تقنيات الإنهاء والحماية المعدنية بالترسيب الكهربى وأثرها على القيم الجمالية لأسطح الميدالية

Electro-deposition finishing and metal protection techniques and their impact on the aesthetic values of medal surfaces

م.د/ سناء عبد الله رياض محمد خليف
مدرس بقسم النحت- كلية الفنون الجمية- جامعة الاسكندرية.
Dr. Sanaa Abdallah Reiad Mohamed Kholef
Lecturer in Sculpture Department - Faculty of Fine Arts – Alexandria University
Sanaa.Abdallah@alexu.edu.eg

الملخص:

تستخدم تكنولوجيا الإنهاء والحماية والمعالجات اللونية للميدالية بالترسيب الكهربائي؛ لإعطاء الميدالية خصائص جديدة تضيف قِيَمًا جمالية ووظيفية؛ مثل مقاومة التآكل، وتحسين مظهر السطح، وغير ذلك من الخصائص. إن الميدالية التي تُشكَّل بأيٍّ من تقنيات السبك أو السك تحتاج إلى تكسية لتغطية معدنها غير النفيس بمعدنٍ آخَرَ قيمٍ كالذهب أو الفضة أو النيكل .. إلخ؛ لتليق بالمناسبة أو التكريم التي تمنح من خلاله, ويتم ذلك عن طريق تقنيات الترسيب الكهربائي التي شهدت تطورًا حاليًا، وتستخدم لطلاء الميدالية المعدنية وغير المعدنية, بالإضافة للتشكيل الكهربائي على القالب (من خامة غير معدنية) تمت معالجته بالمعدنة.

يمكن الحصول من الترسيب الكهربي على باليتة ألوان كاملة نتيجة ترسيب أكثر من معدن معًا أو بترسيب السبائك, كما يمكن ترسيب فيلم متعدد الألوان بمكونات واحدة مع تغيير عامل الحرارة وثبات العوامل الأخرى (الزمن- التركيز- معدن الأساس للميدالية). كما أمكن الطلاء الكهربائي الإنتقائي أو الجزئي بتشطيبات لامعة وغير لامعة على نفس التصميم؛ بهدف إثراء السطح بتعدد الألوان المعدنية متنوعة الملامس. بذلك يوفر الترسيب الكهربي مجموعة واسعة من الألوان المتاحة بقدرً كبيرً من المرونة؛ لاختيار الإنهاء الأنسب.

يحسن الطلاء الكهربائي مجموعة واسعة من الخصائص غير الموجودة بطبيعتها في المادة الأساسية مثل مقاومة التآكل كما يمثل "درعا حراريًا" يحمي الطبقة السفلية من التلف عند التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة.

ولقد تفوقت تقنيات الترسيب الكهربائي على العديد من تقنيات التلوين الأخرى غير الكهربائية, والتقنيات الجديدة , ولا سيما للتحكم في الحجم والشكل والخصائص التركيبية للبني النانوية المعدنية؛ حيث يمكن الطلاء الكهربائي بترسب طبقات رقيقة من المواد النانومترية عن طريق التحكم بعناية في شدة التيارالكهربائي.

ولقد استهدف هذا البحث مدى الاستفادة من تقنيات الانهاء والحماية المعدنية بالترسيب الكهربى وأثرها على القيم الجمالية لأسطح الميدالية , من خلال دراسة عدة محاور.

الكلمات المفتاحية:

الترسيب الكهربائي , النانو تكنولوجي , مواد النانو , الجسيمات النانوية , التأكل

Abstract:

Electro-deposition Finishing, Protection, and Color Processing Technology for Medallion is used to give new properties to the medal that add aesthetic and functional values; Such as corrosion resistance, surface appearance improvement, and other properties. A medal that is shaped by any of the casting or minting techniques needs cladding to cover its non-precious metal with another valuable metal such as gold, silver, nickel, etc. to befit the occasion or the honor that is granted through it. And this is done by means of electro-deposition techniques that have witnessed a current development and are used to paint the metallic and non-metallic medal, in addition to, electroforming on the mold (from a non- metallic material) that has been treated with metal. Electrodeposition can be obtained by a complete palette of colors as a result of deposition of more than one metal together or by deposition of alloys. It is also possible to deposit a multi-colored film with the same components through changing the temperature factor and the other factors are remaining constant (time - concentration - basic metal of the medal). Selective or partial painting with glossy and matte finishes is also possible on the same design; with the aim of enriching the surface with a multiplicity of metallic colors with various textures. Electroplating improves a wide range of properties not found in the base material. Electrical deposition techniques have outperformed many other non-electric coloring techniques and new techniques. And they have been used nanotechnology where Electroplating can be done by depositing thin layers of nanoscale materials through carefully controlling the Intensity of Electric Current. This research aimed to benefit from Electrodeposition finishing and metal protection techniques and their impact on the aesthetic values of medal surfaces through studying several aspects.

Key words:

Electrodeposition**,** Nanotechnology, Nanomaterial, Nanoparticles, Corrosion

المقدمة

اكتسب الترسيب بالكهرباء اهتمامًا بَدءًا من عام ١٨٤٠، عندما مُنح هنري وجورج إلكينجتون من برمنغهام بإنجلترا أول براءة اختراع لتكييف هذه التكنولوجيا مع ترسيب الذهب والفضة باستخدام سيانيد البوتاسيوم كمحلول إلكتروليت. تبع ذلك تطور صناعي بشأن استخدام فيروسيانيد الأكثر استقرارًا في طلاء الذهب. انتشر الطلاء الكهربائي بسرعة في جميع أنحاء العالم، وأصبح عملية شائعة لترسيب المعادن الثمينة وغير الثمينة، بما في ذلك النحاس والذهب والنيكل والنحاس الأصفر والقصدير والزنك. منذ أوائل الخمسينيات من القرن الماضي تم استبدال حمامات السيانيد بالمحاليل الحمضية [١٦].

في الوقت الحاضر تغطي كلمة الترسيب الكهربائي طيفًا واسعًا من المعادن والسبائك وأشباه الموصلات والبوليمرات في مجموعة متنوعة من الأحجام والأبعاد. ونظرًا للتقدم الدقيق في فَهم مبادئ الترسيب الكهربائي باستخدام الكيمياء الكهربائية والفيزياء وعلم المواد، فقد دأبت العلوم والبحوث الحديثة والمتقدمة على كيفية استغلال المواد الجديدة والهياكل والوظائف في عمليات الترسيب الكهربائي [٢٤].

وتعد المعالجة السطحية للميداليات بالترسيب أو الطلاء الكهربي ضرورة وأساسية؛ لمنح سطح الميدالية معطيات جمالية ولونية وبصرية، وللحماية من التآكل بتحسين الخواص الميكانيكية كالصلادة, حيث تتميز هذه الطلاءات للميداليات بالثبات

والدوام. ويتناول البحث (تقنيات الإنهاء والحماية المعدنية بالترسيب الكهربي وأثرها على القيم الجمالية لأسطح الميدالية) من خلال دراسة المحاور التالية:

المحورالأول: تقنيات الترسيب الكهربي: ويتضمن الطلاء الكهربي بتقنية الطبقة الأحادية mono-ply والثنائية bi-ply وتقنية الطبقات المتعددة multi-ply technology ، كما يشمل تقنيات التشكيل الكهربي لعمل مستنسخات دقيقة للميدالية بالترسيب علي القالب.

المحور الثاني: دور النانو تكنولوجي في تقنيات الترسيب والتلوين.

المحور الثالث: النتائج والتوصيات.

مشكلة البحث:

1- مدى الاستفادة من تقنية الترسيب الكهربائي في إثراء القيم الجمالية على أسطح الميدالية لتأكيد سمات العملية الابداعية، وللوصول إلى الحماية اللونية التي تتميز بالجودة والثبات والدوام.

فروض البحث

يفترض الباحث إمكانية التوصل إلى تقنيات متطورة للترسيب الكهربي للإنهاء والحماية؛ لإضافة قيما جمالية لأسطح الميدالية.

أهداف البحث:

١- الوقوف على إمكانيات التقنيات الحديثة والمتقدمة بالترسيب الكهربائي في تنفيذ ميداليات معاصرة.

٢- الوصول إلى ميداليات ذات أسطح معدنية تتميز بالبقاء والثبات والجودة.

أهمية البحث

١- إيجاد أنسب الحلول العلمية والفنية للوصول إلى إنهاء وحماية أعمال الميدالية باللون المعدني بثبات وجوده عالية لفترات طويلة، دون أن يطرأ عليها أيُّ تغير من خلال طبقة الحماية اللازمة.

٢- الوصول إلى دور النانو تكنولوجي في تقنيات الترسيب الكهربائي؛ للاستفادة منها على أسطح الميدالية؛ لاكتساب خواصَّ جديدةٍ وفريدة غير متاحة مجتمعة في المواد التقليدية, كذلك مقاومة التآكل المحسنة للمواد ذات البنية النانوية المترسبة كهربائيًّا.

حدود البحث

- **حدود مكانية:** عالمي.
- **حدود زمانية:** العصر الحديث والمعاصر.

مناهج البحث:

استخدم البحث المنهج التاريخي والمنهج التحليلي الاستنتاجي، والوصفي؛ حيث يعتمد البحث على دراسة وتحليل واستقصاء تقنيات الترسيب الكهربي وتطوره ومراحله؛ لتحسين مظهر أسطح الميدالية وحمايتها, ودراسة دور النانو تكنولوجي في الترسيب الكهربي؛ لتحسين الخواص الميكانيكية والضوئية والبصرية... إلخ لطبقة الطلاء، والخروج بنتائج وتوصيات البحث.

