التقنية وأثرها على اللوحات المعدنية المعاصرة

The technique and its impact on contemporary metal panels

ا.د / أحمد سيد مرسى
أستاذ المناهج وطرق التدريس المتفرغ
والعميد الاسبق بكلية التربية النوعية
جامعة القاهرة

ا.د / حامد السيد البذرة
أستاذ أشغال المعادن غير المتفرغ والوكيل
الاسبق لشئون التعليم والطلاب
بكلية التربية الفنية جامعة حلوان

د / مصطفى حمدى عبد المجيد
مدرس اشغال المعادن
بكلية التربية النوعية – جامعة القاهرة

الباحثة/ مروى عبد العاطي أحمد
المدرس المساعد بكلية التربية النوعية
جامعة القاهرة

خلفية البحث:

لقد مرت الفنون التشكيلية عبر الحضارات الإنسانية المختلفة بمجموعة من المتغيرات التى شمت التعديل فى البناء التشكيلى والتعبيرى للعمل الفنى من خلال البحث الدائم والمستمر لإنتاج أعمال فنية تتميز بالأصالة والمعاصرة .

وقد ارتبط التطور الإبداعى للفن فى العصر الحديث بالطاقة الإبداعية للفنان، وثقافته وخبراته وقدرته على التجريب بحثاً عن آفاق متجددة ، فظهرت معالجات شديدة التنوع والتميز اتسمت بالجرأة وعمق الرؤية ، استخدم فيها الفنان خامات متوعة وتقنيات مستمدة من مجالات فنية متعددة ، والتى أذابت بدورها خصوصية طرق الأداء ، فلجأ الفنان إلى استخدام التقنيات المتعددة التى تساعده على تحقيق فكرته ورؤيته الفنية، التى يستطيع من خلالها إبراز قيمها التشكيلية والتعبيرية ، فأصبح سطح العمل الفنى قد تغير منذ فنون الحداثة ، وتعدت اللوحة إطارها التقليدى ، وشارك المسطح المجسم فى وحدة عضوية واحدة[١١] .

وهذا التطور فى شكل العمل الفنى يشير إلى تغير مفهوم اللوحة ، حيث أصبح سطح اللوحة أحد عناصر التعبير والتشكيل الهامة والمؤثرة على مضمون العمل الفنى ، فمن الملاحظ "تطور سطح العمل الفنى من خلال استخدام وسائط أو خامات مختلفة بدءاً بإضافة ملامس لونية بارزة ، حتى استخدام الوسائط التشكيلية المتعددة بكل ما يمكن إضافته يتناسب مع سطح العمل الفنى"[٢] .

يتوقف إعداد سطح العمل لاستقبال الخامات المختلفة المستخدمة فى العمل الفنى على نوع المادة الحاملة ، فهناك اختلاف بين تحضير سطح معدنى، أو من خامة الطين، أو الأحجار أو الخشب كأسطح حاملة للعمل الفنى ، فكل من هذه المعالجات تؤثر بنتائج جمالية نختلف عن الأداء بخامة أخرى. وسطح العمل الفنى عبر العصور يتبع بالضرورة تطور الخامات المستخدمة ويلازمها فى كل خصائصها ، ومن هنا تأتى أهمية المعرفة بالتقنيات وأساليب التشكيل الخاصة بالخامة ، والتى يسيطر من خلالها الفنان علة القيمة التشكيلية والتعبيرية داخل عمله.

وتهتم الدراسة الحالية بدراسة اللوحات المعدنية المعاصرة وما تتضمنه من تقنيات وأساليب تشكيلية خاصة بالخامات المعدنية.

لذا ترى الباحثة ضرورة دراسة التقنيات المختلفة فى أشغال المعادن من خلال تتبع مختارات من أعمال الفنانين المعاصرين المصرين والأجانب للوقوف على أهم التقنيات، وأثرها على القيم التشكيلية والتعبيرية.

مشكلة البحث:

نظراً لتنوع التقنيات وأساليب التشكيل المستخدمة فى مجال أشغال المعادن، وجدت الباحثة ضرورة دراسة أثر التقنية على القيم التشكيلية والتعبيرية فى اللوحات المعدنية المعاصرة.

تساؤلات البحث:

إلى أى مدى يمكن الإستفادة من دراسة الدور الوظيفى والجمالى للتقنية فى إثراء القيم التشكيلية والتعبيرية فى اللوحات المعدنية المعاصرة.

أهداف البحث:

- تبيان الدور الوظيفى والجمالى لتقنيات التشكيل المعدنى.
- دراسة أثر التقنيات المعدنية المتعددة على القيم التشكيلية والتعبيرية فى اللوحات المعدنية المعاصرة.

أهمية البحث:

- إبراز مدى استفادة الفنانين المعاصرين من المحتوى الجمالى لتقنيات التشكيل المعدنى.
- إلقاء الضوء على الدور الوظيفى والجمالى لتقنيات التشكيل المعدنى.
- التعرف على تقنيات التشكيل المعدنى المستخدمة فى اللوحات المعدنية المعاصرة.
- إبراز دور التقنية فى إثراء القيم التشكيلية والتعبيرية فى اللوحات المعدنية المعاصرة.
- إظهار الإمكانات التشكيلية للخامات المعدنية وكيفية معالجتها باستخدام الأساليب التقنية المختلفة.
- التأكيد على أهمية الدور الوظيفى والجمالى لتقنيات التشكيل المعدنى.

فروض البحث:

تفترض الباحثة أن:-

- الدور الوظيفى لتقنيات التشكيل المعدنى يرتبط ارتباطاً مباشراً بالسعة التشكيلية للخامات المعدنية المستخدمة.
- الدور الجمالى لتقنيات التشكيل المعدنى يؤثر على القيم التشكيلية والتعبيرية فى اللوحات المعدنية المعاصرة.

حدود البحث:

تقتصر الدراسة الحالية على:

- دراسة الإمكانات التشكيلية للخامات المعدنية.
- دراسة تحليلية لتقنيات التشكيل المعدنى.

مصطلحات البحث:

- **التقنية:**

هي مجموعة العمليات التي يمر بها أي عمل فني أو صناعي حتى يصبح منتجاً قائماً[٣].فهي "مجموع العمليات والمهارات التطبيقية والنظريات العلمية والمعرفية المرتبطة واللازمة لإنتاج أي عمل فني، وهي مجموع الأسس والقواعد التي يقاس بها قدرة الفنان على ممارسة الفن والتعبير عن الموضوع الذي يمارسه والتقنية عنده هي القاعدة التي يقاس بها مهارة الأداء عند الممارس[٤].

