجاهات الثلاثة.

الكلمات المفتاحية: المنسوج ثلاثي الأبعاد، ميكانيزم، التدعيم، الألياف، الشرائح، نواخب، مصفوفة، شبكة.

المقدمة:

نتيجة للتقدم الصناعي والثورة التكنولوجية الحديثة تحتاج العديد من التطبيقات الهندسية إلى جملة من الخواص الملائمة التي لا يمكن الحصول عليها من المعادن الأساسية المتوفرة، كالمقاومة العالية لظروف التحميل العالية ولدرجات الحرارة المرتفعة والقدرة على تخميد الاهتزازات والخواص الميكانيكية الجيدة من قساوة ومعامل يونغ وخواص شد مع المحافظة على قابلية التشكيل والخفة في الوزن والكثافة المنخفضة والتكلفة الاقتصادية المقبولة لذا تم اللجوء إلى تدعيم هذه المعادن لتحسين خواصها واستخدامها في مجالات أوسع ومن ثم ظهور المواد المركبة ذات الأساس المعدني MMC (Metal Matrix Composite)أو ما يعرف بالمعادن المدعمة RM (Reinforced Material). وخلال الثمانينيات تسارعت سرعة استخدام المواد المدعمة في تطبيقات الفضاء الجوي والسيارات والبحرية [3،6]. وكان السبب الرئيسي للاعتماد على هذا النوع من المواد المركبة هو خفة وزنها ومتانتها العالية نسبياً والتي يمكن أن تكون مثالية في ظروف تحميل محددة. ولكن في أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات، تراجع معدل استيعاب المواد المدعمة في تطبيقات الطيران والسيارات نتيجة لتكلفة التصنيع المرتفعة . و قد تم في التسعينيات ادخال هذه المواد في تطبيقات متنوعة أخرى مثل الرياضة، والسيارات، والسكك الحديدية، والبنية التحتية المدنية.ويمكن أن نقول أن تكلفة عمليات تصنيع هذه المواد باهظة لأنها تتطلب آليات وعمليات جديدة غير مألوفة وكذلك إعادة تدريب الموظفين والعمل عليها . في مجال هذه المركبات أجريت الكثير من البحوث للحد من التكلفة وتطوير عمليات تصنيع هذه المواد والاتجاه نحو أتمتتها آلياً للتخفيف قدر الامكان من عمليات التفتيش الروتينية للطائرات والتي تطرأ نتيجة التعب و التآكل بشكل عام وأضرار الصدم والتلوث إضافة لأعمال الصيانة الدورية. وثمة عيب آخر تتصف به المواد المدعمة

* قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة البعث.

** قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة البعث.

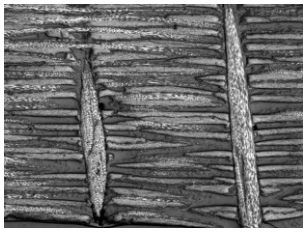
*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) في قسم هندسة التصميم والإنتاج، – جامعة البعث. تاريخ استلام البحث 2018/4/2 وتاريخ قبوله 2018/6/11

عن السبائك المعدنية ألا وهو نشوء عدة تصدعات في آن واحد نتيجة الأحمال المحورية المنخفضة نسبياً و لهذه الأسباب بدأ العمل على طرائق تصنيع جديدة لهذه المواد مغايرة لطرائق التصنيع التقليدية وللحفاظ على عمر أطول لها[2]، وعلى الرغم من هذا استمر استخدام المواد المركبة في صناعة السيارات والفضاء وإن كان أبطأ مما كان متوقعا في البداية [14، 7].

نسج التدعيم الثنائية الأبعاد 2D Textile einforcement :

يتم تصنيع مركبات النسيج ثنائية الأبعاد (2D) من خلال نسج الألياف الداعمة (Fibers) باستخدام تقنيات النسيج المختلفة مثل النسج العادي والحبكة والتريكو وآلات نسيج الجاكار (JACAR). وإن تركيبة هذا النسيج ربما ستوفر حلاً لمخاوف تصنيع المواد المدعمة التي نوقشت سابقا بسبب عمليات النسج الآلية و التي تتيح توزعاً متجانساً للألياف (Fibers) داخل المادة الأساس. إذ تتكون النسج المحبوكة من ألياف متموجة بدقة وعندما يكون هناك انخفاض في حجم حيز الألياف تزداد مقاومة الضغط في ضمن المادة المركبة النهائية[8]. و إن قابلية الانحناء العالية للنسج المصنعة بهذه الطريقة تجعلها مناسبة للكثير من الأغراض الصناعية. وأحد الأمثلة على ذلك هو محرك طائرة جينكس المصنعة من قبل(General Electric) ، الذي يحتوي مجاري مدعمة بنسج من الألياف[1].

توفر المواد المركبة ذات الألياف المنسوجة ثنائية الأبعاد (2D woven) مرونة أقل من الهياكل المحبوكة ولكنها تمتلك خواص ميكانيكية جيدة في اتجاهات المحورين(X,Y) بسبب محاذاة الألياف لاتجاهي التحميل و كثافتها وقامت بتحسين متانة المواد المركبة لعدة أضعاف[6,13,10] ومع ذلك، على الرغم من الخواص الميكانيكية الجيدة لتناسب التطبيقات الفضائية، وانخفاض خصائصها بسبب قلة سماكتها فتم التوجه إلى التدعيم الصفائحي والذي يتكون من عدة طبقات منسوجة كل منها على حدة، حيث توجه الكثير من الباحثين نحو تحسين ورفع مقاومة النسج وتدعيمها للمواد المركبة من خلال استخدام عدة طبقات من النسيج الداعم و حقن المادة الأساس ضمنها [14]، أو عن طريق خلط حبيبات داعمة تتغلغل في ضمن طبقات النسيج الداعم و المادة الأساس (تدعيم مهجن)، كما يمكن تدعيم هذه الطبقات المنسوجة عن طريق ألياف وفق المحور Z للمادة المركبة، حيث هناك إمكانية لذلك من خلال نسج الألياف بعضها مع بعض وفق المحور (Z) قبل أن يتم دمجها مع المادة الأساس وذلك يعتمد على نوع المادة المكونة ونوع الألياف الداعمة، ويبين الشكل (1) كيف تم غرز ألياف داعمة (Fibers) في ضمن الصفائح الداعمة [11,16,9].

