



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة التصميم الميكانيكي

تأثير طرق التلبيس على خواص وجودة واقتصادية الانتاج للسطح المعدني (دراسة حالة خاصة)

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في الهندسة الصناعية

إعداد

المهندس سلمان حسن علي

المشرف العلمي

أ.م باسل صنوفة

أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

المشرف المشارك

د. وسيم ديب

مدرس في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

العام الدراسي: 2024-2025

التصريح

أصرح بأن هذ البحث الموصف برسالة الماجستير والتي تحمل العنوان:

تأثير طرق التلبيس على خواص وجودة واقتصادية الانتاج للسطح المعدني - (دراسة حالة خاصة)

لم يسبق أن قُدم للحصول على أية درجة جامعية أخرى وأن كافة الأعمال والنتائج المذكورة هي نتيجة جهودي الشخصية وبتوجيه من الأستاذ الدكتور المشرف على هذه الرسالة وأن المعلومات النظرية تم الإشارة إليها ونسبت صراحة إلى مصادرها ومؤلفيها.

الباحث المهندس سلمان علي

قرار لجنة الحكم

توقيعات لجنة المناقشة:

بناء على قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم / 3619 / المنعقد بتاريخ 25 / 8 / 2025 القاضي بتشكيل لجنة الحكم على رسالة الماجستير التي أعدها طالب الدراسات العليا سلمان علي بعنوان " تأثير طرق التلبيس على خواص وجودة واقتصادية الانتاج للسطح المعدني (دراسة حالة خاصة) " والمؤلفة من السادة الأساتذة:

الاسم	الصفة	التوقيع
أ.د محمد علي سلامة	عضواً	
أ.د محمد نادر زيدان	عضواً	
أ.م باسل صنوفة	عضواً و مشرفاً	

وقد أجريت جميع التعديلات اللازمة لهذه الرسالة وتعد هذه النسخة معتمدة كنسخة نهائية لرسالة الماجستير للمهندس سلمان علي.

الملخص

إن الإنتاج العسكري هو انتاج ذو متطلبات خاصة وهو انتاج تحت الطلب وبوجود تنافس كبير بين المصنعين والمنتجين لإنتاج منتجات موثوقة تعمل بظروف عمل قاسية وتحقق متطلبات عسكرية، تأتي أهمية الطلاء للمنتجات العسكرية بدرجة لا تقل أهمية عن أي جزء من أجزاء المنظومة مثل الإخفاء والتمويه والتجانس اللوني، إضافة لحماية السطح من التآكل وتخفيض تكاليف الجودة في المصنع المستهدف.

تضمنت الدراسة تعريف فكري وتطبيقي لمفهوم الجودة والموثوقية واختباراتها وذلك من خلال استخدام أربع طرائق من الطلاء وهي الطلاء بالكروم ومثيله بالنيكل وآخر بطريقة الـ PVD والطلاء بالسيركوت وذلك على منتجات خاصة، تم التوصل للطلاء الأفضل وفقاً للمواصفات الناظمة لذلك.

ومن خلال الاعتماد على المنهج التجريبي وآخر على دراسة العمليات ضمن المنشأة، تم جمع البيانات وتحليل النتائج العملية للوصول إلى أهداف البحث المرجوة وتحديد طريقة الطلاء المناسبة.

الكلمات المفتاحية: الطلاء، السيركوت، الجودة، الوثوقية، اختبار الرذاذ الملحي، الطلاء بالكروم، الطلاء بالنيكل.

الإهداء

إلى غاليتي التي طالما سهرت لتدعو لي بالتوفيق.

أمي

إلى قدوتي الذي مهد لي الطريق..

أبي

إلى رفيقة دربي وشريكة حياتي.. ومن قاسمتني جميع أيام حياتي

زوجتي الغالية

إلى من أعطوا للحياة حلاوتها.. إلى سندي منذ الصغر

إخوتي

إلى من تحلو الحياة برفقتهم..

أصدقائي الأعزاء

الشكر

الحمد لله الذي أكرمني ووفقني لإتمام هذا البحث.

أبدأ بجزيل الشكر للدكتور المهندس باسل صنوفة والدكتور وسيم ديب لتفضلهما بالإشراف على هذا البحث، ولما قدماه لي من نصح وإرشاد فقد كانا خير عونٍ لي في كل خطوة، ولم يبخلا عليّ بوقتٍ أو جهد، فلكما مني فائق الاحترام والتقدير.

مع خالص الشكر والتقدير لأعضاء الهيئة التدريسية في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية لما قدموه من توجيه ونصح خلال سنوات الدراسة و أخص بالذكر السادة أعضاء لجنة الحكم ممثلة بـ:

أ.د محمد علي سلامة

أ.د محمد نادر زيدان

مع خالص المودة والاحترام للسيد الأستاذ الدكتور محمد سمير البرزاوي رئيس قسم هندسة التصميم الميكانيكي والسيد الأستاذ الدكتور عميد كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية مهلب الداوود

فهرس المحتويات

II.....	التصريح
III.....	قرار لجنة الحكم
IV.....	الملخص
IV.....	الإهداء
V	الشكر
XI.....	قائمة الجداول
XII.....	قائمة الأشكال
0	الفصل الأول: الإطار العام للبحث
1-1	1-1 مدخل الدراسة
1-1	2-1 المشكلة العلمية ومسوغات البحث
2-1	3-1 فرضيات البحث
2-1	4-1 أهمية البحث
2-1	5-1 أهداف البحث
2-1	6-1 مبررات البحث
2-1	7-1 تساؤلات البحث
3-1	8-1 مسلمات البحث
3-1	9-1 مكان و إجراء البحث وزمانه
4-1	10-1 المنهج المتبع في البحث
5-1	11-1 مصطلحات البحث:
5-1	12-1 الدراسات المرجعية
5-1	1-12-1 الدراسة الأولى
8-1	2-12-1 الدراسة الثانية
9-1	3-12-1 الدراسة الثالثة
10-1	4-12-1 الدراسة الرابعة
11-1	5-12-1 الدراسة الخامسة
11-1	6-12-1 الدراسة السادسة
12-1	7-12-1 الدراسة السابعة
13-1	8-12-1 الدراسة الثامنة
16	الفصل الثاني: الجودة والموثوقية والصلاحية واختباراتها
17	1-2 المقدمة:
17	2-2 الجودة:
19	3-2 مفاهيم الجودة:
19	1-3-2 ضمان الجودة:
19	2-3-2 مراقبة الجودة:
20	3-3-2 توكيد الجودة:
20	4-3-2 ضبط الجودة:
21	5-3-2 اختبارات الجودة للآلات:
22	6-3-2 اختبارات ضمان الجودة:

23	7-3-2 اختبارات تأكيد الجودة Quality Assurance
24	8-3-2 فحص الجودة ومراقبتها
25	4-2 الوثوقية
25	1-4-2 اختبار الموثوقية
25	2-4-2 الموثوقية في الوسائط المتعددة
26	3-4-2 تحسين الموثوقية في البحوث الوصفية
27	4-4-2 طرق تحسين الموثوقية في التجارب التجريبية
27	5-4-2 العوامل التي تؤثر في موثوقية الآلات والمعدات الصناعية
28	6-4-2 نظرية الموثوقية وكيفية تطبيقها في بيئة العمل
29	7-4-2 أهمية اختبارات الوثوقية
30	8-4-2 وثوقية النظم
37	9-4-2 الاختبارات الخاصة بالوثوقية
38	1-9-4-2 اختبار التحمل
38	2-9-4-2 اختبار الانحدار
38	3-9-4-2 اختبار الصدمة الحرارية
38	4-9-4-2 اختبار الضباب الملحي
39	10-4-2 أهم وسائل قياس الوثوقية مجموعة من الاختبارات المحيطية
42	الفصل الثالث: هندسة السطوح
43	1-3 مقدمة عن هندسة السطوح
44	2-3 مميزات هندسة السطوح
45	3-3 التطبيق العملي للطبقات السطحية
45	4-3 التآكل
47	1-4-3 التآكل الجوي
47	4-3-1-1 التآكل في الوسط الصناعي
48	4-3-2-1 التآكل في الوسط البحري
49	4-3-2-4 التآكل في المياه
49	4-3-3 التآكل في التربة
50	5-3 تحضير سطوح المعادن قبل طلائها
51	1-5-3 إزالة الشحوم
51	1-5-3-1 إزالة الشحوم بالمحاليل القلوية
52	1-5-3-2 إزالة الشحوم بالمذيبات
53	2-5-3 إزالة الصدأ (إزالة القشرة)
54	1-2-5-3 إزالة القشرة كيميائياً
54	2-2-5-3 إزالة القشرة ميكانيكياً
57	4-5-3 القذف بحبيبات من الرمل
57	5-5-3 الفراشي المعدنية
57	6-5-3 التنعيم
58	7-5-3 التلميع
59	الفصل الرابع: الطلاء
60	1-4 مقدمة

61	2-4 مواد الطلاء.....
62	3-4 خصائص الطلاء.....
62	1-3-4 مقاومة الماء.....
63	2-3-4 المقاومة الكيميائية.....
63	3-3-4 الالتصاق السليم.....
64	4-3-4 مقاومة التآكل.....
64	5-3-4 القدرة على التمدد والتقلص.....
64	6-3-4 مقاومة العوامل الجوية.....
65	7-3-4 سهولة التطبيق.....
65	8-3-4 مقاومة درجات الحرارة العالية.....
65	9-3-4 مقاومة الإشعاع.....
65	10-3-4 مقاومة الاحتكاك.....
65	4-4 اختبارات ASTM المستخدمة في طلاء الأسلحة.....
66	1-4-4 اختبار الرذاذ الملحي للصدأ : ASTM.....
67	2-4-4 قياس ثخانة الطلاء :.....
68	3-4-4 جهاز فحص سماكة الطلاء.....
69	5-4 بعض طرق طلاء المعادن.....
69	1-5-4 الطلاء الكهربائي Electroplating.....
70	2-5-4 الطلاء اللاكهربائي Electroless Plating :.....
70	3-5-4 الترسيب بالتبخير الكيميائي Chemical Vapor Deposition (CVD).....
71	4-5-4 الترسيب بالتبخير الفيزيائي Physical Vapor Deposition (PVD).....
71	5-5-4 الطلاء بالرش بالبلازما plasma spray coating :.....
73	6-5-4 رش المساحيق بالكهربائية الساكنة (الإلكتروستاتيك Electrostatic Spraying).....
74	7-5-4 الطلاء بالتحويل الكيميائي Conversion Coatings.....
74	1-7-5-4 الأنودة Anodization.....
75	2-7-5-4 الفسفتة Phosphating :.....
76	8-5-4 الطلاء بالكرومات Chromating :.....
76	9-5-4 الطلاء بالسيراميك في المحاليل المعلقة الغروية Sol-Gel.....
77	10-5-4 الطلاء بتقنية CERAKOTE.....
78	6-4 بعض تطبيقات الطلاء :.....
78	1-6-4 الطلاء لأغراض الوقاية :.....
79	2-6-4 الطلاء لأغراض الزينة :.....
79	3-6-4 طلاء أجهزة الهاتف :.....
80	4-6-4 طلاء الأجهزة المنزلية :.....
80	5-6-4 طلاء السيارات :.....
81	6-6-4 طلاء السطوح الساخنة :.....
82	7-4 الأمن والسلامة المهنية في عمليات الطلاء :.....
84	الفصل الخامس: القسم العملي.....
85	1-5 مقدمة :.....
85	2-5 تقنية MIM (METAL INJECTION MOLDING) :.....
85	1-2-5 تحضير المواد الأولية / feedstock.....
86	2-2-5 الحقن / injection.....
86	3-2-5 إزالة الروابط البوليميرية / Debinding.....

86	 4-2-5 التلييد / Sintering
86	 3-5 عمليات تحضير العينات قبل الطلاء:
86	 1-3-5 بالنسبة للأسطح الناعمة (مخلخة):
88	 2-3-5 بالنسبة للأسطح الغير ناعمة (غير مخلخة):
89	 3-3-5 مرحلة التجفيف بعد الطلاء:
90	 4-5 الاجهزة المستخدمة في البحث:
90	 1-4-5 جهاز فحص سماكة الطلاء:
90	 2-4-5 حوض الرذاذ الملحي:
91	 5-5 مقارنة تقنيات الطلاء الأربعة المستخدمة في البحث:
92	 6-5 نتائج عينات الاختبار:
92	 1-6-5 قياس سماكة العينات بطرق الطلاء الأربعة
92	 1-1-6-5 نتائج قياس سماكة طبقة الطلاء بتقنية hard chrome coating :
92	 2-1-6-5 نتائج قياس سماكة طبقة الطلاء بتقنية nickel coating :
93	 3-1-6-5 نتائج قياس سماكة طبقة الطلاء بتقنية cerakote coating :
93	 4-1-6-5 نتائج قياس سماكة طبقة الطلاء بتقنية PVD coating :
94	 2-6-5 نتائج اختبار الرذاذ الملحي
95	 7-5 المعايير والمواصفات (الاتجاهات) المؤثرة في الجودة والموثوقية والاقتصادية وتحديد الطريقة الرياضية الأنسب لمعالجة البيانات المتوفرة احصائياً واختبارياً
95	 1-7-5 المفاهيم الأساسية المستخدمة في تحديد المعايير والمواصفات المؤثرة:
97	 2-7-5 نتائج قوائم الفحص وتحليلاتها
97	 1-2-7-5 الزمن
98	 2-2-7-5 طيف الالوان
99	 3-2-7-5 العمالة والسلامة المهنية
100	 4-2-7-5 التأثيرات البيئية والصحية
101	 5-2-7-5 الكلفة الاقتصادية التشغيلية للعملية
102	 6-2-7-5 العمليات التمهيدية والنهائية قبل وبعد الطلاء:
104	 7-2-7-5 تعدد انواع السطوح الممكن طلاؤها
105	 8-2-7-5 تعقيدات الاشكال وقابلية الطلاء للأشكال ذات التجاويف الدقيقة والابعاد الناتجة
106	 9-2-7-5 مقاومة العوامل الكيميائية والجوية:
107	 10-2-7-5 الخصائص الميكانيكية بعد الطلاء و السماكات الممكنة
109	 8-5 مناقشة النتائج والتوصيات
112	 9-5 المقترحات والتوصيات:
114	 المراجع العربية
115	 المراجع الاجنبية
118	 ABSTRACT

قائمة الجداول

الجدول (1-2) مقارنة بين الجودة والوثوقية.....	39
الجدول (5-1) التركيب الكيميائي لمعدن الفولاذ AISI 4340.....	85
الجدول (5-2) درجة حرارة التجفيف حسب نوع الطلاء.....	90
الجدول (5-3) يبين مقارنة بين تقنيات الطلاء المستخدمة في البحث.....	91
الجدول (5-4) نتائج قياس سماكة طبقات الطلاء بتقنيات الطلاء الأربعة.....	94
الجدول (5-5) نتائج اختبار الرذاذ الملحي على أربع عينات مطلية بأربع طرق مختلفة.....	94
الجدول (5-6) التقنيات المدروسة والأماكن المناسبة للتطبيق.....	112

قائمة الأشكال

- الشكل (1-1) مقارنة أداء التآكل بين عينات من سبائك التيتانيوم TC4 بسطح ملمع غير مطلي وسبائك تيتانيوم مطلية بطبقات TiN/Ti على التناوب بطريقة الترسيب الفيزيائي PVD 6
- الشكل (2-1) منحنى الاستقطاب ونوعية التآكل ومخطط توضيحي لعملية التآكل 7
- الشكل (3-1) البنية المجهرية والخواص الميكانيكية للمواد المعالجة بتقنية CS 9
- الشكل (4-1) طلاء الحاجز الحراري الخزفي YSZ-AL2O3 13
- الشكل (5-1) العلاقة بين الزمن ودرجة الحرارة لعدة طبقات من الطلاء على ركيزة من الفولاذ الحائزة حرارياً المستخدمة في سبطانات البنادق 14
- الشكل (1-2) علاقة معدل الأعطال مع الزمن 32
- الشكل (2-2) المخطط الصندوقي للربط التسلسلي 33
- الشكل (3-2): المخطط الصندوقي للربط التفرعي 34
- الشكل (4) المخطط الصندوقي للنظام ومكوناته هرمياً 35
- الشكل (1-3) رسم تخطيطي لمجال نشاط هندسة السطوح (عزيمة، خليل 2012) 44
- الشكل (1-3) : منحنيات تآكل أنواع مختلفة من الفولاذ الكربوني في جو صناعي. (عزيمة، خليل 2008) 48
- الشكل (2-3) : معدل تآكل الفولاذ الكربوني عند أعماق مختلفة من سطح البحر (عزيمة، خليل 2008). 49
- الشكل (3-3) وحدة إزالة شحوم بالبخر والأمواج فوق الصوتية 53
- الشكل (4-3) محاليل الصقل الكهربائي (عزيمة، خليل 2012) 56
- الشكل (1-4): اختبار السلامة والأمان للأسلحة 66
- الشكل (2-4) عملية الطلاء الكهربائي 69
- الشكل (3-4) عملية الطلاء بدون الكهربائي 70
- الشكل (4-4) عملية الترسيب بالتبخير الكيميائي CVD 70
- الشكل (5-4) عملية الترسيب بالتبخير الفيزيائي PVD 71

- الشكل (4-6) عملية الرش بالبلازما..... 72.....
- الشكل (4-7) عملية الطلاء ببودرة البلاستيك..... 73.....
- الشكل (4-8) عملية الفسفتة..... 75.....
- الشكل (4-9) عملية الطلاء بالكرومات..... 76.....
- الشكل (4-10) خطوات عملية الطلاء بالسيراميك في المحاليل الغروية Sol-gel..... 77.....
- الشكل (4-11):الطلاء بتقنية CERAKOTE..... 78.....
- الشكل (4-12) طلاء الاجزاء المعدنية للوقاية من الصدأ..... 79.....
- الشكل (4-13) تزيين الأشكال بالطلاء..... 79.....
- الشكل (5-1): شكل المنتج المختبر (مغلق مسدس) 85.....
- الشكل (5-2): جهاز الالترسونيك..... 87.....
- الشكل (5-3): آلة السفع بالرمل..... 88
- الشكل (5-4): فرن لتجفيف المنتجات بعد الطلاء..... 89.....
- الشكل (5-5): جهاز قياس سماكة الطلاء..... 90.....
- الشكل (5-6): حوض الرذاذ الملحي..... 91.....
- الشكل (5-7): نتائج اختبار لسماكة للعينة المطلية بتقنية Hard chrome coating..... 92.....
- الشكل (5-8): نتائج اختبار لسماكة للعينة المطلية بتقنية Nickel coating..... 93.....
- الشكل (5-9): نتائج اختبار لسماكة للعينة المطلية بتقنية Cerakote coating..... 93.....
- الشكل (5-10): نتائج اختبار لسماكة للعينة المطلية بتقنية PVD coating..... 93.....

الفصل الأول: الإطار العام للبحث

1-1 مدخل الدراسة

تعد معالجة السطوح المعدنية بطرق التلبيس والطلاء لتحسين الخواص المقاومة للظروف الجوية والتآكل وكذلك إضفاء المظهر المطلوب من ناحية اللون حسب حاجة ورغبة المستثمر وخصائص التمويه والإخفاء ومنع الكشف الراداري ومنع البريق البصري للمنتجات الخاصة من أجل تحسين متطلبات العمل التكتيكي من أهم مراحل الإنتاج النهائي للمنتجات الخاصة العسكرية.

زاد في الآونة الأخيرة الترابط بين هندسة السطوح والاقتصادية للمنتجات حيث باتت التطبيقات المستخدمة لهذه الهندسة واسعة تبدأ بمعالجة وتحسين مواصفات السطوح للتآكل والديمومة والتزليق والتنظيف الذاتي (صمامات القلب) لتنتهي بتغشية الزجاج والعدسات وإعطاء مظاهر الرفاهية والثراء للسطوح حيث تشمل صناعات المعدات الطبية والفضاء والنفط والغاز والسيارات والصناعات الخاصة بالتطبيقات الحيوية (صمامات القلب) أما أهم الصناعات فهي الصناعات العسكرية.

وبتنوع الطرق الصناعية للطلاء واختلاف مراحل التحضير لسطح المنتج ومراحل كل طريقة وما تقدمه من مزايا في نواحي وقصور في نواحي أخرى من ناحية المعادن والمواد وكذلك السماكات التي تعطيها وكميات الطاقة اللازمة والوقت. وكذلك تطور التشريعات والقوانين بما يخص حماية البيئة لأن مخلفات بعضها يتمتع بالسمية والخطورة على الكائنات الحية.

باتت المصانع تبحث لاعتماد افضل طريقة توفر الوقت والجهد وتقلل التكاليف (الاقتصادية) وتحقق ميزة التصنيع الأخضر بتقليل التلوث وإمكانية إعادة الاستخدام على القطع المصانة وتحقيق الجودة المطلوبة حيث يعتبر ذلك حالة خاصة لكل مصنع تتحكم بها طريقة أنتاج السطوح (تفريز - خراطة - حقن معدني) وكذلك مدى التعقيد في سطوح القطع (ما تحويه من أخاديد وتجاويف) لأن عمليات الإنهاء والتنعيم للسطوح تزداد صعوبة وتكلفة بتعقيد أشكال القطع وكذلك مدى النمطية بالقطع المنتجة وعدم النمطية كل العوامل السابقة وغيرها من العوامل التي لم تذكر مجتمعة تشكل معطيات القرار لاختيار طريقة الطلاء والتلبيس الأنسب .

2-1 المشكلة العلمية ومسوغات البحث

تكمّن مشكلة البحث في معرفة وتحديد العوامل المؤثرة التي تؤدي إلى اختيار الطريقة المثلى لعملية التلبيس أو الطلاء للسطح المعدني الخاص بما يحقق المزايا المرغوبة وتحقيق الجودة الضرورية والموثوقية والاقتصادية في عملية الإنتاج لنمط محدد من القطع وانعكاس ذلك على قرار التصنيع وتخطيطه.

1-3 فرضيات البحث

هل يستطيع فريق التصنيع تحديد الطريقة الأنسب للطلاء والتخطيط لعملية الإنتاج بما يخدم التنافسية للمنتج ويحقق رضا العميل ويحافظ على رضا العمالة الداخلية وسلامتها ويحافظ على سلامة البيئة.

1-4 أهمية البحث

تكمّن أهمية البحث في حل مسألة اتخاذ القرار بطريقة الطلاء المثلى لدفعة منتجات بما يحقق مزايا الجودة والاقتصادية ومتطلبات العملاء.

1-5 أهداف البحث

- 1- تحديد العوامل المساهمة في تأثير طريقة التلبيس على جودة واقتصادية المنتج وبالتالي على تنافسيته.
- 2- جدولة هذه العوامل وتصنيفها وفرزها وتحضيرها للمعالجة.
- 3- معالجة هذه البيانات رياضياً بالاعتماد على طرق بحوث العمليات للمساهمة في اتخاذ القرار.
- 4- استخلاص النتائج.

1-6 مبررات البحث

من أهم دوافع إجراء هذا البحث هو وجود أكثر من طريقة لعملية الطلاء وبالتالي مساعدة الإدارة في اتخاذ القرار والقدرة على التخطيط المسبق للعملية الإنتاجية وحساب التكاليف للقطعة من المنتج وكميته والزمن اللازم للإنتاج وكذلك مدى الحاجة لتحقيق الجودة والاقتصادية في المنتجات العسكرية كونها منتجات تحت الطلب وبمواصفات عالية وامكانية تطوير عمليات اتخاذ القرار في المصانع باستخدام الطريقة الأنسب التي تقلل الوقت والهدر وتحقق المرونة والتكيف العالي بالإنتاج في حالة الضغط كظروف الحرب والأزمات.