- **التقنية في أشغال المعادن:**

هي تطويع الخامات المعدنية وإخضاعها للتشكيل وفقاً لهيئاتها وإمكاناتها التشكيلية فالتقنية في أشغال المعادن تبدء باختيار شكل الخامة والقيام بعملية التنفيذ والإبداع في مجال المشغولات المعدنية يعتمد اعتماداً أساسياً على القدرات الفنية للفنان وعلى خبراته السابقة بالخامات وطرق تشكيلها لتحقيق فكرته الإبداعية التي تجسد مفاهيمه الفنية في إطار عمل فني تتحد فيه القيم التشكيلية والتعبيرية والجمالية التي يسعي الفنان إلى تحقيقها[٥].

- **اللوحة المعدنية Metal Panel:**

ترى الباحثة انه يمكن تعريفها بانها إحدى صور التعبير في مجال أشغال المعادن الذي يعد أحد مجالات ممارسات الفن، فهي صورة للتعبير بالخامات المعدنية التي تتضمن إتاحة الفرصة لاستخدام التقنيات وأساليب معالجة السطح التي تتناسب مع الخامة وإمكاناتها التشكيلية وتنطوي على المقومات التي ترتبط بالخبرة الفنية لإبداع معالجات تشكيلية مبتكرة تتضمن قيماً تشكيلية وتعبيرية.

التقنية وأثرها على اللوحات المعدنية المعاصرة

إن الجانب التقنى لأى عمل فنى هو وسيلته للوصول إلى عين المشاهد، لأن عملية معالجة الفنان لمواده ووسائله بحيث يجبرها على إخراج الشكل المرغوب تعد تقنية للتعبير والإتصال من جانب الفنان لمشاهديه، لذا فكلما ارتقت تلتقنية المستخدمة فى إنتاج عمل كانت له الصورة الأوضح، والتكامل مع ما يحمله من قيم فنية عند الرائى وتسرى التذوق واالإستمتاع لديه، فتحقيق الفنان لقيم تقنية من خلال عمله الفنى المحمل بالقيم الفنية، يأتى من استخدامه لمجموعة من الأساليب والأنماط التقنية التى يمكن بها إبراز القيم الفنية[٦].

لذا وجدت الباحثة ضرورة دراسة الأساليب التقنية المستخدمة فى تشكيل ومعالجة أسطح المشغولات المعدنية لتبيان كيفية التشكيل بالبارز والغائر فى اللوحات المعدنية، وقد وجدت الباحثة أنه يمكن عرض هذه الأساليب التقنية فيما يلى :

أولاً: التشكيل المباشر:

وهو أسلوب يتم فيه تطويع المادة دون فقد في كميتها عن طريق التعامل المباشر مع قطعة واحدة من الخامة المعدنية المراد تشكيلها دون الحاجة عن طريق التعامل المباشر مع قطعة واحدة من الخامة المعدنية المراد تشكيلها دون الحاجة إلى إضافة أو وصل أجزاء معدنية أخرى.

وترى الباحثة أن التشكيل المباشر من أهم الأساليب التقنية التي يمكن من خلالها تحقيق تعدد لمستويات سطح اللوحة المعدنية عن طريق عدة طرق وتقنيات.

١- التشكيل بالغائر والبارز بالدفع من الخلف:

وهو أسلوب يتم التشكيل فيه من خلال الدفع من الخلف ينقسم إلى:

أ- التشكيل بالدفع من الخلف باستخدام قالب يدوي (خشتق):

الخشتق هو عبارة عن قالب للتشكيل مكون من كتلة من المعدن أو الخشب بها تجاويف على هيئات نصف كروية غائرة مرفق به مجموعة من الأقلام ذات أطراف مشكلة على هيئة أنصاف كرات بارزة بأقطار مطابقة لأقطار التجاويف الموجودة فى القالب وتعرف باسم أقلام الخشتق ، وشكل (٢أ،ب) يوضح نماذج لخشتقين أحدهما من الصلب والآخر من الخشب.

ويتم التشكيل بإستخدام الخشتق لعمل أشكال نصف كروية بارزةعلى سطح المعدن عن طريق وضعه على سطح القالب والدفع من الخلف على المعدن بإستخدام أحد أقلام الخشتق بحيث يتناسب قطره مع قطر التجويف المقابل له فى القالب.

شكل (١أ)

خشتق مصنوع من الصلب

شكل (١ب)

خشتق مصنوع من الخشب

ب- التشكل بالدفع من الخلف باستخدام ماكينة البلص

هى تقنية تتم بواسطة ماكينة حيث توضع شريحة المعدن دائرية الشكل ملاصقة للقالب عند المركز، ثم يتم الدفع من الخلف على سطح المعدن وفى اتجاه القالب أثناء الدوران بسرعة عالية لتصبح شريحة المعدن مطابقة لشكل القالب، وشكل (٢) يوضح ماكينة بلص المعادن.

شكل (٢)•

ماكينة بلص المعادن

ج-التشكيل بالدفع اليدوي الحر من الخلف: وينقسم إلى:

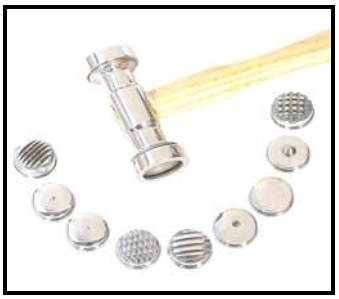
- تقنية الريبوسيه:

وهو أسلوب يتم التشكيل فيه بالدفع من الخلف بطريقة يدوية نحصل فيه على رسوم وزخارف بارزة باستعمال أقلام من الصلب أو الخشب مدببة وغير حادة ذات أشكال وأحجام مختلفة[٧] كما فى شكل (٣)، وفى بعض الأحيان تستخدم مطارق الريبوسيه مباشرة فى طرق سطح المعدن، لعمل تأثير ملمسى معين يختلف باختلاف شكل رأس المطرقة، وشكل (٤) يوضح مجموعة من مطارق الريبوسيه ذات التأثيرات الملمسية المختلفة .

وترتبط هذه الطريقة ببعض خصائص المعادن الفيزيائية كالبريق واللدونة وقابلية المعدن للطرق والتخمير، ويمكن تطبيق ذلك على الأسطح المستوية والمجسمة، كما ترتبط ببعض عمليات التشكيل المكملة مثل (الترميل) التي يتم من خلالها أحداث بعض التأثيرات الملمسية الحقيقية بجانب التشكيل بالبارز والغائر[٨].