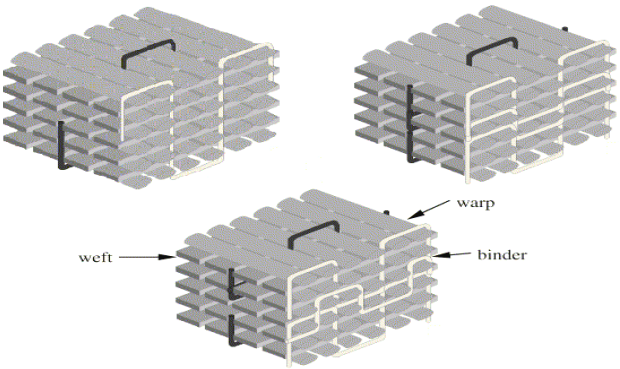


الشكل(1) ألياف تدعيم شاقولية مغروزة في ضمن طبقات تدعيم ثنائية البعد

ومن المعلوم أن التدعيم بالألياف المستمرة يتيح توزعاً متجانساً أكثر مما هو عند التدعيم بالحبيبات أو الألياف المتقطعة و خاصة عندما تكون طريقة التصنيع بالقولبة حيث تحقن المادة الأساس في ضمن قالب يحوي على الألياف المستمرة الداعمة سواءً أكانت طبقات منفصلة أو مترابطة بعضها مع بعض وفق المحور Z لتشكل نسيج داعم ثلاثي الأبعاد، حيث من المهم جداً أن تكون المادة الأساس المحقونة ذات لزوجة منخفضة نوعاً ما وأما بالنسبة للألمنيوم كمادة أساس فيمكن تخفيض لزوجته – تحسين خاصية السيلان– من خلال إضافة السيليكون لرفع سيولة السبائك مما يساعد على تسهيل عمليات الصب. وإن للحياكة ثلاثية الأبعاد استخداما فعالاً من الناحية الميكانيكية للألياف من أجل التحميل الموضعي إلا أن خصائصها شبه المتماثلة في عدة اتجاهات جعلها مناسبة أكثر للتطبيقات الصناعية تحت إجهادات الضغط كأوعية الضغط العالي[12].

نسج التدعيم الثلاثية الأبعاد 3D Woven Reinforcement:

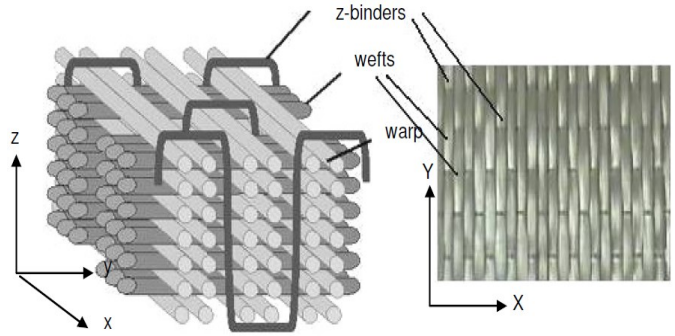
إن الهدف الأساسي من هذا التدعيم هو تلافي تكلفة التصنيع المرتفعة ويندرج في ضمن هذا البند إطالة عمر المادة المركبة المصنعة بهذه الطريقة والذي يؤخذ بعين الاعتبار كبند أساسي متعلق بتكلفة التصنيع وكذلك بغية تحسين مقاومة المواد المدعمة بالألياف ثنائية البعد أو المتعددة الطبقات المستقلة أوالمنسوجة بالطريقة التقليدية مع تحسين الخواص الميكانيكة وخاصة للقطع المعقدة الشكل. وعملية النسج هنا يجب أن تكون سريعة ومؤتمتة وتعطينا تصوراً عن شكل المنتج المراد الحصول عليه. و تتكون المواد المركبة المدعمة بالألياف المنسوجة ثلاثية الأبعاد(3Dwoven) من طبقات متعددة متعامدة ومرتبطة بعضها مع بعض إلى حد كبير مما يجعلها مناسبة للتطبيقات الهيكلية. ويبين الشكل صوراً من طرائق ربط الطبقات المنسوجة بعضها مع بعض وهذا يتعلق بمسار المغزل أو المكوك الذي يتداخل بين الطبقات، حيث يلاحظ من الشكل(2) تشابك الطبقات من خلال ربطها وفق المحور Z.



الشكل(2) بعض الطرائق لربط الطبقات المنسوجة بعضها مع بعض

إن الشكل المحاك (3D woven) و الذي نرنو للوصول إليه يمكن من خلال إجراء بعض التعديلات على آلة خياطة الجاكار الصناعية (JACAR) مما يخفض من الكلفة التأسيسية علماً أن آلة خياطة الجاكار(JACAR) تنسج بسماكات مختلفة تتيح رسم الأشكال المطلوبة على النسيج القماشي. لذلك كان لابد من التفكير بآلة نسيجية (3DWeaving) متخصصة للوصول إلى سرعة عالية في الإنتاج و

للحصول مباشرة على الأشكال مهما كانت معقدة. وهذا التدعيم يحسن الخواص الميكانيكية للمواد المدعمة بالمنسوج المصنع (3Dwoven) (القص والانحناء و الضغط). من خلال التحكم بنمط النسيج بما يسهم في تدعيم اتجاه تحميل القطع المراد الحصول عليها، ولهذه التقنية تطبيقاتها المهمة منها التطبيقات العسكرية لتصنيع الدروع و لحماية المركبات من الألغام و في هياكل الطائرات وتشمل التطبيقات المدنية هياكل القوارب، وقطع المحرك، والسقوف، والمعدات الرياضية والملابس الواقية. وينطبق مصطلح "المواد المدعمة بالألياف المنسوجة ثلاثية الأبعاد 3D Woven " على المركبات المصنوعة من الألياف المنسوجة التي تحتوي على خيوط متشابكة في ضمن سماكة كتلة التدعيم. عملية النسج تعتمد على ربط الطبقات بعضها مع بعض على التوالي، حيث تربط الطبقة الأولى مع الثانية ومن ثم الثانية مع الثالثة ومن ثم الثالثة مع الرابعة أو أي طريقة يتشكل من خلالها ترابط بين الطبقات، وغالباً مايتم السعي لجعل الألياف ذات الكثافة الأكبر (إن كان هناك اختلاف بالسماكات أو الكثافات) باتجاه الحمل الذي سيطبق على المنتج النهائي. وليكن اتجاه جزء من الألياف بشكل موازي للمحورX كما هو موضح بالشكل و ألياف اللحمة (التي تتشابك مع الألياف الموازية المحورX) تكون متعامدة معها وباتجاه موازٍ للمحور Y، أي أن الألياف تشكل مستوىX–Y، بينما نلاحظ من الشكل (3) النسيج الداعم (3DWoven) حيث يتم نسج طبقات النسيج الليفي(X–Y) بعضها مع بعض بوساطة خيوط الربط(Z–binders)، وتكون باتجاه موازٍ للمحورZ.