1-7 تساؤلات البحث

- 1- تأثير شكل القطع وتعقيدها على جودة العملية و وثوقيتها وبالتالي المساهمة في اختيار الطريقة المثلى (أي وضع سلة من البراغي موحدة الطول والقياس (نمطية) مثلاً في فرن PVD هل يعطي نتائج- كسماكة طبقة الطلاء للسطح وتجانسها والزمن اللازم للعملية- متطابقة أو غير متطابقة مع نتائج وضع براغي ومسننات وأسطوانات مستوية وأسطوانات مختلفة القطر-منتجات غير نمطية -).
- 2- إمكانية الطريقة ومحدوديتها في التطبيق على نفس المنتج (شكلاً وحجماً) ولكن منتج بمواد مختلفة خلائط ألومنيوم - طريقة MIM أو قطعة فولاذ خراطة وتفريز وارتباطها بالجودة والاقتصادية.
- 3- مدى الاختلاف بسماعات التلبيس والجودة لكل طريقة (مقاومة حمام ملحي - مقاومة الخدش).
- 4- معدل الإنتاج الكمي (استطاعة الطريقة) وارتباطها بالزمن والجودة والاقتصادية.
- 5- قيمة تكاليف الجودة وعمليات الانهاء للسطح اثناء تحضير القطع قبل الطلاء.
- 6- تأثير الطريقة على السلامة المهنية للعمال وتأثيراتها البيئية.

1-8 مسلمات البحث

عمليات اتخاذ القرار بطرائق التصنيع يحكمها مدى التوافر والامكانيات المتاحة بالمصنع (تكنولوجيا تصنيعية- عمالة مدربة وماهرة-أدارة فعالة ذات رؤية مستقبلية طموحة لتحقيق أهداف المؤسسة) وكذلك التشريعات والقوانين المتعلقة بالسلامة المهنية والبيئية إضافة إلى الجودة والاقتصادية للمنتج التي تعطي المنتجات الميزة التنافسية ورضا العملاء وخاصة المنتجات العسكرية التي تخضع لقواعد تشغيل وقبول صارمة لإدخالها في الخدمة.

1-9 مكان و إجراء البحث وزمانه

تم تحديد الحدود المكانية لإجراء البحث في أحد المصانع الخاصة بوزارة الدفاع حيث تجرى كافة عمليات القياس والاختبار ضمن أقسام ومخبر المصنع الخاص بعلم المعادن وهندسة السطوح وبالتعاون مع إدارة المصنع والفنيين.

حيث يمكن لمخبر المصنع المساعدة بأجراء مايلي:

- 1- تحليل طيفي للمعادن.
- 2- اختبار نعومة السطوح قبل الطلاء.

3- اختبار الخدش ومقاومة الالتصاق للطلاء.

4- قياس سماكة طبقة الطلاء.

5- إجراء حمام ملحي للقطع.

6- اختبارات الجودة والوثوقية.

7- مقارنة بين النتائج لاختيار العملية الأكثر اقتصادية.

8- إمكانية الاستعانة بمخابر الجامعة أو مركز الاختبارات والأبحاث الصناعية لأجراء تجارب مقاومة الاحتكاك أو أي اختبارات أخرى

10-1 المنهج المتبع في البحث

هو المنهج العلمي المتبع في الأبحاث الهندسية المعتمد على الدراسة التجريبية وتحليل ومعالجة البيانات حاسوبياً. يعتمد البحث على إجراء النقاط التالية تباعاً:

1- دراسة نظرية في مجال هندسة السطوح الوقائية وكذلك العمليات والطرق الصناعية للتلبيس السطوح المعدنية للمنتجات.

2- إجراء دراسة مرجعية للأبحاث في هذا المجال.

3- تحضير عينات معدنية معقدة الشكل والسطح (العينة المدروسة تتألف من سطح مستو و مزودة بأخاديد وثقوب) لتحديد النمطية وعدم النمطية بالقطع وتكرار التجارب على نفس الشكل والحجم للعينات ولكن بمواد انتاج مختلفة (فولاذ نوعين - ألومنيوم -بولميرات) وطرق انتاج مختلفة (خرطة - تفريز -تجليخ- حقن MIM- حقن بولميرات) حسب إمكانية كل عملية لتنوع المواد.

4- قياس الزمن اللازم للتحضير للطلاء لكل نموذج والتكلفة التشغيلية ومدى الجودة للسطح وتسجيل البيانات ضمن جدول.

5- إجراء عملية الطلاء بالطرق الأربعة المتوافرة بالمصنع (سيركوت - تلبيس بالكروم - تلبيس بالنيكل - PVD) حسب إمكانية كل عملية وقياس الزمن اللازم للطلاء والتكلفة الاقتصادية وإدراج البيانات بجدول.

- 6- إجراء اختبارات مقاومة التآكل والخدش للعينات ومدى تجانس سماكة طبقة الطلاء وإدراج النتائج بجدول.
- 7- تجميع الجداول والبيانات وتحضيرها للمعالجة بأخذ العوامل التي تعطي تأثير مختلف وإهمال العوامل المتطابقة أو المتقاربة التأثير للعينات.
- 8- اختيار الطريقة الرياضية الأنسب لمعالجة هذه البيانات حاسوبياً للمساعدة في التحضير لاتخاذ القرار.
- 9- معالجة هذه البيانات للحصول على قيم واستخلاص نتائج وتوصيف سلوك هذه القيم للاحية تأثير طريقة الطلاء على اقتصاد الجودة.
- 10- مقارنة النتائج وتحليلها واختيار الجودة الاقتصادية للعملية الانتاجية.
- 11- تقييم ومناقشة هذه النتائج ومدى تطابقها مع الواقع الصناعي العملي بعيداً عن الفضاء التجريبي ومدى مساهمتها إلى جانب عوامل أخرى لدى الإدارة للتحضير لاتخاذ القرار المناسب.
- 12- إضافة بعض التوصيات والمقترحات.

11-1 مصطلحات البحث:

- 1- هندسة السطوح الوقائية.
- 2- طرائق التصنيع.
- 3- طرائق التلبيس والطلاء.
- 4- الجودة والوثوقية والاقتصادية.
- 5- الميزة التنافسية.
- 6- السلامة المهنية والبيئية.
- 7- رضا العملاء.

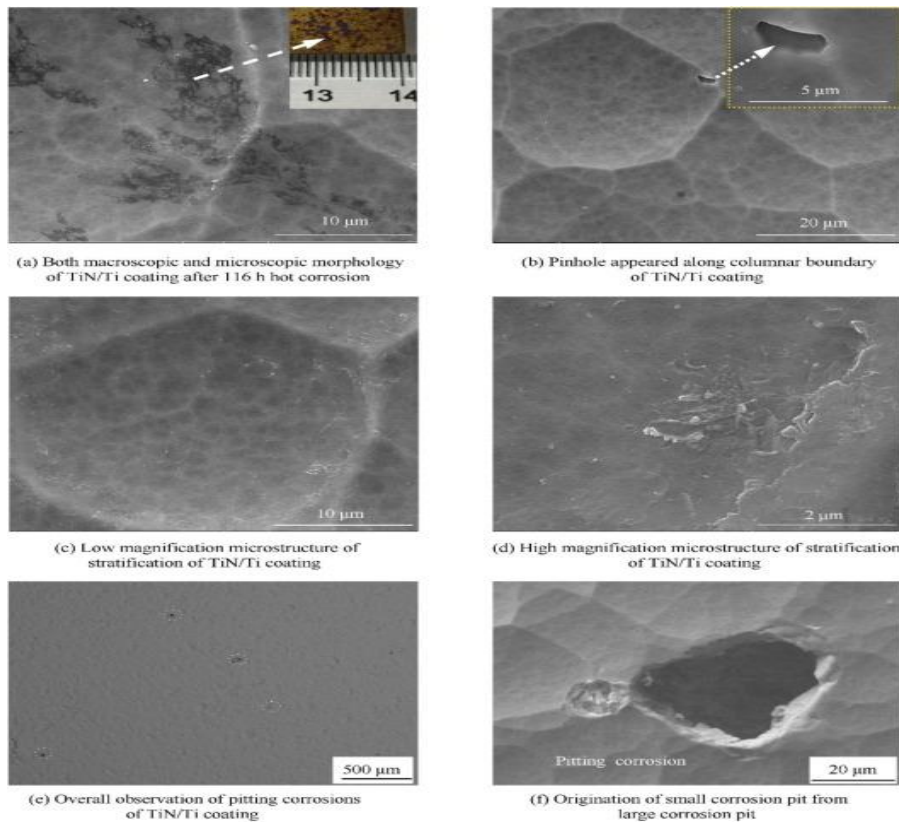
12-1 الدراسات المرجعية

1-12-1 الدراسة الأولى

قام الباحث Zhiping sun وزملاؤه عام 2020 بدراسة تهدف لتحديد ومقارنة أداء التآكل بين عينات من سبائك التيتانيوم TC4 بسطح ملمع غير مطلي وسبائك تيتانيوم مطلية بطبقات TiN/Ti على التناوب بطريقة الترسيب

الفيزيائي PVD لمعرفة الجودة من عملية الطلاء تم إجراء اختبار التآكل برذاذ الملح لمدة 960 ساعة واختبار التآكل الساخن لمدة 116 ساعة لمحاكاة بيئات العمل لضواغط الطائرات حيث أعطت النتائج نظرة لتطويع الطلاءات متعددة الوظائف لمحركات الطائرات.

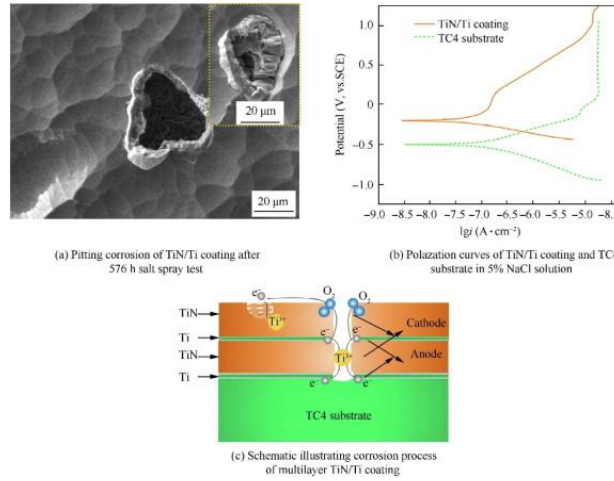
حيث تم تحضير عينات مسطحة تيتانيوم TC4 بطريقة القطع الميكانيكي التقليدي وأجراء التلميع والتنعيم اللازم للسطح بقياس $20 \times 10 \times 3 \text{ mm}$ أما عينات الطلاء بالـ PVD حضرت بشكل مسطح أيضاً بنفس الطريقة ولكن بقياس $50 \times 20 \times 4.5 \text{ mm}$



الشكل (1-1) مقارنة أداء التآكل بين عينات من سبائك التيتانيوم TC4 بسطح ملمع غير مطلي وسبائك

تيتانيوم مطلية بطبقات TiN/Ti على التناوب بطريقة الترسيب الفيزيائي PVD

المصدر (Zhiping sun, and others 2020)



الشكل (2-1) يبين منحنى الاستقطاب ونوعية التآكل ومخطط توضيحي لعملية التآكل
المصدر (Zhiping sun, and others 2020)

أستخدم أيونيد الكلوريد في الرذاذ الملحي وفق نسب وتركيز محدد وكذلك كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 حيث تمثل الشوائب الموجودة بوقود الطائرات تم ضبط درجة الحرارة الاختبار عند 35 درجة مئوية وذلك وفق للمواصفة GJB 150.11A-2009 , تم إجراء فحص العينات بواسطة مجهر الكتروني وحساب الطاقة للتفاعل الكهروكيميائي.

وكذلك إجراء تحديد الطور عن طريق حيود الأشعة السينية للسطح واستخدام برنامج الكتروني لرسم العلاقة بين القيم والنتائج الرقمية للدلالة على السلوك لعملية التآكل . وقد استخلص الباحث وزملاؤه النتائج التالية:

- 1- كان للضغط العالي تأثيرات ضئيلة على تغير طاقة التفاعل للأكسدة (طاقة جيبس).
- 2- في عملية تآكل الرذاذ الملحي أدى فرق جهد التآكل بين Ti و TiN إلى تعزيز تآكل التقر في الطلاء المتعدد كما عززت مناطق العيب ذات الحبيبات الكبيرة التآكل الجلفاني بسبب كل من الاختلاف التركيبي وفرق الاستقرار الكهروكيميائي.
- 3- زاد وقت التآكل الساخن من كمية وحجم التآكل حيث تبين استبدال الأوكسجين بالنيتروجين الموجود في النتريد وخاصة في المسامات المتشكلة حيث شكلت قنوات للانتشار السريع بين الطبقات.

4- عانت سبائك التيتانيوم TC4 عند درجات الحرارة المرتفعة من تآكل أكثر خطورة وسطح تآكل أكثر خشونة حدث بعض التآكل بسبب تكوين كلوريد قابل للذوبان وأنيون التيتانات وأنيون الألمنيوم.

1-12-2 الدراسة الثانية

قام الباحثان Sharun V Rajasekaran و زملاؤهم عام 2022 بمراجعة للأدبيات ولدراسات سابقة لأكثر طرائق الطلاء للسطوح المعدنية وتحديد الأفق المستقبلي لتطوير الطلاء والطرق الأكثر فعالية واقتصادية وصديقة للبيئة . حيث تعرض الباحثون على كلفة الاستبدال العالية والخسائر الاقتصادية لعمليات التآكل في محطات الطاقة والحاويات المعدنية للمواد السامة وشفرات التوربينات وكذلك العواقب الوخيمة للسلامة.

قسمت الدراسة فقدان التآكل إلى نوعين : خسارة مباشرة وخسارة غير مباشرة .في حالة الخسارة المباشرة ترتبط الخسارة باستبدال المكونات المتآكلة بينما في الخسارة غير المباشرة تعود الخسارة إلى إغلاق محطات الطاقة وفقدان المنتج في مصافي النفط والغاز وفقدان الكفاءة في الآلات والمعدات .استنادا إلى التقارير فإن تكلفة التآكل عالمياً في حدود 3-4% من الناتج القومي الإجمالي كما بعضها بين أن التآكل استنفذ 20% من الطاقة العالمية .

كما قام الباحث باستعراض طرق الطلاء المشهورة بشكل نقدي وتحليلي وهي (ترسيب البخار بنوعيه الكيميائي والفيزيائي -الجلفنة -الرش الحراري -الطلاء المعدني -تقنيات الانتشار -الطلاء البوليميري والزجاجي والحزم عالية الكثافة وغرس الأيونات. و نوهت الدراسة على النواحي البيئية والسمية للطرق على الكائنات لبعض أنواع الطرق وكذلك تم التطرق الى الأعمال التحضيرية للسطح مثل السفع بالرمل والتجهيز . وقد استخلص الباحث وزملاؤه النتائج التالية على شكل فرص وتحديات وأفاق مستقبلية لأنواع الطلاء حيث يمكن تلخيصها بمايلي:

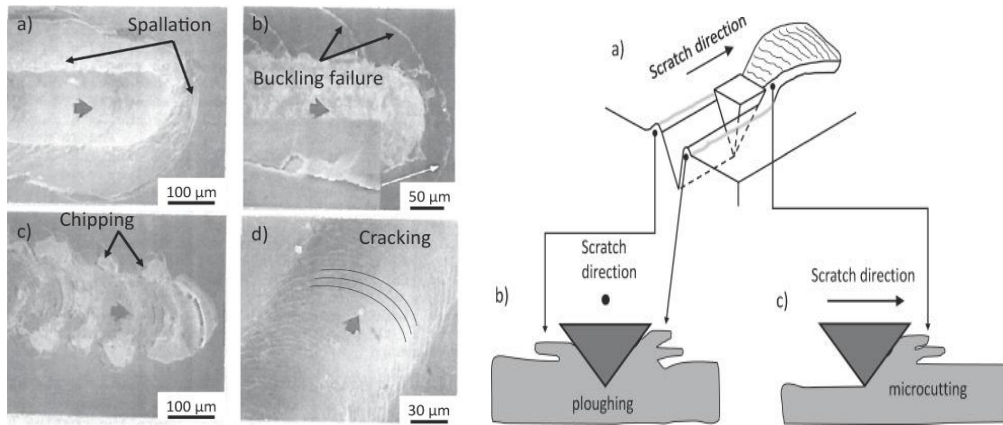
- إن استخدام الأكاسيد والكربيدات كماد طلاء يوفر تحسناً كبيراً في خواص السطح.
- تم مقارنة تقنيات الطلاء الجديدة مثل غرس الأيونات، والسبائك الميكانيكية، وتقنيات ترسيب البخار مع التقنيات الأخرى التي تتطلب استهلاكاً كبيراً للطاقة وتستغرق مدة أطول لمواد الطلاء.
- إن استخدام المصنوفة المعدنية ومركبات الأكسيد القائمة على النانو كماد طلاء على الترسيب الكهربائي هو تمهيد طريقة جديدة لتطوير طلاء مركب من المعدن على الفولاذ.

- تعتبر الطلاءات متعددة الطبقات والطلاءات المتدرجة وظيفياً أيضاً طرق واعدة لإبطال التأثيرات الناتجة عن المسامية على الطلاء وكذلك الاقتصادية بين دفع كلف على الطلاء مقارنة بخسارة الهياكل الضخمة والتوقعات اللازمة للصيانة. تعتبر طريقة الرش الحراري هي الطريقة الأكثر شيوعاً بين جميع الطرق الأخرى لتطبيقات محطات الطاقة ذات الهياكل الضخمة وغالباً ما يتم العثور عليها على أنها أسهل طريقة لإصلاح الطلاء أو استبداله.

1-12-3 الدراسة الثالثة

قام الباحثان Pedro Poza وزميله عام 2022 بدراسة مراجعة ومقارنة للدراسات السابقة للطلاءات التي يتم رشها على البارد وذلك من خلال البنية المجهرية والخواص الميكانيكية وسلوك التآكل.

الهدف كان مراجعة السمات الرئيسة للبنى المجهرية والخواص الميكانيكية للمواد المعالجة بتقنية CS مما يجعلها جذابة بشكل خاص لصيانة وإصلاح الهياكل المعدنية في القطاعات الصناعية مثل صناعة الطيران حتى انها تمكن من ترسيب المعادن على البوليميرات دون الإضرار بالركيزة اللينة . تم إجراء اختبارات السلوك الملحي واختبار الخدش حسب المعيار الأوروبي لاختبار قوة الالتصاق والتماسك حسب المعيار prEN 1071-3 والأضرار الناتجة على السبائك المستخدمة بمجال الطيران وقد استخلص الباحث وزملاؤه النتائج التالية:



الشكل (3-1) البنية المجهرية والخواص الميكانيكية للمواد المعالجة بتقنية CS

المصدر ((Pedro Poza, and others (2022))

1- تحتفظ المواد التي يتم رشها على البارد بهيكل مسحوق المواد الخام بدون أكسدة أو تفاعلات أخرى غير مرغوب بها وتنخفض المسامية بطبقات الطلاء مع زيادة سرعة الجسيمات أثناء الرش.

2- يمكن تحسين قوة الالتصاق عن طريق تحسين خشونة سطح الركيزة.

3- يمكن تقييم سلوك التآكل الملحي عن طريق اختبارات الخدش حيث وجد ترابط بين القيم للاختبارين وهو بحاجة تعمق بالدراسة.

4- يمكن أن يتسبب التآكل بسبب الرمل أو الجزيئات الصلبة إلى حدوث أضرار جسيمة للمكونات ومع ذلك تم الإبلاغ عدد محدود من الدراسات حول هذه الظاهرة في مواد الرش الباردة.

من خلال الدراسات السابقة لم تتطرق إلى بشكل عميق إلى مدى شكل المنتج وتعقيده على العملية الإنتاجية للطريقة كان التركيز على تطبيقات الاصلاح للهياكل الصناعية لبعض السبائك كمجال الطيران ومراحل الطاقة أو المستوعبات.

1-12-4 الدراسة الرابعة

قام الباحث panel Junyu Chen وزملاؤه في عام 2022 باستكشاف الارتباط بين الخصائص الميكانيكية وفشل سبطانة الرشاش نوع 30SiMn2MoVA أثناء إطلاق النار المستمر، فعند تجاوز درجة الحرارة 700 درجة مئوية عند 180 طلقة، تعرضت السبطانة إلى تلين شديد، وهذا بسبب إعادة تبلور الشبكة ونمو السمنتيت كشفت اختبارات الشد الميكانيكية عن حدوث تلين شديد في فولاذ الرشاش 30SiMn2MoVA عندما تتجاوز درجة الحرارة 600 درجة مئوية، حيث انخفضت قوة الخضوع بشكل كبير من 862 ميغا باسكال في درجة حرارة الغرفة إلى 114 ميغا باسكال عند 700 درجة مئوية. وتبين من خلال كشف البنية المجهرية باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ أن إعادة تبلور الشبكة المارتنسيكية ونمو السمنتيت أدى إلى تلين فولاذ سبطانة البندقية. وعلاوة على ذلك، تم إنشاء نماذج العناصر المحدودة باستخدام برنامج Abaqus لتطور درجة الحرارة والإجهاد للجدار الداخلي خلال 180 دورة. وهذا يوضح أن درجة الحرارة القصوى تزيد إلى 730-740 درجة مئوية وأن الإجهاد الكلي الأقصى يتجاوز 246 ميغا باسكال خلال 170-180 دورة، وهو أعلى بكثير من قوة الخضوع لفولاذ سبطانة البندقية

30. SiMn2MoVA لذلك اعتبر الباحث أن قوة فولاذ ماسورة البندقية عند 700 درجة مئوية يمكن اعتمادها كدالة رئيسية لتطوير سبطانة بندقية طويلة العمر لإطلاق النار المستمر.

1-12-5 الدراسة الخامسة

قام الباحث V V Deryushev وزملاؤه عام 2020 باستخدام الطريقة الأبسط والأكثر موثوقية لحماية الهياكل المعدنية من التآكل وهي الطلاءات التي تتمتع، بالمقارنة مع طرق الحماية الأخرى، بالعديد من المزايا (قابلية التصنيع، وقابلية الصيانة، والاقتصاد، والتوافق مع طرق الحماية الأخرى، وما إلى ذلك). حيث تم النظر في قضايا تحليل الجودة التجريبية للطلاءات المضادة للتآكل النموذجية المصممة لحماية الهياكل المعدنية والتي تعمل في ظل الظروف البيئية القاسية والعوامل الصناعية. وتم اقتراح استخدام مؤشرات مثل الالتصاق والسماكة ومقاومة الطقس كمؤشرات رئيسية لجودة الطلاء. كما تم في هذه الدراسة اقتراح طرق التحديد التجريبي لهذه المؤشرات على العينات المخبرية وبناء مؤشر متكامل لجودة الطلاءات المضادة للتآكل. في مثال الطلاءات النموذجية المختارة، تم تحليل الاعتماد التجريبي لمؤشرات الجودة الخاصة بها على درجة الحرارة، وعدد دورات "التسخين بالتجميد"، وحجم حمل الصدمة ودرجة ملوحة الماء. تم استخدام البيانات التي تم الحصول عليها لتحديد مقاومة الطلاءات للعوامل الجوية ومؤشر جودتها، والذي تم اقتراح استخدامه كمؤشر متكامل. يكمن جوهرها في افتراض أن هناك حدودًا تكون الزيادة في المؤشر بعدها عديمة الجدوى لكل مؤشر من مؤشرات الجودة، لأنها لا تؤدي إلى تحسين جودة الطلاء ويمكن أن تكون ضارة بسبب المؤشرات الأخرى غير المنضبطة.