المفاهيم والمصطلحات:

- **طِلَاء كَهرَبي electroplating:** ترسيب كهربائيٌّ لِلْفلزَّات أو السبائك بشكل تلاصقي على سطح مشغولة فِلزِّيَّة تُمثِّل المهبِط.
- **مواد النانو Nanomaterials:** هي المواد المتقدمة التي يمكن إنتاجها بحيث تتراوح أبعاد حبيباتها الداخلية بين ١ نانومتر و١٠٠ نانومتر، ونتيجة لصغر أحجام تلك المواد فقد أدى ذلك إلى أن تسلك سلوكًا مغايرًا للمواد التقليدية كبيرة الحجم التي تزيد أبعادها على ١٠٠ نانو متر, كما توافرت بها خواصُّ شديدة التميز لا يمكن أن توجد مجتمعة في المواد التقليدية. تتنوع المواد النانوية من حيث المصدرُ؛ كأن تكون عضوية أوغير عضوية، أو مواد طبيعية أو مخلقة. وتعد جميع المواد الهندسية -مثل العناصر الفلزية وسبائكها, أشباه الموصلات, الأكاسيد والمعادن وكذلك البوليمرات- بمنزلة المواد الأولية التي تعتمد عليها تكنولوجيا النانو[٢]. تعتبر المواد النانوية من مثبطات التآكل في مواد الطلاء، فتعزز الحماية من التآكل، وتهدف الأغشية النانوية المستخدمة في طلاء أسطح المعادن إلى تحسين خواصها من خلال تغطيتها بحبيبات نانوية من أكاسيد الفلزات التي تتمتع بصلادة فائقة ومقاومة التآكل. يمكن خلط جسيمات الأكاسيد المعدنية أو جزيئات معدنية بالبوليمرات النانوية التي تتمتع بخواص كهروكيميائية وخصائص التوصيل الإلكتروني لتعديل شكلها وخصائصها الفيزيائية لتستخدم في عمليات الحماية من التآكل[٢٩].
- **الجسيمات النانوية Nanoparticles:** عبارة عن تجمع ذري أو جزيئي ميكروسكوبي يتراوح عددها من بضع ذرات (جزيء) إلى مليون ذرة مرتبطة ببعضها بشكل كروي بنصف قطر أقل من ١٠٠ نانومتر [٥].
- **علم النانو Nanoscience:** هو دراسة المبادئ الأساسية للجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز قياسها ١٠٠ نانومتر.
- **تقنية النانو Nanotechnology:** هو تطبيق لهذه العلوم وهندستها لإنتاج مخترعات مفيدة [٣٧]،.فهي تلك التكنولوجيا المتقدمة القائمة على فَهم ودراسة علم النانو والعلوم الأساسية الأخرى، مع توافر المقدرة التكنولوجية على تخليق المواد النانوية والتحكم في بنيتها الداخلية عن طريق إعادة هيكلة وترتيب الذرات والجزيئات المكوِّنة لها، بما يضمن الحصول على منتجات متميزة وفريدة، توظف في التطبيقات المختلِفة [٢].
- **النَّانومتْر Nanometer:** وَحدة قياس الطُّول، وتساوي واحدًا في المليار من المتر , أيْ: ١٠-٩ من المتر.

المحور الأول: تقنيات الترسيب الكهربائي Electro-deposition

تعريف الترسيب الكهربائي: هو عملية تغطية الجسم المعدني أو غير المعدني بطبقة من المعدن باستخدام التيار الكهربائي ومحاليل أملاح أو قواعد الفلز المطلوب التغطية به [٢٨].

تشمل تقنيات الترسيب الكهربائي كُلًّا من: الطلاء، والتشكيل الكهربائي, تستخدم تقنيات الطلاء الكهربائي للإنهاء والحماية لسطح الميدالية، المعدنية وغير المعدنية، بينما تستخدم تقنيات التشكيل الكهربائي للترسيب على القالب لعمل مستنسخات معدنية متميزة تتفوق على المتحصل عليها بتقنيات السبك؛ نظرًا لدقتها.

يُحدَّد سُمك الطبقة المترسبة بالكهرباء على الركيزة من خلال المدة الزمنية من الطلاء؛ كلما طالت مدة بقاء الجسم في الحمام الكيميائي زادت سماكة المادة المترسبة [١٠].

(١) الطلاء الكهربي للميدالية

يتضمن هذا الجزء دراسة:

أ. تعريف الطلاء الكهربي

ب. تقنيات الطلاء الكهربائي للميدالية

ج. عملية الطلاء الكهربي للميدالية

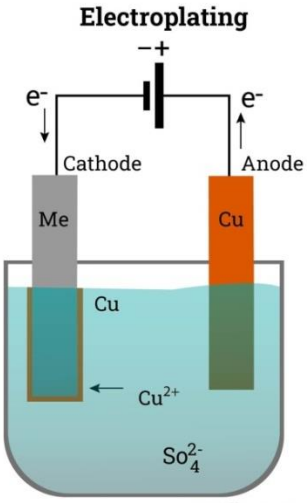
د. العوامل التي تؤثر على مظهر الطلاء الكهربي

هـ. الطلاء الانتقائي

و. مميزات الطلاء الكهربي

أ. تعريف الطلاء الكهربي: هو عملية ترسيب معدن على آخَرَ, حيث يمرر تيار كهربائي من ألواح (أنودات) الي الميدالية المراد طلاؤها خلال محلول ملحي معدني (الالكتروليت). وتنجذب أيونات المعدن إلى الميدالية المطلوب طلاؤها بحيث تطلق شحنتها الكهربائية وتترسب على السطح [٤], والشكل (١): رسم تخطيطي لخلية طلاء كهربائي.

والطلاء الكهربائي هو استخدام التيار الكهربائي لدفع الأيونات المعدنية لربطها بسطح الجسم المستهدف، وهو ما يسمى الركيزة. بشكل عام، يجب أن يكون سطح الركيزة أو الميدالية نظيفًا جدًّا؛ نتيجة لذلك سيكون النشاط الذري على سطح الركيزة مرتفعًا جدًّا، ويحتاج بشكل عاجل إلى الدمج مع موادَّ مختلِفةٍ؛ لتقليل طاقة النشاط السطحي؛ وذلك لتحقيق حالة أكثر استقرارًا. لذلك، قبل الطلاء بالكهرباء، يتم تنظيف الركيزة بشكل عام؛ لإزالة الشحوم والأكاسيد الموجودة على السطح [٣١].



شكل (١): رسم تخطيطي لخلية طلاء كهربائي مع حمام طلاء كبريتات النحاس [٣٩]

ومن ثَم تتضمن المعالجة السابقة لطلاء الميدالية إزالة الشحوم، تليها خطوة تنظيف كهربية قلوية؛ لمزيد من تفتيت وإزالة الزيوت. ثم بعد ذلك إخضاع الميداليات لمنشط حمضي مصمم لتحييد أي قلوية متبقية، والتأكد من إزالة جميع الأكاسيد أو البقع من السطح [٤٢].

ب. تقنيات الطلاء الكهربائي للميدالية

تتفق الميدالية الصادرة عن دار السك مع العملة في الخامات والتقنيات, وتختلف عنها في كون الميدالية ليس لها قيمة اسمية كالعملات النقدية، وكونها يمكن أن تكون فنًّا تشكيليًّا خالصًا Fine Art.

وتشمل تقنيات الطلاء الكهربي للإنهاء والحماية المعدنية لكل من الميدالية والعملة الرسمية تقنيات الطبقة الأحادية mono-ply والثنائية bi-ply والطبقات المتعددة multi-ply technology.

فمثلًا تستخدم دار سك العملة الملكية لطلاء الميدالية والعملة طبقة واحدة من النيكل على الفولاذ - تصل إلى ٢٥ ميكرون، مقابل ٦ ميكرون في الطبقة النهائية لطلاء متعدد الطبقات بواسطة دار سك العملة الملكية الكندية [٣٣].

حيث يتم الطلاء بالكهرباء لكل من الميداليات والعملات المعدنية التي يكون معدن الأساس لها من الصلب الفولاذي بثلاث (٣) طبقات: طبقتان (٢) من النيكل بسمك ٤-٨ ميكرومتر تقريبًا، مفصولة بطبقة وسطى من النحاس بسمك ٧-١٠ ميكرومتر [١٣].

ومن ثم فإن تقنية الطبقات المتعددة multi-ply technology أو تكنولوجيا الطلاء متعدد الطبقات الحاصلة على براءة اختراع لدار سك العملة الملكية الكندية, هي عملية طلاء كهربائي تتم بترسيب طبقات رقيقة متناوبة من النيكل والنحاس فوق الصلب "الأقراص المعدة للسك " لإنتاج ميداليات وعملات معدنية تعتمد على النيكل والنحاس بأفضل جودة وأكثر اقتصادًا.

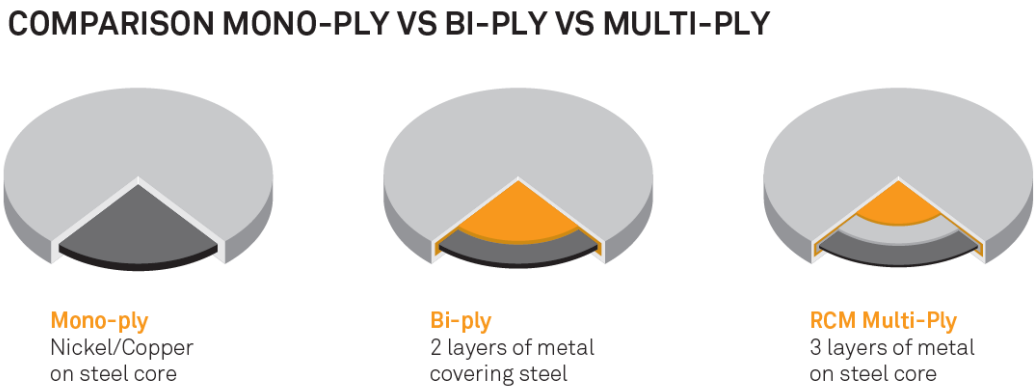
الميداليات والعملات المعدنية الحمراء Red medals تتم بطلاء مكون من طبقتين: الطبقة الأولى من النيكلnickel ، والثانية من النحاس الأحمر copper.