الشكل (3) ربط طبقات التدعيم الثنائية

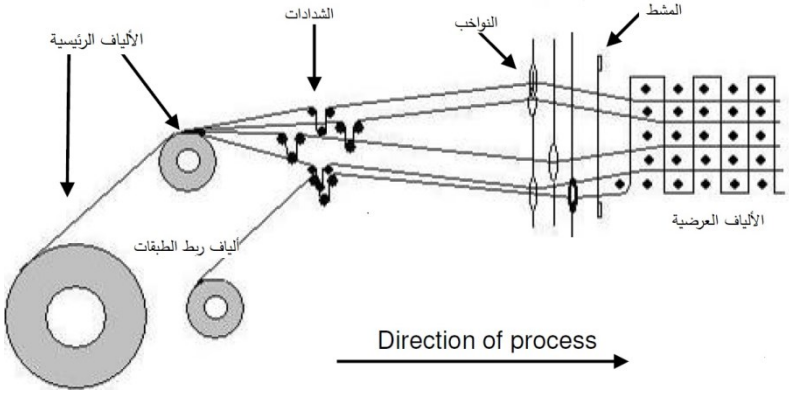
ونعود لنقول أن أهمية الـ (3D Woven) تنطلق من الحد الأدنى من عشوائية توزع الألياف الداعمة والموجودة في أغلب عمليات التدعيم التقليدية من خلال تكديس طبقات 2D من الألياف، هذه الأنسجة (3DWoven) والتي ظهرت في الآونة الأخيرة تنتجها آلات حديثة و معقدة التركيب، والميكانيزم يحكمه منظومات تحكم عالية الدقة والحساسية ومن ثم توفر إمكانية التحكم بجودة المنسوج (3DWoven) وسرعة في الإنتاج مع زيادة في البنية التأسيسية ولاشك مع تدنٍ في تكاليف العمالة.

عملية تصنيع النسيج ثلاثي الأبعاد The 3D Weaving Process:

يمكن تصنيع الأشكال المنسوجة (3DWoven) باستخدام معظم أنواع آلات النسيج الحديثة (الجاكار) (JACAR) وهي الأكثر انتشاراً لما تتمتع به من درجة عالية بالأتمتة والتحكم الجيد بالألياف[8،15]، والفائدة الأساسية من الأتمتة هي تخفيض تكاليف التصنيع من خلال إنقاص ساعات العمل وتقليل نسبة الهدر الناتج

عن عمليات التصنيع والتخفيف من الفحوصات الدورية لجودة المنتجات ولرفع الإنتاجية والجودة[5].

يمكن توضيح عملية النسج ثلاثية الأبعاد (3DWoven) باستخدام نول الجاكار(JACAR) كما هو بالشكل (4):



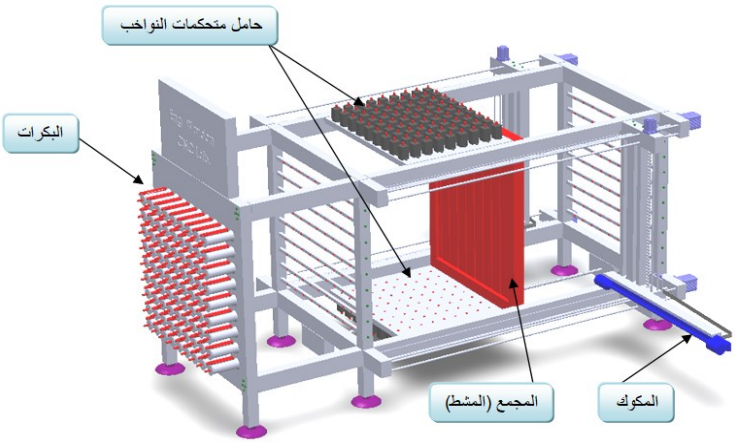
الشكل (4) مبدأ النسج ثلاثي الأبعاد في آلات الجاكار(JACAR)

هدف البحث: Objective:

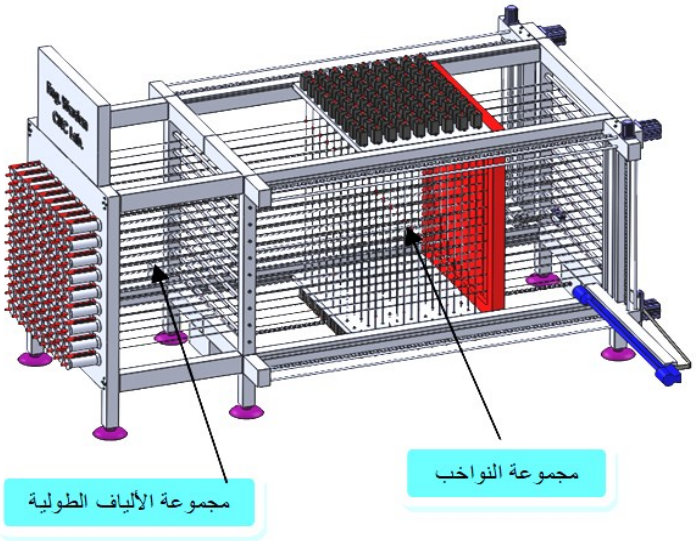
التوصل إلى طريقة تدعيم جديدة نتجاوز من خلالها أهم مساوئ طرائق التدعيم التقليدية ألا وهي التوزع غير المتجانس للمادة الداعمة داخل المادة الأساس. والحصول على القطعة المراد تدعيمها من خلال عملية نسجها كألياف مترابطة فيما بينها (3D structure) كبناء ثلاثي الأبعاد وتشبه إلى حد كبير القطعة المدعمة.

الدراسة التصميمية للميكانيزم Design Study of Mechanism:

يبين الشكل(5,6) صورة عامة للميكانيزم كامل والذي من شأنه أن يكون مناسباً لتنفيذ أو حياكة مجموعة من الألياف بعضها مع بعض لتكوين النسيج الشبكي، وسنسرد تفاصيل كل جزءٍ وشرح العمل الوظيفي الخاص فيه.