1-12-6 الدراسة السادسة

قام الباحث Sandeep Bhoi وزملاؤه عام 2022 بإجراء تحليل تحليلي وتحليل العناصر المنتهية لمواد الطلاء المستخدمة بشكل شائع لتطبيقات الطحن الدقيق على ركيزة فولاذية عالية السرعة وتقييم تأثيرات المؤشرات المختلفة. تم اختيار أربع مواد طلاء مختلفة لتطبيقات الطحن الدقيق: نتريد التيتانيوم (TiN) والكربون الشبيه بالماس (DLC) ونتريد التيتانيوم والألمنيوم (AlTiN) ونتريد السيليكون التيتانيوم (TiSiN). حيث تم تطوير نموذج ثلاثي الأبعاد للعناصر المنتهية لتجميع الطلاء والركيزة في Abaqus لإيجاد الإجهاد الطبيعي عند تعرضه لحمل طبيعي قدره 4 نيوتن، يتم تطبيقه بمساعدة كرة صلبة. كان نصف قطر الكرة الصلبة 200 ميكرومتر. بالنسبة لجميع مواد

الطلاء، كان الطول 3 مم والعرض 1 مم والسمك 3 ميكرومتر. بالنسبة لركيزة الفولاذ عالية السرعة، كان الطول 3 مم والعرض 1 مم والسمك 50 ميكرومتر. على طول وعرض الطلاء والركيزة تم تقسيمهما إلى 26 جزءاً متساوياً. تم اعتبار سلوك التشوه لجميع مواد الطلاء خطياً-مرناً وتم وصف سلوك الركيزة على أنه مرن-بلاستيكي. كان أقصى إجهاد طبيعي تم تطويره في نموذج FEA 12109 ميجا باسكال. وكان التباين في نتيجة FEA من النتيجة التحليلية (أي 12435.97 ميجا باسكال هو 2.63%) وهو مقبول. هذا يؤكد أن نموذج FEA لتجميع الطلاء والركيزة مقبول. أظهرت النتائج أن طلاء $TiSiN$ يظهر أقل إجهاد مكافئ بلاستيكي في الركيزة، مما يخدم غرض حماية الركيزة من التشوه البلاستيكي وأن $TiSiN$ بسمك 3 ميكرون هو سمك الطلاء الأمثل لتطبيقات الطحن الدقيق. وكلما زاد معامل صلابة واجهة تجميع الطلاء والركيزة، كلما كان انفصال مادة الطلاء عن الركيزة أقل. كما أن عملية التقشر تعتمد على معامل يونغ وصلابة كل من مادة الطلاء والركيزة. على أساس الاختلاف في التشوه، أي التقشير، فإن طلاء $TiSiN$ أفضل من طلاء $AlTiN$ لأن التقشير في مجموعة الطلاء والركيزة مع طلاء $TiSiN$ أقل من طلاء $AlTiN$. يزداد تقشير مادة الطلاء من الركيزة مع زيادة سمك مادة الطلاء.

1-12-7 الدراسة السابعة

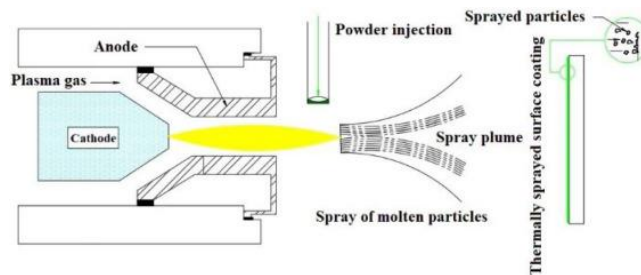
قام الباحث محمد العوامي محمد وياسر عيد محمد علي في عام 2020 بدراسة لتوجيه المصمم لاختيار الطريقة الملائمة لمعالجة وإنهاء سطح المنتج المعدني، حيث قام الباحثان بوضع منهجية علمية لاختيار أنسب المعالجات السطحية للمنتجات المعدنية من خلال إجراء دراسة تحليلية لأهم الطرق المستخدمة، ومعرفة أهم مميزاتها وعيوبها وتحديد كيفية اختيار المصمم للطريقة الملائمة لخامات المنتج ووظيفته. وذلك من خلال فرضية مفادها أن تحديد الطريقة الملائمة لإنهاء سطح المنتج يقلل الكثير من المشاكل التي يمكن أن يتعرض لها المنتج فيما بعد ويحقق قدر كبير من التوافقات الاستخدامية والتقنية والاقتصادية وذلك استناداً إلى المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم في هذا البحث استعراض أغلب طرق الطلاء المعروفة وتم تحديد العوامل المؤثرة في اختيار عملية وطبقة طلاء المنتجات واستعرضت مشاكل الحماية ومقاومة التآكل كما تم تحديد المعايير والاعتبارات الاقتصادية في اختيار الطلاء والسطح المراد طلاؤه وتم عمل مصفوفات ليتمكن المصمم من اختيار طريقة الطلاء المثلى وتم التوصل

للنتائج التالية :

1. هناك ثلاث عناصر رئيسية تساهم في حسن اختيار معالجة السطح ومن ثم طبقة الطلاء وهي الهدف من المعالجة، تصميم ومعدن المنتج، الاعتبارات البيئية المؤثرة.
2. تصنف معالجات وطلاء أسطح المنتجات المعدنية بعدة طرق معتمدة على عناصر محددة وهي (خامة طبقة الطلاء - التقنية المتبعة لتطبيق المعالجة - طبيعة سطح المنتج - نوع معدن المنتج).
3. إن تحديد مميزات وعيوب عمليات طلاء الأسطح المعدنية يساعد مهندسي التصميم على حسن ودقة اختيار المعالجة الملائمة للمنتج.
4. يتعرض سطح المنتج للعديد من المشاكل نتيجة الممارسة الخاطئة لاختيار معالجة السطح ومنها (مشاكل الحماية ومقاومة التآكل - مشاكل المظهر والخواص الجمالية - مشاكل الداء الوظيفي - المشاكل الاقتصادية) حيث أن الاختيار الملائم للمعالجة يقضي على المشاكل التي يتعرض لها المنتج.
5. المعايير التي يجب أن يأخذها المصمم بعين الاعتبار عند اختيار معالجة سطح المنتج هي المعايير والعوامل البيئية - المعايير والاعتبارات الاقتصادية - المعايير الخاصة بالمنتج.

8-12-1 الدراسة الثامنة

قام الباحث Mari Ramesh ورفاقه بدراسة البنية المجهرية وخواص طلاء الحاجز الحراري الخزفي YSZ-AL2O3 للتطبيقات العسكرية حيث ركزت الدراسة الحالية على التحقيق في زركونيا الطلاءات (YSZ) والألومينا (AL2O3) المستقر وظيفياً المترسبة على ركائز الفولاذ الحاجزة حرارياً المستخدمة في سبطانات البنادق من خلال عملية الرش للحصول على خواص الحجز الحراري للمنتجات العسكرية .



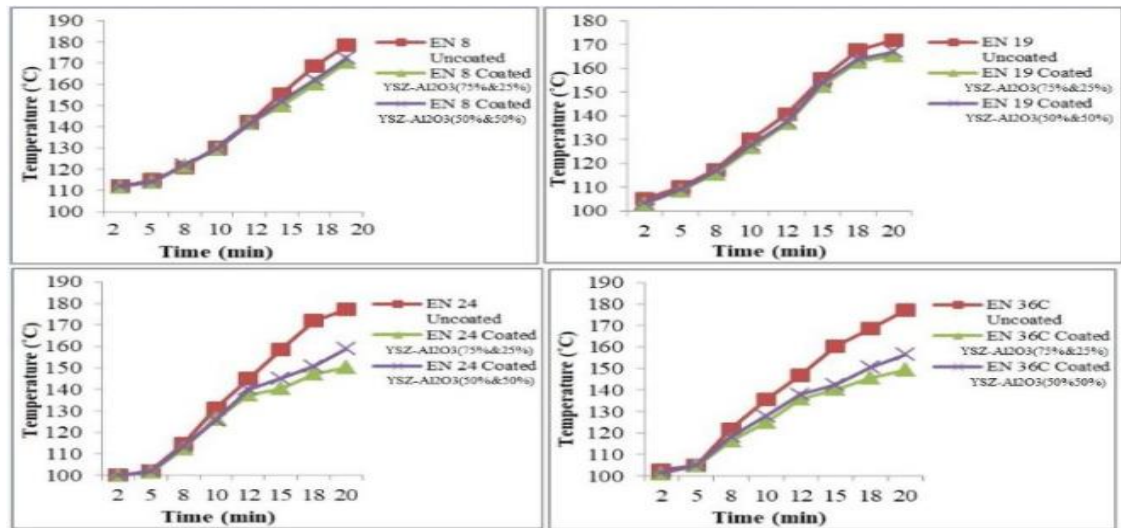
الشكل (4-1) طلاء الحاجز الحراري الخزفي YSZ-AL2O3

المصدر Pedro Poza وزميله عام 2022

حيث صنع طبقة رابطة وطبقة علوية وباستخدام نسبتي 50:50 75:25 من خلال عملية الغازات الخاملة 3-4 قدم مكعبة بالساعة .

تم إجراء فحص مجموعة من الاختبارات منها البصمة الحرارية وكذلك اختبار الخدش وحيود الأشعة السينية والفحص المجهرى وكذلك نعومة السطوح حيث أخذ ثلاث عينات أسطوانية 65mm وسماكة 5mm لأربعة أنواع من الفولاذ هي (EN8 EN19 EN24 EN36C).

تم إجراء تحليل طيفي للعينات وكذلك أجريت تجارب إطلاق حتى 180 درجة على دفعات وقياس درجات الحرارة.



الشكل (1-5) العلاقة بين الزمن ودرجة الحرارة لعدة طبقات من الطلاء على ركيزة من الفولاذ الحاجزة حرارياً المستخدمة في سبطانات البنادق

المصدر Pedro Poza وزميله عام 2022

وقد استخلص الباحث وزملاؤه النتائج التالية:

1- أظهرت النتائج أن العينات المطلية بنسبة 50:50 لفولاذ EN36C لديها خشونة سطح أعلى عند مقارنتها بجميع أنواع الفولاذ المطلية وغير المطلية.

2- أظهرت النتائج أن الفولاذ EN36C المطلية بـ (YSZ-AL2O3) بنسبة 75:25 وبتدفق غاز حامل 3 قدم مكعب في الساعة لديه أداء عزل حراري أفضل دون أي تشظ بصري، مقارنة بجميع أنواع الفولاذ الأخرى.

3- كشفت اختبارات التآكل والخدش أن الفولاذ EN36C المطلي ب(YSZ- Al_2O_3) بنسبة 75:25 يتمتع

بمقاومة أفضل للتآكل والخدش مقارنة بالمواد الأخرى.

ملاحظة: كانت الدراسة شاملة وواسعة لقياسها لعدد كبير من البارمترات وأخذ عينات مختلفة وكذلك أجراء عدد

كبير من الاختبارات واجراء اختبار ميداني لدرجات الحرارة للسبطنات بعد الرمي.

الفصل الثاني: الجودة والموثوقية والصلاحية واختباراتها

1-2 المقدمة:

تتميز الصناعات العسكرية باعتمادها على الوثوقية والجودة للمنتجات، حيث أنه في المعركة لا تقبل أي فشل للمنتج لأن ذلك يعني خسائر بالأرواح والعتاد فالسلاح هو منتج صناعي مجمع من أجزاء هندسية صناعية يجب أن تكون بدورها متوافرة وذات جودة (بوخلدة، باديس. (2016))، وقد أصبح الإنتاج العسكري جزءاً لا يتجزأ من اقتصاديات الدول وصار لزاماً على المصانع والشركات العاملة في هذا المجال السعي لتخفيض التكاليف وتحقيق التنافسية لمنتجاتها العسكري مع الحفاظ على الجودة العالية وتحقيق متطلبات العميل أو المستثمر، حيث يمكن القول أن أي منتج عسكري له منتج مضاد يحاول كشفه وتدميره وبالتالي يمكن اعتبار هذه العملية هي عملية تنافسية تجعل من ميزانيات الدول للمجال العسكري كبيرة جداً بهدف تحديث المنتجات العسكرية وتخفيض التكاليف. إن الاهتمام بالجودة والوثوقية وإجراء الاختبارات المناسبة يساهم في تحسين أداء المنتجات وزيادة ثقة المستهلكين بها، مما يعزز من قدرة الشركات على المنافسة (Arda, 2019) (Dubravka and others, 2015)، في الأسواق المحلية والعالمية حيث يشهد العالم اليوم اهتماماً بالغاً بالجودة والوثوقية، وبتوفير المستلزمات والمواصفات التي تجعل الجودة والوثوقية للمنتجات في أعلى مستوياتها، وأصبح مفهوم الجودة أحد الركائز الرئيسة لنجاح العمل في المنظمات الإنتاجية والخدمية، نتيجة حدة المنافسة وظهور المفاضلة بين المنتجات، والجودة بمعناها العام هي إنتاج المنظمة لسلعة أو تقديم خدمة بمتطلبات وخصائص تكون قادرة من خلالها على الوفاء بحاجات ورغبات زبائننا (Zikmund and al, 2010) وبالشكل الذي يتفق مع توقعاتهم وتحقيق الرضا لديهم.

2-2 الجودة:

تعرف المنظمة الدولية للتقييس (الايزو) الجودة على أنها تكامل الملامح والخصائص للمنتج أو الخدمة بصورة ما تمكنها من تلبية احتياجات ومتطلبات محددة.

تعرف الجمعية الأمريكية الجودة : بأنها الخصائص الكلية للسلعة أو الخدمة التي تعكس قدرتها على تلبية حاجات صريحة أو ضمنية. (بوخلدة، باديس. (2016)).

فالجودة هي نظام اداري يركز على مجموعة من القيم ويعتمد على توظيف البيانات والمعلومات الخاصة بالعاملين بقصد استثمار مؤهلاتهم وقدراتهم الفكرية على مختلف مستوياتهم التعليمية والتأهيلية بشكل ابداعي بهدف تحقيق التحسين المستمر للشركة (Crosby Philip B, 1979) (Draghici Mihai and al , 2010)، يمكن تحقيق الجودة في العمل من خلال اداء العمل بشكل صحيح من المرحلة الاولى وكذلك من خلال قياس تكلفة المنتجات المصابة بالعيوب لذلك لابد من تحفيز العمال للالتزام بشروط الجودة (Harvey L and al, 2010).

فالجودة في العمل تتجاوز في مفهومها المعنى التقليدي للجودة او الخدمة بحيث أصبحت تشمل جودة المؤسسة بهدف تحسين وتطوير العمليات والاداء وتخفيض التكاليف والتحكم بالزمن وخاصة بالمنتج العسكري كونه منتج تحت الطلب وتحقيق رغبات الزبائن ومتطلبات السوق أو المستثمر والعمل بروح الفريق وتعزيز وتقوية الانتماء وهذا كله يمكن تلخيصه بالمطابقة للمواصفات.

- متطلبات الجودة: هي المعايير المحددة التي يتم من خلالها التحقق من جودة المنتج وفيما إذا كان خاليا من العيوب او مخالفا للمواصفات.

- ادوات قياس الجودة (ادوات الضبط): هي - الرسومات البيانية - مخطط التقسيم الطبقي - مخطط هيكل السمكة - مخطط التحكم - مخطط باريتو - المخطط المبعثر - مخطط ورقة التعداد tally sheet.

- الضبط الشامل للجودة : تشمل جودة التصميم - جودة التوافق بين بين عمليات التصنيع والتصميم - جودة الأداء، حيث يتم قياس جودة المنتج من خلال مطابقة للمتطلبات من عدمها . هل حققت الجودة ولبت متطلبات الزبون.

- ابعاد ادارة الجودة الشاملة: ادارة الجودة الشاملة تتضمن الفحص والتفتيش وهي فصل المنتجات المعابة عن المنتجات المقبولة وثانياً ضبط الجودة وهي عملية تخطيط فحص المنتجات من بداية عملية التصنيع مما يساعد على كشف العيوب بشكل مبكر ومنع تكرارها، إن تحسين الجودة تعبر عن الجهود المشتركة التي يبذلها كافة افراد الشركة بهدف تحسين مستويات الاداء والعمليات الانتاجية كلها من خلال اتباع طرق تحد من الهدر والخسائر والمتغيرات التي لا تعمل على الوجه الأمثل خلال عملية التصنيع والتركيز

على زيادة قدرة الشركة على تلبية توقعات المستهلكين (فريد عبد الفتاح زين الدين , 1992) (مهدي صالح السامرائي، 2007).

ويعرف علوان 27 إدارة الجودة الشاملة بأنها " :مدخل فكري وثقافي لتأمين جودة الشركة في جميع مراحلها ابتداء بالمواصفات التي تقابل متطلبات المستهلك مرورا بالتصميم وعمليات الإنتاج معتمدا في ذلك على منهج تكامل الأنشطة ومشاركة الجميع في ذلك لكي يؤدي إلى التحسين والتطوير المستمر " (علوان، قاسم نايف ،2000). من معوقات تحقيق الجودة الشاملة التغيير الدائم في القيادات الادارية مما يؤدي الى تشويش وارباك الخطط الهادفة لتطبيق وتفعيل برامج الجودة بشكل مستمر وكذلك عدم قناعة الادارة العليا بالتدريب والتعلم المستمر . بعض الادارات ترى نفسها فوق التدريب وتعتبره موجهها للإدارات الأدنى.

2-3 مفاهيم الجودة:

2-3-1 ضمان الجودة:

تعددت تعريفات ضمان الجودة منها :عرفها دونا بيديان (هي عملية مستمرة لردم الفجوات بين ما تحقق في الواقع وبين ما كان مطلوب تحقيقه).

وعرفت الجمعية الأمريكية للجودة (ASQ) بأنها" عملية مستمرة لمراجعة الأداء وتقييمه واستخدام النتائج لتحديد مناطق الخلل ووضع الحلول المناسبة للتحسين والتطوير .

وعرفت كذلك بأنها التأكد من تطبيق الاليات والاجراءات في الوقت الصحيح والمناسب بهدف التحقق من بلوغ الجودة المستهدفة (Juran M, 1999) (Abdellali Bouzid , 2010)، حيث ان الاجراءات هي مجموعة من القواعد اللازمة لتنفيذ العمل أو هي مجموعة التعليمات المكتوبة التي تصف الخطوات المتفق عليها لإنجاز العمل المطلوب لفترة طويلة ظل ضمان جودة المنتج ي ستمد من اسم الحرفي، فهو من يقوم بالرقابة على جودة منتجات (الطائي رعد عبد الله وقداة عيسى , 2005).

2-3-2 مراقبة الجودة:

مجموعة من الأساليب والنشاطات المصممة لتحقيق متطلبات الجودة. أو هي مجموعة الأساليب والنشاطات التشغيلية التي تهدف لمراقبة الأداء والتخلص من أسباب الأداء غير المقنع في المراحل ذات العلاقة في دورة الجودة للحصول على نتائج اقتصادية فعالة.

هذه المرحلة أظهرت طرق مراقبة الجودة من خلال الطرق الإحصائية والمراقبة عن طريق العينة، فعوض مراقبة كل الكميات المنتجات أصبحت المراقبة تتم على عينة ممثلة لكل الإنتاج، ليتم اتخاذ قرار قبول أو رفض كل المنتج، بناءً على المراقبة التي تتم على العينة وكان هذا تطور كبير على خفض التكاليف. ومن بين إيجابيات هذه المرحلة أنها تعمل على إزالة الأسباب التي كانت من وراء عدم الرضى على أداء المنظمة، وإيجاد النظام الذي يمكن أن يحقق المواصفات المطلوبة للمنتج، وهذا ما تحققه التغذية العكسية التي تعمل على تحسين الجودة وتصحيح الوضع (شتيني عبد الرحيم وآخرون ، 2011) .

2-3-3 توكيد الجودة:

يشمل الرقابة على كل قسم من اقسام الشركة ووضع المعايير الواجب الالتزام بها وتحديد نقاط التحكم الحرجة ومسؤولية التطوير والبحث والتدريب.

نظرت هذه المرحلة إلى مفهوم الجودة بنظرة أوسع مركزة على المنع و الوقاية من خلال المراقبة الإحصائية، و مفاهيم أخرى جديدة من قبيل تكلفة الجودة، و الرقابة الكلية للجودة، و العيوب الصفرية، و لم تعد مسؤولية الجودة من مهام القسم الواحد المسؤول عن الجودة، ولكن المسؤولية أصبحت من مهام المنظمة ككل، فهي جزء لا يتجزأ من خطط المنظمة .وتصميم المنتج، وأصبح تتساق الجودة بين الأقسام الأدوات والوظائف المختلفة من أولويات المنظمة لتحقيقها (قويدر عياش، 2005).

2-3-4 ضبط الجودة:

هو التحقق من الوفاء بمتطلبات ادارة الجودة التي حددها مسؤولي الشركة وفق خطة خاصة بلا مشروع او المنتج وذلك للحصول على القبول النهائي للمنتج والتحقق من انها ملتزمة بالمعايير والمواصفات وان تكون على طول فترة المشروع، أدى عمل شيوارت وتلميذيه الفيزيائي دايمينج (W. Edward Deming) ، والمهندس جوزان (Joseph

(M. Juran) في نظام الجودة للشركة التي كانوا فيها إلى أن تطلب منها حكومة الولايات المتحدة المساعدة في ضبط الجودة في المعامل الحربية عندما اندلعت الحرب العالمية الثانية. في سعيهم لجعل الصناعة أكثر كفاءة، تركّز اهتمام هؤلاء الثلاثة على خط الانتاج، أي على العملية الإنتاجية نفسها بدل الاكتفاء بتفتيش المخرجات لكشف الوحدات غير المطابقة.

2-3-5 اختبارات الجودة للآلات:

تختلف اختبارات الجودة للآلات باختلاف نوع الآلة ومجال استخدامها. ومع ذلك، يمكن أن تشمل بعض المعايير العامة المستخدمة في اختبار الجودة للآلات البسيطة ما يلي:

- 1- اختبار الأداء: فحص قدرة الآلة على القيام بالمهام المطلوبة وتحديد مدى قوة الآلة ونقل الحركة وفعالية الحركة الكاملة للآلة. (في الأسلحة يمكن اختبار الحركة بواسطة أجهزة الضغط الهوائي أو الضغط المائي).
 - 2- اختبار الاستجابة: قياس تأخير الاستجابة ومعرفة مدى قدرة الآلة على متابعة الأوامر بطريقة سليمة.
 - 3- اختبار الثبات: اختبار مدى استقرار الآلة وقدرتها على الحفاظ على وضعها المستقر والواحدة خلال العمل.
 - 4- اختبار صلابة الجسم: تحديد مدى قوة الجهاز وصلابته لتحمل أو تحمل الحركة الشديدة.
 - 5- اختبار التحمل: عملية فحص الجهاز لتحديد ما إذا كانت الآلة تستطيع التحمل لبعض الظروف القاسية كالحرارة والضغط.
 - 6- اختبار المتانة: قدرة الآلة على مقاومة التآكل الناتج عن الاستخدام المتكرر وطول المدة.
- تتعرض وثوقية المنتج للانخفاض في أثناء مرحلة الإنتاج والتصنيع لعدة أسباب من العيوب أهمها جودة المواد الأولية وتباينها، التباين الناتج من عمليات التصنيع والتجميع. تهدف فعاليات الوثوقية والجودة quality في المصانع إلى المحافظة على وثوقية المنتج التي تم التوصل إليها في أثناء التصميم.
- من أهم فعاليات الوثوقية والجودة في المصنع على مستوى المواد الأولية والمواد المصنعة والتجميع هي الآتية:

- التفتيش inspection من خلال التفتيش عن المكونات المعيبة الأولية والإنتاجية.
- ضبط الوثوقية والجودة reliability/quality control من خلال ضبط العمليات الإنتاجية.
- اختبارات الغرلة screen test and burn-in وهي اختبارات محيطية للتخلص من الأعطال البسيطة في - المنتجات، وتسليم المنتج إلى الزبون بالوثوقية ومعدل الأعطال المطلوبة.
- اختبارات القبول acceptance tests وهي اختبارات الأداء والوثوقية لقبول الزبون المنتج المتفق عليه مسبقاً.

2-3-6 اختبارات ضمان الجودة:

يعتبر اختبار ضمان الجودة (Quality assurance QA) أمراً هاماً جداً لاكتشاف أي أخطاء وعيوب لمعالجتها قبل نشر أي نظام في السوق. فهي تتحقق من تلبية النظام المستهدف على أعلى معايير ضبط الجودة والأداء، يتم استخدام أنواع مختلفة من اختبارات ضمان الجودة (Quality assurance QA)، لذا سنتحدث عن أنواع مختلفة من الاختبارات الخاصة بضمان الجودة QA وفهم الأبعاد المختلفة لدورة حياة تطوير البرمجيات. ومن الاختبارات الرئيسية ضمان الجودة (QA Quality assurance) نذكر ما يلي:

- الاختبارات الوظيفية (Functional Testing)

تكمن أهمية الاختبارات الوظيفية (Functional Testing) لضمان تلبية الأنظمة المتطلبات والاحتياجات المخطط لها. فإن تقييمه يلزم للتأكد من أن الأنظمة تعمل كما هو متفق عليه ومخطط له دون اختلافات. يكتشف هذا الاختبار العيوب المحتملة لوظائف الأنظمة المستهدفة في وقت مبكر عن طريق إنشاء حالات للاختبارات (test cases) وتنفيذها بناء على المواصفات الوظيفية للنظام، مما يضمن أن الإصدار النهائي للنظام يلبي معايير الأداء المطلوبة.