شكل (٣)

مجموعة من أقلام الريبوسيه "سنابك" ذات أقطار وأشكال مختلفة



شكل (٤)

يوضح مجموعة من مطارق الريبوسيه ذات التأثيرات الملمسية المختلفة

ويعتبر التشكيل بالريبوسيه "الدفع من الخلف" من الأساليب التشكيلية الهامة فى مجال أشغال المعادن عبر العصور والتى استخدمت فى زخرفة وتشكيل المسطحات المعدنية، بهدف إبراز الملامس المختلفة على سطح المعدن، حيث يعطى الريبوسيه تأثيرات ذات ظلال تختلف باختلاف درجة خشونة السطح وأماكن توزيعها على سطح العمل، وتبعاً لقوة الضغط المستخدمة أثناء إجراء عملية الدفع من الخلف، مما يسهم بدوره فى ظهور انعكاسات مشتتة للضوء، تنتج عن التنوع بين مستويات البارز والغائر التى تؤكد على العديد من القيم الجمالية فى المشغولة المعدنية المشكلة باسلوب الريبوسيه.وشكل (٥أ، ب) يوضح اسلوبى الدفع من الخلف ومن الأمام .

شكل (٥أ،ب) •

يوضح اسلوبى الدفع من الخلف ومن الأمام

- **تقنية التقبيب أو الطرق:**

وهي عملية تتم عادة على السطح الداخلي للمعدن بالطرق عليه وتؤهله للانبساط وتقليل السمك، وتجري هذه العملية على قوالب تشكيل، وغالباً ما تجرى على (قرمة) خشبية باستعمال (الدقماق) الخشبي[٩].

والطرق أكثر الأساليب شيوعاً ويستخدم لإيجاد أشكال كروية أو شبيهة بها حيث أنه بالطرق على السطح الداخلي للمعدن يحدث التمدد والانبساط ويقل سمكه ويتم ذلك على قرمة خشب بها تجويف بالطرق بالدقماق المتتابع متخذا اتجاها دائريا من المحيط الخارجي وفي اتجاه المركز مع ملاحظة إزالة أي تجاعيد تحدث على المحيط أولا بأول لمعالجة هذه الأخطاء وبإعادته يزداد العمق للحصول على الانتفاخ أو التقعير المناسب وحسب الشكل المطلوب. كما فى شكل (٦) .

شكل (٦)

الفنان جمال السجينى ، شجرة المصير١٩٦٢

الخامه : نحاس احمر منفذة بأسلوب الطرق

- **الجمع:**

بعد إتمام عملية الطرق تجرى عملية الجمع وتتم بوساطة الجاكوش أو الدقماق وعلى السندان المناسب مع مراعاة أن يكون كل منهما ناعم السطح وحتى لا تحدث تشوهات على سطح المعدن.

والجمع يتم بالدق على السطح الخارجي للإناء أو الشكل الكروى ذلك على العكس بين عملية الطرق، ويتم ذلك بوضع رأس السندان داخل الإناء أو الشكل المنفذ في مكان يناسب استقرار الشكل أو الإناء، ويتم الدق من الخارج وإلى أن يأخذ الشكل المطلوب، ينتج عن ذلك زيادة في سمك المعدن وتقليل القطر ويتوالى الدق المتجاور دائرياً حول المحيط من الداخل إلى الخارج تتم عملية الجمع وحسب الشكل المطلوب.كما فى شكل (٧) .

شكل (٧)

إناء من النحاس تم تشكيله بتقنية الجمع

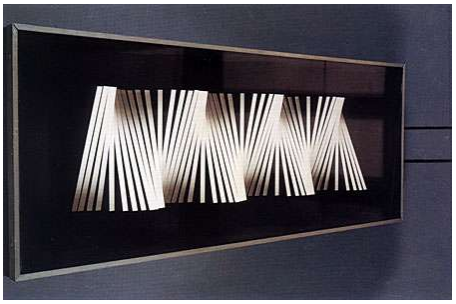
٢- التشكيل بالشق والحني:

أ- الشق:

هو إحداث قطع جزئي في سطح شريحة معدنية أو مسطح معدني دون الوصول إلى عملية القطع الكامل وفق تصور موضوع مسبق من خلال وضع تصميم[١٠].

ب- الحني:

هى طريقة تشكيل تستخدم لإيجاد أبعاد وقيم للأسطح الفيزيائية للمعادن ولا ينحصر تطبيقه على أحد هيئات وأشكال المعادن دون غيره[١١]، فالحني يمكن تطبيقه في تشكيل المسطحات والأسلاك والخوص والشرائح وغيرها[١٢]. وشكل (٨) يوضح نموذج للاستفادة من الدمج بين تقنيتى الشق والحنى ومدى إرتباطهما معاً فى تشكيل الألواح المعدنية .



شكل (٨)•

(Julio Le Parc) خوليو لو بارك – ١٩×١٢٠×٤٥ سم

عمل يوضح التشكيل بالبارز والغائر عن طريق استخدام تقنيتى الشق و**الحنى**

ثانياً: التشكيل بالإزالة

وهو أسلوب يتم فيه إزالة جزء من كل، سواء بالحفر في الخامة في أي اتجاه إلى الداخل مع نقصان في كمية الخامة الأصلية[١٣].

وترى الباحثة أن التشكيل بالإزالة لا يحقق وحدة تعدد لمستويات سطح العمل الفني بل يعتبر تقنية مكملة يمكن الاستعانة بها بالإضافة إلى أسلوب التشكيل بالإضافة لإحداث ت عدد المستويات.

١- التشكيل بالقطع:

وهي أحد الأساليب التقنية المناسبة لمعالجة الأسطح المعدنية بالإزالة[١٤]، فالقطع هو فصل الجزء عن الكل فصلاً كاملاً مهما كان شكل ا لجزء المفصول[١٥].

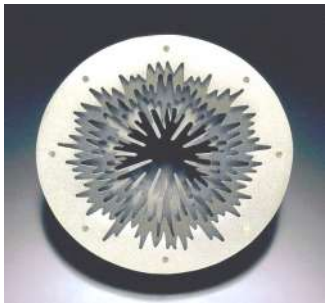
ومن أهم أساليب التشكيل بالقطع:

أ- الثقب:

عرف أسلوب الثقب كمعالجة لأسطح المشغولات المعدنية منذ القدم، واستمر استخدامه على مر العصور، وفيه تتم عملية الثقب بواسطة سنابك من الصلب المصلب ذات أقطار مختلفة، أو بواسطة أنواع مختلفة من المثاقب باستخدام بنط ذات أقطار مختلفة.[١٦].