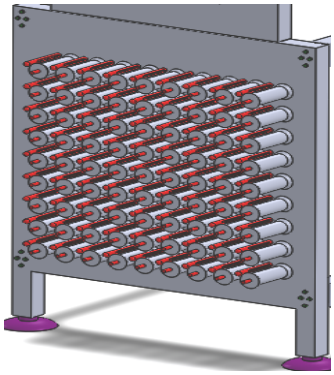
الشكل(5) الأجزاء الرئيسية للمكيانيزم (mecanisem)



الشكل(6) الألياف والنواخب (fibers & selectors)

الأجزاء العامة لهذا الميكانيزم: The General Parts Mechanism:

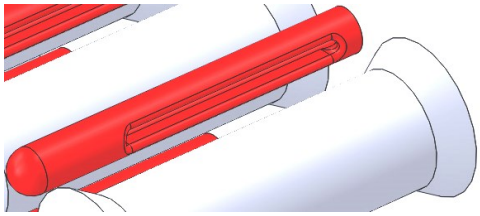
• حامل البكرات: الشكل(7) والذي يحتوي على كافة البكرات التي تدخل في نسيج الهيكل المحبوك، والبكرات هي عبارة عن أسطوانات مزودة بنابض إرجاع صفائحي يضمن بقاء الألياف في حالة شد دائم وهي ميزة يجب أن تتمتع بها هذه البكرات وذلك تفادياً لوضع مايسمى الشدادات (كما جرت العادة في الآلات التقليدية) والتي هي عبارة عن أوزان تعلق بالليف قبل دخوله مجال النسج، ويكون عدد هذه البكرات يتوافق مع عدد الخيوط التي تدخل في تكوين الهيكل النسيجي.



الشكل (7) حامل البكرات

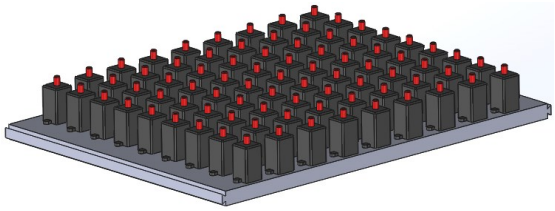
أما النابض الرقائقي (صفائحي) الشكل(8)، فيتم تثبيته داخل البكرة ليضمن شد الليف الخارج منها بشكل دائم وهذه من أهم الأمور التي يجب مراعاتها في أثناء عملية النسج، وتزود كل بكرة بدليل جانبي خاص موضح بالشكل(9) يضمن سهولة حركة الألياف وهي خارجة من البكرة مهما كان موقع نقطة مغادرته لها و يتميز هذا الدليل بالحواف الملساء جداً (وهذا ينطبق على كافة دلائل الألياف بالآلة) لضمان عدم انقطاع الليف أو تآكل جزء منه نتيجة الاحتكاك الميكانيكي.

الشكل(8) أشكال النابض الرقائقي



الشكل(9)البكرة وبجانبها دليل خاص بالليف

• حامل المتحكمات الكهربائية: وهما عبارة عن بلاطتين علوية وسفلية تحملان المتحكمات والتي من مهامها التحكم بحركة النواخب (Selectors) إما نحو الأعلى أو نحو الأسفل (بالتناوب في ضمن مجال العمل) بما يتوافق مع برنامج النسج المدخل إلى نظام الآلة، وتتمتع هذه الحوامل بقابلية الحركة وفق استقامة الألياف بالتزامن مع حركة المجمع (Collector) ويبين الشكل (10) حامل المتحكمات الكهربائية.

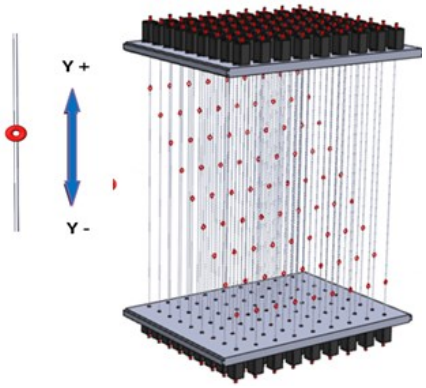


الشكل (10) حامل المتحكمات الكهربائية

• المتحكمات الكهربائية: (البوبينات) وهي عناصر أساسية في اختيار الألياف الداخلة في النسيج المحبوك، ومهمتها الأساسية هي رفع أو تنزيل الليف الداخل في عملية النسج في ضمن الحيز المدروس بما يتوافق مع كل مستوى نسج، وذلك ليسمح للمكوك بالمرور خلالها وربط الطبقات بعضها مع بعض، عادة ما تكون هذه المتحكمات (12VDC أو24VDC) ويبين الشكل (11) نموذجاً للمتحكم.

الشكل(11) نموذج المتحكم بحركة النواخب

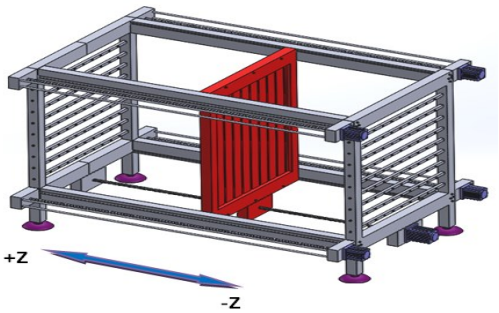
• النواخب (Selectors): وهي المنظومة الأساسية وتكمن مهتمها الأساسية في رفع أو تنزيل (وفق المحور Y) الألياف المشاركة في عملية النسج المؤتمت كما موضح بالشكل (12) وتكون مرتبطة بشكل مباشر مع المتحكمات المسؤولة عن حركة النواخب، وإن عدد النواخب يكون متناسباً مع عدد الألياف الطولية الداخلة في المنظومة كاملة (وفق المحور Z). و النواخب (Selectors) هي عبارة عن أسلاك أوقد تكون أليافاً تمر عبر عقدة مثبتة عليها الألياف الطولية الرئيسية.



الشكل(12) المتحكم بحركة النواخب

• المجمع (Collector): (المشط) ومهمته الأساسية بعد كل عملية نسج لمستوى شاقولي يقوم بدفع مستوى الألياف الشاقولي بالكامل باتجاه نقاط تثبيت الألياف ليضمن تراص الشرائح الشاقولية المحاكة، بغية الانتقال إلى مستوى نسج شاقولي لآخر موازٍ له، وهي عبارة عن قضبان شاقولية بتباعدات صغيرة جداً ويرتبط الجمع مع محور محلزن ومحرك خطوي يسمحان بالحركة موازياً للمحور(Z) كما بالشكل (13,14).