- الاختبارات غير الوظيفية (Nonfunctional testing)

يتضمن الاختبارات غير الوظيفية (Nonfunctional testing) خصائص النظام المختلفة مثل اختبار قابلية النظام (usability testing) و كفاءة الأداء (performance testing) و الأمان (security testing). من المهم

عمل اختبار الغير وظيفي (Nonfunctional testing) لضمان إتقان النظام المعايير الاختبار من اختبار قابلية الاستخدام (usability testing) و اختبار الأداء (performance testing) و اختبار الأمان (security testing).

- الاختبارات الهيكلية (Structural testing) اختبار الصندوق الأبيض (White box test)

إن الاختبارات الهيكلية (Structural testing) المعروف أيضا باختبارات الصندوق الأبيض (White box test) يعمل على فحص بنية النظام الداخلية، يضمن الاختبار الهيكلية Structural testing أداء النظام وفقاً للتصميم والمتطلبات المتوقعة من خلال تقييم العناصر الداخلية.

- الاختبارات المرتبطة بالتغيير (Change-related Testing)

يحتوي هذا الاختبار على شكلين مختلفين بغاية الأهمية منها اختبار للتأكيد (re-testing) فهذا الاختبار لازم لتقييم النظام الإلكتروني بعد تصحيح المشاكل والخلل للتأكد من إنجاز وتصحيح جميع الأخطاء التي تم ايجادها سابقا في حالات الاختبار. أما النوع الثاني من الاختبار هو اختبار الانحدار (Regression testing)، هذا النوع يهتم باحتمالية تأثير التغيير في جزء واحد من مكونات النظام على أجزاء أخرى منه، مما يضمن بقاء أداء النظام سليماً.

يتضمن أنواع اختبارات ضمان الجودة (QA Quality assurance) على أنواع فرعية، يوفر كل نوع غرضاً محدداً لضمان جودة QA Quality assurance لتلبية النظام الإلكتروني لأعلى معايير جودة الوظائف النظام والأمان، يمكنك التعاون والمشاركة مع شركات متخصصة في ضمان الجودة.

2-3-7 اختبارات تأكيد الجودة Quality Assurance

الخطوة التالية في مسار حياة البرمجيات بعد مرحلة البرمجة coding هي إجراء اختبارات تأكيد أو ضمان الجودة QA - Quality Assurance. وهي المرحلة التي يقوم فيها مختبرو البرامج testers بفحص الأخطاء bugs والإبلاغ عنها. وفي الواقع في هذه المرحلة يتم استخدام مستند ال-STD من قبل المختبرين، والتحقق من النظام

وفقًا لحالات الاختبار المكتوبه في هذا المستند, ومن ثم الإبلاغ عن هذه الأخطاء التي تم اكتشافها في المستند

.Software Problems Reports- SPR

كيف تتم عمليه الاختبار والتحقق؟

- يتم إجراء الاختبارات في مرحله التكامل Integration واختبار النظام بأكمله.
 - من المهم جدا التحقق من فحص جميع حالات الاختبار في مصفوفة المتطلبات RTM.
 - بعد إصلاح اي bug على يد المطورين، يتوجب إعادة الاختبارات Retesting للتأكد ان التصليح تم بشكل سليم وإجراء اختبارات Regression للتأكد بأن إصلاح الخلل bug لم يسبب بأخطاء جديدة في النظام.
- سوف يتأثر البرنامج أيضًا بطبيعة الاختبارات المطلوبة:

- وظائف - Functionality.
- سهولة الاستخدام - Usability, User friendly.
- اختبار الأداء - Stress test.
- اختبار التحمل والبقاء - Survivability , Loading Tests.
- الأمن - Security.

2-3-8 فحص الجودة ومراقبتها

عملية مراقبة الجودة تبدأ بفحص المواد الواردة من خلال فحص القطعة الأولى للإنتاج الحالي وتستمر في الفحوصات العشوائية أثناء الإنتاج، بالإضافة إلى فحوصات المظهر وإزالة الحواف والفحوصات الدقيقة حتى بعد اكتمال المنتج النهائي. يتم تنفيذ جميع هذه الخطوات وفقًا لمعيار ISO 9001، بحيث يمكننا تقديم تقرير التفتيش وفقًا لمتطلبات كل عميل. فحوصات الجودة للشحنات من المواد الأولية الواردة، بما في ذلك الأبعاد العامة والقطع

الدقيقة عالية الدقة وقياس استقامة المحاور وقياس خشونة السطح وتقدير سمك الطبقة السطحية للمعالجة والفحوصات المغناطيسية للمنتجات المغناطيسية وتحديد قيمة مقاومة السطح.

2-4 الوثوقية

يعكس هذا البعد قدرة المنتج على اداء وظائفه او الاخفاق ضمن المدة المحددة، ومن بين العديد من المقاييس يمكن قياس الموثوقية من خلال متوسط مدة الفشل اي بيان الفشل الاول للمنتج في اداء وظائفه .فالموثوقية تعني

قدرة المنتج على اداء وظائفه الكاملة دون الوقوع في الفشل(Gravin 1987:101) .

ومن مصطلحات الوثوقية:

(أ) المدة الزمنية للعمل دون تعطل، أو احتمال العمل دون تعطل في شروط محددة.

(ب) احتمال قيام المكون بوظيفته المطلوبة خلال مدة زمنية محددة وفي شروط محددة (يصح التعريف الأول عند عدم وجود مكونات رديفة. ويكافئ تعريف الوثوقية وثوقية المهمة عند وجود مكونات رديفة) (مروان المحاسني وآخرون ، 2022).

2-4-1 اختبار الموثوقية

اختبار الموثوقية هو اختبار يهدف إلى قياس قدرة منتج ما على الأداء بشكل موثوق ومتان. ويتم ذلك من خلال إجراء سلسلة من الاختبارات والتحليلات لتقييم قدرة المنتج الفعلية على العمل والاستمرارية والمتانة في ظروف مختلفة. يستخدم هذا الاختبار عادة لتقييم الأجهزة الإلكترونية والمعدات الميكانيكية والسيارات والعديد من المنتجات الأخرى.

2-4-2 الموثوقية في الوسائط المتعددة

الموثوقية في الوسائط المتعددة هي قدرة المصدر على تقديم معلومات دقيقة وصحيحة بشأن موضوع معين. وتعتمد الموثوقية على مصداقية المصدر وتوثيق المصادر المستخدمة. ويمكن أن تزيد المصادر المتعددة من موثوقية المعلومات المقدمة. ويجب على المستخدمين أن يكونوا حذرين ويطبقوا مدى الموثوقية والمصداقية للمصادر التي يستخدمونها.

تتأثر الموثوقية في الصناعة بعدة عوامل منها:

- 1- جودة المواد الخام: تحافظ على جودة المواد الخام يمكن أن تؤثر إيجاباً على الموثوقية والصلاحية.
- 2- تصميم المنتج: يجب أن يتم تصميم المنتج بطريقة توفر الموثوقية والصلاحية المطلوبة.
- 3- عمليات التصنيع: يجب اتباع عمليات التصنيع المناسبة للحفاظ على جودة المنتج وتعزيز الموثوقية والصلاحية.
- 4- الصيانة الدورية: يجب تنفيذ الصيانة الدورية للمعدات والآلات للتأكد من استمرارية عملها وتحسين الموثوقية والصلاحية.
- 5- البيئة: يجب تحديد وتحليل البيئة المحيطة بالمنتج والتأكد من أنه يمكنه التحمل للمتغيرات البيئية الخارجية.

2-4-3 تحسين الموثوقية في البحوث الوصفية

إن تحسين الوثوقية في البحوث الوصفية يتطلب العديد من الإجراءات، من بينها:

- 1- تحديد المتغيرات المراد قياسها بشكل واضح ودقيق.
- 2- استخدام أدوات القياس الموثوقة والمعتمدة علمياً.
- 3- تدريب المشاركين في الدراسة على استخدام أدوات القياس وتفسيرها بشكل صحيح.
- 4- ضمان سرية البيانات وعدم الكشف عن هوية المشاركين في الدراسة.
- 5- تطبيق المبادئ الأخلاقية في البحث والتأكد من حصول المشاركين على الموافقة الحرة والمستنيرة للمشاركة في الدراسة.
- 6- استخدام أكثر من طريقة لجمع البيانات (تحقق من صدق النتائج) والاعتماد على بيانات من مصادر متعددة إن أمكن.
- 7- مراجعة الدراسة من قبل محللين مستقلين للتحقق من دقة وموثوقية النتائج.

8- الكشف عن أي تحديات محتملة أو عوامل تأثير على النتائج النهائية.

9- التأكد من أن المعلومات التي يتم جمعها تمثل تمثيلاً جيداً للحقائق الموجودة وقد تم تجنب أي تحيز أو اعتماد على مشاعر شخصية أو رؤى.

10- شرح الموثوقية والصدق للقاء بطريقة شفافة وواسعة النطاق، بدلاً من الاعتماد على مؤشرات متحركة أو مقاييس إجمالية

2-4-4 طرق تحسين الموثوقية في التجارب التجريبية

1. التخطيط الجيد: يجب على الباحثين التخطيط بشكل جيد للتجربة مع وضع الهدف الرئيسي للتجربة وتحديد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة والتحكم في المتغيرات المضادة.

2. اختيار المشاركين الصحيحين: يجب على الباحثين اختيار المشاركين الصحيحين للتجربة وضمان أنهم يمثلون الفئة المستهدفة للدراسة.

3. استخدام أدوات قياسية: يجب على الباحثين استخدام أدوات قياسية ومعتمدة لقياس المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة.

4. زيادة العينات: يجب زيادة حجم العينات لتحسين الموثوقية والدقة في النتائج.

5. تحليل البيانات بشكل صحيح: يجب على الباحثين تحليل البيانات بشكل صحيح باستخدام الإحصاءات المناسبة وتأكد من صحة النتائج.

6. إعادة تكرار التجربة: يجب إعادة تكرار التجربة لتأكيد النتائج المستخلصة وتحسين الموثوقية والصدق.

2-4-5 العوامل التي تؤثر في موثوقية الآلات والمعدات الصناعية

تؤثر العديد من العوامل في موثوقية الآلات والمعدات الصناعية، ومن بين هذه العوامل:

1- التصميم والجودة: عندما تكون الآلات والمعدات صنعت بجودة عالية وبتصميم متميز فإنها تعمل بكفاءة عالية ولا تسبب أعطال كثيرة.

- 2- الصيانة: يجب أن يتم صيانة الآلات والمعدات بانتظام وفقاً للجدول المحدد لتقليل توقفها.
- 3- الاستخدام: يجب أن يتم استخدام الآلات والمعدات بطريقة صحيحة وفقاً للتعليمات المحددة للاستخدام.
- 4- البيئة: قد يؤثر البيئة المحيطة بالآلات والمعدات على موثوقيتها، ومن الممكن أن تؤدي الظروف القاسية إلى تدهور الآلات والمعدات.
- 5- الاهتزاز: قد يؤدي الاهتزاز الزائد إلى تآكل الآلات والمعدات والتآلف، وبالتالي سيتم خفض موثوقيتها.
- 6- التشغيل والإدارة: يجب تشغيل الآلات والمعدات بطريقة صحيحة من قبل العمال المدربين ، و يجب إجراء أي تحديثات مهمة في وقت مناسب لإطالة عمر الآلة وزيادة موثوقيتها.

2-4-6 نظرية الموثوقية وكيفية تطبيقها في بيئة العمل

نظرية الموثوقية (Reliability theory) هي دراسة تقنيات تحليل الأداء القائمة على مفهوم الموثوقية والذي يعني القدرة على القيام بالمهمة المطلوبة دون تعطل. وفي بيئة العمل، تعني هذه النظرية تحليل وتحسين قدرة أنظمة العمل المختلفة على تحقيق الأهداف المرجوة دون تشويش أو تعطلات.

يمكن تطبيق نظرية الموثوقية في بيئة العمل على العديد من التطبيقات، ومن أهمها:

- 1- تقنية الموثوقية في الصيانة (Reliability-centered maintenance): وهي تقنية تحليلية تهدف إلى زيادة مدة الخدمة وتحسين أداء المعدات والأنظمة الصناعية عن طريق التركيز على الأجزاء الرئيسية التي يمكن لتعطلها تسبب عواقب وخيمة.
- 2- تحسين جودة المنتج: فنظرية الموثوقية يمكن أن تستخدم لتحليل وتقييم جودة المنتجات وإجراء عمليات تحسين عليها، وتحديد المناطق الضعيفة وخصائص التصميم التي تحتاج إلى تحسين لتعزيز جودة المنتج.
- 3- تقليل تكلفة الصيانة: من خلال تحليل أنماط الفشل وتجنب تعطلات النظام المستمرة، يمكن لنظرية الموثوقية أن تساعد على تقليل تكلفة الصيانة.

4- تطوير استراتيجية العمل: يمكن لنظرية الموثوقية أن تساعد في تحليل قدرات الموارد المتاحة وتطوير استراتيجيات العمل وتقييم نتائجها باستخدام تقنيات تحليل الموثوقية.

عموماً، فإن تطبيق نظرية الموثوقية في بيئة العمل يساعد على تحسين الأداء العملي وزيادة الكفاءة وتخفيض التكاليف وتحسين جودة المنتجات وتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين

إن اختبار الموثوقية هو اختبار يهدف إلى قياس قدرة منتج ما على الأداء بشكل موثوق ومتان. ويتم ذلك من خلال إجراء سلسلة من الاختبارات والتحليلات لتقييم قدرة المنتج الفعلية على العمل والاستمرارية والمتانة في ظروف مختلفة. يستخدم هذا الاختبار عادة لتقييم الأجهزة الإلكترونية والمعدات الميكانيكية والسيارات والعديد من المنتجات الأخرى طرق تحسين الموثوقية (مروان المحاسني وآخرون ، 2022):

- خطط الصيانة الوقائية: تهدف هذه الخطط إلى منع أعطال المعدات عن طريق جدولة عمليات الصيانة والتفتيش الروتينية.

- خطط الصيانة التصحيحية: تركز هذه الخطط على إصلاح أعطال المعدات بعد حدوثها، لتقليل وقت التوقف عن العمل وتقليل احتمالية حدوث أعطال في المستقبل.

- خطط الصيانة التنبؤية: تستخدم هذه الخطط تحليل البيانات وخوارزميات التعلم الآلي للتنبؤ بأعطال المعدات قبل حدوثها، مما يسمح باتخاذ الإجراءات الوقائية أو التصحيحية في الوقت المناسب.

- خطط الصيانة المرتكزة على الموثوقية (RCM): تركز هذه الخطط على تحديد ومعالجة أوضاع فشل المعدات الأكثر خطورة، لتحديد أولويات أنشطة الصيانة وتحسين تخصيص الموارد.

2-4-7 أهمية اختبارات الموثوقية

تلعب اختبارات الموثوقية دوراً حاسماً في هندسة الموثوقية. وذلك كون الهدف الرئيسي لهندسة الموثوقية هو التأكد من أن الأنظمة أو المكونات أو المنتجات تعمل بشكل صحيح ومتسق مع مرور الوقت. تساعد اختبارات الموثوقية المهندسين على فهم معدلات الفشل، ومتوسط الأوقات بين حالات الفشل (MTBF)، وغيرها من المعلومات المتعلقة

بوثوقية للنظام أو المنتج. تساعد هذه التجارب على تحديد أوضاع الفشل المحتملة، وتحسين تصميمات النظام، وتطوير استراتيجيات لمنع أو تخفيف تأثير حالات الفشل. من خلال إجراء اختبارات الوثوقية، يمكن للمهندسين جمع البيانات لبناء الثقة في موثوقية النظام واتخاذ قرارات مستنيرة بشأن أدائه وسلامته. بشكل عام، تعد اختبارات الوثوقية ضرورية لضمان الاعتمادية وطول عمر الأنظمة والمنتجات.

2-4-8 وثوقية النظم

تعد وثوقية النظم system reliability من الاهتمامات الرئيسة لهندسة الوثوقية reliability engineering، وهي أحد فروع العلوم الهندسية الحديثة. ابتدأ الاهتمام بهندسة الوثوقية خلال الحرب العالمية الثانية، وتطور هذا العلم في العقود الأخيرة خصوصاً مع تطور المنظومات الكهربائية والإلكترونية والميكانيكية. إن خبرة استثمار تلك المنظومات الهندسية واستخدامها بيّنت أنه مهما كانت إجراءات تحسين جودة المنتج، فإن الحقيقة التي يجب التعايش معها هي أن هذه المنظومات معرضة للتعطّل وفقدان القدرة على القيام بالمهام والوظائف المخصصة لأجلها خلال فترة ما في أثناء الاستثمار، كما أن ظهور بعض الأعطال الحرجة خلال العمل يمكن أن يؤدي إلى خسائر مادية وبشرية كبيرة يمكن أن تؤدي في بعض الأحيان إلى حوادث مؤسفة أو كوارث (arab-https://ency.com.sy/details/162245).

تهتم هندسة الوثوقية بدراسة أعطال النظم واحتمال حدوثها وحديثها وتأثيرها في وثوقية النظم والسلامة والبيئة، وتواجه الشركات تحديات كبيرة لتحسين وثوقية منتجاتها ورفعها؛ لكي تفي بمتطلبات الزبون ورضاه، وتقلل كلفة الضمان والصيانة في فترة الاستثمار.

تستخدم مجموعة من التعابير والمصطلحات في هندسة الوثوقية وهندسة النظم، حيث يطلق مصطلح المكوّن item على أي مستوى من مستويات النظم وخصوصاً المنظومات الإلكترونية (عنصر component . دائرة circuit . كتلة module . نظام جزئي subsystem . نظام system . منظومة super system).

تعابير هندسة الوثوقية (مروان المحاسني وآخرون ، 2022) :

فأهمها ما يأتي:

الوثوقية reliability: هي قابلية مكوّن ما بتنفيذ وظائفه المطلوبة تحت شروط محددة فترة زمنية معينة. أو هي احتمال نجاح مكوّن ما بتنفيذ وظائفه المطلوبة من دون عطل تحت شروط محددة فترة زمنية معينة.

العطل (الفشل) failure: ويعرف بأنه توقف مكوّن ما عن تنفيذ أحد وظائفه المطلوبة.

معدل الأعطال: failure rate هو عدد الأعطال الكلي لمكوّن ما مقسوماً على عدد الوحدات الزمنية (غالباً الساعة) خلال فترة القياس تحت شروط محددة.

نمط العطل failure mode: هو الشكل أو الطريقة التي يتعطل بها مكوّن ما عن تنفيذ وظائفه.

قابلية الإصلاح maintainability: هي خاصية المكوّن في التنبيه على الأعطال والكشف عن أسبابها وإزالتها عن طريق الإصلاح أو الخدمات الفنية وإرجاع المكوّن إلى تنفيذ وظائفه.

الجاهزية availability: هي قابلية مكوّن (تحت مجموعة عوامل من وثوقية وإصلاح) ليقوم بتنفيذ وظائفه المطلوبة تحت شروط محددة فترة زمنية معينة.

الزمن الوسطي بين الأعطال (MTBF) mean time between failure: هو مقياس لوثوقية مكوّن ما قابل للإصلاح، وهو القيمة الوسطى لفترة كافية من الزمن لحدوث عدة أعطال، وتمثلها النسبة بين ذلك الزمن على عدد الأعطال خلال تلك الفترة من زمن الحياة.

الوثوقية خلال دورة حياة المنتج

تقوم فعاليات هندسة الوثوقية بدور أساسي في دورة حياة المنتج ابتداءً من دراسة الجدوى، مروراً بالتصميم ثم الإنتاج وانتهاءً بالاستثمار. ويتم عادة دراسة الوثوقية في أربع مراحل كما يأتي:

1. الوثوقية في مرحلة دراسة الجدوى: يجري خلال هذه المرحلة تحديد برنامج الوثوقية اللازم للمنتج وفقاً لمتطلبات الزبون والبيئة التي سيعمل بها المنتج أو النظام.

2. الوثوقية في مرحلة التطوير والتصميم: تهتم فعاليات الوثوقية في أثناء مرحلة التطوير والتصميم بالتنبؤ والتحليل والقياس لوثوقية المنتج للوصول إلى الوثوقية المطلوبة له.

أ. التنبؤ بالوثوقية reliability prediction

يعتمد التنبؤ بالوثوقية لمكوّن ما على معدل الأعطال الذي بينت الحياة العملية أنه تابع للزمن كما هو مبين في الشكل (1-2)،



الشكل (1-2) علاقة معدل الأعطال مع الزمن (<https://arab-ency.com.sy/details/162245>).

ويتألف من ثلاث مراحل:

- مرحلة الطفولة التي يتناقص فيها معدل الأعطال.
- مرحلة الحياة المفيدة يثبت بها معدل الأعطال (يرمز له بـ λ).
- مرحلة التقادم ويزداد فيها معدل الأعطال.

وتعطى الوثوقية في فترة الحياة المفيدة لمكوّن ما $R(t)$ كتابع أسي لزمن المهمة (t) ولمعدل الأعطال (λ) على الشكل الآتي:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2-1)$$

كما يحسب الزمن الوسطي بين الأعطال (MTBF) بدلالة معدل الأعطال على النحو الآتي:

$$MTBF = 1/\lambda \quad (2-2)$$

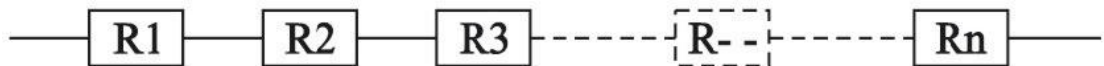
يتعلق معدل الأعطال λ بعدة عوامل أهمها الحرارة والبيئة وجودة المكوّن والإجهاد المتعلق بالتصميم. يقاس معدل الأعطال «بعدد الأعطال في وحدة زمنية»، ويؤخذ معدل الأعطال والعوامل المؤثرة فيه من مصادر معلومات إحصائية عديدة أهمها المعيار الأمريكي MIL-HDBK-217 و Bellcore TR-332.

يستخدم المخطط الصندوقي للوثوقية reliability block diagram للتنبؤ بوثوقية نظام مؤلف من عدة مكونات، ويعد المخطط الصندوقي للوثوقية من أهم الطرق لنمذجة الوثوقية reliability modeling ويتكون من صناديق مرتبطة على التسلسل أو التفرع، ويمثل كل صندوق وثوقية كل جزء من النظام. ويأخذ المخطط الصندوقي أحد شكلين:

$$R_{sys} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n \quad (2-3)$$

$$\lambda_{sys} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n \quad (2-4)$$

. **الربط التسلسلي:** ترتبط فيها الصناديق بشكل متتالي ولكي يعمل النظام بنجاح يجب أن تعمل جميع مكوناته بنجاح، ويخفق النظام إذا أخفق واحد على الأقل من مكوناته. وتكون وثوقية النظام R_{sys} أصغر من وثوقية أي من مكوناته وتساوي جداء وثوقية مكوناته، ويكون معدل الأعطال للنظام λ_{sys} مساوياً مجموع معدل أعطال مكوناته الشكل (2-2).



الشكل (2-2) المخطط الصندوقي للربط التسلسلي

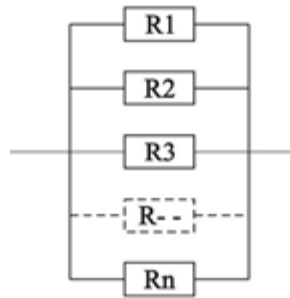
المصدر (<https://arab-ency.com.sy/details/162245>).