ب- التفريغ:

فهو عملية إزالة أجزاء محددة من عناصر التصميم من المعدن ويكون بواسطة أقلام الأجن، إذا ما كان سمك المعدن كبير ثم يتم بعد ذلك ضبط الخطوط والفراغات بالمبارد، أما إذا كان المعدن قليل السمك فيستخدم منشار التفريغ (الأركت) فى إزالة بعض الأجزاء من المعدن من الداخل أو الخارج بهدف إظهار الخطوط الخارجية للعنصر، أو إزالة وحدة زخرفية معينة[١٧]، تبعاً لرؤية الفنان ورغبته فى التأكيد على علاقة العنصر بالخلفية، وترتبط تقنية التفريغ إرتباطاً وثيقاً بتقنية التراكب التى يمكن من خلالها تحقيق القيم الجمالية فى الأعمال متعددة الأسطح كما فى شكل (٩) و (١٠).



شكل (٩)

شكل (١٠)

مشغولات معدنية منفذة باسلوب التفريغ والتراكب

٢- الحفر:

يتم التشكيل بالحفر بإزالة أجزاء بسيطة من سمك المعدن لعمل تأثيرات ملمسية محفورة على سطح المعدن ، وللحفر طرق عدة ومنها:

أ- الحفر اليدوى

يمكن أن يتم الحفر على سطح المعدن بواسطة الأجن بأشكال مختلفة، فمنها الأجنة المبططة أو المستديرة أو المجوفة أو أجنة التحزيز.

ب- الحفر بالأحماض

كما يمكن أيضاً إجراء عملية الحفر على الأسطح المعدنية باستخدام الأحماض ، حيث يتم تغطية سطع المعدن بمادة عازلة، ثم يخدش التصميم عليها بشوكة علام مدببة حتى يتم إزالة الطبقة العازلة من الأماكن المراد حفرهل، ثم توضع قطعة المعدن فى الحمض ليتفاعل الحمض مع سطح المعدن، فيتآكل الجزء المعرض للحكض تآكل سطحه تختلف درجة عمقه باختلاف درجة تركيز الحمض، وزمن بقاء المعدن فى الحمض، ويعد حمض النيتريك والهيدروليك من أكثر الأحماض المستخدمة لهذا الغرض، وشكل (١١) يوضح تقنية الحفر بالأحماض على الأسطح المعدنية .

شكل (١١)

اسم الفنان : زدزسلو Zdzislaw – تاريخ الانتاج : ١٩٦٠

ابعاد العمل: ٨٨×٦٠سم – خامه العمل : الحديد

يوضح أسلوب الحفر باستخدام الأحماض

ثالثا: التشكيل بالإضافة

وهو أسلوب يتم فيه إضافة خامة على خامة أو بالامتداد في الاتجاهات الأصلية أو ما بينهما بزيادة كمية في المادة المضافة[١٨].

وترى الباحثة أن التشكيل بالإضافة يعد أبسط وأهم أساليب التشكيل التي يتحقق من خلالها تعدد لمستويات أي مشغولة معدنية وذلك من خلال:

١ – التراكب:

يعتمد اسلوب التراكب فى مجال أشغال المعادن على إضافة ووضع طبقات من الأسطح المعدنية فوق بعضها بالبعض، بحيث يخفى السطح المتراكب بعض أو كل أجزاء السطح المتراكب عليه، ويعد اسلوب التراكب أحد الأساليب التقنية التى يمكن استخدامها فى تجسيم المشغولة المعدنية، وإضافة بعداً فنياً جديداً ممن خلال التأكيد على العلاقة بين البارز والغائر فى العمل. وشكل (١٢) يوضح اسطرلاب من العصر الإسلامى مصنوع من النحاس منفذ باسلوب التراكب ، كما يوضح شكل (١٣) كيفية الإستفادة من تقنية التراكب فى التشكيل بالبارز والغائر فى عمل للفنان كالدر.

شكل (١٢) •
أسطرلاب يوضح اسلوب التراكب والتفريغ

شكل(١٣) •
عمل للفنان كالدر عمل يوضح تقنية التراكب

٢- الصهر والسبك.

يعتبر اسلوب السبك من أقدم الأساليب التى عرفها الإنسان، وانتشر انتشاراً واسعاً، وفيه يتم سبك المعدن المصهور داخل قوالب مفتوحة أو مغلقة، وفقاً للشكل المراد سبكه، ويتم ذلك باستخدام القوالب الرملية حيث يتم ضغط جانبى الشكل المراد سبكة فى قالب رملى موضوع داخل حاضن معدنى، وتضغط الرمال حول النموذج الموضوع ، ثم يرفع النموذج بحرص تاركاً مكانه فراغاً مطابقاً للشكل المراد سبكه ليصب فيه المعدن المصهور للحصول على الشكل المطلوب[١٩] .

كما استخدمت أيضاً تقنية السكب بالشمع الهالك، وفيها تتم العملية بإزالة النموذج بتذويب الشمع المصنوع منها، وسبكه إلى خارج القالب، ويجب أن يكسر القالب الخارجى بعد ذلك للحصول على النموذج المطلوب بعد سكب الفراغ الناتج عن إزالة الشمع بالمادة المعدنية المطلوبة، وبذلك لا يمكن استعمال القالب مرة ثتنية فهو قالب هالك، ومن الصعب التمييز بين الشىء المصنوع بطريقة الشمع الهالك من الشىء المصنوع بطريقة القالب المؤلف من عدة قطع[٢٠]. وشكل (١٤) يوضح التشكيل بالبارز والغائر عن طريق استخدام تقنية السبك.

الابعاد: ٢٢ قدم (إرتفاع) – التاريخ : ١٩٤٠
شكل (١٤) يوضح التشكيل بالبارز والغائر عن طريق استخدام تقنية السبك
الأخبار للفنان إسامو نوجوتشى Isamu Noguchi

٣-الوصل المعدنى

تعرف عمليات الوصل فى معجم تشكيل المعادن بأنها "إتصال بين قطعتين أو جزأين بحيث يمكن حبكهما لتكوين وصلة متينة"[٢١] .

يمكن للوصل أن يتم بين جزأين أو أكثر بالتلامس أو التراكب بأشكاله المختلفة، لتكون وحده واحدة متصلة.

يعتبر الوصل المعدنى أحد الأساليب التقنية المستخدمة فى مجال التشكيل المعدنى، ويهدف إلى تجميع أجزاء المشغولة وتيسير عملية التشكيل، خاصة فى الحالات التى يتطلب فيها الأمر إلى تكوين العمل من قطعتين أو أكثر، سواء كان السبب هو كبر حجم المشغولة، أو تعدد الخامات المستخدمة فى تشكيلها.