الشكل(13): المجمع (المشط) مع المتحكمات



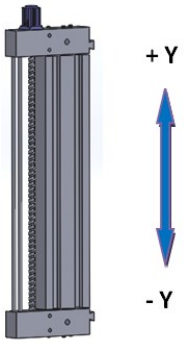
الشكل(14): اتجاه حركة المجمع (المشط)

• دلائل الألياف: وهي عبارة عن ثقوب تمر منها الألياف قادمة من البكرات وباتجاه نقاط التثبيت ، وقد يكون هناك عدة دلائل لليف الواحد وذلك بما يتوافق مع مكان البكرات وبعدها عن نقاط التثبيت و منطقة النسج. طبعاً موضح بالشكل قضبان مثقبة وذلك لتوضيح الفكرة ..... بينما يمكننا استبدال هذه القضبان

بصفيحة (بلاطة) مثقبة بثقوب متقاربة جداً للحصول على نسيج ذي مسامية منخفضة تضمن كثافة عالية للألياف ومن ثم زيادة في التدعيم في المادة المركبة.

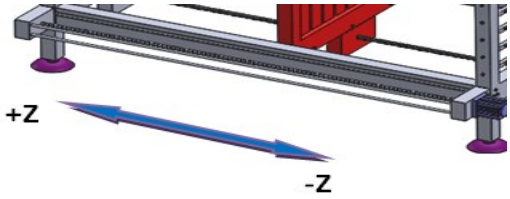
• المكوك: وهو العنصر الأساسي في عملية الحياكة ومهمته الأساسية هي ربط الطبقات الأفقية بعضها مع بعض وفق برنامج خاص يتحكم به شكل القطعة المراد تدعيمها وبحيث يقوم بربط بعض الطبقات و في أماكن محددة وسنأتي على شرح ذلك لاحقاً من خلال مصفوفات نقاط الربط أو العقد.

• منظومة الحركة الشاقولية للمكوك: مزودة بدليل مسار حركي شاقولي للمكوك وفق المحور (Y) من خلال محور مقلوظ مرتبط مع محرك خطوي كما موضح بالشكل (15).



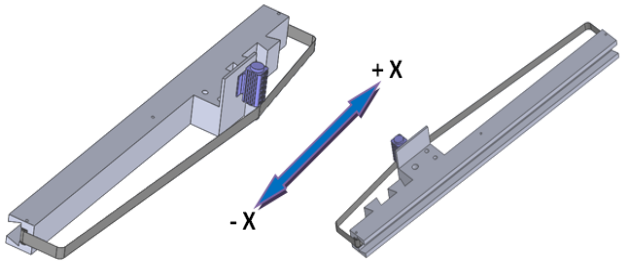
الشكل(15)منظومة الحركة الشاقولية (Y) للمكوك

• منظومة الحركة الأفقية (Z) للمكوك : مزودة بدليل مسار حركي أفقي وفق المحور(Z) للمكوك من خلال محور مقلوظ مرتبط مع محرك خطوي كما موضح بالشكل(16).



الشكل(16) منظومة الحركة الأفقية (Z) للمكوك

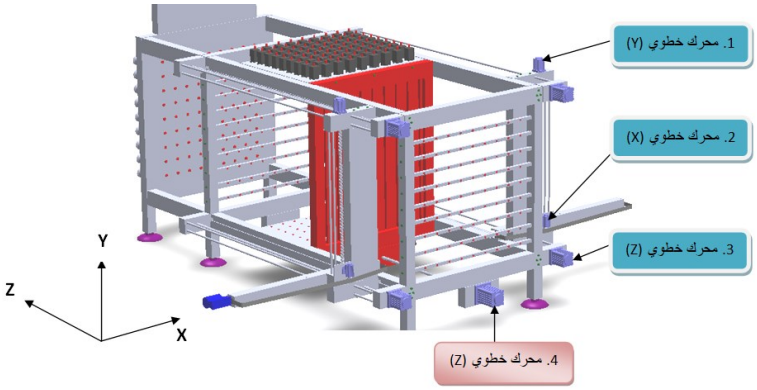
• منظومة الحركة الأفقية (X) للمكوك : مزودة بدليل مسار حركي أفقي وفق المحور (X) للمكوك من خلال آلية خاصة مغايرة للمسارين السابقين. حيث تم تركيب ميكانيزم خاص مزود بقشاط ناقل للحركة ومرتبط مع محرك خطوي ويقوم هذا القشاط – عن طريق الاحتكاك مع قاعدة المكوك – بدفع أو سحب المكوك بشكل أفقي وفق المحور(X) كما موضح بالشكل(17)، علما أن مجرى أو سكة المكوك مزودة بدحاريج أيضاً تضمن سهولة حركة القشاط ومن ثم حركة سلسة للمكوك جيئة وذهاباً بين الألياف الطولية الموجودة مسبقاً.



الشكل (17) منظومة الحركة الأفقية (X) للمكوك

المحركات الخطوية المستخدمة في تصميم هذا المكيانيزم: Step Motors

يضم هذا الميكانيزم أربعة محركات خطوية أساسية موضحة بالشكل (18) ثلاث محركات خاصة بالمكوك وهي :



الشكل (18) المحركات الخطوية المستخدمة

1- محرك خطوي (عدد اثنان): خاص بالحركة الشاقولية للمكوك وفق المحور (Y).

2- محرك خطوي (عدد اثنان): خاص بالحركة الأفقية للمكوك وفق وفق المحور (X).

3- محرك خطوي (عدد أربعة): خاص بالحركة الأفقية للمكوك وفق المحور (Z).

نستطيع من خلال الميكانيزم الذي عملنا عليه أن نقوم بتصنيع الأشكال التي نريد من خلال التحكم بجملة من النواخب (Selectors) الموجودة في ضمن الميكانيزم والتي مهمتها رفع أو تنزيل الليف المثبت على الميكانيزم ومن ثم التحكم فيما إذا كان هذا الليف سيدخل في تركيب النسيج النهائي أم لا، علماً أنه موجود في ضمن المنظومة الرئيسية وهنا يكمن السؤال، كيف يمكن لليف موجود أساساً في ضمن المنظومة و كيف يكون خارج تكوين الشكل المنسوج؟.