وكل من الميداليات والعملات المعدنية البيضاء والصفراء يتم طلاؤها بثلاث طبقات؛ كالتالي:

- الميدالية البيضاء تطلى بوضع طبقة نيكل nickel أولًا، تليها طبقة من النحاس الأحمر copper، ثم طبقة من النيكل مرة أخرى.
- الميداليات الصفراء تكون الطبقة النهائية إمَّا نحاسًا أصفر brass أو برونزًا bronze .

وتكون الميداليات والعملات ذات طبقات الطلاء المتعددة على الفولاذ أكثر متانةً ومقاومة من التقليدية السبائكية وأحادية الطبقة. يجوز أن يتم ترسيب الطبقة الخارجية من أي معدنٍ آخَرَ لإضفاء مظهر ذي قيمة مضافة [٣٥].

كما يتم عمل تغطية من البوليمر فوق الأقراص المعدنية المطلية بالمعادن للعملات والميداليات؛ وذلك لمقاومة التآكل، وزيادة العمر الافتراضي, وتتم التغطية فوق الطلاء المعدني باستخدام: البولي يوريثين، بولي رباعي فلورو إيثيلين، زجاج سائل والسيليكون [٢٠]، والشكل (٢) يوضح تقنيات طلاء الطبقة الواحدة والثنائية والطلاء متعدد الطبقات للميدالية.



شكل (٢): توضيحي لتقنيات طلاء الطبقة الواحدة والثنائية والطبقات المتعددة للميدالية والعملة [٥٤].

ج. عملية الطلاء الكهربي للميدالية

فيما يلي خطوات الطلاء الكهربي [٣٤]:

- التنظيف القلوي Alkalescence is cleaned

يتم وضع الميدالية أو العملة المعدنية في سائل تنظيف قلوي نظيف، في درجة حرارة ٦٠- ٦٥، يتم التنظيف لمدة من ٢٠ - ٣٠ دقيقة، يتم إجراء الشطف الأول باستخدام الماء منزوع الأيونات في درجة حرارة ٥٥- ٦٠ درجة مئوية.

- تنظيف الأنود Anode cleans

بعد وضع التنظيف القلوي المذكور أعلاه للميدالية أو العملة يتم التحليل الكهربي للأنود الذي يستغرق من ٥ - ١٠ دقائق للتنظيف، وينفذ الشطف مرة ثانية باستخدام الماء منزوع الأيونات في درجة ٥٥- ٦٠ درجة مئوية.

- تنظيف بحمض/ تخليل Pickling

بعد مرور الميداليات أو العملات بوضع تنظيف الأنود المذكور سابقًا يتم الوضع في محلول HCL بتركيز ٤٠٠ - ٥٠٠ مل / لتر، ودرجة الحرارة ٢٠ - ٢٥ °C، لمدة ٥- ٦ دقائق من التنشيط الحمضي، وينفذ الشطف للمرة الثالثة بالماء منزوع الأيونات بدرجة حرارة عادية.

- خطوة الطلاء الكهربائي Electro plating

أ) يتم تجهيز محلول يحتوي علي ملح مناسب من أملاح الفلز أو المعدن المطلوب ترسيبه على سطح الميدالية.

ب) غمر الميدالية المراد طلاؤها في المحلول الالكتروليتي، وتوصيلها بالكاثود (القطب السالب) لمنبع التيار الكهربي المستمر، مع اختيار كثافة تيار مناسبة، وكذلك جهد مناسب.

ج) القطب المتصل بالأنود (القطب الموجب) يصنع من المعدن نفْسِه المراد الطلاء به، حيث توجد أملاحه في المحلول الالكتروليتي. وقد يحدث تركيب أنود من معدن خامل غير قابل للذوبان [٤].

• الطلاء بالذهب

يتم ترسيب الذهب على معدن الأساس للميدالية (الفضة) من محلول إلكتروليت يحتوي على أيونات ذهب مذابة وموادَّ كيميائيَّةٍ أخرى؛ متمثلة في سيانيد الذهب البوتاسيوم، وفي وجود أملاح السيانيد، مثل سيانيد البوتاسيوم أوالصوديوم، مع معادن أخرى ثانوية، مثل: الحديد Fe والنحاس Cu والنيكل Ni والكوبالت Co والفضة Ag؛ لتكوين طبقات طلاء ذهب العيارات ذات الألوان المتنوعة: الأصفر، والأبيض الفاتح والوردي والأزرق, وبسمك محدد.

وتنقسم محاليل الذهب السيانيدية لثلاث مجموعات؛ هي: المحاليل القلوية، والمتعادلة، والحمضية .

و يتم إجراء تحكم بسيط لضبط اللون، بِناءً على نِسَب المعادن المختلِفة. تستخدم غالبية أحواض الطلاء بالذهب أملاح السيانيد.

ومحلول الطلاء بالذهب الأصفر بمركبات السيانيد يتكون من:

- سيانيد ذهب وبوتاسيوم ٦ جم / لتر
- سيانيد نيكل وبوتاسيوم ٩ جم / لتر
- سيانيد صوديوم أو بوتاسيوم ١٩ جم / لتر
- كثافة التيار ٢ أمبير / ديسمتر
- الحرارة ٧٠° م [٨]

والشكل رقْم (٣) يوضح إحدى الميداليات الأوليمبية من الفضة أثناء عملية الطلاء الكهربائي بالذهب, حيث تكون الميداليات الذهبية من الفضة بنسبة ٩٨,٨٪، مع طبقة رقيقة من طلاء الذهب بنسبة ١,٢٪. تفي الطبقة الرقيقة من الذهب بالحد الأدنى من المتطلبات التي حددتها اللجنة الأولمبية الدولية التي تنص على كَمية الذهب الموجودة فعليًّا في الميدالية الذهبية - ستة جرامات فقط [١٥], والشكل (٤) مجموعة ميداليات أوليمبية مطلية كهربائياً بالذهب.

شكل (٣): الميدالية الأوليمية (Tokyo 2020)أثناء عملية الطلاء الكهربائي بمعدن الذهب فوق معدن الفضة [٤١].

الشكل (٤) مجموعة من الميداليات الأوليمية المطلية كهربائيًّا بمعدن الذهب فوق معدن الفضة الاسترليني [٣٨].

• الطلاء بالنيكل

مع ارتفاع تكاليف المعادن تم إنتاج ميداليات وعملات من ركائز الصلب مطلية بالنيكل الذي يُعَدُّ من المعادن غير الثمينة, بَيْدَ أنه يُعتبر من أنبل المعادن، إلى جانب سطوعه النموذجي، ومقاومته الملحوظة للتآكل [٢٦].

يَخدم طلاء النيكل غرضًا مزدوجًا يتمثل في توفير لمسة نهائية مشرقة وجذابة، بالإضافة إلى تحسين مقاومة التآكل. ومن ثَم فغالبًا ما تكون الميداليات والعملات المعدنية "الفضية" اللامعة والمتينة عبارة عن فولاذ مطلي بالنيكل، حيث التكلفةُ المنخفضة والعمر الطويل للعملات والميداليات المعدنية المطلية, وعندما تصل إلى نهاية عمرها الافتراضي يعود النيكل مع الفولاذ لإعادة التدوير، ودورة جديدة من الاستخدام.

تحتوي المحاليل المستخدمة لطلاء العملات والميداليات بالنيكل فوق معدن الأساس (الفولاذ) على عوامل إضافة عضوية لأهداف جمالية، حيث تعمل على تعديل نمو رواسب النيكل لترسيب طبقات لامعة.

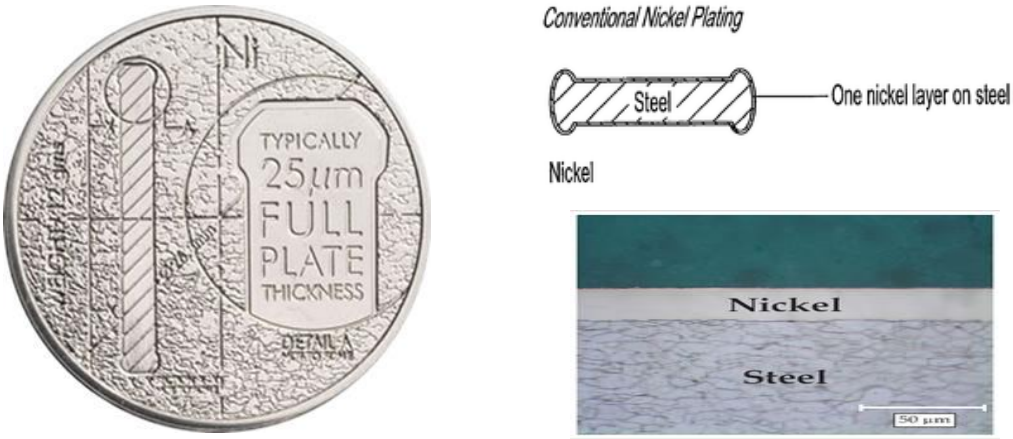
باستخدام مكونات أساسية؛ هي: كبريتات النيكل، وكلوريد النيكل، وحمض البوريك – حيث تكون كبريتات النيكل هي المصدرَ الرئيسَ لأيونات النيكل. يحسن كلوريد النيكل من ذوبان الأنود، ويزيد من توصيل المحلول؛ حامض البوريك يساعد

على إنتاج رواسب ناعمة ولدنة. كما يحتاج المحلول لعواملَ مضادَّةٍ للنقر أو للترطيب؛ للتخلص من فقاعات الهيدروجين التي تسبب الهشاشة لطبقة الطلاء [٨].