كما يهدف أيضاً إلى خفض التكلفة، وفى بعض الأحيان يستخدم الوصل المعدنى لإيجاد منطلق لتحريك أجزاء المشغولة المعدنية، كذلك يمكن الإفادة من طرق الوصل المختلفة جمالياً ووظيفياً فى معالجة الأسطح المعدنية.

ويمكن تقسيم طرق الوصل المعدنى إلى:

أ- **طرق الوصل الميكانيكى Mechanical Joining**

هى طرق للوصل المعدنى تعتمد على تطبيقات علم "الميكانيكا"• فى مجال التشكيل المعدنى، وتنقسم إلى طرق وصل ثابت (دائم) تعتمد على معطيات علم "الإستاتيكا"، بما يبحث فيه عن شروط اتزان القوى والسكون فى الأجسام، وطرق وصل متحركة (غير دائم) تعتمد على معطيات علم "الديناميكا"، وما يبحث فيه عن القوى المؤثرة على حركة الأجسام.

وسوف تتناول الدراسة طرق الوصل الميكانيكى بنوعيه كما يلى:

- **طرق الوصل الدائم Permanent Joining**

تستخدم طرق الوصل الدائم لوصل أجزاء المنتج المعدنى وصلات غير قابلة للفك، وعند محاولة فكها تتلف أجزاء الوصلة، ويمكن تشكيل الوصلات الميكانيكية الدائمة عن طريق استخدام إسلوب البرشمة أو استخدام الدسر المعدنية، وسوف يتم توضيحها فيما يلى:

- **الوصل بالبرشمة Riveting**

يعد الوصل باستخدام البرشام من أكثر طرق الوصل بين الألواح المعدنية إنتشاراً فى مجال الوصل المعدنى، و ذلك لسهولة تشكيلها وإنخفاض تكلفتها ، و يتم الوصل بمسامير البرشام على البارد أو على الساخن، تبعاً لقطر المسمار المستخدما. ولمسامير البرشام أشكال وأحجام وأنواع عدة ، والجدول (١) التالى يوضح أشكالها واستخداماتها المختلفة.

ولا يقتصر استخدام مسامير البرشام على الجانب الوظيفى فقط كما فى شكل (١٥) بل تستخدم أيضاً لتحقيق أغراض جمالية فى المشغولات المعدنية ، ويوضح شكل(١٦) كيفية الإفادة من استخدام البرشمة جمالياً، بالإضافة إلى دورها الوظيفى فى وصل أجزاء العمل المعدنى.

شكل (١٥)

تفصيلية من إناء نحاسى يظهر الإستخدام الوظيفى لمسامير البرشام

شكل (١٦)

الفنان دوجلاس واندر ٢٠٠٠- قطر ٣سم

يوضح الدور الوظيفى والجمالى لأسلوب البرشمة

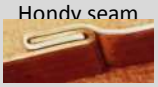
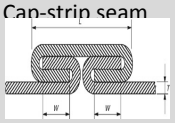
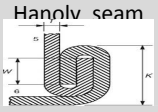
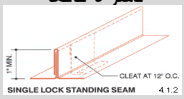
الوصل باستخدام الدسر seam Joint

هو أحد طرق الوصل المعدنى يعتمد فى تشكيله على إسلوب الطى أو الحنى يستخدم فى عمل وصلات قوية لوصل الصفائح المعدنية الرقيقة أو متوسطة السمك، من خلال طى طرفى اللوحان المراد وصلهما وثنيهما معاً والطَرق عليهما لضمان ثبات الوصلة [٢٢]. وتتعدد أشكال الدسر تبعاً لنوعها وموقعها على سطح العمل والهدف من تشكيلها.وجدول (٢) يوضح أشكال الدسر واستخداماتها المختلفة.

جدول (١) يوضح أشكال مسامير البرشام

	الإسم	التركيب والإستخدام	الشكل
مسامير البرشام المصمتة	مسمار البرشام ذو الرأس المسطح	يمتاز برأسه العريضة التى تفيد فى عمليات تدعيم الوصلات بين الألواح المعدنية الرقيقة	
	مسمار البرشام ذو الرأس الهرمية	يستخدم فى وصل العناصر الصغيرة الحجم	
	مسمار البرشام ذو الرأس الهرمية الناقصة	يستخدم فى عمل وصلات ذات قوة ومتانة عالية لوصل التركيبات المعدنية كبيرة الحجم (صرحية)	
	مسمار البرشام برأس التخويش	يستخدم فى وصل الأسطح المستوية، ويمكن برد رأس المسمار ليتساوى مع سطح اللوح المعدنى	
	مسمار برشام برأس نصف كروى	يستخدم على نطاق واسع لقوته وسهوله تشكيله.	
مسامير البرشام غير المصمتة	مسامير برشام نصف مفرغة	تتكون من جزئين أحدهما مصمت والآخر مفرغ يمرر إحدهما عبر ثقب نافذ فى الألواح المعدنية المراد وصلها ويضغط الأخر بداخلها بإحكام	
	مسامير برشام الطلقة	نوع إنبوبى مفرغ يتكون من ساق طويلة من الألومنيوم يمر خلالها مسمار من الصلب، يثبت بواسطة مسدس خاص يعمل على ضغط البرشام على السطح المراد تثبيته بإحكام، وفصل الجزء الزائد من المسمار الصلب	
	مسامير البرشام المتفجر	يستخدم فى وصل الألواح المعدنية المستخدمة فى صناعة الطائرات ، يتكون من رأس معدنى متصلة بساق اسطوانية بداخلها تجويف به كمية صغيرة من مادة متفجرة تنفجر فور تسخين المسمار، فتتمدد الساق وتنتفخ لتتكون الوصلة وتحكم إطباقها على الألواح المراد وصلها	