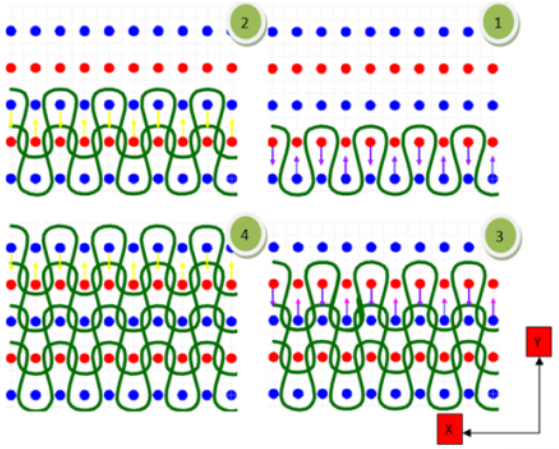
نقول إن الشكل النهائي سيتكون من الألياف الطولية الأساسية (الموازية للمحورX) ولكن موضع الحبكات سيُتحكم بها من خلال النواخب ومن ثم سيكون النموذج المنشأ هو عبارة عن مجموعة نقاط (عقد – حبكات) موجودة في ضمن الهيكل الرئيسي، ويتوجب علينا بعد الانتهاء من عملية النسج للشكل المطلوب قص الألياف الزائدة من الشكل المنسوج (3D woven) وذلك بطرائق مختلفة وأهمها (القص بالليزر) والذي من أهم ميزاته هنا ألا يتسبب بتشويه المنسوج المحاك (3D woven) في أثناء عملية القص.

وهنا يكمن السؤال....كيف يمكن لحركة النواخب التي تتحكم بها أن تعطينا الشكل المطلوب؟ النواخب (Selectors) تأخذ إشارتها من متحكم مركزي (وهذا موضوع خارج نطاق عملنا حالياً ولكن لمجرد أن قمنا بتحويل الشكل الهندسي إلى مصفوفات فهذا يسهل

عملية برمجة وأتمتة عمل الميكانيزم المقترح لدينا) بعد أن يتم إدخال النموذج المطلوب تصنيعه إليه، والذي هو عبارة عن مجموعة من النقاط أو العقد التي تدرج على شكل مصفوفة ثلاثية الأبعاد (matrix)، إذ نعد أي شكل فراغي هو عبارة عن مجموعة من الشرائح الشاقولية المتعاقبة لتكوّن الشكل المطلوب، ومن ثم لكل شريحة (Slice) مصفوفة عقد خاصة بها تفرضها علينا جغرافية الشكل المراد نسجه، حيث تتكون المصفوفة الواحدة من مجموعة (0,1)، إذ يمثل الـ (0) عدم وجود عقدة و (1) يدل على وجودها.

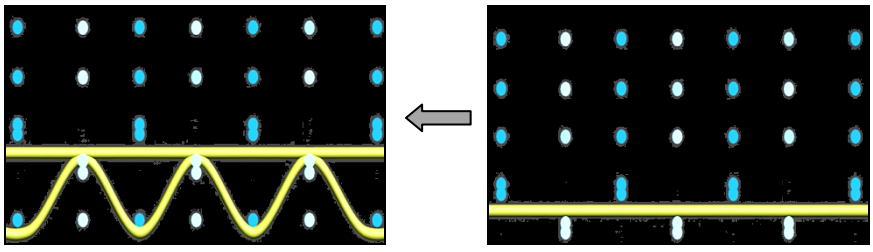
توضيح حركات النواخب: Motion Of Selectors

تبين الأشكال الآتية حركة النواخب نحو الأعلى أو نحو الأسفل بالترتيب الذي يسمح بربط كل طبقة مع الطبقة التي تليها، يوضح الشكل (19) خطوات بناء الطبقة الأولى الشاقولية (X,Y) ونلاحظ تسلسل حركات النواخب في كل خطوة إما نحو الأعلى أو نحو الأسفل و أيضاً مسار الليف باتجاه المحور (X) وكيفية ربطه للطبقات الأفقية فيما بينها، حيث يقوم الليف بربط الطبقة الأفقية الأولى مع الطبقة الأفقية الثانية في المرحلة الأولى وبالمرحلة الثانية يربط الليف الطبقة الثانية الأفقية مع الطبقة الثالثة الأفقية وهكذا.

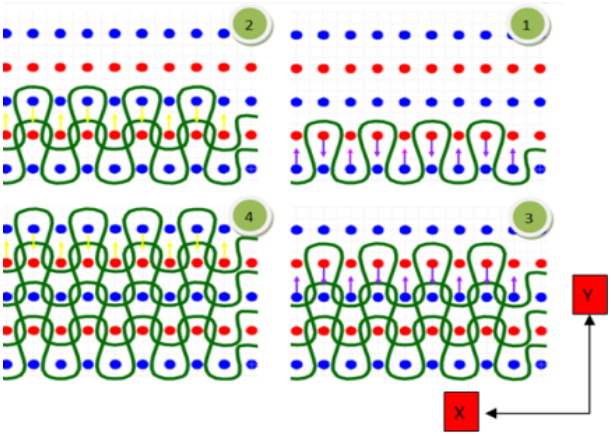


الشكل (19) خطوات بناء الطبقة الأولى الشاقولية (X,Y)

ويبين الشكل (20,21) مقتطفات من مقطع فيديو (Animation) يبين كيف يقوم الناخب (Selector) بتحريك الليف نحو الأعلى أونحو الأسفل وكذلك حركة الليف الأول (المكوك) ومروره بين الطبقتين الأفقيتين الأولى والثانية وحركة الليف الثاني ومروره بين الطبقتين الأفقيتين الثانية والثالثة.

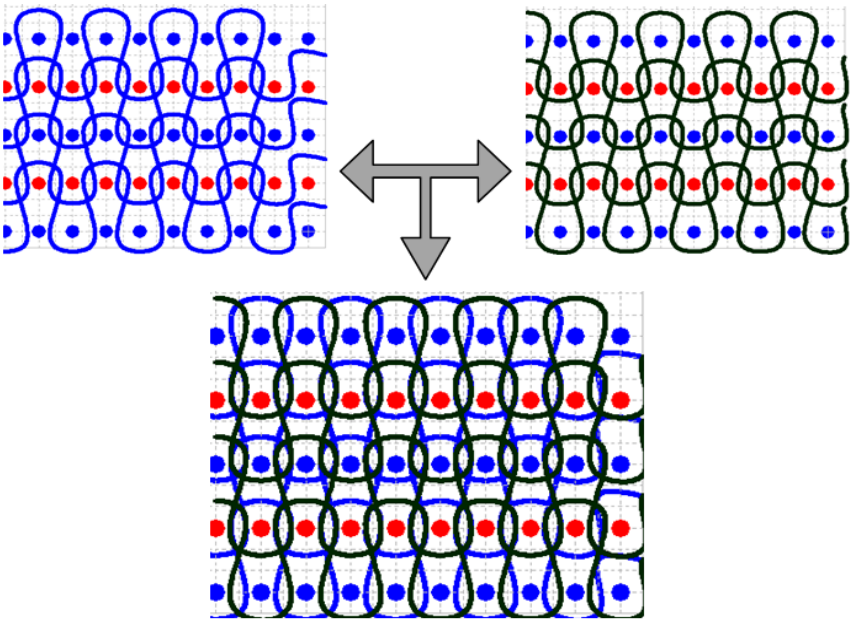


الشكل (20) مسار الليف (المكوك) وخطوات بناء الطبقة الأولى الشاقولية (X,Y)