ومحلول كبريتات النيكل يتكون من :

كبريتات نيكل NiSO46H2O	
من ٢٢٠ الى ٣٠٠ جرام /اللتر	
كلوريد نيكل NiCl26H2O	من ٣٧ الى ٥٣ جرام /اللتر
حمض بوريك H3BO3	من ٣٠ الى ٤٥ جرام /اللتر
درجة الحرارة	من ٤٤ الى ٦٦ درجة مئوية.
كثافة التيار	من ٣ الى ١١ امبير /ديسيمتر المربع
التحريك والتنشيط	ميكانيكيا أو بالهواء
القطب الموجب(الأنود)	نيكل نقي
الحامضية	من ٣ الى ٤،٢

والشكل (٥) يوضح عملة مطلية بالنيكل بالطلاء الكهربائي مباشرة على الصلب بطبقة معدنية واحدة مما ينتج عنه رابطة قوية جدًّا بين المادة المطلية واللب الفولاذي.



شكل (٥): عملات معدنية أحادية الطبقة mono-ply plating process [٤٥]

د. العوامل التي تؤثر على مظهر الطلاء الكهربي

- شدة التيار المستخدم في عملية الطلاء.
- درجة تركيز المحلول.
- المواد الموجودة بالمحلول.
- الشق الحامضي أو القاعدي المستخدم في عملية الطلاء
- درجة الحرارة [4]

ومن ثم يعتمد لون الرواسب على تكوين حمام الطلاء وظروف الطلاء؛ وفيما يلي إثبات وجيز على أن التغيير في أي من العوامل السابقة يغير نتيجة الطلاء، وليكن درجة الحرارة.

➢ **مثال:** ترسيب فيلم البرونز يستخدم ١٥ جم بوتاسيوم سلفيد/ لتر ماء – ٢١ جم هيدروكسيد صوديوم/ لتر ماء

يَنتج: لون ذهبي عند درجة حرارة من ٦٠ إلي ٧٠ درجة مئوية.

لون أخضر مائل للاصفرار بين ٧٠ الي ٨٠ درجة مئوية.

أخضر زيتوني متداخل مع الأسود من ٨٠ الي ٩٠ درجة مئوية.

بينما لا يتفاعل المحلول على البارد.

تمت التجرِبة بتغيير عامل درجة الحرارة مع ثبات العوامل الأخرى (الزمن , التركيز, معدن الأساس) [٣].

ومن ثم يمكن الحصول من الترسيب الكهربي على باليتة ألوان كاملة بتغيير عامل درجة حرارة الطلاء الكهربي .

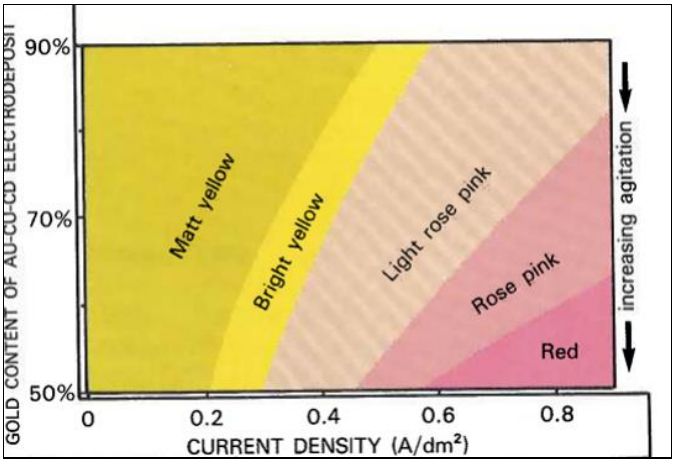
بينما يعتمد لون الترسبات الكهربية للسبيكة على تكوينها, ويعتمد التكوين على التفاعلات وكثافة التيار.

➢ **مثال:** المعادن الرئيسة المترسبة مع الذهب لإنتاج الذهب الملون هي: النحاس المحمر والبرتقالي والوردي.

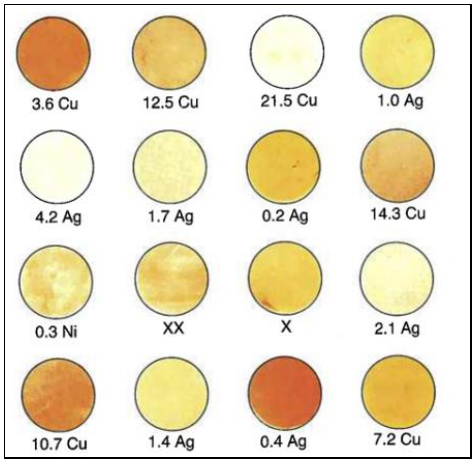
الفضة والكادميوم للذهب الأصفر المخضر. النيكل والكادميوم والبلاديوم للذهب الأبيض.

ويختلف هيكل السبائك بالترسيب الكهربي عن السبائك المعدة حراريًّا من التكوين نفْسِه [١٢].

والشكل (٦ أ) يبين اعتماد لون الترسبات الكهربية للسبيكة على تكوينها -يعتمد التكوين على التفاعلات وكثافة التيار-، بينما الشكل (٦ ب) مجموعة مختارة من سبائك الذهب المترسب كهربائيًّا لإظهار مجموعة من الألوان [١٢].



شكل (٦أ): لون الترسبات الكهربائية، يعتمد لون الترسبات الكهربية للسبيكة على تكوينها، ويعتمد التكوين على التفاعلات وكثافة التيار.



شكل (٦ ب): مجموعة مختارة من سبائك الذهب المترسب كهربائيًّا لإظهار مجموعة من الألوان.

هـ. الطلاء الانتقائي Selective electroplating

إن تقنية الطلاء الكهربي الانتقائي للميدالية تتم بطلاء أجزاء محددة من الميدالية، وعزل باقي الأجزاء وفقًا للتصميم.

والشكل رقْم (٧ أ) العملة الفضية "Robots Love" لعام ٢٠٢١ مع طلاء جزئي أو انتقائي من الذهب عيار ٢٤ قيراط، و(تشطيبات لامعة وغير لامعة على التصميم نفسه). والشكل (٧ ب) عملة ذهبية لعام ٢٠٢٣ مطلية انتقائيًّا بالذهب الوردي. الشكل (٧ ج) عملة فضية مطلية انتقائيًّا بالذهب.

شكل (٧ أ) العملة الفضية "Robots Love" لعام ٢٠٢١ مع طلاء جزئي أو انتقائي من الذهب عيار ٢٤ قيراط، و(تشطيبات لامعة وغير لامعة على نفس التصميم)[٤٣].

شكل (٧ ب) عملة ذهبية لعام ٢٠٢٣ مطلية انتقائيًا بالذهب الوردي[٤٤].

شكل (٧ ج): عملة فضية مطلية انتقائيًا بالذهب[٥١]

شكل (٧) مجموعة عملات تم طلاؤها انتقائيا أو جزئيا بمعدن الذهب الأصفر فوق معدن الفضة أو بالذهب الوردي فوق الذهب الأصفر

و. مميزات الطلاء الكهربي

١) حماية الميدالية والعملة من التآكل:

التآكل Corrosion: هو ظاهرة طبيعية تؤدي إلى تحويل المعدن النقي refined metal إلى شكل أكثر استقرارًا كيميائيًّا (أي هيدروكسيد أو أكسيد أو كبريتيد). تتسبب الظروف البيئية في أن تكون المادة عرضة للتآكل؛ لأسباب، منها: الغازات في صورة مذابة، وخاصة O_2 وCO_2، ودرجة الحموضة المتوسطة، ودرجة الحرارة وإجهاد الشد، وما إلى ذلك [٢٢].

المكونات الرئيسة لحدوث التآكل هي [٥٣]:

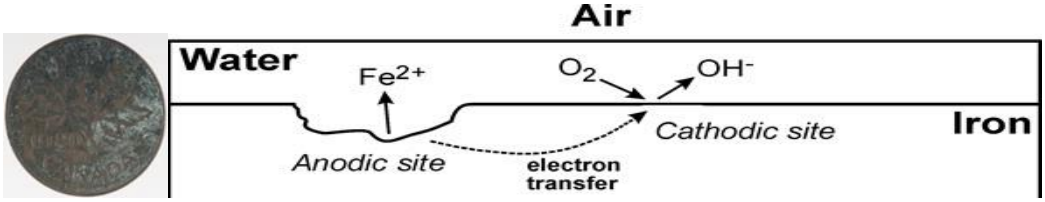
فلز metal + ماء water (an electrolyte) + أكسجين oxygen

عند جمع هذه المكونات معًا, ينتج عنها خلية كهروكيميائية electrochemical cell, تسمح بحرية الحركة لكل من الإلكترونات والأيونات, شكل (٨). على سبيل المثال، بالنسبة للحديد:

يكون التفاعل عند الأنود -Fe → Fe2++ 2e

ورد الفعل عند الكاثود ½ -O2 (gas) + H2O + 2e- → 2OH

في وجود الالكتروليت (عادةً الماء) تتدفق الإلكترونات داخل المعدن من المنطقة الأنودية إلي المنطقة الكاثودية. تظل أيونات المعادن, إما في محلول أو تتفاعل مع الأنواع المحيطة وترسب، وتشكل نواتج تآكل.



شكل (٨) رسم توضيحي لعملية التآكل على قطعة من الحديد مغطاة بطبقة رقيقة من الماء وعملة متآكلة [٥٣].