جدول (٢) يوضح أنواع الدسر واستخداماتها المختلفة

نوع الدسرة	إستخداماتها	طريقة التنفيذ
دسرة مخصورة Hondy seam 	تستخدم فى وصل الألواح المعدنية الرقيقة ومتوسطة السُمك	تثنى طرفى المسطحين المراد وصلهما بمقدر ١٨٠°، يركب الطرفان المتقابلان داخل بعضهما ليكون إحدى الحنيتين معقوفة إلى أعلى والأخرى إلى أسفل، ثم يطرق عليهما ليتم إحكام الوصلة.
دسرة بغطاء Cap-strip seam 	تستخدم فى وصل أجزاء مجارى الهواء لإكسابها المتانة ورفع كفائتها الوظيفية	تطوى طرفى الشريحتين المراد وصلهما بمقدار ١٨٠°، يتم تجهيز شريحة ثالثة يتناسب عرضها مع عرض قفلى الدسرة للشريحتين السابقتين، ويطوى حرفاها بمقدار ١٨٠°، ثم يتم إدخال الشريحة الثالثة فى قفلى الشريحتين فتعمل على جمعهما معاً فى وصلة، ثم يطرق عليهم معاً ليتم إطباق الوصلة.
دسرة منزلقة Slip-Joint seam	تستعمل فى عمل وصلات ركنية طويلة	يتم ثنى طرفى الشريحة الأولى بمقدار ١٨٠°، وثنى طرفى الشريحة الثانية ثنى مزدوج، الأول بمقدا ١٨٠°، ثم طيه مره أخرى بمقدار ٩٠°، على أن يكون المسافة بين لبقفلين المفردين تسمح بإنزلاق الشريحة الأولى بقفليها المفردين داخل قفلى الشريح الثانية المزدوجين.
دسرة مزدوجة Double seam	تستخدم فى صنع التركيبات غير المنتظمة مثل الصناديق	يطوى طرف الشريحة الأولى بزاوية قائمة ٩٠°، ويطوى طرف الشريحة الثانية بمقدار ١٨٠° ، وبإدخال القفل المفرد للشريحة الأولى فى قفل الشريحة الثانية، يُطرق عليهما معاً ثم يتم تثيهما معاً بمقدار ٩٠°.
دسرة مخصورة Bottom Double seam	تستعمل فى وصل الجسم الإسطوانى بقاعدتة الدائرية	يطوى الطرف السفلى للإسطوانة للخارج بزاوية ٩٠°، ثم تطوى حافة القاعدة الدائرية لأعلى بمقدار ٩٠°، يتم تركيب شفة الإسطوانة داخل القاع، ثم يتم الطرق على قفلى الدسرة لإطباق الدسرة.
دسرة بسيطة Hanoly seam 	دسرة مناسبة للوصلات الطويلة، تستخدم لوصل لوحين كاملين .	يثنى طرف الشريحة طية مزدوجة الأولى بمقدار ١٨٠°والثانية بمقدار ٩٠° ، يثنى طرف الشريحة الثانية بمقدار ٩٠°، يتم إدخال القفل المفرد داخل المزدوج، ويتم الطرق عليهما معاً لإطباقها فوق الشريحة الثانية.
دسرة غنفارى Dovetail seam	تستعمل فى وصل جسم اسطوانى بفلانشة مستديرة	يشق محيط طرف الإسطوانة المراد وصلها بفلانشة بأطوال متساوية وعرض ثابت على هيئة عدد من الألسن، يحنى لسان ويترك المجاور له ثم يحنى الثالث ويترك ما بعد وهكذا، تعمل الألسن المنحنية كحاجز للفلانشة ترتكز عليه ثم تطوى باقى الألسنة فوق سطح الفلانشة.
دسر ة قائمة 	تستعمل فى وصل مجارى الهواء الضخمة	يطوى طرف الشريحة الأولى بزاوية ٩٠°، ويطوى طرف الشريحة الثانية بمقدار ١٨٠° ، ثم بزاوية قائمة فى الإتجاه المعاكس وبإدخال أشغال الشريحتين معاً والضغط عليهما يتم الوصل المحكم.

- **طرق الوصل الغير دائم Temporary Joining**

وهى من طرق وأساليب الوصل الميكانيكى المستخدمة فى وصل جزئين من المعدن أو أكثر، بحيث يمكن إعادة فكهم وتركيبهم دون تلف الأجزاء المكونة للوصلة، وتكون طرق الوصل الغير دائم ثابتة كالربط بالمسامير والصواميل، أو متحركة كالوصل باستخدام السلاسل والزرد، وسيتم تناولها فيما يلى:

الوصل بالمسامير المحواه:

يعتبر الوصل بالمسامير المحواه (القلاووظ) طريقة وصل غير دائمة تناسب جميع الهيئات المعدنية من أعمدة وخوص وشرائح، وفيها يمكن تكرار ربط وإحلال الوصلة دون الإضرار بها . وتختلف أنواع المسامير تبعاً لشكل ووظيفة العنصر المراد تثبيته. وشكل (١٧) يوضح مجموعة من المسامير المحواه . ويوضح شكل (١٨) الإستخدام الوظيفى والجمالى للمسامير الملولبة.

شكل (١٧)
نماذج للمسامير الملولبة

شكل (١٨)
الفنان محمد هارون ، إتزان ٢٠٠٦ – ٣٨٠×٢٠٠×٢٠سم
الخامات : حديد ، صاج أسود ومجلفن ، محركات كهربائية
عمل يوضح الإستخدام الوظيفى والجمالى للمسامير الملولبة

ب- طرق وصل ميتالورجي:

والمقصود بالوصل الميتالورجي، هو الوصل باللحام للحصول على وصلات غير قابلة للفك، وذلك بالتسخين الموضعي لأطراف الأجزاء الموصولة[٢٣]. لذلك عند إجراء عملية وصل للأجزاء المعدنية المتشابهة عن طريق اللحام، فإنه يجب تهيئة الأطراف المراد وصلها، لكي تندمج ذراتها مع بعضهما البعض.

ويعرف الوصل باللحام أيضاً "بعملية الارتباط المعدني للأجزاء المطلوب وصلها بواسطة قوي الانجذاب بين الذرات"[٢٤]، ويعرف أيضاً بأنه "وصل المواد المعدنية بواسطة الحرارة أو بتسليط الضغط، أو باستخدام الضغط والحرارة معاً"[٢٥]،

- **اللحام بالصهر Fusion welding:**

يحتاج هذا النوع من اللحام إلى طاقة حرارية كبيرة لصهر طرفي الوصلة، للتغلب على تماسك ذراتها حتى يمكن تداخل الأجزاء المراد لحامها مع بعضها البعض، لتحقيق الوصل أو الارتباط الذري.

- **اللحام باستخدام السبائك:**

ويعرف باللحام البسيط، وفيه يتم وصل للأجزاء المعدنية بواسطة إستخدام سبيكة معدنية ذات درجة انصهار أقل من درجة انصهار المعدن الأصلي المراد وصله، وللحام البسيط نوعان الأول ويعرف باللحام اللين وفيه تستخدم سبيكة القصدير والرصاص ويعرف اللحام ،والثانى ويعرف باللحام بالمونة وتستعمل فيه سبيكة نحاس زنكية أو نحاس فضية أو سبيكة الفضة التى تتميز بسيولتها عالية ومقاومتها للصدأ، ويسهل إستخدام هذه السبائك على هيئة وصلات صغيرة و دقيقة، تناسب تشكيل الحلي والمشغولات المعدنية الصغيرة . وشكل (١٩) يوضح الدور الوظيفى والجمالى لأسلوب الوصل عن طريق اللحام .