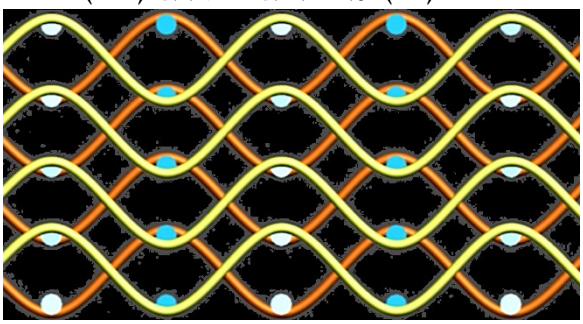


الشكل (21)خطوات بناء الطبقة الثانية الشاقولية (X,Y)

وبالمثل نلاحظ من الشكل (22) خطوات بناء الثانية الشاقولية (X,Y) لكن بفرق بالخطوة عن الطبقة الأولى الشاقولية لضمان ربط وتداخل الليف الطولي (باتجاه المحور Z).ويبين الشكل (23) دمجاً لطبقتين شاقوليتين:



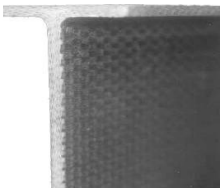
الشكل (22) ترابط طبقتين شاقوليتين (X,Y)



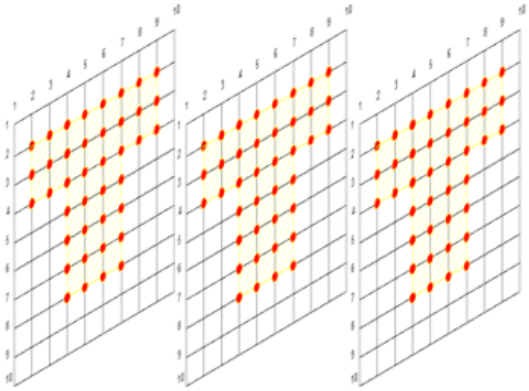
الشكل (23) ترابط طبقتين شاقوليتين (X,Y)

وسنستعرض مجموعة من الأمثلة لنبين آلية برمجة هذا الميكانيزم:

1- المثال الأول : اذا كان المطلوب تصنيع نموذج منسوج (3Dwoven) بشكل حرف T الشكل(24) فإن الشرائح كلها لها نفس مصفوفة العقد لعدم وجود تغيرات بمقطع النموذج. و على فرض أن أبعاد الشكبة الرئيسية 10*10 أي عشرة ألياف وفق المحور X مع عشرة مسارات أفقية للمكوك وفق المحور(Y)، ويبين الشكل الآتي(25) مواقع العقد أو الحبكات ومن ثم كل عقدة هي مؤهلة لتكون جزءاً من عمل الناخب(Selector) إما نحوالأعلى أو الأسفل.



الشكل(24) نموذج T



الشكل (25)عقد الربط الشريحة الأولى والثانية .... والأخيرة (T)

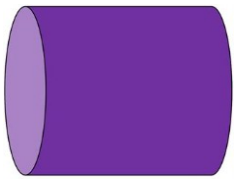
والمصفوفات على الشكل التالي والتي هي نفسها مصفوفة الطبقة الأولى $a_{1_{ij}}$ لثبات المقطع على الشكل الآتي :

$$a_{1_{ij}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

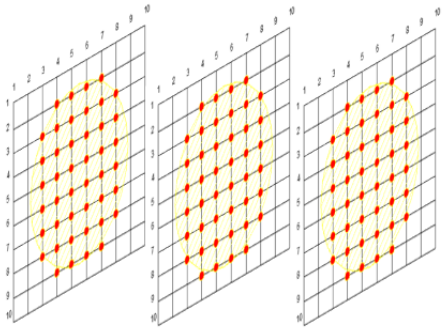
ومن ثم الشكل النهائي للنموذج سيكون مجموع هذه المصفوفات ($\sum_{k}^{1} a_{ij}$).

K: يحدده طول النموذج المراد حصول عليه (على المحور Z)

2- المثال الثاني : النموذج المراد الحصول عليه هو أسطوانة كما بالشكل (26)، وهنا أيضاً الشرائح كلها تمتلك نفس مصفوفة العقد كما بالشكل (27) باعتبار أن لاتغير يحدث بأبعاد النموذج.



الشكل(26) نموذج أسطواني



الشكل (27)عقد الربط الشريحة الأولى والثانية .... والأخيرة (أسطوانة)

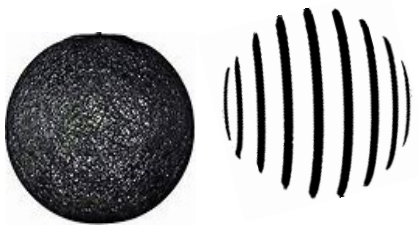
مصفوفة الطبقة الأولى $a_{1_{ij}}$ على الشكل الآتي :

$$a_{1_{ij}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

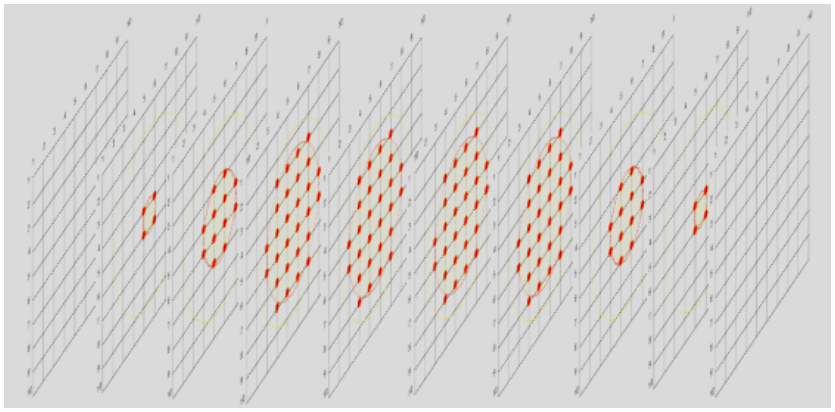
ومن ثم الشكل النهائي للنموذج سيكون أيضاً مجموع هذه المصفوفات $(\sum_{k}^{1} a_{ij})$.