ومن ثم يتميز الطلاء الكهربائي بالحماية، كالتالي:

- يعزز الطلاء الذهبي من قدرة الميدالية على مقاومة التآكل، مما يَزيد من طول عمر الميدالية والعملة [٤٨].
- الطلاء الكهربائي بالنيكل للميدالية لمقاومة التآكل، حيث تخلق العملية بنية أقل مساميةً وتوفر حاجزًا قويًّا للمعادن الأساسية. يوفر طلاء نيكل الكبريتات مقاومة ممتازة للتآكل، ويمكن تقويتها بالحرارة وباستخدام مركبات الماس. يوفر الطلاء الكهربائي بالنيكل الممزوج بمعادنَ أخرى -مثل القصدير أو التنجستن- مقاومةً استثنائية للعناصر والصلابة والموصلية التي تناسب العديد من التطبيقات [٤٩].
- طلاء سبائك الزنك لمقاومة التآكل يكون عادةً أكثر فعالية من طلاء الزنك بمفرده. ربما تكون السبائك الأكثر استخدامًا في طلاء الزنك هي الكوبالت الزنك، والتي يمكن أن تزيد من مقاومة التآكل بمقدار خمسة أضعاف[٤٧].
- تضمن الفوائد الرئيسة للطلاء الكهربائي للنحاس حماية ممتازة من التآكل، وبناءً عالي السماكة. كما يستخدم النحاس أيضًا على نطاق واسع في الطلاء على البلاستيك والأسطح غير المعدنية الأخرى.

٢) تمثل عمليات طلاء الذهب "درعًا حراريًّا" يحمي الطبقة السفلية من التلف الناتج عن التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة. للزنك والنيكل قدرة على تحمل درجات حرارة عالية للغاية.

٣) يستخدم الطلاء الكهربائي لزيادة الصلابة Increases Hardness، ولجعل المواد الهشة أقوى وأكثر متانةً. تكون الأسطح المطلية أقل عرضة للتلف عند الاصطدام أو السقوط، مما قد يَزيد من عمرها الافتراضي.

٤) يعزز الالتصاق Promotes Adhesion: يعتبر طلاء النحاس حلًّا مثاليًا لتوفير طبقة تحتية تسهل الالتصاق بطبقات إضافية، ويوفر تشطيب سطح أملس وموحد.

٥) يزيد السماكة: أصبح طلاء البلاديوم خيارًا شائعًا بشكل متزايد في عمليات التصنيع التي تتطلب سمكًا شديدًا. يحسن الجودة الشاملة ويزيد من طول عمر الركيزة.

٦) تحمي بعض أنواع الطلاء الكهربائي من التلطيخ المبكر لأنواع معينة من المعادن، كما تقلل من احتمالية الخدش [٤٦].

٧) يمكن لطلاء النيكل بالكبريتات أداء مجموعة متنوعة من الوظائف المهمة. تتمثل إحدى الوظائف الشائعة في العمل كطبقة أساسية لتطبيقات الطلاء الثانوية التي تُستخدم عادةً عند طلاء المعادن الثمينة مثل الذهب والفضة [٤٩].

٨) هناك مزايا مهمة أخرى؛ مثل: التكلفة المنخفضة - التشطيب اللامع - تحسين مظهر السطح المعدني، ليكون أكثر جاذبية. يمكن أن يوفر طلاء الزنك مستوى من السطوع يعادل الكروم. يمكن استخدام طلاء الزنك في مجموعة واسعة من القوام والأنماط. يمكن أن يكون الزنك طبقة تحتية فعالة للغاية؛ نظرًا لخصائصه اللاصقة الممتازة. وبالطبع، سيعزز أيضًا مقاومة التآكل للأسطح المطلية.

٩) تكمن ميزة عملية الطلاء الكهربائي في بساطتها؛ حيث لا تحتاج سوى محلول إلكتروليت وقطبين كهربائيين. مكونات الخلية الإلكتروليتية هي: (١) الدائرة الخارجية بمصدر إمداد الطاقة ؛ (٢) قطبان كهربائيان، قطب كاثود (قطب كهربائي عامل) وأنود (قطب كهربائي مضاد) مغموران في المحلول ؛ (٣) محلول الطلاء بالكهرباء [١٩].

(٢) التشكيل بالترسيب الكهربي

أ. تعريف التشكيل بالترسيب الكهربي للميدالية: هو تحقيق ميدالية معدنية بواسطة الترسيب المعدني علي قالب نحتي (من خامة غير معدنية) تمت معالجته (بالمعدنة)، حيث يتم جعل السطح غير المعدني موصلًا كهربيًّا بالطرق الميكانيكية أو الحرارية قبل إجراء عملية الترسيب الكهربي للميدالية على القالب، وتكوين السمك المناسب لها، ثم يفصل القالب، كما أن المعدن المرسب في العادة يجب أن يكون ذا سمك كبير بما يضمن تماسكه على الهيئة أو الشكل المطلوب، حيث إن الجسم الأصلي أسفل الطبقة المرسَّبة (القالب) يُستخدم فقط كوسيط ودعامة لإتمام عملية التغطية، ويلزم عادة التخلص منه بعد ذلك أو فصله عن الطبقة التي عليه [٣].

ومن ثم فإن مشكلة التشكيل بالترسيب الكهربي على سطح قالب الميدالية غير الموصل كهربيًّا هي في الأساس مشكلة التصاق طبقة التغطية بسطح مادة الأساس (قالب الميدالية), وبمعنى آخر ترسيب طبقة موصلة على المواد العازلة. يتم التغلب علي ذلك بالمعدنه لسطح القالب لجعله موصلاً كهربياً.

تتم المعدنة باستخدام التقنيات التالية:

- المعالجة بالجرافيت
- المعالجة بالبرونز
- المعالجة بالدهانات الموصلة [٩].

ب. مقارنة بين التشكيل الكهربي والسباكة

للمقابلة بين التشكيل الكهربي والصب أو السبك -ولا سيما سباكة الرمل ومستنسخاتهما- ينبغي تعريف السباكة أولًا.

تعريف السباكة: يقصد بسباكة المعادن أنها طريقة من طرق تشكيل المعادن عن طريق صهر معدن أو سبيكة وصبها في تجويف القالب؛ ليتم تشكيل المصهور بشكل تجويف القالب، ثم يترك بمحتواه ليتجمد بالتبريد، ثم يخرج المصبوب (الميدالية) من القالب [٦].

والجدول رقْم (١) يوضح المقارنة بين تقنيات التشكيل الكهربي والسباكة

جدول (١): مقارنة بين التشكيل الكهربي والسباكة

التشكيل الكهربي	السباكة
يستخدم قالب (مادة غير موصلة غالبًا) تتم معدنته.	يستخدم قالب رمل
تتوافق وتتطابق نسخة الميدالية بدقة مع سطح القالب، حيث تحتفظ بالتفاصيل كافَّةً.	يحدث أثناء السبك بعض الفراغات والانبعاجات التي تتم بسبب الحرارة المرتفعة للمصهور المعدني، وكذلك الغازات التي قد تصل للسطح وتشوه منظره، مما يستلزم جهدًا كبيرًا وإضافيًّا لعمليات الإنهاء[٣].
التحكم في السمك بدقة .لا يزيد سمك الطلاء بالكهرباء عادة عن ٠,٠٠٢ بوصة (٠,٠٥ مم)[٤٠]. أما سمك نسخة التشكيل الكهربي فنزيد عن ذلك كما نريد.	السمك كبير مقارنة بالتشكيل الكهربي.

المحور الثاني: دور النانو تكنولوجي في الترسيب الكهربي:

اكتسبت المواد ذات البنية النانوية أهمية في السنوات الأخيرة بسبب خصائصها المحسنة بشكل كبير، وللكيمياء الكهربائية دور خاص في إنتاج مجموعة متنوعة من المواد ذات البنية النانوية، وتتفوق تقنيات الترسيب الكهروكيميائية في تخليق مختلِف المواد النانوية التي تظهر خصائص محسنة، مقابلة بالمواد التي تنتجها التقنيات التقليدية[١٧].

(١) ماهيَّة النانو تكنولوجي

أ. **التعريفات المرتبطة بالنَّانو تكنولوجي**

• تشير البادئة نانو "nano" إلى بادئة يونانية تعني قزمًا "dwarf" أو أي شيء صغير جدًّا، ويساوي ألف مليون من المتر ($١٠^{-٩}$ متر) [١٤].

ويجب أن نفرق بين علم النانو Nanoscience، وتكنولوجيا النانو Nanotechnology.

• علم النانو هو دراسة الهياكل والجزيئات على مقاييس نانومتر وتتراوح بين ١ و١٠٠ نانومتر [١٤].

والتكنولوجيا التي نستخدمها في التطبيقات العملية مثل الأجهزة وما إلى ذلك تشير إلى تقنية النانو.

• تقنية النانو: هي تصميم المواد والأجهزة والأنظمة وتوصيفها وإنتاجها وتطبيقها من خلال التحكم في شكل وحجم المقياس النانوي, الذي يغطي في الوقت الحالي النطاق من ١ إلى ١٠٠ نانومتر [٢٤].

كما تُعرَف تقنية النانو (من قبل المبادرة الوطنية في الولايات المتحدة) بأنها علم وَهندسة وتكنولوجيا يتم إجراؤها على المقياس النانوي (من ١ إلى ١٠٠ نانومتر), حيث تُتيح الظواهر الفريدة تطبيقات جديدة في مجموعة واسعة من المجالات: الكيمياء، والفيزياء، وعلم الأحياء... إلى الطب، والهندسة، والإلكترونيات.

ومن ثم يشير هذا التعريف إلى وجود شرطين لتقنية النانو:

الأول هو مسألة الحجم: تكنولوجيا النانو مَعنية باستخدام الهياكل من خلال التحكم في شكلها وحجمها على مقياس نانومتر.