. **الربط التفرعي:** ترتبط فيها الصناديق بشكل تفرعي ويعمل النظام بنجاح إذا عمل بنجاح واحد على الأقل من مكوناته، ويخفق النظام إذا أخفقت جميع مكوناته. ويمثل هذا الربط استخدام المكونات الرديفة أو الاحتياط

redundancy وتكون وثوقية النظام أكبر من وثوقية مكوناته وتحسب وثوقية النظام R_{sys} على النحو المبين في الشكل (3-2).

$$R_{sys} = 1 - (1 - R_1) * (1 - R_2) \quad (2-5)$$

$$(1 - R_3) * \dots * (1 - R_n) \quad (2-6)$$



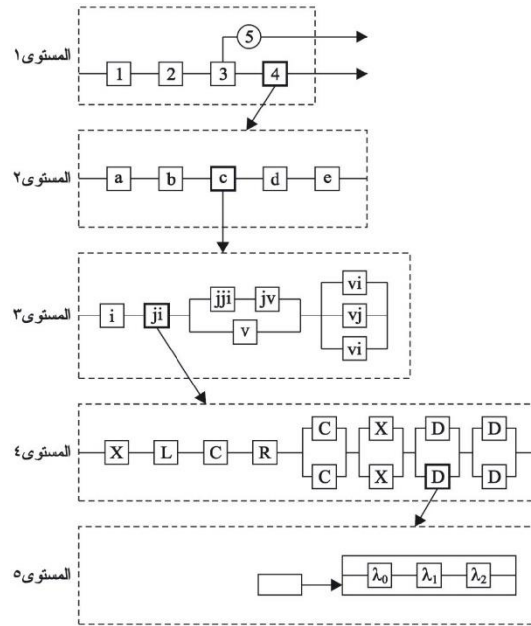
الشكل (3-2): المخطط الصندوقي للربط التفرعي

المصدر (<https://arab-ency.com.sy/details/162245>).

. **الربط المختلط:** ترتبط فيها الصناديق بشكل تسلسلي وتفرعي، ويتم الحساب والتنبؤ بوثوقية النظام اعتماداً على

المعادلات (2-1)، (2-3)، (2-5). يجري وضع المخطط الصندوقي للنظام ومكوناته هرمياً من الأعلى إلى

الأسفل أو بالعكس وفق الشكل (4).



الشكل (4) المخطط الصندوقي للنظام ومكوناته هرمياً

المصدر (https://arab-ency.com.sy/details/162245).

ب . تحليل الوثوقية reliability analysis

تستخدم مجموعة من أدوات تحليل الوثوقية خلال مرحلة التطوير والتصميم لتجنب الحوادث والمشكلات، وذلك من خلال تحليل الأعطال ومسبباتها وعلاقتها مع بعضها واحتمال حدوثها وتأثيراتها في وثوقية النظام والسلامة والبيئة. من أهم أدوات تحليل الوثوقية: تحليل آثار وحرجة أنماط العطل failure mode effects and criticality analysis (FMECA)، وتحليل شجرة الأعطال (FTA) fault tree analysis.

تحليل آثار وحرجة أنماط العطل FMECA:

تحليل FMECA هو منهجية تحليل الأعطال من الأسفل إلى الأعلى bottom-up أي من مستوى العنصر إلى مستوى النظام. يهدف التحليل إلى تحديد وتحليل الأعطال الخاصة المحتملة الكامنة potential failure للمكونات وتأثيرها في الوثوقية ودرجة حرجتها على السلامة، وكيفية تجنب تأثير هذه الأعطال في إخفاق النظام، وتحديد

الإجراءات التصحيحية للتخلص من تلك الأعطال الناجمة عن التصميم أو عن عمليات التصنيع والإنتاج قبل تسليم المنتج إلى الزبون.

تطبق FMECA مبكراً من مرحلة التطوير والتصميم وتحديث مع تطور التصميم، ويجري تنفيذ إجراءات FMECA وتوثيقها بجدول وفقاً لمعايير عالمية عديدة من بينها المعيار العسكري الأمريكي MIL-STD-1629 والمعيار البريطاني BS 5760-part 5.

تحليل شجرة الأعطال FTA:

تحليل شجرة الأعطال FTA هو منهجية تحليل من الأعلى إلى الأسفل top-down أي من مستوى إخفاق حرج للنظام إلى مستوى إخفاق العنصر. يقوم هذا التحليل بتبيان العلاقة بين الأعطال ومسبباتها التي تؤدي إلى إخفاق حرج للنظام وحساب احتمال حدوث ذلك الإخفاق الذي يمكن أن يؤدي إلى حادث أو كارثة.

يتألف تحليل شجرة الأعطال من ثلاث مراحل:

أ- بناء شجرة الأعطال، وهي رسم يمثل العلاقة بين الأعطال ببوابات منطقية AND-OR من مستوى إخفاق النظام الحرج ويسمى الحدث الأعلى top event إلى مستوى إخفاق العنصر الذي يسمى الحدث الأساسي basic event.

ب- التحليل النوعي qualitative analysis الذي يتضمن تحديد مجموعات القص الصغرى minimal cut sets للأعطال التي إذا حدثت يحدث الحدث الأعلى.

ت- التحليل الكمي quantitative analysis الذي يتضمن حساب احتمال حدوث الحدث الأعلى.

ج- قياس الوثوقية reliability measuring

الغاية من قياس الوثوقية هو تحديد فيما إذا كان المنتج في الشكل النهائي قد حقق متطلبات الوثوقية وتحديد نقاط الضعف التي لا تزال غير مغطاة وتحتاج إلى تصحيح، والوصول إلى قناعة عالية المستوى بأن متطلبات الزبون

قد تم تحقيقها. إذا كانت نتائج القياس غير مقبولة فإن قبول المنتج أو تحريره للإنتاج يتأجل إلى حين اتخاذ إجراء تصحيحي.

2-4-9 الاختبارات الخاصة بالوثوقية

اختبار الوثوقية هي عملية اختبار للبرامج تتحقق مما إذا كان البرنامج يمكنه إجراء عملية خالية من الأخطاء في بيئة معينة لفترة زمنية محددة. الغرض من اختبار الوثوقية هو التأكد من أن منتج البرنامج خالي من الأخطاء وموثوق به بدرجة كافية للغرض المتوقع منه.

الوثوقية تعني "الخضوع لنفس الشيء"، وبعبارة أخرى، كلمة "موثوق" تعني أن شيئاً ما يمكن الاعتماد عليه وأنه سيعطي نفس النتيجة في كل مرة. وينطبق الشيء نفسه على اختبار الوثوقية.

العوامل المؤثرة على وثوقية البرمجيات:

1. عدد الأخطاء الموجودة في البرنامج.
 2. طريقة تشغيل المستخدمين للنظام.
- يعد اختبار الوثوقية أحد المفاتيح لتحسين جودة البرامج. يساعد هذا الاختبار على اكتشاف العديد من المشكلات في تصميم البرنامج ووظائفه. فالغرض الرئيسي من اختبار الوثوقية هو التحقق مما إذا كان البرنامج يلبي متطلبات وثوقية العميل.

يتم إجراء اختبار الوثوقية لاختبار أداء البرنامج في ظل ظروف معينة. حيث الهدف من وراء إجراء اختبار الوثوقية هو:

1. العثور على هيكل تكرار الفشل أو العيب الصناعي.
2. العثور على عدد حالات الفشل أو العيب الصناعي التي تحدثت هو مقدار الوقت المحدد.
3. اكتشاف السبب الرئيسي للفشل أو العيب الصناعي.

4. لإجراء اختبار أداء وحدات مختلفة من التطبيقات البرمجية بعد إصلاح الخلل.

بعد إصدار المنتج أيضًا، يمكننا تقليل احتمالية حدوث العيوب وبالتالي تحسين وثوقية البرنامج..

2-9-4-1 اختبار التحمل

عادة، سيكون أداء المنتج أفضل في بداية العملية، وبعد ذلك، سيبدأ في التدهور. يتم إجراء اختبار التحمل للتحقق من أداء المنتج في ظل الحد الأقصى من عبء العمل.

2-9-4-2 اختبار الانحدار

يُستخدم اختبار الانحدار بشكل أساسي للتحقق مما إذا كان قد تم ظهور أي عيوب جديدة بسبب إصلاح العيوب السابقة. يتم إجراء اختبار الانحدار بعد كل تغيير أو تحديث لبعض القطع ووظائفه.

2-9-4-3 اختبار الصدمة الحرارية

يستعمل هذا الاختبار لتديد ما إذا كان بإمكان المنتج قادر على تحمل التغيرات المفاجئة في درجة حرارة المحيط دون تعرض لضرر مادي أو تدهور في الأداء (ان. آر. جينزين -جونز ومات شرودر، 2019).

2-9-4-4 اختبار الضباب الملحي

الغرض من هذا الاختبار هو تحديد فاعلية الطلاء الواقي للمنتج وفاعلية إنهاءه. وقد يستعمل أيضاً لتحديد الترسبات الملحية على الجوانب الفيزيائية للمنتج (ان. آر. جينزين -جونز ومات شرودر، 2019).

هناك ثلاث فئات يمكننا من خلالها إجراء اختبار الموثوقية، النمذجة والقياس والتحسين.

العوامل المؤثرة على موثوقية المنتجات العسكرية:

- عدد الأخطاء الموجودة في المنتج.
- طريقة تشغيل المستخدمين للنظام.

جودة الاختبار يعني أنه إذا قام شخص ما بإجراء الاختبار مرة أخرى، فإنه سيحصل على نفس درجة الاختبار. اما الوثوقية فتشير إلى الطريقة التي يتم بها الاختبار، بحيث إذا أجرى الشخص الاختبار مرة أخرى، سنحصل على نتيجة اختبار مماثلة. أن الاختبار الذي يعطي درجات مماثلة للشخص الذي يكرر الاختبار لقياس سمة أو صفة يعتبر اختبار موثوق به.

2-4-10 أهم وسائل قياس الوثوقية مجموعة من الاختبارات المحيطة

1- اختبار الحياة المسرعة accelerated life test يضمن قياس الوثوقية في زمن اختبار قصير.

2- اختبار رفع الوثوقية (RGT) reliability growth test.

3- اختبار وحل وصح (TAAF) test analyze and fix لكشف الأعطال وتصحيحها.

4- مراجعة التصميم design review.

تقوم لجنة خاصة بمراجعة التصميم للتحقق من أن التصميم المنفذ يحقق متطلبات الزبون من ناحية الأداء والوثوقية. تتألف لجنة مراجعة التصميم من عدة اختصاصات منها: هندسة نظام، هندسة التصميم، هندسة الوثوقية، هندسة الإنتاج، التسويق وشؤون الاستثمار.

تجرى المراجعة التصميمية عدة مرات خلال مراحل تطور النظام، وتسمح بتحرير النظام المصمم إلى مرحلة الإنتاج الكمي في حال تحقيقه لمتطلبات الزبون، وتحرير المنتجات المصنعة إلى الزبون أو الأسواق بنهاية مرحلة الإنتاج والتصنيع. ويبين الجدول التالي مقارنة بين الجودة والوثوقية:

الجدول (2-1) مقارنة بين الجودة والوثوقية

الجودة	الوثوقية	
تعريف	هي مجموع الصفات والخواص لأي منتج (مادي - غير مادي) والتي من خلالها يتحدد درجة كفاءة هذا المنتج، وذلك كي	قدرة نظام أو مكون على العمل في ظل ظروف محددة لفترة زمنية محددة وتهتم بدراسة تصميم الأنظمة والمنتجات بحيث يكون لها قدرة عالية على العمل بشكل دائم ومنتظم دون حدوث أي أعطال أو فشل في

الأداء. وتشمل هندسة الموثوقية دراسة العوامل المؤثرة على الأعطال والفشل في الأنظمة والمنتجات، وكذلك تصميم حلول وإجراءات للحد من هذه الأعطال والفشل وزيادة الموثوقية في الأداء. ويهدف هذا النوع من التصميم إلى الحفاظ على سلامة وسلسلة التشغيل والإنتاج في المصانع والخطوط الإنتاجية والمرافق الأخرى، وتقليل التكاليف الناجمة عن الأعطال والفشل فيها	يمكن المنتج من تحقيق وتلبية المهمة المطلوبة منه.	
اختبار الوثوقية هو اختبار يهدف إلى قياس قدرة منتج ما على الأداء بشكل موثوق وإجراء سلسلة من الاختبارات والتحليلات لتقييم قدرة المنتج الفعلية على العمل والاستمرارية والمتانة في ظروف مختلفة. يستخدم هذا الاختبار عادة لتقييم الأجهزة الإلكترونية والمعدات الميكانيكية والسيارات وغيرها وهي اختبارات وظيفية واختبارات غير وظيفية	اختبار الجودة او فحص الجودة هو عملية فحص المنتجات والخدمات وكشف الاختلافات عن المواصفات القياسية وإجراء التصحيحات اللازمة على عمليات الإنتاج للوصول الى النتائج المطابقة للمواصفات.	الاختبارات
اختبارات اشعة الليزر - قياسات الطول والوزن - اختبارات الاداء - التكامل - المرونة - الوحدة.	اختبارات الجودة للآلات البسيطة وتشمل على سبيل المثال: اختبار الأداء، اختبار الاستجابة، اختبار المتانة والتحمل واختبار الاستدامة.	امثلة
تحديد المؤشرات المراد قياسها بشكل واضح- استخدام ادوات قياسية - التخطيط الجيد - تحليل البيانات.	• مخطط إيشيكاوا (المعروف أيضا باسم «هيكل السمكة» • مخطط السبب والأثر). • نموذج التحقق. • مخطط الرقابة.	طرق التحسين والقياس

	• مدرج تكراري. • مخطط باريتو. • مخطط التشتت.	
العوامل المؤثرة	المواد الاولية - الالات والمعدات - الموارد البشرية - طرائق التشغيل.	تصميم وجودة المنتج (تخفيض الاعطال) , البيئة - الاستخدام - الصيانة.
معايير القياس	- الأداء (بالإنجليزية: Performance): مدى قدرة المنتج على القيام بالوظائف المطلوبة منه. - الوثوقية Reliability : أقصى مدة يمكن للمنتج أن يكون صالح للاستخدام. - التحملية أو المتانة Durability : أقصى مدة يمكن للمنتج أن يعيش	الصيانة - الاختبارات - المعايير.

الفصل الثالث: هندسة السطوح

3-1 مقدمة عن هندسة السطوح

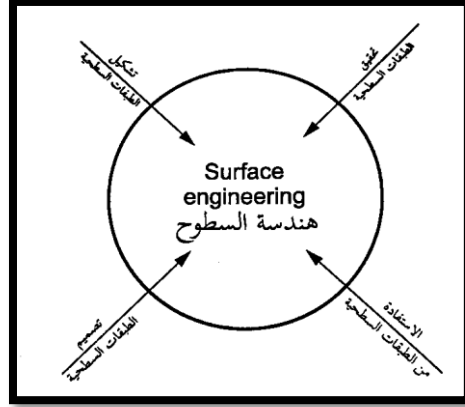
إن هندسة السطحية تعتبر فرع من العلوم يحيط بكل المشاكل العلمية والتقنية المرتبطة بصناعة الطبقات السطحية والطبقات التي تطبق على الطبقات السطحية مثل الطلاءات وهو علم يبحث في تصميم وصناعة طبقات سطحية تتميز بخواص أفضل من تلك التي في الداخل مثل: (مقاومة التآكل والاهتراء ومقاومة التعب) وذلك بهدف تحقيق عمر أطول.

تهتم الهندسية السطحية بكل المشاكل العلمية والتقنية المرتبطة بالصناعة السطحية وذلك على نحو سابق لنهاية الخدمة أو الاستخدام (طبقات تكنولوجيا) أو أثناء الخدمة (طبقات متولدة نتيجة الخدمة)، على أو تحت السطوح (طبقات السطحية) أو على الطبقات السفلية (طلاءات) مع صفات مختلفة عن تلك الموجودة في المادة نفسها حيث يتم تقديمها إلى سطح اللب على شكل غاز أو سائل أو صلب. [1]

ومن هنا فقد توجه علم هندسة السطوح في البحث عن عمليات التصميم والصناعة والتحقق والاستفادة من الطبقات السطحية التي تتميز بخواص أفضل من تلك التي في الداخل، مثل مقاومة التآكل والاهتراء على نحو رئيسي ومقاومة للتعب الشكل (1-1). إن مجال نشاط هندسة السطوح يقسم إلى المراحل التالية:

- تشكيل الطبقات السطحية : في مجال تقانات الإنتاج تتضمن هندسة السطوح جمع الطبقات السطحية المركبة التي تأخذ في الحسبان نوع مادة النواة والعلاقة مع الطبيعة، كيميائياً وفيزيائياً. حيث أنه يمكن التأثير في خواص الطبقات التكنولوجية خلال عملية التصنيع، كما يمكن التأثير بالطبقات حسب نوع الخدمة .
- تصميم الطبقات السطحية : يتضمن هذا المجال تصميم الطبقات السطحية لتلبي متطلبات الخدمة (ولكن هذه العملية تتطور بشكل بطيء حتى يومنا هذا)، يختصر تصميم الطبقات السطحية إلى طرق إعادة إنتاج تركيبات السطوح المعروفة سابقاً وذلك باستخدام آخر أنواع التكنولوجيا.
- تحليل طبقات السطوح : يتضمن هذا المجال البحث في خواص وتركيبية الطبقات السطحية بالاعتماد على محددات مختلفة من الظروف التكنولوجية و المتعلقة بنوع الخدمة، التصنيع العملي و محدّداته، وجمع المعلومات

التكنولوجية عن كيفية تصنيع الطبقات السطحية الجديدة أو تركيبها. حيث تتطلب هذه العملية تطبيق أحدث أنواع طرق التحليل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية والتآكل والمتانة والاهتراء الخ (عزيمة، خليل 2012).



الشكل (1-3) رسم تخطيطي لمجال نشاط هندسة السطوح (عزيمة، خليل 2012)

3-2 مميزات هندسة السطوح

تتطور هندسة السطوح بشكل ديناميكي كونه يعتبر من العلوم التي تجري التوقعات التكنولوجية الحديثة: مثل الكفاية من الطاقة والمواد، المحافظة على البيئة بالإضافة إلى أنه يعطي الباحث المتعة في اكتشاف تشكيل خواص المادة .

- مميزات هندسة السطوح:

- 1- إعطاء السطح خواص جيدة وتخفيض الزمن اللازم للتصنيع.
- 2- تخفيض الفشل في عمل الأدوات وعناصر الآلات والتطبيقات المختلفة حيث أن التصميم الخاطئ والظروف غير المناسبة تشكل 15% من أسباب الفشل بينما الاختبار غير المناسب والتصنيع للطبقات السطحية فتشكل 85% من أسباب الفشل.
- 3- زيادة مقاومة اهتراء السطوح المحتكة.
- 4- تخفيض تكرار تبديل الأدوات وعناصر الآلات المستخدمة وكذلك تخفيض عمليات الصيانة الكلية.
- 5- تخفيض التكلفة بنسبة 35% - 15 نتيجة التآكل.

6- تخفيض الطاقة المستخدمة واختصار الزمن من خلال تطوير تقنيات هندسة السطوح.

7- التقليل من تلوث البيئة نتيجة تخفيض الغبار والدخان والغازات الصناعية.

3-3 التطبيق العملي للطبقات السطحية

التطبيق العملي للطبقات السطحية يتطلب معرفة جيدة بظروف العمل والوظائف الأساسية المطلوبة من الطبقة السطحية ومن هذه التطبيقات يمكن :

- تخفيض الطاقة واستخدام المادة من خلال التطبيق تحت ظروف الاهتراء أو التآكل أو الكسر. إن هذا التقليل من استخدام الطاقة يعطي مفايد ناتجة عن التآكل بأقل ما يمكن والأسطح المحتكة تهترئ بأقل شكل ممكن أي إمكانية الحصول على احتكاك دون اهتراء.
- الاستفادة من تحليل الطبقات السطحية للتقليل من الاهتراء والاجهادات لعناصر العمل في هذه الطريقة
- اختيار الطبقات السطحية وظروف العمل المختلفة بحيث تكون أبعد ما يمكن عن الاهتراء.

4-3 التآكل

يعرف التآكل بأنه انحلال المعدن بسبب تفاعله مع الوسط الذي يتعرض له أو فشل يصيب المعدن ينتج بسبب عوامل كيميائية أو بسبب عوامل كيميائية تساعد على عوامل ميكانيكية متوفرة في الوسط الذي يعمل به المعدن. كذلك هناك نوع آخر من أنواع الفشل السطحي سببه ميكانيكي بحت يدعى البلى Wear والذي ينتج بسبب الاحتكاك بين سطح المعدن وتحت تأثير العوامل الخارجية (القوى والعوامل المؤثرة) والأمثلة عديدة على التآكل :

- تأكل المنشآت النفطية وصدأ هياكل السيارات وعلب المواد الغذائية والصفائح والمقاطع الفولاذية.

- تأكل الأنابيب المدفونة في التربة.

- تأكل أجزاء معدنية عديدة تتعرض إلى أوساط صناعية مثل الأحماض والقواعد والمياه المالحة وما

إلى غير ذلك، وفي هذه الحالة يتخذ التآكل أشكالاً متعددة منها ما يكون موضعياً ومنها ما يكون

عاماً .

كذلك تتآكل سطوح المعادن الموجودة في حالة تفاعل كيميائي أو كهروكيميائي مع الوسط الخارجي , و يسمى هذا التآكل بالصدأ.

حيث يسبب الصدأ خسائر كبيرة في الاقتصاد العالمي , تقدر بالمليارات سنوياً, إذ يدمر كمية ضخمة من المنشآت النفطية و الصناعية. ولمقاومة الصدأ يجب معرفة أسبابه والوسائل المجدية لمقاومته.

إن التآكل الناتج عن انحلال المادة بسبب تفاعل سطحها مع الوسط, والذي ينتج بسبب ميل المواد إلى تحرير طاقة, كي تنتقل إلى حالة أكثر استقراراً من الناحية الترموديناميكية, حيث يعتمد ذلك على مجموع الطاقة الناتجة عن المركبات المتفاعلة (المادة + الوسط) ومجموع الطاقة الناتجة عن المركبات الناتجة (نواتج التآكل) (عزيمية, خليل 2008), لأن حصول التفاعل هذا يقتضي أن تكون طاقة المركبات الناتجة (نواتج التآكل) أقل من طاقة المركبات المتفاعلة. أي أن مقدار تغير الطاقة الحرة يجب أن يكون مقداراً سالباً. وهذا أحد القوانين الرئيسية في علم الترموديناميك وبناء على ذلك, فإن المواد تتفاعل مع الوسط الذي تتعرض له, أي تتآكل وفي حال استخدام هذا القانون نجد أن الحديد يتفاعل مع الماء أو بخار الماء المحتوي على الأوكسجين وفقاً للتفاعل:



حيث أن هذا التفاعل يؤدي إلى تكوين مركب هيدروكسيد الحديد الذي تكون طاقته الحرة أقل من مجموع الطاقة الحرة للمركبات المتفاعلة وهي الحديد والماء والأوكسجين. بينما نجد عدم إمكانية تطبيق هذا القانون في حالة تعرض معدن الذهب أو الفضة إلى الوسط نفسه وهو المحتوي على الأوكسجين, حيث لا يمكن أن تتكون أي من المركبات التي تكون طاقتها الحرة أقل من الطاقة للمواد المتفاعلة وهي الذهب والماء والأوكسجين.

إن مقدار القيمة السالبة للتغير في الطاقة الحرة لا يعني أن التآكل يكون أسرع (بمعدل أكبر) كلما كانت القيمة السالبة أكبر. وهذا يعني أن معرفة ما إذا كان التآكل في وسط معين ممكن في الحالة الحرة فإن ذلك يتطلب منا معرفة ما إذا كان مقدار التغير في الطاقة الحرة سالباً أولاً, ولا يهمنا في هذا الخصوص معرفة مقدار القيمة السالبة لهذا التغير.