شكل (١٩)

الفنان حامد البذره ، زهرة ١٩٩٦ – عمل يوضح الوصل عن طريق اللحام

اللحام بالضغط على البارد Cold Pressure Welding

وهو طريقة لتوصيل جزئين معدنيين، بتسليط ضغط هائل ميكانيكي باستخدام مكبس، ليصل الضغط تقريباً حوالي ٦٠٠–٧٠٠ كجم/سم على طرفي الوصلة لترتفع درجة حرارتهما دون الاستعانة بمصدر للطاقة الحرارية، ويستلزم اللحام بهذه الطريقة نظافة السطح من الأكاسيد والمواد الغريبة ، وذلك لضمان تلامس أكبر قدر من جزيئات السطحين المراد وصلهما.

- **لحام المقاومة الكهربية Electric Resistance Pressure Welding**

ويعرف أيضاً باللحام بالتلامس، وفيه تتم عملية اللحام بتسليط الضغط على طرفى الوصلة بواسطة قطبين كهربائيين متقابلين يمر خلالهما تيار كهربائي منخفض الفولت وعالي الأمبير لفترة زمنية محددة ، فترتفع درجة الحرارة في منطقة تماس أجزاء الوصلة، وعند إنصهار الوصلة يتم وقف مرور التيار الكهربائي مع الإبقاء على الضغط مسلطاً على منطقة الوصل حتى تتصلب، وبذلك تكتمل عملية اللحام [٢٦].وترى الباحثة أنه يمكن استثمار طرق الوصل بأنواعه المختلفة في إحداث متغيرات تشكيلية على سطح اللوحة المعدنية واستخدامها كوسيلة لتجميع أكثر من قطعة مكونة اللوحة كذلك يمكن استخدامها كمتغير تشكيلي كمعالجة سطح وإحداث تعدد بمستويات سطح اللوحة المعدنية كما يمكن من خلال استخدام تلك التقنية في إيجاد رؤي تشكيلية متجددة.

النتائج والتوصيات

أولاً: النتائج:

- استفاد الفنانين المعاصرين من تقنيات التشكيل المعدنى وظيفياً وجمالياً فى التأكيد على العديد من القيم التشكيلية والتعبيرية فى لوحاتهم المعدنية.
- اعتمد عدد من الفنانين على الدمج بين أكثر من تقنية فى تشكيل أعمالهم.
- يمكن تصنيف أعمال الفنانين إلى:

أ- أعمال أحادية التقنية.

ب- أعمال اعتمدت على الدمج بين أكثر من تقنية.

ثانياً: التوصيات:

- إجراء المزيد من الدراسات التى تلقى الضوء على أعمال الفنانين المعاصرين المصريين والأجانب، والإفادة من أساليب التشكيل التى اعتمدت عليها أعمالهم وفق المستحدثات التكنولوجية.
- إعداد ورش فنية مجهزة بالأدوات والمعدات الصناعية المتطورة لإجراء التجارب التقنية ، والإحتكاك المباشر مع تلك الأدوات والخامات لزيادة خبرة الطلاب فى التعامل معها.
- إدراج الأساليب التقنية المستخدمة فى التشكيل المعدنى فى البرامج الدراسية للطلاب ، وإتاحة الفرصة لهم للإستفادة منها فى تطبيق مشغولاتهم المعدنية لتوظيفها.

المراجع

١- أحمد حافظ حسن أحمد: الإستفادة بالقيم الفنية التقنية للمشغولات المعدنية المملوكية بمصر فى عمل مشغولات مبتكرة، رسالة دكتوراه، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ١٩٨٥.

٢- أسماء مهدي محمد: الإمكانيات التشكيلية لبقايا المصهورات المعدنية والإفادة منها في استحداث مشغولة معدنية، رسالة ماجستير، تربية فنية، جامعة حلوان،٢٠٠٥ .

٣- أنور محمود عبد الواحد: معجم تشكيل المعادن، المعاجم التكنولوجية التخصصية، مؤسسة الأهرام، القاهرة، ١٩٧٨.

٤- المجمع اللغوي، مجموع المصطلحات العلمية والفنية، المجلد الخامس عشر، المطبعة الأميرية، القاهرة، ١٩٧٣ .

٥- حامد السيد البذرة: التشكيل اليدوي للأسلاك المعدنية وأبعاده الفنية والتقنية مقالة علمية، المؤتمر العلمي الخامس، كلية التربية الفنية، ١٩٩٤.

٦- حامد السيد البذرة: القيم الجمالية للأسطح الفيزيائية للمعادن، مقالة بحثية محكمة من قبل اللجنة العلمية للترقية لوظيفة أستاذ، جامعة حلوان، ١٩٩٧.

٧- حامد السيد البذرة: دور حرف الحدادة الشعبية في تطوير تشكيل الشرائح المعدنية الدقيقة وإمكانية الإفادة منها في تدريس أشغال المعادن بالكلية، رسالة دكتوراه، تربية فنية، جامعة حلوان.

٨- راشل وارد: الأعمال المعدنية الإسلامية، ترجمة ليديا البربرى، دار الوليد، دار الكتاب العربى، ط١، دمشق والقاهرة، ١٩٩٨.

٩- عادل محمود حسن، فداء صفاء محمد على: مبادئ علم المعادن، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، ١٩٨٦ .

١٠-عبد الرحمن عبد الحميد: الدلالات التعبيرية للمتغير الشكلي والتقني كمدخل تجريبي لإثراء مجال أشغال المعادن، رسالة دكتوراه، كلية تربية نوعية، جامعة القاهرة، ٢٠٠٥ .

١١-عز الدين عبد المعطي محمود: "تحديد العوامل المؤثرة في تدريس الحلي المعدنية لطلاب كلية التربية الفنية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ١٩٨٩ .

١٢-علاء محمد صبرى: التكفيت فى العصر المملوكى كمصدر لإثراء المشغولة المعدنية، رسالة ماجستير، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ٢٠٠٢ .

١٣-على المليجي: مهارات التشكيل في التربية الفنية، حورس للطباعة والنشر، القاهرة، ٢٠١١ .

١٤-فاروق وهبه الجبالى: دور القاعة فى التصوير، رسالة دكتوراه، فنون جميلة، جامعة حلوان، ١٩٨٨ .

١٥-ف. بتراك: تشكيل المعادن بدون قطع بالأسس التكنولوجية، ترجمة: حسن محمود إسماعل، محمد عبد المجيد إسماعيل، مطبعة داغر .