المسألة الثانية تتعلق بالاستحداث والابتكار: يجب أن تتعامل تقنية النانو مع الأشياء الصغيرة بطريقة تستفيد من بعض الخصائص بسبب المقياس النانوي [١٤].

ومما تقدم يتضح الآتي: أن علم النانو هو نقطة التقاء مع علوم الفيزياء والمواد والأحياء، والذي يعمل على التلاعب بالمواد على المقاييس الذرية والجزيئية؛ بينما تقنية النانو هي القدرة على مراقبة قياس المادة ومعالجتها وتجميعها والتحكم فيها وتصنيعها بمقياس النانومتر.

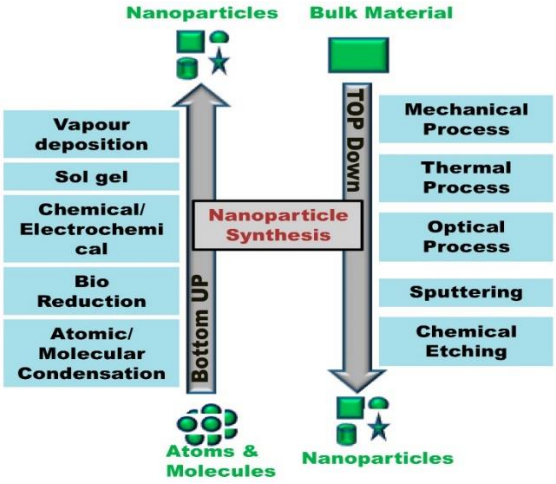
ب. طرق تصنيع الحجم النانوي من المادة:

تنقسم مناهج تصنيع الحجم النانوي من المادة إلى فئتين: من أعلى إلى أسفل, ومن أسفلَ إلى أعلى، والتي تختلف في درجات الجودة والسرعة والتكلفة، والجدول رقْم (٢) يوضح طرق التصنيع هذه في شكل مقابلة.

جدول (٢): مناهج تصنيع الحجم النَّانوي من المادة

نهج من أعلى إلى أسفل (top-down approach)	نهج من أسفل إلى أعلى (bottom- up approach)
تبدأ هذه الطريقة بحجم محسوس من المادة وتُصغّر وصولًا للمقياس النانوي[٥]. للحصول على جزيئات بحجم النانو يتم تكسير مواد كتلية bulk material [١٤].	تبدأ هذه الطريقة بجزيئات منفردة كأصغر وحدة وتجمع في تركيب أكبر[٥]. التجميع الذاتي هو نهج من أسفل إلى أعلى، حيث تنظم الذرات أو الجزيئات نفسها في بنى نانوية مرتبة عن طريق التفاعلات الكيميائية الفيزيائية فيما بينها[١٤].
التقنيات المستخدمة في التحضير مثل: الحفر الضوئي – الطحن الميكانيكي - القطع. الترسيب الكهربائي electrodeposition [٢٧].	تحضر بالطرق الكيميائية غالبًا[٥]. التخليق الكيميائي هو طريقة لإنتاج المواد الخام التي يمكن استخدامها: إما مباشرة في المنتج في شكلها غير المنتظم، أو باعتبارها اللبناتِ الأساسيةَ لموادَّ مرتبةٍ أكثرَ تقدمًا[١٤].
أصغر حجم تم الوصول اليه ١٠٠ نانومتر[٥].	تتميز بصغر حجم النواتج (نانومتر واحد) مع قلة هدر المادة الأصلية، والحصول على قوة ترابط بين الجسيمات الناتجة [٥].

الشكل (٨) رسم تخطيطي: يلخص المفهوم العام لطرق تصنيع الحجم النانوي من المادة من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى، والأساليب والتقنيات المختلِفة والمستخدمة في تصنيعها.



الشكل (٨): يلخص المفهوم العام للجزئيات النانوية المصنعة من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى، والأساليب والتقنيات المختلفة والمستخدمة لتصنيعها [١٤].

ج. **أشكال المواد النَّانويَّة:** يتناول البحث أشكال المواد النانوية بشكل مختصر من خلال الجدول التالي:

جدول (٣): أشكال المواد النانوية

النقاط الكمية dots Quantum	تركيب نانوي شبه موصل ثلاثي الأبعاد , أبعاده من ٢-١٠ نانومتر [٥].
الفولورين Fullerene	تركيب نانوي للكربون وهو جزيء مكون من ٦٠ ذرة كربون [٥].
الكرات النانوية Nanoballs	كرات كربون نانوية تنتمي للفولورينات, تركيبها يشبه البصل, يصل قطرها ٥٠٠ نانومتر وأكثر [٥].
الجسيمات النانوية Nanoparticles	تجمع ذري أو جزيئي ميكروسكوبي، يتراوح عددها من بضع ذرات إلى مليون ذرة، وتكون مرتبطة ببعضها بشكل شبه كروي بنصف قطر أقل من ١٠٠ نانومتر، عندما يصل حجم الجسيمات النانوية إلى مقياس النانو في بُعد واحد فإنها تسمَّى البئرَ الكمي (quantum well)، أما عندما يكون حجمها النانوي في بعدين فتُسمَّى السلكَ الكمي (quantum wire)، وعندما تكون هذه الجسيمات بحجم النانو في ثلاثة أبعاد فإنها تُعرف بالنقاط الكمية (quantum dots). ولا بد من الإشارة هنا إلى أن التغيير في الأبعاد النانوية في التركيبات الثلاثة السالفة الذكر سوف يؤثر على الخصائص الإلكترونية لها، مما يؤدي إلى حدوث تغيير كبير في الخصائص الضوئية للتركيبات النانوية [٣٢].
الأنابيب النانونية Nanotubes	تصنع الأنابيب النانوية من موادَّ غيرِ عضوية؛ مثل: أكاسيد الفلزات، نيتريد البورون والموليبدينوم، وهي شبيهة من ناحية تركيبها بأنابيب الكربون النانوية، ولكنها أثقل منها، وليست بنفس القوة مثل أنابيب الكربون، وتعد أنابيب الكربون النانوية أكثر أهميةً؛ نظرًا لتركيبها المتماثل، وخصائصها واستخداماتها الواسعة في التطبيقات الصناعية والعلمية [٣٠].
الألياف النانونية Nanofibres	من أشهر الألياف النانوية تلك المصنوعة من ذرات البوليمرات [٥].
الأسلاك النانونية Nanowires	هي أسلاك بقطر أقل من نانومتر واحد، ولها أطوال مختلفة، وتعتبر من المواد ذات البُعد الواحد، وهي أفضل من الأسلاك التقليدية ثلاثية الأبعاد؛ لأن الإلكترونات تكون محصورة كميًّا باتجاه واحد، مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة تختلف عن تلك المستويات العريضة الموجودة في المادة الحجمية [٣٠].

د. **خواص مواد النَّانو nanomaterial properties**:

تُظهر مواد النانو خصائصَ غالبًا ما تكون متفوقة وأحيانًا جديدة تمامًا، مقابلةً بخصائص المواد التقليدية ذات الحبيبات الخشنة[١٧]. فعلى الرغم من استخدام المواد التقليدية في تصنيع المواد النانوية, نجد أن مواد النانو تتميز بعدة خواصَّ فيزيائيةٍ وكيميائية وميكانيكية وبصرية ومغناطيسية فريدة عن المواد التقليدية, والسبب في ذلك يرجع إلى اتساع مساحة السطح الخارجي للمواد

النانوية, حيث توجد عَلاقة طردية بين تصغير الحجم وعدد الذرات على الأسطح الخارجية, وبسبب تكاثف الذرات على السطح تتضاعف شدة فاعليته ونشاطه, مما يؤدي إلى تغيير الخواص والصفات التقليدية لأي مادة عند وصولها إلى حجم النانومتر [١].

وفيما يلي نستعرض بعض خواص المواد النانويَّة:

- الخواص الميكانيكية: يؤدي تصغير حجم حبيبات المادة ووجود أعداد ضخمة من الذرات على سطحها الخارجي إلى ارتفاع صلادة المواد الفلزية وسبائكها، وزيادة مقاومتها للإجهادات والأحمال الواقعة عليها [٣٦].

ويمكننا ذلك من تحسين الخواص الميكانيكية لطبقة الطلاء الكهربي للميدالية والعملة، بحيث تزيد صلادتها ومقاومتها للتآكل والاحتكاك والثبات لفترات طويلة.

- الخواص الضوئية والبصرية: يتغير لون الذهب الطبيعي (الأصفر الذهبي) إلى لون شفاف عند تصغير حبيباته إلى أقلَّ من ٢٠ نانومتر, كما تتحول ألوانه من الأخضر إلى البرتقالي ثم الأحمر مع زيادة تصغير حبيباته [١].

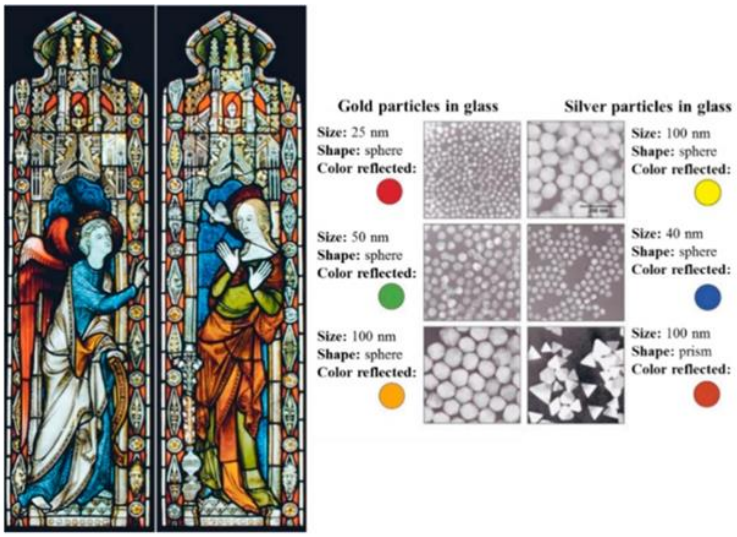
فباختلاف حجم الجزيئات يختلف اللون؛ فمثلًا حجم ٥ نانو يعطي لونًا أحمر، بينما ١٠ نانو يظهر لونًا أخضر... وهكذا [٥٠]، وقد وجد الباحث أنه قد أمكن الاستفادة من هذا في عمل طلاءات جذابة للميداليات والعملات التجريبية، حيث استُغلت الخصائص الضوئية للبني النانوية بصدور سلسلة عملات ضوئية. وفي الحقيقة قد ارتبط بهذا المجال مجموعة تقنيات منها ما يعتمد علي استخدام طلاءات أو أحبار بالمواد النانوية.