إن سرعة التآكل أي معدلته، يُعتبر من الاعتبارات الهندسية المهمة حيث يتم حسابه باستخدام معايير أخرى تتعلق بقوانين الكيمياء الكهربائية، ويعتبر الوسط الجوي الذي تعمل به المادة من أهم العوامل التي تسبب التآكل إذا لم تتخذ بعين الاعتبار ومنها:

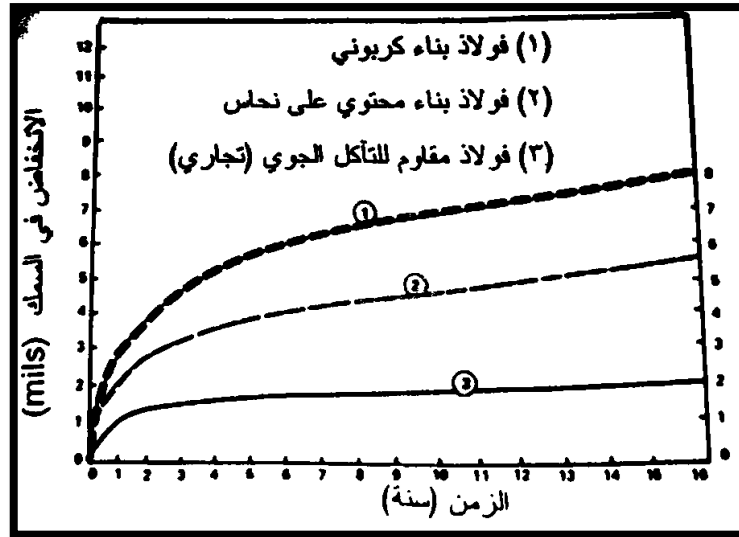
3-4-1 التآكل الجوي:

يمكن تقسيم الوسط الجوي المسبب للتآكل إلى: الوسط الجوي الصناعي والوسط الجوي البحري. ولكن هذه الأوساط تختلط أحيانا، فيصبح من الصعب تحديد الوسط الجوي بأحد هذه الأنواع، وخصوصا عند وجود الرياح التي تؤدي إلى خلط مكونات أوساط مختلفة، حيث أن المكونات الرئيسة المسببان للتآكل الكهروكيميائي في كافة أنواع الأوساط هذه، هما الأوكسجين وبخار الماء.

3-4-1-1 التآكل في الوسط الصناعي:

يتميز الجو الصناعي عن الأجواء الرئيسية الأخرى باحتوائه على ملوثات تساعد بشكل كبير على التآكل، والتي من أهمها مركبات الكبريت وأكاسيد النتروجين، إن أهم المركبات الكبريتية التي تتكون على سطح المعدن، يكون مصدره ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2) في الجو والذي ينتج من احتراق الفحم والوقود والذي يُمتص من قبل البخار المتكثف على سطوح دقائق الغبار مكونا حمض الكبريت (H_2SO_3) الذي بدوره يتأكسد بعمليات تحفيز معينة على سطوح دقائق الغبار متحولاً إلى حمض الكبريت (H_2SO_4)، حيث يستقر هذا الحمض الأخير بشكل قطرات دقيقة جدا على السطوح المعدنية المعرضة للجو الصناعي، الذي يحتوي بالإضافة لهذا الحمض، ثاني أوكسيد الكبريت وحمض الكبريت. إن هذه المكونات الرئيسية في الجو الصناعي تشكل مع الضباب أو الرطوبة العالية وسطا تآكليا قاسيا، نتيجة لتكثف غشاء مائي رقيق يحوي هذه الملوثات الكبريتية ويستقر على سطح المعدن مما يؤدي إلى تشكيل محلول كهربائي (الكثرويت) قاسي يساعد على التآكل.

يبين الشكل (3-1) تآكل أنواع مختلفة من الفولاذ الكربوني في جو صناعي.



الشكل (1-3) : منحنيات تآكل أنواع مختلفة من الفولاذ الكربوني في جو صناعي. (عزيمة، خليل 2008)

3-4-1-2 التآكل في الوسط البحري:

يتميز الجو البحري باحتوائه على دقائق من الأملاح البحرية وهي الكلوريدات التي تُحمل عادة بالرياح لتستقر على سطوح المعادن المعرضة لهذا الجو. إن كمية الملوثات الملحية هذه تقل كلما ابتعدنا عن سواحل البحار. وتتميز مناطق الجو البحري، والتي تكون قريبة جدا من السواحل لتعرضها إلى هذه المياه، حيث يؤدي سقوطها على سطوح المعادن إلى خلق حالة فيزيائية معينة على هذه السطوح تتضمن التبليل والتجفيف المتعاقب، وحين يكون السطح في حالة الجفاف محتويا على أملاح بحرية. فهذه الحالة هي من الحالات التي تعجل في حصول بعض أنواع التآكل، مثل التآكل الإجهادي، كذلك تتعرض سطوح المعادن القريبة من هذه المناطق إلى رذاذ المياه المالحة.

من بعض اختبارات التآكل الجوي: يوجد نوعان من الاختبار:

1-اختبار التعريض:

يستخدم نموذج على شكل صفيحة أبعادها (6*4*0.05) وتثبت بحيث تكون مائلة بزاوية قدرها (300) عن الأفق ويكون السطح المراد دراسة تأثير الظروف الجوية عليه مواجهاً لمصدر التلوث ويكون معزول كهربائياً، وتترك لفترات زمنية طويلة عدة سنوات. وذلك لأن سلوك التآكل خلال فترة قصيرة مختلف عنه بعد التعرض لفترة طويلة. بعض اختبارات التعريض تستمر حتى حصول الفشل في النموذج كما في حالة اختبارات التآكل الإجهادي

في الجو. ولكن في بعض الاختبارات مثل التي تجري على المعادن المطيلية فإن فقدان الوزن أو عمق النقر الحاصل أو التغير في الخواص الميكانيكية يقاس بشكل دوري بعد أزمنة تعريض معينة.

2- الاختبارات السريعة: تتضمن أوساط قاسية تعكس تصرف المعدن في الظروف الجوية الاعتيادية.

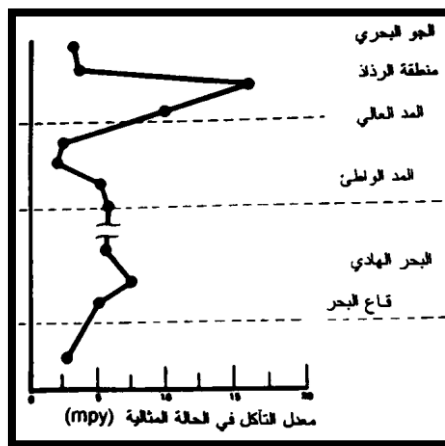
أهم الاختبارات المعتمدة من قبل جمعية الاختبارات والمواد الأمريكية:

- اختبار الرذاذ الملحي أو الضباب الملحي.

- اختبار الرطوبة المتناوب.

3-4-2 التآكل في المياه:

تعد المياه بأنواعها المختلفة أكثر الأوساط التي تستخدم فيها المعادن المختلفة وخاصة الأجزاء المستعملة في الصناعة واستخدامات المياه الرئيسية في الصناعة تكمن في نقل الحرارة وإنتاج البخار. والمياه يعتبر من الأوساط المستخدمة في معظم الصناعات تقريباً، مثلاً في العمليات الإنتاجية المختلفة وتبريد الهواء في البيوت ويعتبر الماء وسيط تبريد في محطات توليد القدرة وما إلى غير ذلك.



الشكل (3-2) : معدل تآكل الفولاذ الكربوني عند أعماق مختلفة من سطح البحر (عزيمة، خليل 2008).

3-4-3 التآكل في التربة:

التربة وسط تتعرض له العديد من الأجزاء المعدنية، ومن أهمها الأنابيب والخزانات المدفونة التي تصنع من معادن مختلفة، وبعض أنواع الترب تكون أوساطاً تآكلياً، أي تشكل الكتروليتاً وذلك يعتمد على طبيعتها الفيزيائية ومكوناتها

الكيميائية أي على نوع التربة. إن الخواص الفيزيائية للتربة مثل حجم دقائقها له أهمية كبيرة في تحديد قابليتها في إحداث التآكل لأن حجم دقائقها يؤثر في قابلية التربة لنفاذية الماء والهواء خلالها.

إن المكونات الكيميائية للتربة عديدة ومختلفة ولكن الذي يهمنا من هذه المكونات تلك التي تمتلك (PH) والأوكسجين المذاب والعناصر التي تشكل قواعد مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيزيوم وكذلك الجذور التي تشكل حموض مثل الكربونات والبيكربونات والكلوريدات والنترات والسلفات.

إن تآكل المعادن في تربة مختلفة يعود سببه أساسا إلى وجود محلول كهربائي (الكتروليتا) الذي يساعد في نشوء خلية تأكليه. حيث يشكل هذا المحلول الكهربائي وسطا مائيا حاويا على أيونات مختلفة. وبناء على ذلك نجد أن التربة الجافة مثل التربة الرملية هي أوساط لا تساعد على التآكل كذلك نجد أن خلو ماء التربة من المذيبات المختلفة لا يشكل وسطا تأكليا قاسيا شأنه شأن الماء النقي الخالي من الأملاح المذابة والأوكسجين.

3-5 تحضير سطوح المعادن قبل طلائها

يمكننا بعبارة واحدة أن نوجز أهمية إعداد السطح فنقول لا " طلاء جيد دون سطح جيد " فإعداد السطح أهم مطلب من متطلبات الطلاء. إن وجود مواد غريبة على سطح المعدن مثل الشحوم والزيوت، وبقايا التآكل والصدأ والأوساخ بأنواعها يقلل من التصاق طبقة الطلاء بسطح المعدن ويؤدي إلى طلاء غير متجانس عمره قصير. إن عملية إعداد السطوح المعدنية تمهيدا لطلائها تتم عموما في خطوتين رئيسيتين هما :

أولا : إزالة المواد العضوية مثل الزيوت والشحوم والتربة وشرارات اللحام ... الخ .

ثانيا : إزالة لآثار اللاعضوية مثل الصدأ ونواتج التآكل.

بالإضافة إلى الخطوتين السابقتين هناك عمليات تكميلية لا بد منها وهذه العمليات تختلف باختلاف الهدف من إعداد السطح، فالطلاء الكهربائي يحتاج إلى عمليات تخريش أو تحبيب أو تلميع للسطح للحصول بالنتيجة على طبقة طلاء جيدة الالتصاق وذات خواص ظاهرية جذابة، أما السطوح المراد دهانها فيمكن معالجتها بالمحاليل

الفوسفاتية أو الكرومية أو يمكن أكسدها كهربائياً للحصول على طبقات سطحية رقيقة مقاومة للتآكل وفي الوقت ذاته تحسن من خاصية التصاق الدهان على السطوح.

ويجب أن تكون القطع المعدة للطلاء بعد اللحام مثلاً خالية من الالتواءات، التقعر، الثني، التحذب، الصدأ، الفجوات، الشقوق، بقايا اللحام والمعدن المحترق، الخبث والشوائب الأخرى ولكل نوع من هذه العيوب طريقة للتعامل معها، نذكر بعض الطرق المستخدمة في إزالة هذه العيوب:

3-5-1 إزالة الشحوم

إن المعادن تكون بصورة شبه دائمة ملوثة بالشحوم والزيوت والتي تصل إليها بطرق مختلفة فالمعادن يتم تشحيمها أثناء عملية التخزين أو تزييت لحمايتها من التآكل، وكذلك فهي تتعرض للزيوت أثناء العمليات التصنيعية التي تتم عليها مثل القص والجلخ والسحب والخراطة وغيرها. والسطوح المعدنية تتعرض أيضاً للشحوم والزيوت المرافقة للأدخنة والأتربة الملوثة للبيئة.

تصنف المواد الزيتية عموماً في مجموعتين رئيسيتين هما الزيوت ذات المنشأ النباتي أو الحيواني والزيوت المعدنية. حيث يمكن إزالة زيوت المجموعة الأولى باستخدام المحاليل القلوية القوية بينما تزال زيوت المجموعة الثانية باستخدام عوامل الفعالية السطحية مثل الصابون والمنظفات.

هناك الكثير من المذيبات العضوية التي يمكن استخدامها لإزالة كلا الصنفين من الزيوت مثل الهيدروكربونات المكلورة وهناك عدة طرق لإزالة الشحوم نذكر منها:

3-5-1-1 إزالة الشحوم بالمحاليل القلوية

تعتبر هذه الطريقة من أقدم الطرق المستخدمة لإزالة الشحوم من على السطوح المعدنية وقد تم إيجاد تكنولوجيا متقدمة اعتماداً على هذه الطريقة، ونتيجة لذلك فقد طورت محاليل ذات تراكيب مختلفة بهدف تحقيق الغرض منها وذلك من حيث الفعالية ومن حيث الناحية الاقتصادية في الوقت ذاته. حيث يجب أن يتمتع المنظف القلوي الفعال بالخواص التالية:

1. قلوية عالية.
2. قدرة كبيرة على الإذابة.
3. قدرة كبيرة على تعليق المواد الصلبة.
4. قوة استحلاب للمواد السائلة.
5. إمكانية شطفه وإزالة آثاره بسهولة .
6. أن يكون ثابتا كيميائي.
7. أن يكون فعالا بتراكيز منخفضة حتى يحقق الهدف الاقتصادي.
8. أن يكون خاليا من السمية.

بشكل عام يمكننا القول إنه بالنسبة للحديد يتم استخدام تراكيب عالية القلوية أما بالنسبة للألمنيوم والمغنيزيوم والتوتياء والقصدير فتستخدم محاليل متوسطة القلوية تحتوي على مواد منظمة. للإيفاء بالمتطلبات السابقة أصبح من المعتاد استخدام مزائج من المواد القلوية المختلفة وعدم الاكتفاء بمادة قلوية واحدة، ومن أهم المواد القلوية: الصود الكاوي (الكوستيك)، السيليكات القلوية، الصابون والمنظفات ...الخ.

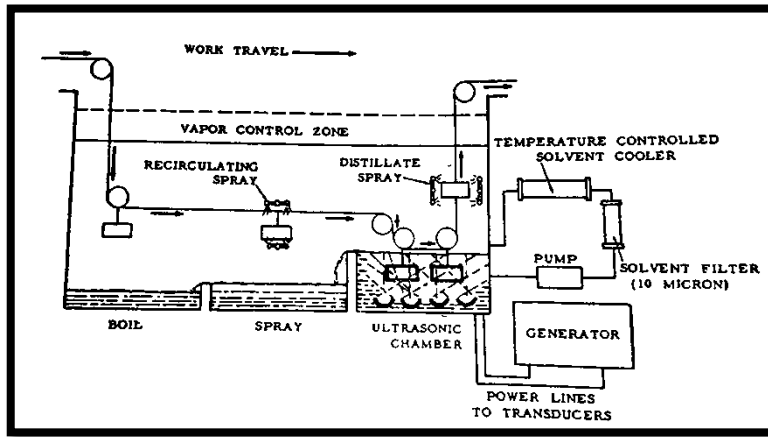
3-5-1-2 إزالة الشحوم بالمذيبات:

يزداد استخدام المذيبات العضوية في إزالة الزيوت والشحوم الموجودة على السطوح المعدنية، حيث طورت أجهزة جديدة تستخدم البخاخات، الأبخرة، السوائل الساخنة، والأمواج فوق الصوتية لتحسين فعالية هذه المذيبات وجعل استخدامها ممكنا في خزانات ثابتة وفي سيور متحركة وفي أغراض تنظيف خاصة كثيرة. عند المقارنة بين الطريقتين السابقتين القلوية والمذيبات فإنه يمكننا القول إن طريقة المذيبات اقتصادية أكثر في حالة القطع ذات الحجم المتوسط حيث أن النظام المستخدم هو سير متحرك عالي السرعة.

يجب أن تتمتع المذيبات المستخدمة في معالجة السطوح المعدنية بعدة صفات نذكر منها:

- أن تكون غير قابلة للاشتعال.

- أن تكون غير سامة.
 - أن تكون قدرتها على إزالة الشحوم كبيرة.
 - أن تكون ثابتة كيميائيا.
 - ألا تتفاعل مع المعادن.
 - أن تكون درجة غليانها أقل من 100 درجة مئوية وحرارتها النوعية صغيرة.
 - أن تكون أثقل من الهواء في الحالة البخارية وذات وزن نوعي كبير وتوتر سطحي صغير وهي في الحالة السائلة.
- يزداد استخدام الأمواج فوق الصوتية باضطراد لتنظيف المعادن حيث تغمس القطع في مذيب عضوي أو محلول منظم وتعرض للأمواج فوق الصوتية من مرتبة (16 - 45) كيلو سايل في الثانية كما هو مبين في الشكل (3-3).



الشكل (3-3) وحدة إزالة شحوم بالبخار والأمواج فوق الصوتية

3-5-2 إزالة الصدأ (إزالة القشرة)

تسمى هذه العملية بإزالة القشرة أيضا *descaling*, حيث يتم إزالة القشرة الأوكسيدية من على الحديد والسطوح الحديدية بواسطة الحموض أو المعاجين الحمضية أو بغمسه في أملاح منصهرة أو بواسطة الحك الميكانيكي. حيث أن طبيعة القشرة وسماكتها وتركيبها تتعلق بتركيب المعدن ذاته وتاريخه الحراري. فمثلا تتألف القشرة على

الفولاذ الكربوني العادي المؤكسد عند درجات حرارة عالية لمدة لا بأس بها من ثلاث طبقات من الأوكسيد: الطبقة الداخلية أوكسيد الحديدي (FeO)، الطبقة الوسطى هي أوكسيد الحديد المغناطيسي أو المغناتين (Fe₃O₄) والطبقة الرقيقة الخارجية هي الهيماتيت Hematite أو أوكسيد الحديد (Fe₂O₃) وهناك عدة طرق لإزالة هذه القشرة نذكر منها.

3-2-5-1- إزالة القشرة كيميائيا

وهي عملية المعالجة بالحمض حيث تدعى أيضا الحفر بالحمض acid Pickling وهي عبارة عن غمس المعدن في حمض ممدد حتى تصبح القشرة رخوة وقابلة للانحلال. عمليا يستخدم محلول حمض الكبريت % (5 - 10) عند درجة حرارة (65 - 88) درجة مئوية وباستخدام مثبت كاتودي لتقليل مهاجمة الحمض للمعدن، وهذه المثبطات تكون عادة مواد عضوية من الغراء والكوينولين وثيوريا والبيريدين والزيوت المسلفة ودي إيتيل أمين .

3-2-5-2- إزالة القشرة ميكانيكيا:

الحك الميكانيكي بهدف إزالة القشرة يتضمن طرقا عديدة مثل المواد الكاشطة , أوراق الجليخ، وغيرها. هذه الطرق ينشأ عنها خسران أكبر في المعدن وسطح أكثر خشونة من المعالجة الكيميائية، لكن حتى بالمعالجة الميكانيكية يمكن الحصول على سطوح ناعمة للمعادن الحديدية وغير الحديدية بطريقة السفح مثلا بكوارتز ناعم جدا من مرتبة (1250 - 325) ميش.

ومن ضمن الطريقة الميكانيكية توجد العمليات التالية:

- الجليخ

هي عملية هدفها إزالة العيوب من سطوح القطع بشكل ميكانيكي وهذه العيوب يمكن أن تكون زوائد على السطح، مكان اللحام، الصدأ. حيث تتم عملية المعالجة باستخدام أجهزة خاصة وباستخدام أحجار مكونة من حبيبات قاسية ومواد لاصقة

1. الصقل

يمكن صقل المعادن بطرق ميكانيكية أو كهربائية أو كيميائية. يعتبر الصقل الميكانيكي فن قديم وهو بعكس الطرق الكهربائية والكيميائية التي لا تسبب تغيراً فيزيائياً في السطوح فإنها يمكن أن تؤدي إلى زيادة في القساوة السطحية قد تبلغ 30 - 40%.

يستخدم الصقل والتلميع لإنتاج سطوح ناعمة ومتجانسة تمهيدا لطلائه بطلاء كهربائي له نفس مواصفاته كما يمكن لهذه العمليات أن تكون عمليات إنهاء على البرونز والنحاس الأصفر وغيرها. هناك طريقة أخرى تستخدم بالدرجة الأولى لإزالة خشونة السطوح والحواف الحادة لإضفاء لمعان وبريق على الأجزاء المعدنية والأجزاء الملبسة بالمعادن. هذه الطريقة هي طريقة التلميع بالكرات حيث تتم في برميل دوار مملوء بكرات أو مخاريط فولاذية صلبة ومحلول صابوني خاص وهناك عدة طرق للصقل نذكر منها:

- الصقل الميكانيكي

الصقل والتلميع عمليتان متشابهتان تقريباً حيث تتم عملية التلميع بعد عملية الصقل وذلك عندما نود إضافة لمعان عال أو لون معين على السطح المعدني. كلا العمليتين يستعملان دولاباً دواراً مصنوعاً في حالة الصقل من لباد وسطحها الخارجي مدهون بمادة حاكه مثل السنباذج حيث تلتصق بالسطح باستخدام غراء مناسب.

- الصقل الكهربائي

يتمثل الصقل الكهربائي في الحل الأنودي للنقاط الناتئة من سطح المعدن فنحصل بذلك على سطح ناعم ومتجانس. في بداية الأمر تم اكتشاف طريقة المعالجة الأنودية بالنسبة للفولاذ وذلك في حمض الفوسفور المركز، ثم تم تطوير عملية الصقل الكهربائي ليشمل كل المعادن الشائعة وباستخدام محاليل متنوعة. حيث يمكن إرجاع الخشونة الميكروية لسطوح الفولاذ النظيفة باختيار الأحواض وشروط التشغيل المناسبة، فمثلاً يمكن إرجاع خشونة السطح من 4 ميكرون إلى 0.3 ميكرون بالصقل الكهربائي.

أولى خطوات الحصول على سطح أكسيد عاكس على الألمنيوم هي عملية الصقل الكهربائي.

المعدن	المحلل	كثافة التيار	الحرارة	الزمن
حديد	٧٠٠ مل بلا ماء حمض الحل و ٢٠٠ مل حمض الكروم	٢٠٠ أمبير / دسم	٢٠ م	١٥ ثانية
المنيوم	١٠٠٠ مل حمض الفوسفور ٧٠٪ ٢٠٠٠ مل - ٥٠٠ مل اتيلين غليكول	١٥ أمبير / دسم	٩٥ م	٤ دقائق
نحاس دبراس	سيانيد النحاس ٣١ غ / ل سيانيد الزنك ٤٧ غ / ل سيانيد البوتاسيوم ١٢٦ غ / ل	٢ - ٨ أمبير / دسم	٢٥ - ٣٠ م	٢٠ ثانية
فضة	فضة (كمعدن) ٣٢,٨ غ / ل سيانيد البوتاسيوم ١٩,٥ غ / ل كربونات البوتاسيوم ٤١,٥ غ / ل	١,١ - ٢,٨ أمبير / دسم	طبيعية	٢٠ ثانية
زنك	١٦٠ غ أكسيد الكروم CrO_3 ١٠٠٠ سم ٣ ما (ينفس في ١٠٪ كرومات البوتاسيوم لمدة دقيقة وفي ٥٪ حمض كلور الماء لعدة ثوان بعد المعالجة الأنودية .	١٢٠ - ٢٣٠ أمبير / دسم	١٨ - ٣٠ م	٦٠ - ٩٠ ثانية
موليبدين تنقستن تنثالوم نيوبيوم	حمض الكبريت ٥٪ حمض فلور الماء ١,٢٥٪ في الميتانول	٤٤٠ - ٥٤٠ أمبير / دسم	طبيعية	٦ - ٢٠ ثانية

الشكل (3-4) محاليل الصقل الكهربائي (عزيمة، خليل 2012)

- الصقل الكيميائي

استخدمت محاليل عديدة لإزالة بقع الأكاسيد والسلفيدات والملوثات. حيث تتكون هذه المحاليل عادة من حموض تتفاعل بسرعة تاركة السطوح المعدنية مصقولة ومحفورة قليلا. هنا لا يطبق أي كمون كهربائي خارجي، وعوضا عن ذلك تقوم الخلايا الكهليلية الموضعية بتأمين الكمونات لإرجاع الطبقات السطحية من مخلفات التآكل. كما أن محاليل الحموض المؤكسدة القوية تميل إلى إزالة الاستقطاب في المناطق المهبطية مسببة بذلك زيادة في سرعة التآكل. يبين الجدول التالي أمثلة عن المحاليل المستخدمة في عمليتي الصقل والتلميع الكيميائي لبعض المعادن المعروفة .