K: يحدده طول النموذج المراد حصول عليه (على المحور Z)

3- المثال الثالث: اذا كان لدينا تغير في أبعاد النموذج على كامل طوله كمثال الكرة فإن كل شريحة (Slice) لها مصفوفة مختلفة عن الشريحة الآتية كما بالشكل(28,29) وذلك يتعلق بدقة النسيج المحاك(3Dwoven).



الشكل(28) نموذج كروي وقسيمه إلى شرائح طولية



الشكل (29)عقد الربط الشريحة الأولى والثانية .... والأخيرة (كرة)

ومصفوفة الطبقات (Matrix Of Slices) تكون على الشكل الآتي :

$$a_{1ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}\quad a_{2ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}\quad a_{3ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&1&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&0&1&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}$$

$$a_{4ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&1&1&1&1&1&1&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}\quad a_{5ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&1&1&1&1&1&1&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}\quad a_{6ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&1&1&1&1&1&1&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}$$

$$a_{9ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}\quad a_{8ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&0&1&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}\quad a_{7ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&1&1&1&1&1&1&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&1&1&1&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}$$

$$a_{10ij}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix}$$

ومن ثم الشكل النهائي للنموذج سيكون مجموع هذه المصفوفات ($\sum_k^1 a_{ij}$).

K: يحدده قطر النموذج المراد حصول عليه (أو عدد الشرائح) وتم اعتباره 10 هنا على اعتبار أننا قسمنا الكرة إلى عشرة شرائح باعتبار الشريحة الأولى والأخيرة دون عقد.

النتائج التي توصلنا إليها في هذا البحث:

Conclusions

1- تم في هذا البحث تصميم آلية مؤتمتة وفق آداء محدد تتيح بناء شبكة من الألياف الداعمة والتي قد

تكون عبارة عن ألياف كربونية أو غيرها من الألياف التي لها الأثر الجيد في تدعيم السبائك المعدنية الملونة.

2- تصميم منتج محاك (منسوج) على ثلاثي الأبعاد (3D woven) مطابق للقطعة المراد تدعيمها.

3- إمكانية الحصول على مادة داعمة منسوجة (3D woven)، وذلك من خلال حقن المادة الأساس داخل القالب الذي يحوي شبكة الألياف المصنعة.

4- الوصول إلى درجة تدعيم عالية وفي الاتجاهات الثلاثة (x,y,z)، وهذا غالباً ما يلزم في القطع التي تتعرض إلى إجهادات ضغط أو انحناء حيث تكون القطعة مجهدة في أكثر من اتجاه.

5- رفع الخواص الميكانيكة لكافة السبائك المعدنية الملونة والمدعمة بهذه الطريقة وفق اتجاه محدد يتوافق مع متطلبات عمل القطعة المنتجة.

Reference:

1- Anon., Aircraft engine ducts made of advanced composite materials, in Advanced Materials & Processes. 2006. p. 7.

2- Davies, G.A.O., Hitchings, D. and Ankersen, J., Predicting delamination and debonding in modern aerospace composite structures. Composites Science and Technology, 2006. 66(6): p. 846-854.

3- Gay, D., Hoa, S.V. and Tsai, S. W., Composite Materials: Design and Applications. 4th ed. 2003, Boca Raton U.S.A.: CRC Press LLC.

4- Gojny, F.H., Wichmann, M. H. G., Kopke, U., Fiedler, G. B. and. Schulte, K ., Carbon nanotube-reinforced epoxy-composites: enhanced stiffness and fracture toughness at low nanotube content. Composites Science and Technology, 2004. 64(15): p. 2363-2371.

5- Grant, C., Automated processes for composite aircraft structure. Industrial Robot: An International Journal, 2006. 33(2): p. 117-121.

6- Horrocks, A.R. and Anand, S. C., eds. Handbook of Technical Textiles. 2000, Woodhead Publishing: Cambridge. 559.

7- Hunt, M.W., Composites vs. aluminum, in Advanced Materials & Processes.2006. p. 2.

8- Kamiya, R., Cheeseman, B. A., Popper, P., and Chou, T . W ., Some recent advances in the fabrication and design of three-dimensional textile preforms: a review. Composites Science and Technology, 2000. 60(1): p. 33-47.

9- Kang, T.J. and Lee, S. H., Effect of stitching on the mechanical and impact properties of woven laminate composite. Journal of Composite Materials, 1994. 28(16): p. 1574-1587.

10- Mouritz, A.P. and Cox, B. N., A mechanistic approach to the properties of stitched laminates. Composites Part A, 2000. 31: p. 1-27.

11- Mouritz, A.P., Baini, C . and Herszberg, I ., Mode I interlaminar fracture toughness properties of advanced textile fibreglass composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 1999. 30(7): p. 859-870.

12- Mouritz, A.P., Bannister, M. K., Falzon, P. J. and Leong, K. H., Review of applications for advanced three-dimensional fibre textile composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 1999. 30(12): p.1461-1445 .

13- Ruan, X. and Chou, T. W., Experimental and theoretical studies of the elastic behavior of knitted-fabric composites. Composites Science and Technology, 1996. 56(12): p. 1391-1403.

14- Smith, F. and Hogg, P., A comeback for composites in U.K. aerospace., in Aerospace America. 2006. p. 19-21.

15- Tong, L., Mouritz, A P., and Bannister, M K., 3D Fibre Reinforced Polymer Composites. 2002, London: Elsevier Science Ltd.

16- Velmurugan, R. and Solaimurugan, S ., Improvements in Mode I interlaminar fracture toughness and in-plane mechanical properties of stitched glass/polyester composites. Composites Science and Technology, 2007. 67(1):p. 61-69.

Design and Performance of a 3D-knitting Mechanism for Fiber Reinforced Metal Alloys

Mahmood AL – Asad **AL – Muhanad Makky**

Wardan Wahood

Abstract

In this paper, a three-dimensional knitting mechanism was designed for fiber reinforcement, And the creation of an appropriate movement performance that allows the formation and knitting of geometric shapes that are somewhat identical to the shape of the piece to be reinforced by controlling the path of the spherical bond fibers. Each Each geometry is characterized by a series of three-dimensional matrix, where the geometric shape is dividing into parallel vertical slices , and each slice has its own matrix In accordance with the geometric shape.This 3D woven is used for reinforcement by placing it in a mold to inject the base material into it and to obtain the required fiber-reinforced piece in the three directions.

Keywords: 3D woven, mechanisms, reinforceing, fibers, slices, selector, matrix ,mesh.