ومثال على الخصائص البصرية فقد أمكن استخدامُ الطلاء الكهربائي بالجسيمات النانوية الفضية التي تعطي وهي في حجم النانو لون وخصائص ومظهر الذهب، مما يُعَدُّ نهجًا جديدًا تمامًا لصناعة الطلاء الكهربائي، حيث يمكن استبدال طلاء الذهب التقليدي بنظام nano-silver الجديد [٢٥].

والشكل (٩) يظهر استخدام جزيئات وهياكل النانو من الذهب والفضة في الزجاج خلال القرن الرابع الميلادي، من قِبَل الرومان، حيث يمثل كأس Lycurgus مثالًا لتكنولوجيا النانو في العالم القديم. إنه أقدم مثال مشهور للزجاج ثنائي اللون. يظهر الزجاج باللون الأخضر في الضوء المباشر، والأرجواني الأحمر عندما يضيء الضوء من خلال الزجاج.

كمَا يُظهِر الشكل (١٠) مثالًا لتأثير الجسيمات النانوية ذات الأحجام المختلفة على النوافذ الزجاجية الملونة للكنائس في أواخر العصور الوسطى، حيث تلمع ألوانًا حمراء وصفراء مضيئة؛ بسبب اندماج الجسيمات النانوية Au وAg في الزجاج [١٤].

الشكل (٩): كأس Lycurgus مثال لتكنولوجيا النانو في العالم القديم من مجموعة المتحف البريطاني.



الشكل (١٠): النوافذ الزجاجية للكنائس والملونة بالجسيمات النانوية ذات الأحجام المختلفة، حيث يلمع ألوانًا حمراء وصفراء مضيئة بسبب اندماج الجسيمات النانوية لمعادن الذهب والفضة Au وAg في الزجاج [١٤].

- الخواص المغناطيسية: كلما صغرت حجم الحبيبات وتضاعف وجود الذرات علي الأسطح الخارجية للمواد؛ زادت قوة القدرة المغناطيسية [١]. وقد أمكن الأستفادة من ذلك في طلاء العملات المستخدمة في الآلات المعتمدة على الخواص المغناطيسية.

- الخواص الفيزيائية : تتأثر قِيَم انصهار المادة بتصغير أبعاد حبيباتها, فدرجة انصهار الذهب في حجمه الطبيعي تصل إلى ١٠٦٤ درجة مئوية، بينما تقل إلى ٥٠٠ درجة بعد تصغيير حجم حبيباته إلى ١,٣٥ نانومتر [١].

- الخواص الكهربية: نتيجة تصغير أحجام حبيبات المادة لأقلَّ من ١٠٠ نانومتر يؤدي ذلك إلى زيادة قدرتها على توصيل التيار الكهربي [٣٥]، وهذا يفيد ويسهل تقنيات الترسيب الكهربي لأسطح الميداليات والعملات.

- الخواص البيولوجية: حَظِيَتِ المواد النانوية القائمة على المعادن بالكثير من الاهتمام على مر السنين، وخاصة الفضة النانوية، التي يُعرف عنها أن لها [٢٢] نشاطًا ممتازًا مضادًّا للبكتيريا[١٨].

ولقد تمت دراسة سمية المواد النانوية القائمة على المعادن بشكل مكثف مع العديد من الدراسات التي خلصت إلى أن المواد النانوية الفضية والذهبية تحفز فقط الضوء الخفيف [٢١].

(٢) الترسيب الكهربي للأغشية ذات البنية النانوية

تُعتبَر تقنيةُ الترسيب الكهربي من أكثرِ الطرقِ شيوعًا للتحكم في الحجم والشكل والخصائص التركيبية للبنى النانوية المعدنية . يمكن تحقيق الهياكل النانوية من خلال التحكم في معاملات الترسيب الكهربائي, كما تُعتبر تقنيةً فعَّالةً من حيثُ التكلفةُ [٢٣].

تتكون الحبيبات النانوية في هذه الطريقة عن طريق التفاعل الكيميائي للمواد الداخلة مع مرور تيار كهربائي معين أثناء التفاعل [٧].

الشكل (١١) ميدالية من سبيكة خاصة استُخدم لتقوية طلائها الثمين حبيبات الماسات النانوية [٥٢].

الشكل (١١): ميدالية استُخدم لتقوية طلائها الثمين حبيبات الماسات النانوية [٥٢].

يُعَد الترسيب الكهربائي الأسلوب الأكثر ملاءمة للأغشية الرقيقة ذات البنية النانوية. يَعتمِد الترسيب الكهربائي للطبقات المعدنية من محلول مائي على تفريغ أيونات المعادن الموجودة في الإلكتروليت على سطح كاثودي (الركيزة أو الميدالية)، تقبل أيونات المعادن إلكترونًا من مادة موصلة كهربائيًّا في الإلكتروليت، ثم ترسّب على شكل ذرات معدنية على السطح. يتم توفير الإلكترونات اللازمة لحدوث ذلك: إما من مصدر، أو بواسطة عامل اختزال موجود في المحلول. ومن ثم تستمد أيونات المعادن نفسها: إما من الأملاح المعدنية المضافة إلى المحلول، أو عن طريق الانحلال الأنودي للأنودات المصنوعة من المعدن نفسه الذي سيتم ترسيبه في الكاثود [١٠].

استُخدم الطلاء الكهربائي على نطاق واسع في الترسيب الكهربائي للهياكل النانوية؛ بسبب درجة حرارة الترسيب المنخفضة نسبيًّا، والتكلفة المنخفضة، والتحكم في سُمك الطلاء. مع التقدم في الإلكترونيات والمعالجات الدقيقة، يمكن التحكم في كَمية وشكل تيار الترسيب الكهربائي المطبق. يتميز الترسيب الكهربائي المتردد بمزايا أكثرَ مقارنةً بكثافة التيار المباشر [١١].

المحور الثالث: النتائج والتوصيات

النتائج:

1- كشفت النتائج عن معدن الأساس للميداليات الرسمية والأولمبية، وأن تقنيات الترسيب الكهربي ذات أهمية لتكسية الميداليات والعملات ذات معدن أساس من الفولاذ لإعطاء القيمة والمظهر المتميز, كذلك بالنسبة لتكسية الميداليات الأوليمية بالطلاء الكهربائي بمعدن الذهب فوق معدن الفضة، وهو من الأهمية بمكان لتحقيق مظهر متميز للميدالية يليق بالأولمبياد التي تُمنح فيها.

2- تتسبب الظروف البيئية في أن يكون معدن الميدالية عرضة للتآكل Corrosion , ويُستخدم الطلاء الكهربائي كوسيلة للحماية بتحسين الخواص الميكانيكية والصلادة كطبقة عازلة ذات خصائص غير متوفرة في معدن الأساس لحماية أسطح الميدالية من التآكل.

3- الوقوف على مدى الاستفادة من تقنيات النانو تكنولوجي في الترسيب الكهربي، حيث يتم التحضير والترسيب لمواد النانو من خلال الترسيب الكهربي.

4- الطلاء بالمواد النانوية: يؤدي تصغير حجم حبيبات المادة ووجود أعداد ضخمة من الذرات على سطحها الخارجي إلى ارتفاع صلابة المواد الفلزية وسبائكها، ومن ثَم فإن الطلاء بهذه المواد النانوية يحسن أيضًا الخواص الميكانيكية لحماية سطح الميدالية.

5- كشفت النَّتائج عن نهج جديد لصناعة الطلاء الكهربائي بالفضة النانوية ويعطي مظهر وخصائص الذهب، وقد يكون حلًّا لاستبدال طلاء الذهب بالفضة النانوية، ويمكن أن يوفر ملايين الدولارات لهذه الصناعة؛ حيث تكون هذه العملية أقل تكلفة من عملية الطلاء الكهربائي بالذهب مع مظهر وأداء طلاء ذهبي.

٦- أظهرت الدراسة أن المواد النانوية تكتسب خصائص لم تكن موجودة في المواد التقليدية ، على سبيل المثال ، البوليمرات النانوية موصلة للكهرباء ، ويتم خلطها بجزيئات معدنية لاستخدامها في الطلاء الكهربائي لتحقيق خصائص بصرية وميكانيكية فريدة.

7- يوفر الطلاء الكهربي بالمعادن والسبائك والمواد النانوية مجموعة واسعة من الألوان والخواص، ويحقق قدرًا كبيرًا من المرونة لاختيار الإنهاء الأنسب للسطح.

التوصيات:

توصية بمبادرة «نانو» وطنية لدعم تقنيات النانو؛ لمواكبة المستجدات العالمية في العلوم والمجالات المتقدمة كافَّةً.

المراجع:

المراجع العربية

1. أحمد، رحاب فايز. "تكنولوجيا النانو في مجال المعلومات والاتصالات: الفرص والتحديات"، مجلة اعلم، ٢٠١٢؛ ١١, ٤٣-٩٠.