المعدن	المحلول	درجة الحرارة	الزمن	ملاحظات
ألومنيوم	حمض الفوسفور ٤٧,٧٪ ، حمض الكبريت ٢٥٪ ، حمض الآزوت ٦,٤٪ ، حمض الخل ٦٪ ، نترات النيكل ٠,٣٪ ، ماء ١٢,٥٪ ، حمض الآزوت ٥٣٪ ، حمض فلور ١١,٥٪	أقل من ٩٠°م	٣٠ ثانية	صقل . نسبة أكبر من حمض الكبريت إلى حمض الفوسفور تؤدي إلى الحفر .
ألومنيوم ومزاجه	حمض الفوسفور ٣٧,٠ سم ، حمض الكبريت ٢٥ سم ، حمض الآزوت ٣ سم	٨٥°م	٢-٠,٢ دقيقة	صقل
النحاس	حمض الفوسفور ٣٣ سم ، حمض الآزوت ٣٣ سم ، حمض الخل الثلثي ٣٣ سم	٦٠-٧٠°م	١-٢ دقيقة	صقل

الشكل (3-4) المحاليل المستخدمة في عمليتي الصقل والتلميع الكيميائي (عزيمة، خليل 2012)

3-5-4 القذف بحبيبات من الرمل

تهدف هذه العملية إلى إزالة الصدأ والأوساخ والشوائب العالقة بالسطح بواسطة نفث الرمل باستخدام تيار هوائي مضغوط من (3 - 1.5) ضغط جوي من خلال قاذف خاص. حيث يجب استخدام الرمل الخالي من الرطوبة والزيت، يعطي استخدام الرمل نتائج جيدة على سطح القطع، كما يجب ضبط حجم حبيبات الرمل مع ضغط الهواء المستخدم وذلك بحسب سماكة المعدن المراد تنظيفه.

3-5-5 الفراشي المعدنية

تستخدم الفراشي المعدنية بغية تنظيف سطوح المعادن من الخبث الناتج عن عمليات الأكسدة، حيث يمكن استخدامها بالحالة الرطبة والجافة.

3-5-6 التنعيم

تستخدم هذه المرحلة بعد عملية الجلب حيث تستخدم فراشي دائرية على شكل أقفاص مصنعة من خيوط النايلون، حيث تطلى الفرشاة بمعجون يحتوي على مواد حاكه قاسية وناعمة جداً من السمبادج، كما يمكن استخدام غبار طبيعي من اوكسيد سيليسيوم قاسي جداً وغير متبلور حيث يستخدم هذا النوع في تحضير معجونة التلميع والجلب، كما يمكن استخدام أقراص من اللباد حيث تطلى حوافها بمعجونة تحتوي على حبيبات ناعمة من المواد القاسية.

7-5-3 التلميع

تستخدم هذه المرحلة بهدف تحويل سطح القطع المعدنية ليصبح عاكساً كالمرآة وذلك باستخدام أقراص كاللباد او القماش، حيث تطلّى أقراص التلميع بمعجونة خاصة، تستخدم هذه المرحلة لمعالجة السطوح المراد طلاؤها ولمعالجة السطوح المطلية (رمضان، عبد العزيز 1995).

الفصل الرابع: الطلاء

4-1 مقدمة

تصنع الكثير من المنتجات والأدوات والقطع الميكانيكية من المعادن المختلفة وسبائكها لما تتميز به من الصلابة وقوة التحمل، وبسبب خواصها الحرارية والكهربائية بالإضافة إلى سهولة تشكيلها عن طريق السبك والطرق والسحب والكبس وغير ذلك من طرق التشكيل.

ولكن الكثير من المعادن والسبائك مرتبطة بالعوامل الجوية الطبيعية، وعن طريق ملامستها لبعض المواد الكيميائية، فتدخل في تفاعلات كيميائية تؤدي إلى تآكلها، وتظهر على سطوحها قشور من مركبات لها تركيب وخواص مغايرة لتركيب وخواص المعدن نفسه. وبجانب هذا التآكل الكيميائي تتعرض المعادن أيضاً للتآكل الميكانيكي أو البري وهو فقد طبقات من سطح المعدن نتيجة احتكاكه بالأجسام الأخرى عند الاستعمال.

إن الهدف من عملية الطلاء بشكل أساسي هو تغطية سطح المعدن ذو القابلية الشديدة للتآكل بمعدن آخر مقاوم للتآكل، ويتحقق ذلك عن طريق وقاية المعدن الأصلي من التآكل، بالإضافة إلى حماية السطح من العوامل البيئية وذلك من خلال إنشاء سطح مقاوم للاهتراء أو لتغيير أبعاد السطح. بالإضافة إلى أغراض الوقاية، فإن هناك أيضاً غرضاً جمالياً، فغالبا طبقات الطلاء ما تحقق في نفس الوقت تجميل السطح وإظهاره بمظهر جذاب، وقد تكون عملية تجميل السطح هي هدف مقصود بذاته، كما هو الحال عند الطلاء بالذهب لأغراض الزينة.

إن مهمة تكنولوجيا الطلاء هي توفير الحماية السطحية والتشطيبات الزخرفية والعديد من الوظائف الخاصة للسلع والبضائع عن طريق الطلاء العضوي. مما يجعل العديد من المنتجات اليومية صالحة للاستعمال وبالتالي قابلة للبيع نتيجة المعالجة السطحية، ومن أجل تحقيق ذلك يجب الاهتمام بتركيبات الطلاء ذات الصلة، ومصانع إنتاجها، كما يجب ان تكون مواد الطلاء وعمليات الطلاء المناسبة للمنتج متاحة. كذلك يجب تحقيق الجودة المناسبة لعمليات الطلاء ومنتجاتها.

إن الاختبارات والمعالجات الجارية على الطلاء تهدف إلى تحسين الجودة والترشيد، التقليل من الآثار السلبية على البشر والبيئة. إن مجموع العوامل المؤثرة في المواد الطلائية وطرق تصنيعها وتطبيقاتها تؤخذ في

الحساب كإطار من أجل تعريف الظروف التي يتم فيها العمل وذلك ابتداءً من مرحلة التطوير إلى مرحلة التطبيق. لذلك تعتبر تكنولوجيا الطلاء من الموضوعات المتعددة الاختصاصات.

إن من أهم تطبيقات عملية الطلاء تأمين الحماية الفعالة للسطوح وهو أمر لا غنى عنه في قسم الهندسة المدنية، طلاء الفولاذ والخرسانة ومعالجة الأخشاب. حتى البلاستيك والجلود تتطلب الطلاء في كثير من الحالات. الورق الحديث، البلاستيك أو الصفائح المعدنية، ومواد التغليف والتعبئة لا يمكن تصورها بدون الحماية اللازمة والديكور المقدم بواسطة الطلاء.

إن الشركات المصنعة تطور وتقدم الدعم لمواد الطلاء للمستهلكين والذي بدوره يعدل المنتج أثناء معالجتها فيزيائياً، وفيزيائياً-كيميائياً وكيميائياً، وتحويلها بهذه الطريقة إلى قطع ميكانيكية صلبة، وفي الوقت نفسه إكساب الطلاء خاصية المرونة. ولقد تحقق نجاح كبير من قبل الشركات المصنعة في عمليات معالجة الدهانات والطلاء وتحقيق أعلى درجات السلامة والصحة المهنية.

4-2 مواد الطلاء

وفقاً للمعيار القديم DIN 55 945 أو المعيار الاوروبي القياسي DIN 971-1 الساري المفعول منذ عام 1996 م، وبموافقة عامة مع الخبراء الناطقين بالإنكليزية. يعتبر التصميم الصحيح للمواد من أجل الطلاء والتي تعطي السطح الحماية المناسبة من أهم الأمور التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار، كما تعتبر مواد الطلاء "الدهان" من جهة أخرى المصطلح القياسي لمواد الطلاء والتي تتضمن خصائص معينة. ففي اللغة الانكليزية العالمية مصطلح "الطلاء" غالباً ما يكون مطابقاً "الدهان"،

كذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار طبيعة الدهانات كمواد سائلة، معجون أو بودرة والتي يمكن من خلالها إنتاج طلاءات ذات ميزات بصرية مع ديكور زخرفي، وإذا لزم الأمر أيضاً خصائص تقنية محددة. تجدر الإشارة إلى أن العديد من المصطلحات في الاستخدام العام مثل "الورنيش" تختلف في شروطها عن الشروط المحددة في المعايير الدولية، وبالتالي فإن الدهانات تعتبر جزء واحد فقط من الطبقة الكبيرة من مواد الطلاء، ولكن مع ذلك يجب أن تلي مجموعة واسعة من المتطلبات المختلفة للغاية.

يمكن تقسيم المواد الطلائية وفقاً لمبادئ مختلفة وذلك وفقاً لـ:

- وظيفة الطلاء (طبقة أو غلاف نظيف، الطلاء المعدني، الطلاء الصلب).
- طبقة معينة من نظام الطلاء (الأولية التمهيدية، التمهيدية السطحية، الطبقة العلوية).
- الهدف من الطلاء (طلاء السيارات، طلاء زخرفي، طلاء صناعي).
- حسب درجة تناسبها وتوافقها البيئي (الدهان ذو الأساس المائي، دهان عالي الصلابة، نظام العلاج بالإشعاع، طلاء على شكل بودرة).
- حسب كيمياء أداة تشكيل الغشاء (طلاء راتنج الألكيد، طلاء راتنج الأكريليك، نترات السليولوز).
- حسب ظروف المعالجة (طلاء قابل للعلاج بالأكسدة) لتسمية معايير التصنيف الرئيسية.

إن اختيار مواد الطلاء الصحيحة من أجل الأداء الأمثل تعتمد بشكل أساسي على متطلبات الجودة، شروط التطبيقات المحددة، عمليات المعالجة، وخصائص التصميم والمواد المختلفة للجزء المراد طلاءه. يجب أن تحقق جميع مواد الطلاء، وبالرغم من اختلاف استخداماتها، الحماية الميكانيكية والكيميائية المطلوبة للجزء المراد طلاءه. حيث أن شكل الأداء بالنسبة للمواد الطلائية يجب أن يتم تعديله ليس فقط بالنسبة للتطبيقات بل وأيضاً لتشكيل ركيزة وأساس الغشاء، إن الطلاء أو الدهان المنهي حديثاً بواسطة مسدس الرش مثلاً يجب أن يحمل انسيابية كافية بحيث تغلق جميع المسامات في الوقت نفسه، أو في وقت لاحق بحيث يجب أن تتعادل القمم والمنخفضات في سطح الغشاء الناجمة عن التطبيق. كذلك تعتبر اللزوجة والتوتر السطحي من أهم معايير الطلاء الواجب أخذها بعين الاعتبار. كذلك فإن المؤثرات الخاصة مثل اللمعان المنهي بشكل عال، الانعكاس الموجه (التأثير المعدني) يجب أن يتم تحقيقه.

4-3 خصائص الطلاء

يجب أن يتميز الطلاء المقاوم للتآكل بالكثير من الخصائص الأساسية. حسب نوع الطلاء المستخدم، ولكن هناك العديد من المواصفات المطلوب تحقيقها من قبل جميع مواد الطلاء ومن أهم هذه الخصائص نذكر ما يلي:

4-3-1 مقاومة الماء

ربما تكون مقاومة الماء من أهم مميزات الطلاء بما ان أغلب مواد الطلاء سوف تتلامس مع الرطوبة. فالماء هو مذيب شامل. وكل من معدني الحديد والفولاذ يتأكسد تحت وجود أجواء الماء العادية. حيث لا يمكن أن يتوفر طلاء واحد يكون فعالاً تحت كل ظروف المياه. حيث أن الأنواع المختلفة من الماء تواجه وتتعرض لمشاكل ميكانيكية كثيرة. فمثلاً مياه المستنقعات سوف تسبب التآكل لكل من الفولاذ والأسمنت (الخرسانة)، كبريتيد الماء السائد في العديد من المناطق يتفاعل بسهولة مع المعادن، مياه البحر ذات الموصلية العالية تؤدي إلى تشكيل مناطق ذات أقطاب سالبة وموجبة على الفولاذ مما يؤدي إلى تآكل حاد، الماء النقي من الثلج يؤدي إلى تحلل الكالسيوم من الخرسانات بمعدل سريع، مسببة الخطر لكامل للخرسانة. المياه التي تحتوي على نسبة عالية من الأوكسجين سوف تُنشئ أيضاً أقطاب سالبة وموجبة مؤدية إلى تآكل هذه المناطق.

من أجل طلاء عالي الأداء في مقاومة التآكل يجب ان يكون هذا الطلاء ذو مقاومة عالية للماء أي انه لا يجب فقط تحمل الغمر المستمر في الماء أو مياه البحر، ولكن يجب أن يقوم الطلاء بذلك من دون ظهور فقاعات، أو تسكير أن تلين أو انتفاخ أو فقدان الالتصاق. ويجب أيضاً أن يتحمل دورات متكررة من الظروف الرطبة والجافة، لأن هذه الطلاءات تتعرض عادة لجو من الندى الكثيف في المساء وساعات الليل وتجفيف خلال النهار (أي تغيرات متباعدة جداً يومياً).

4-3-2 المقاومة الكيميائية

المقاومة الكيميائية هي قدرة الطلاء، وخاصةً الراتنجات التي صيغت منها لمقاومة الانهيار الناتج عن عمل المواد الكيميائية التي يتعرض لها الطلاء. فالمقاومة الكيميائية تعتمد على كل من صيغة الطلاء وعلى الراتنجات التي يتم إنتاج الطلاء منها. عموماً، الطلاء الذي يعتبر مقاوماً للمواد الكيميائية والتي سيتم استخدامه يجب أن يكون مقاوم للتآكل في جو كيميائي يوجد فيه أملاح، الأحماض والقلويات والتي تملك نطاق واسع للغاية من درجة الحموضة PH. وينبغي أيضاً أن تكون مقاومة للمواد العضوية مثل زيت الديزل، البنزين، زيت التشحيم، وماشابهها من المواد، لأن هذه هي المركبات موجودة في معظم العمليات الصناعية العنيفة.

4-3-3 الالتصاق السليم

يجب أن يكون الطلاء مقاوماً بحيث يحافظ على التماسك والالتصاق الشديد بالمادة. وبما أن خاصية الالتصاق أمر ضروري في منع آثار الماء خلال عمر الطلاء وفي منع المشاكل التي يسببها التغير في درجة الحرارة عبر الطلاء، وربما يكون الالتصاق هو مفتاح شرطي مقاوم للتآكل. بغض النظر عن معظم الخصائص الأخرى، فإن الطلاء الذي يحقق الالتصاق القوي جداً على السطح سوف يؤدي إلى الحفاظ على سلامتها لفترة أطول من الطلاء الذي يحقق التصاق أقل.

4-3-4 مقاومة التآكل

الطلاءات، التي يتم تطبيقها على السفن، المروحيات، الأحذية، المنصات البحرية، ومناطق أخرى مماثلة، هي أمثلة ممتازة لما تتطلبه العديد من مواد الطلاء المقاوم للتآكل. ففي هذه المناطق، الطلاء يخضع لحركة المعدات الثقيلة، حركة السير على الأقدام، وحركة العجلات المصحوبة بالاحتكاكات الكبيرة، وحركة الأدوات والمعدات. ولتحمل هذا النوع من الخدمة وبقاء فعالية المقاومة للتآكل بالنسبة لغطاء الطلاء، يجب أن يكون الطلاء قاسي، ملتصق للغاية وشديد المقاومة للصدمات. حيث يعتبر الطلاء العضوي الأكثر فعالية للتآكل هو طلاء البولي يوريثين والذي يملك مقاومة استثنائية ضد التأثيرات، وأيضاً طلاءات الزنك، والتي تمتاز بالتصاقها الجيد بالسطح الصلب وبسبب تركيب سيليكات الزنك. فقد تم تطبيقها على السفن والبوارج.

4-3-5 القدرة على التمدد والتقلص

كل مادة طلاء لها معامل تمدد مختلف، أي أن الطلاء الذي يتعرض للظروف المسببة للتآكل، يجب أن يكون أيضاً لديه القدرة على التمدد والتقلص. فالإيبوكسي أو الألكيدات ربما تتوقف عن التمدد أو التقلص بعد فترة خدمة طويلة. كما يمكن أن يؤدي التمدد والتقلص إلى تكسير السطوح مع مرور الوقت. يجب أن يتحمل الطلاء تغيرات درجات الحرارة دون فقدان الالتصاق وبدون تشقق أو تصدع. وقد اثبت طلاء الزنك غير العضوي أن له مقاومة استثنائية لمثل هذه التغيرات.

4-3-6 مقاومة العوامل الجوية

يجب أن يتحمل الطلاء تغيرات الطقس والمناخ، أشعة الشمس، المطر، الثلج، قطرات الندى، التجمد، الذوبان، تمدد أو انكماش المادة المطلية، والأبخرة الكيميائية والغبار، وكذلك الرطوبة والجو الجاف المستمرين على مدار

اليوم، فمقاومة الطقس تجمع تقريباً جميع الخصائص المطلوبة لاستخدامات الطلاء. حيث يجب تحقيق تلك الشروط دون مراقبة مفردة، ودون تغيير اللون ومقاومة الالتصاق.

4-3-7 سهولة التطبيق

التطبيق هو واحد من أهم خصائص الطلاء التي يجب تحقيقها، لاسيما عند التعامل مع العديد من الهياكل، الحواف، الطرقات، أماكن الاستراحة، ومناطق مماثلة، وعند صعوبة تطبيقه فتكون هذه المناطق هي المعرضة للانهيال نتيجة التآكل الجوي.

4-3-8 مقاومة درجات الحرارة العالية

تخضع جميع المواد الطلائية لدرجات الحرارة وتغيراتها، حيث من الممكن أن تشكل درجة الحرارة عاملاً رئيسياً في الطلاء الخارجي لأوعية العمليات، ولأغراض أخرى مماثلة. حيث يتم استخدام الطلاء في درجات الحرارة الباردة بشكل مفرد مع ضرورة مراعاة للخصائص العامة الثلاثة والمتمثلة بالالتصاق، الانكماش، التقصف.

4-3-9 مقاومة الإشعاع

استخدمت الطاقة الذرية وطلاءات الطاقة الذرية على نطاق واسع لحماية مختلف المواد والمصادر بما في ذلك الخرسانات والفولاذ، والفولاذ المقاوم للصدأ، وغيرها من التلوث الإشعاعي كما أنه يجب أن يكون الطلاء قادر على الصمود في وجه كميات متفاوتة من الإشعاع.

4-3-10 مقاومة الاحتكاك

بعض المواد الطلائية تخضع للاحتكاك، ولاسيما التي تستخدم كسطح بين مقطعين من المعدن أو تثبيته لتشكيل مفصل احتكاك. وقد أثبت لطلاء غير العضوي أنه مقبول بشكل كبير في ظل هذه الظروف في حين أن معظم المواد الطلائية العضوي غير مقبولة في مقاومة الاحتكاك.

4-4 اختبارات ASTM المستخدمة في طلاء الأسلحة

- أنواع اختبارات ASTM الشائعة في مجال الأسلحة

اختبارات ASTM تلعب دوراً مهماً في صناعة الأسلحة. تتضمن هذه الاختبارات جودة، أداء، وسلامة الأسلحة. سنستعرض الأنواع الأكثر أهمية لهذه الاختبارات وكيفية استخدامها. من الأنواع الشائعة لاختبارات ASTM في هذا المجال:

- اختبارات التحمل لقياس قوة ومتانة المواد المستخدمة في الأسلحة، مثل اختبارات الانضغاط والانحناء والصدأ وسماكات الطلاء.
 - اختبارات الأداء لتقييم كفاءة الأداء، مثل اختبارات الدقة والنطاق والتسارع.
 - اختبارات السلامة لضمان السلامة والأمان، مثل اختبارات الاحتراق والانفجار والصدمات.
- هذه الاختبارات تساعد في تحديد مدى توافق الأسلحة مع المعايير والقوانين. وبالتالي، تضمن جودة المنتج وسلامة المستخدمين الشكل (1-4).



الشكل (1-4): اختبار السلامة والأمان للأسلحة

"اختبارات ASTM هي الركيزة الأساسية لضمان جودة وسلامة الأسلحة في جميع مراحل التصنيع والاستخدام".

1-4-4 اختبار الرذاذ الملحي للصدأ ASTM :

اختبار الرذاذ الملحي للصدأ ASTM هو طريقة شائعة لتقييم مقاومة الطلاء للتآكل. يحدد هذا الاختبار مدى تأكل الطلاء تحت ظروف تعرض شديدة للملوحة والرطوبة. إن المواصفات الدولية المطبقة تشمل ASTM B117 و ISO 9227. مراحل الاختبار تشمل إعداد العينات وتنفيذ الاختبار وفق ظروف محددة وبالتالي فإن نتائج الاختبار تساعد في تحديد مستويات التآكل والتصنيف.

- ما هو اختبار الرذاذ الملحي للصدأ ASTM ؟

اختبار الرذاذ الملحي للصدأ ASTM يُستخدم لقياس مدى مقاومة الطلاء للصدأ والتآكل. يتم تعريض العينات لرذاذ مائي مالح تحت ظروف محكمة. هذا يساعد في معرفة مدى استدامة المواد ومدى قوتها.

- نظرة عامة على الاختبار

في اختبار الرذاذ الملحي، يتم رش العينات برذاذ مائي مالح. يتم مراقبة التآكل والصدأ على العينات لتحديد مدى استدامتها.

- الأهداف والفوائد

اختبار الرذاذ الملحي للصدأ ASTM يهدف لتحقيق عدة أهداف:

- تقييم مقاومة التآكل: يقيّم قدرة الطلاء على التغلب على التآكل والصدأ.
- تحديد العمر الافتراضي: يُستخدم لتنبؤ بالعمر الافتراضي للمنتجات.
- ضمان الجودة: يضمن جودة المواد المستخدمة في الصناعة.
- دعم التطوير والابتكار: يوفر بيانات لتحسين المواد والمنتجات.

في النهاية، اختبار الرذاذ الملحي للصدأ ASTM يُعتبر أداة مهمة. يساعد في تحسين جودة المواد وتحسين أدائها في البيئات القاسية.

4-4-2 قياس ثخانة الطلاء:

بالإضافة إلى الجاذبية البصرية، فإن اختيار مواد الطلاء وتقنية التطبيق مهمة لتحقيق الحماية الطويلة الأمد للمنتجات. بالنسبة لجميع المتطلبات المقدمة من الطلاء هناك سمك أمثل لطبقة الطلاء. حيث أنه من المرغوب به وجود سماكة عالية وذلك لضمان تدفق جيد، الحماية الجيدة من بخار الماء والغازات وتشكيل الغطاء البصري للركيزة الأساسية للمعدن. ومع ذلك يمكن أن يسبب زيادة سماكة طبقة الطلاء تدهور في الخصائص الفيزيائية

والتكنولوجية. ويعتبر تحديد سماكة طبقة الطلاء المثلى وتوزعها من الأولويات الهامة لضمان جودة الطلاء. ونتيجة لحالة عدم تجانس السماكات لطبقة الطلاء على ركيزة المعدن المراد طلاؤه، فمن الصعب إعطاء بيان دقيق عن سماكة الطلاء المستخدمة. يمكن بكل الاحوال أن يتم تحديد سماكة الطلاء كقيمة متوسطة تتعلق بطريقة القياس والخشونة.

ويتم تحديد مقياس سماكة طبقة الطلاء في المعايير الصناعية كـ "DIN EN ISO" والعديد من معايير الـ ASTM. حيث يمكن تقسيم طرق قياس سماكة طبقة الطلاء إلى طبقات جافة وطبقات رطبة، وفي بعض الحالات يمكن استخدام كلا الحالتين معاً. ويمكن فصل طرق سماكة الطبقات الجافة إلى طرق ضارة وغير ضارة.