١٦-فوقية حسن عبد المجيد: دراسة التقنيات المعدنية الزخرفية وعناصرها النباتية في العصر المملوكي بمصر والإفادة منها في معالجة أسطح المشغولات المعدنية، رسالة دكتوراه، كلية التربية الفنية – جامعة حلوان، ٢٠٠٠ .

١٧-مدحت السيد الصبحى: تعدد زوايا الرؤية فى التصمير الحديث، رسالة دكتوراه، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ١٩٩٥.

١٨-نسرين يحى محمد أحمد : طرق الوصل المعدنية واستثمارها جمالياً فى استحداث مشغولة معدنية، رسالة دكتورا، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان.

19- http://metal-artist-sculptor.blogspot.com. eg/2010/10/repousse-and-chasing-techniques.html

20- http://www.arab-eng.org/vb/t/134782.html

21- en.wikipedia.org/wiki/Repouss%c3%Ag and chasing

22- http://vb.almahdyoon.org/showthread.php?t=17788

(١) فاروق وهبه الجبالى: دور القاعة فى التصوير، رسالة دكتوراه، فنون جميلة، جامعة حلوان، ١٩٨٨، ص ٣٠.
(٢) مدحت السيد الصبحى: تعدد زوايا الرؤية فى التصمير الحديث، رسالة دكتوراه، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ١٩٩٥، ص ١٥.
(٣) المجمع اللغوي: مجموع المصطلحات العلمية والفنية، المجلد الخامس عشر، المطبعة الأميرية، القاهرة، ١٩٧٣، ص١٣٥.
(٤) على المليجي: مهارات التشكيل فى التربية الفنية، حورس للطباعة والنشر، القاهرة، ٢٠١١، ص ٢٠١، ٢٠٢.
(٥) عبد الرحمن عبد الحميد: الدلالات التعبيرية للمتغير الشكلي والتقني كمدخل تجريبي لإثراء مجال أشغال المعادن، رسالة دكتوراه، كلية تربية نوعية، جامعة القاهرة، ٢٠٠٥، ص ٨ .
(٦) أحمد حافظ حسن أحمد: الإستفادة بالقيم الفنية التقنية للمشغولات المعدنية المملوكية بمصر فى عمل مشغولات مبتكرة، رسالة دكتوراه، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ١٩٨٥، ص ٢٧١.
• www.youtube.com/watch?v=UpBfdXsAZ4Q
(٧) عز الدين عبد المعطي محمود ١٩٨٩: "تحديد العوامل المؤثرة في تدريس الحلي المعدنية لطلاب كلية التربية الفنية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ص ٨٢.
(٨) حامد السيد محمد البذرة ١٩٩٧: القيم الجمالية للأسطح الفيزيائية للمعادن، مقالة بحثية محكمة من قبل اللجنة العلمية للترقية لوظيفة أستاذ، جامعة حلوان.
• http://metal-artist-sculptor.blogspot.com.eg/2010/10/repousse-and-chasing-techniques.html
(٩) فوقية حسن عبد المجيد: دراسة التقنيات المعدنية الزخرفية وعناصرها النباتية في العصر المملوكي بمصر والإفادة منها في معالجة أسطح المشغولات المعدنية، رسالة دكتوراه، كلية التربية الفنية – جامعة حلوان، ٢٠٠٠، ص ٢٣٠.
(١٠) حامد السيد البذرة: دور حرف الحدادة الشعبية في تطوير تشكيل الشرائح المعدنية الدقيقة وإمكانية الإفادة منها في تدريس أشغال المعادن بالكلية، رسالة دكتوراه، تربية فنية، جامعة حلوان.
(١١) أسماء مهدي محمد: الإمكانيات التشكيلية لبقايا المصهورات المعدنية والإفادة منها في استحداث مشغولة معدنية ، رسالة ماجستير ، تربية فنية – جامعة حلوان، ٢٠٠٥، ص ٣٨.
(١٢) حامد البذرة ١٩٩٧، مرجع سابق، ص ٤.
• http://www.julioleparc.org/en/open_image.php?aw_cat_id=3&aw_id=44.
(١٣) عبد الرحمن عبد الحميد: مرجع سابق، ص ٨٢.
(١٤) حامد السيد البذرة ١٩٩٧: ، مرجع سابق، ص ٣.
(١٥) حامد السيد البذرة ١٩٩٤: التشكيل اليدوي للأسلاك المعدنية وأبعاده الفنية والتقنية مقاله علمية، المؤتمر العلمي الخامس، كلية التربية الفنية.
(١٦) علاء محمد صبرى: التكفيت فى العصر المملوكى كمصدر لإثراء المشغولة المعدنية، رسالة ماجستير، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ٢٠٠٢، ص ١٣١.
(17) en.wikipedia.org/wiki/Repouss%c3%Ag and chasing
(١٨) عبد الرحمن عبد الحميد: مرجع سابق، ص ٨٢.
• http://vb.almahdyoon.org/showthread.php?t=17788
• http://www.calder.org
(١٩) أحمد حافظ حسن أحمد: مرجع سابق ، ص ٢٨٤.
(٢٠) راشل وارد: الأعمال المعدنية الإسلامية، ترجمة ليديا البربرى، دار الوليد، دار الكتاب العربى، ط١، دمشق والقاهرة، ١٩٩٨، ص ٣٩، ٤٠.
(٢١) أنور محمود عبد الواحد: معجم تشكيل المعادن، المعاجم التكنولوجية التخصصية، مؤسسة الأهرام، القاهرة، ١٩٧٨، ص٢٤٢.
• علم الميكانيكا: هو علم الآلات وكل ما له علاقة باحركة بمعناها الهام وبالتوازن والسكون أيضاً، وهو أحد فروع الفيزياء، معنى بدراسة القوى وأثرها على الأجسام، وينقسم إلى علمى (الإستاتيكا والديناميكا)
(٢٢) نسرين يحى محمد أحمد : طرق الوصل المعدنية واستثمارها جمالياً فى استحداث مشغولة معدنية، رسالة دكتوراه، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ص٢٧.
(23) http://www.arab-eng.org/vb/t/134782.html.
(٢٤) عادل محمود حسن، فداء صفاء محمد على: مبادئ علم المعادن، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، ١٩٨٦، ص ٢٠٤.
(٢٥) ف. بتراك: تشكيل المعادن بدون قطع بالأسس التكنولوجية، ترجمة: حسن محمود إسماعل، محمد عبد المجيد إسماعيل، مطبعة داغر، ص ١٢٠.
(٢٦) السيد محمد أنور الملقي: مرجع سابق، ص ٤٠.