Ahmed,Rehab Fayz.” Tocnologya alnano fe magal almalomat wa aletisalat: alforus wa altahdyat”, megalet eelam,2012; 11,43-90.

2. الإسكندراني، محمد شريف. تكنولوجيا النانو "من أجْل غد أفضل". عالم المعرفة, القاهرة ٢٠١٠.

Al-Iskandarani, Mohammed Sharif. Tocnologya alnano "mn ajl ghd afdal". aalam almarfa, AlQahera,2010.

3. إسماعيل، منى فؤاد. "تقنيات الطلاء والتشكيل بالترسيب الكهربائي واستخدامه في فن النحت" رسالة ماجستير، كلية الفنون الجميلة – جامعة الإسكندرية, ٢٠٠٠.

Ismail, Mona Fouad. " teknyat altlaa wa ltshkeil beltarseib alkhraby wa estkdamh fe fn alnht" Resalet majesteer , Koliet alfnon algamela,gameit Alexanderia, 2000.

4. خيري، زاهر أمين. "تأثير المعالجات بالطلاء الكهربي جماليًّا علي عنصر الألومنيوم في العمل المعدني". المجلة المصرية للدراسات المتخصصة, ٢٠٠٧، ١(٤)، ٢٦٤-٢٥٩.

Khairy, Zaher Amin." Athar almoaalgat beltlaa alkhraby jmalyan ala onsur alaluminium fe alaml almadny". almegalet almsriah lldraasaat almutkhssah, 2007, 1(4), 259-264.

5. الصالحي، محمد بن صالح؛ الضويان، عبدالله بن صالح. "مقدمة في تقنية النانو", كلية العلوم, جامعة الملك سعود, ٢٠٠٧, ص ٢٥.

Al-Salhi, Mohammed bin Saleh; Al-Dawyan, Abdullah bin Saleh."Muqdma fe teknyat alnano", Koliet alolom,gameit almlek sououd, 2007, p. 25.

6. الصباغ, أحمد سالم. "أساسيات صب (سباكة) المعادن"، القاهرة، مكتبة دار المعرفة, ٢٠١٢.

Al-Sabbagh, Ahmed Salem."asasyaat sub (sbakeit) almaadin", AlQahera, mktbeit daar almarfa, 2012.

7. علي، بشرى المهدي. "تحضير وتشخيص حبيبات فيرايت الكوبلت النانوية المطعمة بالفضة باستخدام طريقة الصول - جل المساعدة بالسيتاب"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة سبها، ليبيا.

Ali, Bushra Al-Mahdi."thdeir wa tshkheis Hbibat ferayt alcobalt aalnanowia almutamah bealfdh bestkhdam Treqit alsul - jel almusedah bealsetab", wezarit altaleim alaaly wa albhth alelmy, gameit sbha, Libya.

8. محمد، محمد العوامي. "تطوير أنظمة الطلاء بالذهب والفضة للمنتجات المعدنية كبدائلَ صديقة للبيئة"، مجلة التصميم الدولية، ٢٠١٩.
Mohammed, Mohammd al-Awami. "ttweyr anzemat altelaa balzahb wa alfdh llmuntjat almadnih kbdail sdiqah llbea", megalet altsmeem aldwlya, 2019.
9. محمد، محمد محمود عبداللطيف. "تأثير استخدام بعض عمليات المعدنة للحصول على طلاءات على أسطح المواد غير الموصلة (الأخشاب)" مجلة دراسات تربوية واجتماعية، ٢٠٠٥، ١١(٢)، ٣٣١-٣٥٧.
Mohamed, Mohamed Mahmoud Abdel-Latif."tatheir estkhdam badh amlyat almadnah llhsul ala Tlaat ala asth almwad gheir almuuslah (alakhshab)" megalet drasaat trbwya wa ejtmeya, 2005, 11(2), 331-357.

English References:

10. Al-Bat'hi, S. A. "Electrodeposition of nanostructure materials". In Electroplating of Nanostructures. IntechOpen. 2015.
11. Aliofkhazraei, M. Electroplating of Nanostructures. IntechOpen. 2015.
12. Arrowsmith, D. J. "The colour of electroplated golds". Gold Bulletin, 1986; 19(4), 117-122.
13. Asimellis, G., Giannoudakos, A., & Kompitsas, M. "Rapid, automated measurement of layer thicknesses on steel coin blanks using laser-induced-breakdown spectroscopy depth profiling". Applied optics, 200; 46(6), 935-942.
14. Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. Molecules (Basel, Switzerland), 2019; 25(1), 112.
15. Desjardins, J. "Olympic gold medals have almost zero gold in them", Visual Capitalist, 2016.
16. Giurlani, W., Zangari, G., Gambinossi, F., Passaponti, M., Salvietti, E., Di Benedetto, F., ... & Innocenti, M. Electroplating for decorative applications: Recent trends in research and development. Coatings, 2019; 8(8), 260.
17. Gurrappa, I., & Binder, L. "Electrodeposition of nanostructured coatings and their characterization-A review". Science and technology of advanced materials, 2008; 9(4), 043001.
18. Haider, A., & Kang, I. K. (2015). Preparation of silver nanoparticles and their industrial and biomedical applications: a comprehensive review. Advances in materials science and engineering, 2015.
19. Hamdy, A.S., Rodriguez, R. "Bioinspired smart coatings and engineering materials for industrial and biomedical applications". In: Makhlouf ASH, Abu-Thabit NY (eds). Advances in Smart Coatings and Thin Films for Future Industrial and Biomedical Engineering Applications: Elsevier; 2020. 407-27.
20. Ibrahim, A. Development and Evaluation of Anti-Abrasion Polymer Coatings for Circulation Coins, Master thesis, Ottawa, Ontario, Carleton University, 2015.
21. Kaneda, K., Mitsudome, T., Mizugaki, T., & Jitsukawa, K. "Development of heterogeneous olympic medal metal nanoparticle catalysts for environmentally benign molecular transformations based on the surface properties of hydrotalcite". Molecules (Basel, Switzerland), 2010; 15(12), 8988–9007.

22. Keçili, R., Hussain, C.G, Hussain, C.M. Corrosion Applications of Nanomaterials (NMs). In: Verma, C., Hussain, C.M., Ebenso. E. (eds). Anticorrosive Nanomaterials: Future Perspectives. New York: Royal Society of Chemistry; 2022. 1-14.
23. Monaico, E., Monaico, E., Ursaki, V., & Tiginyanu, I. "Controlled Electroplating of Noble Metals on III-V Semiconductor Nanotemplates Fabricated by Anodic Etching of Bulk Substrates". Coatings, 2022; 12(10), 1-11.
24. Nasirpouri, F. Electrodeposition of nanostructured materials. Cham: Springer International Publishing, 2017.
25. Parker, M. "Nanotechnology: Method to enable electroplating of golden silver nanoparticles". New York, 2020.
26. Schweckandt, D. S., & del Carmen Aguirre, M. Electrodeposition of Ni-Co alloys. Determination of properties to be used as coins. Procedia Materials Science, 2015; 8, 91-100.
27. Wang, M. M., & Gu, X. W. (2021). From Nanocrystals to Nanocrystalline Metals. Chem, 7(2), 285-287.
28. Welgl, J.W. "Encyclopedia of Chemical Technology" , New York, 1975.
29. Garcia, B., Lamzoudi, A., Pillier, F., Le, H, N, T., Deslouis, C. ,(2002)"Oxide/polypyrrole composite films for corrosion protection of iron", Journal of the Electrochemical Society, vol.149, ,pp.B560-B566.

Web sites:
30. http://nano-products.blogspot.com/2009/10/blog-post_8.html
31. https://min.news/en/sport/6c0077b5276512978519dfb4654c23af.html
32. https://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-shapes-particles
33. https://nickelinstitute.org/media/2760/nickelmagdec_15_eng_fb.
34. https://patents.google.com/patent/CN102108533A/en
35. https://patents.google.com/patent/US20100119865A1/en
36. https://sites.google.com/site/nanoinourlive/home/khsays-almwad-ananwyte
37. https://www.academia.edu/40857625/%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%A7%D9%86%D9%88-%D8%AA%D9%83%D9%86%D9%88%D9%84%D9%88%D8%AC%D9%89
38. https://www.designboom.com/design/2010-vancouver-olympics-medals/
39. https://www.iqsdirectory.com/articles/plating.html
40. https://www.metallurgyfordummies.com/electroplating.html
41. https://www.nippon.com/en/news/fnn20190724001/behind-the-making-of-the-tokyo-2020-medals.html
42. https://www.pfonline.com/articles/precious-medals
43. https://www.powercoin.it/en/oceania-south-pacific/7645-robots-love-v1-the-next-evolution-3-oz-silver-coin-20-tokelau-2021.html
44. https://www.powercoin.it/en/royal-canadian-mint/7716-peace-dollar-1-oz-gold-coin-200-canada-2023.html
45. https://www.royalmint.com/corporate/circulating-coin/nickel-plated-steel/
46. https://www.sharrettsplating.com/blog/benefits-of-electroplating/
47. https://www.sharrettsplating.com/blog/corrosion-resistance-of-zinc-plating/
48. https://www.sharrettsplating.com/coatings/gold#methods

49. https://www.sharrettsplating.com/coatings/nickel
50. https://www.uobabylon.edu.iq/eprints/publication_4_27251_331.pdf
51. https://www.walmart.ca/en/ip/royal-canadian-mint-5-oz-pure-silver-reverse-gold-plating-coin-big-coin-series-1-cent-coin-2019/6000200305178
52. https://www.ettu.org/en/n/news/2019/may/medals-of-2nd-european-games-presented-in-mir/
53. https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/metal-objects.html
54. http://www.coinscan.com/technical/mintreports/MRC115003M_Brochure_Multiply_En_Clientplating.pd