4-4-3 جهاز فحص سماكة الطلاء

هو جهاز يُستخدم لقياس سمك الطلاء على سطح معين. هذه الأدوات تساعد في تحديد سماكة الطلاء بدقة وفي مختلف المجالات مثل الصناعة والسيارات والعديد من التطبيقات الأخرى. تعتمد طريقة عمل جهاز فحص سماكة الطلاء على أسس فيزيائية مثل استخدام التحديد المغناطيسي أو التيارات الدوامية لقياس السمك بدقة.

التحديد المغناطيسي

أحد الطرق الشائعة لقياس سمك الطلاء يتضمن هذا المبدأ استخدام مستشعر يحتوي على حقل مغناطيسي يتفاعل مع الطبقة الأساسية والطلاء. يقيس التغير في قوة الحقل المغناطيسي، والتي ترتبط بسمك الطلاء.

التيارات الدوامية

يعتبر أحد المبادئ المستخدمة على نطاق واسع حيث يُشع جهاز استشعار تياراً متناوباً يُنشئ حقلاً مغناطيسياً. عند وضع الجهاز بالقرب من طلاء موصل، يتم إحداث تيارات دوامية. يقيس الجهاز التغيرات في هذه التيارات، مما يوفر معلومات عن سمك الطلاء.

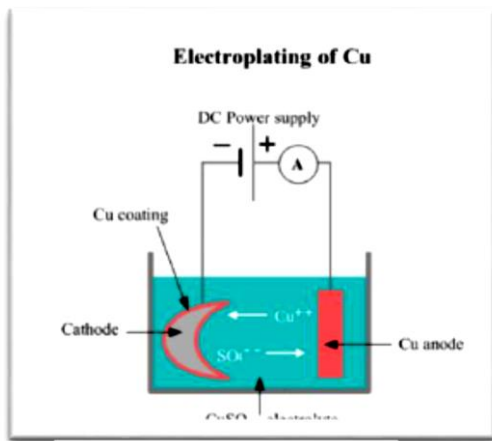
لفحص سمك الطلاء على المواد البلاستيكية، يُستخدم جهاز قياس السمك بأشعة السينون. يتم وضع الجهاز على سطح المواد البلاستيكية المغلفة بالطلاء، ومن ثم يُرسل إشارات موجات فوق صوتية تعكس عن سطح الطلاء والمادة الأساسية. بناءً على الاختلاف في العودة في الموجات فوق صوتية، يتم حساب سمك الطلاء.

4-5 بعض طرق طلاء المعادن

4-5-1 الطلاء الكهربائي Electroplating

تعتبر عملية الطلاء الكهربائي أحد أشهر العمليات المستخدمة في معالجة وطلاء سطح المنتجات المعدنية. وهي تعتمد على ترسيب طبقة من معدن على آخر. ومن المعادن المترسبة بهذه الطريقة (الذهب وسبائكها - الفضة وسبائكها - النيكل وسبائكها - النحاس وسبائكها - القصدير - الزنك - الكروم) وتستخدم هذه الطريقة لأغراض متعددة، من أهمها مقاومة التآكل وتحسين المظهر الجمالي.

وتتميز عملية الطلاء الكهربائي بعدة خصائص منها :



- الحماية من التآكل.
- اضافة قيم جمالية بتحسين المظهر.
- بساطة التطبيق.
- قلة التكاليف .
- تحسين الخواص الميكانيكية لسطح المنتج، (الصلاد، مقاومة الاحتكاك) .

الشكل (4-2) عملية الطلاء الكهربائي

أما عن أهم عيوبها فتتمثل في :

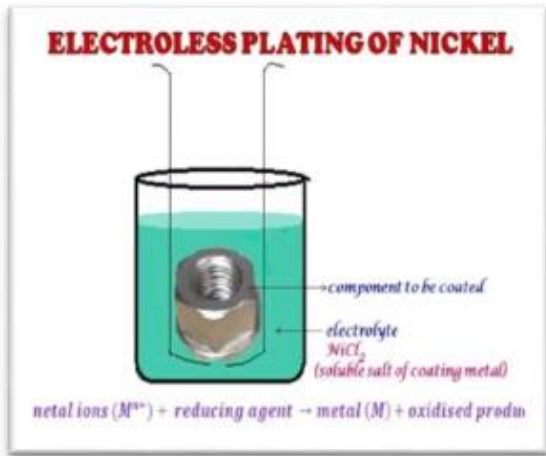
- صعوبة طلاء الأشكال الهندسية المعقد.
- خطورة هشاشة الهيدروجين في طبقات الطلاء
- تسبب بعض المشاكل البيئية.
- العملية قد تستغرق وقتاً طويلاً

4-5-2 الطلاء الكهربيائي Electroless Plating :

هذه طريقة أخرى لطلاء المعادن لكنها لا تحتاج إلى تطبيق التيار الكهربائي لأنها تعتمد على التفاعلات الكيميائية في تحفيز واختزال الأيونات المعدنية وتتكون محاليلها من أيونات المعدن وعامل مختزل ومواد كيميائية أخرى.

وتتميز عملية الطلاء بدون كهرباء بعدة خصائص منها :

- ذات سماكة منتظمة على كل أجزاء المنتج، وإن كان الشكل معقد .
- تطبق على معظم المعادن وبعض الخامات غير الموصلة.
- ذات طبقات لها مقاومة ممتاز ، للتآكل والاحتكاك وصلادة عالية.
- لا تحتاج لدرجات حرارة عالية عند التطبيق.



أما عن أهم عيوبها فتمثل في :

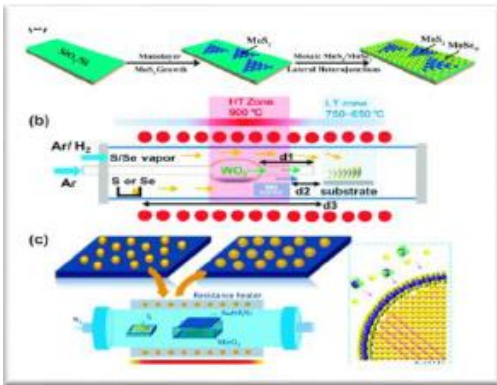
- تحتاج العملية إلى تحكم دقيق لضبط درجات الحرارة والعوامل الأخرى.
- طبقات الطلاء بها نسبة مرتفعة من الهيدروجين فهي تحتاج إلى معالجة بعد التطبيق لزيادة قوة الالتصاق بالمنتج واختزال الإجهاد الداخلي لطبقة الطلاء .
- ارتفاع تكلفة التطبيق.

الشكل (4-3) عملية الطلاء بدون الكهربائي

4-5-3 الترسيب بالتبخير الكيميائي (CVD) Chemical Vapor Deposition

هي عملية يتم فيها تفاعلات كيميائية لتحويل جزيئات الغاز إلى الحالة الصلبة لترسيب طبقات رقيقة

على سطح المنتج من المواد المعدنية (الومنيوم - نحاس - تنجستن) أو الغير معدنية (نيتريد السليكون -



السليكون - ثاني أكسيد السليكون - نيتريد التيتانيوم)

وهي مستخدمة في عمليات الإنتاج الكمي وخاصة في

الأجزاء التي تحتاج إلى طبقات صلدة.

وتتميز عملية (CVD) بعدة خصائص منها :

- قوة التصاق ممتازة لطبقة الطلاء بسطح المنتج

أو الأجزاء المطلية .

الشكل (4-4) عملية الترسيب بالتبخير الكيميائي CVD

- طبقات الطلاء ذات صلادة عالية جدا.

أما عن أهم عيوبها فتتمثل في:

- التشوه في طبقة الطلاء أحياناً.
- صعوبة طلاء المنتجات والأجزاء ذات الحواف الهندسية الحادة.
- صعوبة التخلص من النفايات الغازية للعملية.

4-5-4 الترسيب بالتبخير الفيزيائي (PVD)

هي تقنية مستخدمة لترسيب طبقات رقيقة من مواد مثل (ألومنيوم- نحاس- كوبالت - نيكل - تيتانيوم - كروم

قصدير.....الخ) على سطح المنتج . وهي تعتمد على تبخير المعدن في بيئة مفرغة من الهواء ثم تكثيفه

للحالة الصلبة كطبقة رقيقة على سطح المنتج .

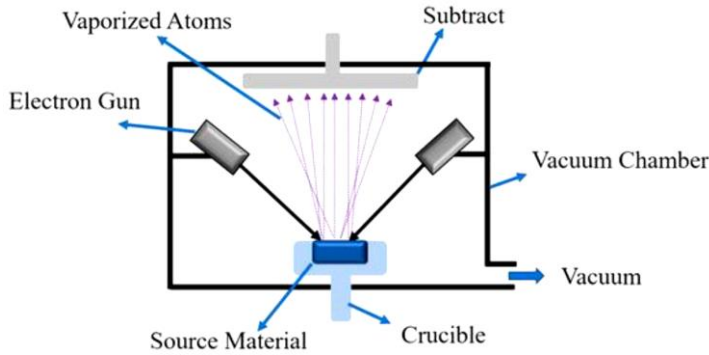
وتتميز عملية (PVD) بعدة خصائص منها :

- الطلاء سميك وله قوة التصاق كبيرة
- بسطح المنتج أو الأجزاء المطلية.
- انخفاض درجات حرارة تشغيل العملية
- إمكانية ترسيب العناصر النقية
- والمركبات و السبائك.

أما عن أهم عيوبها فتتمثل في:

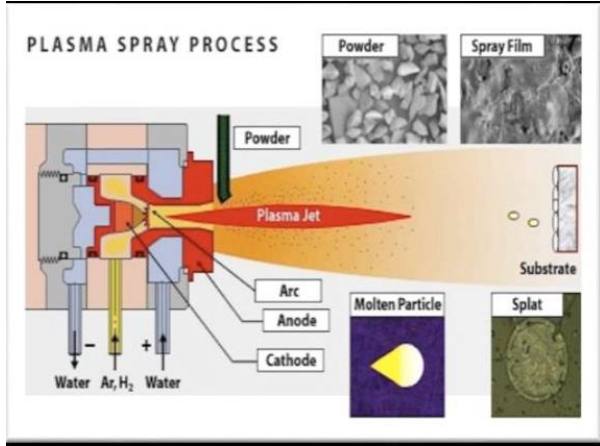
- انخفاض معدل نمو طبقة الطلاء .لكون عملية (PVD) بطيئة نسبياً.
- تجانس سماكة الطلاء يعتمد على الشكل الهندسي للمنتج.
- تحتاج العملية إلى آلات معقدة وأنظمة دقيقة وفنيين بدرجة مهارة عالية.
- التكلفة الكبيرة للآلات وأنظمة التشغيل.

5-5-4 الطلاء بالرش بالبلازما plasma spray coating :



الشكل (4-5) عملية الترسيب بالتبخير الفيزيائي PVD

وهي تقنية مستخدمة لترسيب طبقات رقيقة من المواد على سطح المنتج تعتمد على تحويل المادة إلى الحالة الرابعة لها وهي البلازما من خلال أجهزة ومعدات خاصة ثم رشها كطبقة رقيقة على سطح المنتج.



وتتميز عملية الرش بالبلازما بعدة خصائص

منها :

- هناك مجموعة كبيرة من مواد الطلاء التي تلبي الاحتياجات المتنوعة والمختلفة لسطح المنتج.
- طبقات الطلاء عالية الجودة ذات

خصائص متعددة.

- يمكن طلاء أنواع عديدة من الخامات، بما في ذلك المعادن والسيراميك والبلاستيك والزجاج والمواد المركبة باستخدام رش البلازما.
- درجة الحرارة العالية لطلاء البلازما يجعلها مناسبة لطلاء كل من المعادن الحرارية والسيراميكية، بما في ذلك التنغستين.

- يعد الطلاء بالبلازما عملية مستقرة وموفرة على نطاق واسع.

أما عن أهم عيوبها فتتمثل في :

- معدات الطلاء بالبلازما عادة ماتكون مكلفة جداً مع صعوبة الاستخدام.
- من الصعب طلاء الثقوب الداخلية بأقطار صغيرة أو الوصول إلى جميع سطح المنتج.
- عادةً ما يتلف مسدس رش البلازما محدثاً تدهوراً سريعاً في الأقطاب والمكونات الداخلية الأخرى وهذا يؤدي إلى استبدال متكرر للأقطاب والحاجة إلى مراقبة الجودة للحفاظ على تجانس طبقة الطلاء.
- يمكن أن تؤد درجات الحرارة المرتفعة المرتبطة بالبلازما إلى تحلل كربيد أو أكسدة عالية عند الرش في الهواء، مما يعطي طلاءات كربيدية بصلادة منخفضة.

- الجهاز غير مناسب للتشغيل اليدوي ويتطلب استخدام أجهزة تحكم آلي (2019www.twi.co.uk).

4-5-6 رش المساحيق بالكهربية الساكنة (الإلكتروستاتيك Electrostatic Spraying)

هي عملية تغطية جافة لأسطح المنتجات المعدنية بصورة عامة والحديدية بصورة خاصة ويستخدم فيها جزيئات ناعمة جدا من الصبغات والراتنجات المشحونة كهروستاتيكيا ثم ترش على المنتجات، وتلتصق الجزيئات الصغيرة المشحونة بسطح المنتج بصهرها وإذابتها كطبقة متجانسة في أفران المعالجة الحرارية. وتتكون طبقات الطلاء ببودرة البلاستيك من الراتنجات الصلبة وصبغات وبعض الإضافات التي تختلط وتذوب معاً بتأثير الحرارة لتتجانس وترتبط ببعضها مكونة طبقة طلاء صلبة ومتماسكة.

وتتميز عملية الطلاء ببودرة البلاستيك (الإلكتروستاتيك) بعدة خصائص منها :

- طبقة الطلاء سميكة جدا بالمقارنة بعمليات الطلاء الأخرى المشابهة.

- ليس لطبقات الطلاء أي انبعاثات عضوية .

- مسحوق الطلاء الزائد أثناء الرش يمكن إعادة

استخدامه مرة أخرى وبالتالي فليس هنا أ فاقد

في الخامات.

- خطوط إنتاج الطلاء بالمساحيق تنتج، نفايات

أقل خطورة بكثير من الطلاء بمواد تحتوي على

مذيبات.

- طبقة الطلاء صلبة، ومضادة للخدش ومقاومة لبيئات التآكل المختلفة .

- التجهيزات الأساسية وتكاليف التشغيل أقل تكلفة من الطلاء بمواد بها مذيبات.

- الطلاء ببودرة البلاستيك قد ينتج، بمظهر مختلف في بعض التأثيرات مثل (اللون- الملمس -اللمعان)

ويتم تطبيقها بسهولة بينما يصعب تحقيق ذلك مع العمليات الأخرى.

أما عن أهم عيوبها فتتمثل في :



الشكل (4-7) عملية الطلاء ببودرة البلاستيك

- صعوبة طلاء الأشكال المعقدة وخاصة الثقوب الصغيرة من المنتجات، بحيث يتطلب رش المسحوق الكهروستاتيكي تعديل العملية أو الإصلاح اليدوي.
- التكلفة العالية لمعدات الطلاء بالمسحوق الكهروستاتيكي .
- رذاذ المسحوق يتطلب صيانة دقيقة للمرشحات لعدم حدوث صدمة أو تفريغ عالي للجهد أو حتى حدوث حريق.

4-5-7 الطلاء بالتحويل الكيميائي Conversion Coatings

ويتم عمل طبقات الطلاء التحويلية بمعالجة المعدن - بالغمر أو بالدهان - بمحلول كيميائي بحيث يتم التفاعل بين المحلول الكيميائي والمعدن فتتكون مادة جديدة شديدة الالتصاق بالمعدن نفسه وفي نفس الوقت واقية وحامية ومغلقة له ومن أهم طرق عمل طبقات الطلاء بالتحويل الكيميائي:

4-5-7-1 الأنودة Anodization

وهي أشهر عملية طلاء بالتحويل الكيميائي ويقصد بها تقوية طبقة الأكسيد على سطح الألومنيوم وسبائكه وإذا أضيفت صبغة مناسبة إلى حمام ساخن يوضع فيه الألومنيوم بعد أكسدة سطحه أعطته الألوان المعروفة للألومنيوم المؤكسد، إذ أنه من المعروف أن الألومنيوم يكون عند تعرضه للجو طبقة رقيقة من الأكسيد على سطحه يعزي إليها قدرته العالية على مقاومة التآكل الكيميائي ومن ثم فإن تقوية هذه الطبقة الرقيقة من الأكسيد يساعد على الإبقاء على هذه المقاومة العالية.

وتتميز عملية الأنودة بعدة خصائص منها :

- تنتج طبقة طلاء صلبة جداً.
- طبقة الطلاء غير سامة وغير ملتصقة بالطعام في أواني الطهي .
- الطلاء لا يتفاعل مع معظم البيئات وخاصة الأحماض العضوية .
- طبقة الطلاء سهلة التنظيف .

أما عن أهم عيوبها فتتمثل في :

- ارتفاع تكلفة التشغيل.
- طبقة الطلاء لا تتحمل درجات الحرارة العالية.
- طبقات الطلاء لا تتحمل الاحتكاك بمواد صلبة.

4-5-2 الفسفة Phosphating :

الفسفة هي عملية لمعالجة الصلب والزنك والألمنيوم والقصدير والكاديوم بالتحويل الكيميائي، حيث يعامل المعدن بمحلول يحتوي على بعض الفوسفاتات في حامض الفوسفوريك ، عند درجة حرار، 100 - 28 م. ومن الممكن استعمال فوسفات الحديد أو الزنك أو المنغنيز على أن يكون هناك بعض من حامض الفوسفوريك طليقاً في المحلول لضمان ذوبانها، ويتفاعل الحامض مع الصلب ويذيبه وينشأ عن هذا التفاعل ترسيب فوسفات الحديد على سطح المعدن. ويتباين طلاء الفسفة من حيث السمك والبناء البلوري حسب تركيب المحلول ويكون هذا الطلاء دائماً مسامياً ذا قابلية للامتصاص

وتتميز عملية الفسفة بعدة خصائص منها :

- تقي السطح من التآكل الكيميائي (التفاعلي)
- تكون طبقة أساسية للدهانات العضوية .
- تساعد على الاحتفاظ بالمزلاقات (نظراً لخاصية المسامية، التي تتمتع بها.
- تزيد من مقاومة السطح للتآكل الميكانيكي .
- تشكل طبقة ماصة للزيوت المانعة للصدأ، وللشموع.



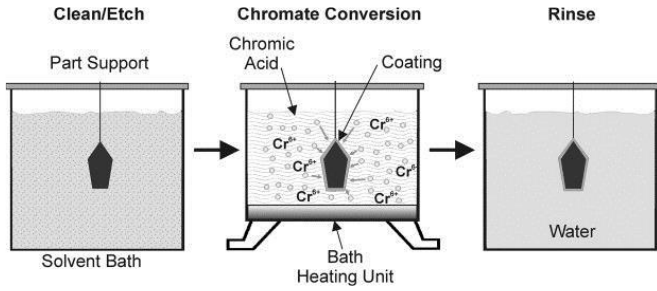
الشكل (4-8) عملية الفسفة

أما عن أهم عيوبها فتتمثل في :

- تتغير طبقة الطلاء من حيث اللون عند درجات الحرار، التي تزيد عن 300 درجة مئوية.
- تبدأ طبقة الطلاء في التقشر والانفصال عن سطح المعدن الأساسي عند درجة حرارة 400 م.

4-5-8 الطلاء بالكرومات Chromating :

يمكن طلاء الزنك والومنيوم والمغنسيوم والكاميوم وكذلك النحاس وسبائكه بطبقة طلاء من الكروم، حيث تتفاعل



الكرومات مع محلول حمضي فيترسب الكروم

على المنتجات فيعطيها هذا الطلاء المقاوم للتآكل

الكيميائي. كما تستعمل هذه العملية أيضاً في

إعداد السطح لاستقبال الدهانات العضوية حيث

يعمل على تحسين تلاصق الدهانات مع السطح

الشكل (4-9) عملية الطلاء بالكرومات

ويمكن لهذه العملية أن تتم إما بالغمس أو الرش أو التحليل الكهربائي في المحلول المحتوي على الكرومات.

وتتميز عملية الطلاء بالكرومات بعدة خصائص منها :

- نقي السطح من التآكل الكيميائي (التفاعلي).
- تكون طبقة أساسية للدهانات العضوية .
- تزيد من مقاومة السطح للتآكل الميكانيكي .

أما عن أهم عيوبها فيتمثل في :

- الأثر السلبي لاستخدام ايونات الكروم على البيئة.

4-5-9 الطلاء بالسيراميك في المحاليل المعلقة الغروية Sol-Gel

عملية الغمر في محلول غروي (جيلاتيني) هي طريقة كيميائية تستخدم لتطبيق المواد السيراميكية في درجات

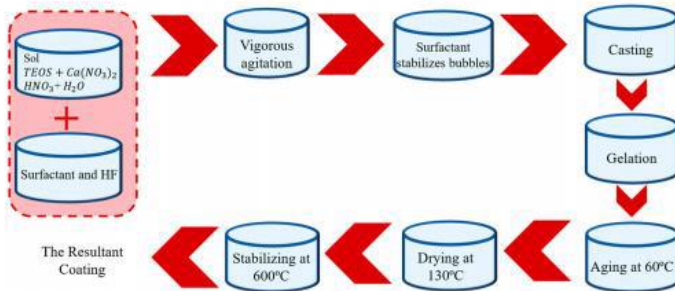
حرارة منخفضة نسبياً، بناءً على المعالجة الكيميائية للمواد الرطبة.

وغالباً لا يتم تعريف مصطلح sol-gel بصورة دقيقة ولكنه يتضمن التجهيز الكيميائي للمواد السائلة مع مواد غير

ذائبة بطرق كيميائية لإنتاج مادة سيراميكية (الكربيدات والنيتريدات وكذلك الأكاسيد) حيث أن كلمة Sol اختصار

Solution وتعني محلول، وكلمة Gel اختصار Gelation وتعني جيلاتيني أو

هلامي واتحاد المحلول مع الجيلاتين ينتج عنه محلول غروي فهي عملية تفاعل المادة في الحالة السائلة مع مادة



سيراميكية غير مسامية، ومعظم الحالات مشتركة

في تفاعل أكاسيد المعادن القلوية مع الماء لتكوين

خامة طبقة الطلاء.

وتتميز عملية الطلاء بالسيراميك في المحاليل

المعلقة الغروية بعدة خصائص منها - :

- توفير الطاقة لاستخدام درجات حرارة

منخفضة .

- طبقات الطلاء متجانسة وعالية النقاء .

- سهولة الحصول على طبقات طلاء سميكة .

- يمكن لهذه العملية أن تصنع طلاءات ذات تركيب جزيئي مختلف لا يمكن صنعها بالوسائل التقليدية.

بتطبيق العملية يمكن الوصول إلى البنية النانوية، مما يسمح بتصميم مجموعة متنوعة من المركبات النانوية. (

2012,261- 264Dr. Feng Shi)

أما عن أهم عيوبها فتتمثل في :

- ارتفاع تكاليف الخامات الأولية.

- صعوبة تجنب وجود المسام في طبقة الطلاء.

- الانكماش الناتج عن جفاف الجل بعد الطلاء يؤدي إلى إجهاد في طبقة السيراميك.

10-5-4 الطلاء بتقنية CERAKOTE:

عبارة عن طلاء إيبوكسي مركب مصنوع من مزيج من البوليمر والسيراميك ليقدم صلابة ومرونة في نفس

الوقت.

بعد طلاء اي سطح باستخدام هذه التقنية يصبح مقاوماً للتآكل، ومقاوماً للاحتكاك، ومقاوماً للمواد الكيميائية

(بالإضافة للعديد من الخصائص الوقائية الأخرى أيضاً).

تم وضع هذا الطلاء ضمن اختبارات ASTM, تضع هذه الاختبارات طلاء Cerakote في مواجهة خيارات الطلاء الشائعة الأخرى وكلها تأتي معيبة في العديد من المجالات مقارنة بهذه التقنية، بينما تقدم Cerakote أداءً رائعاً في كل الفئات. والنتيجة النهائية هي أنه يمكن تطبيق Cerakote على أي سطح صلب، مما يعني أنه يمكن تطبيق طلاء Cerakote على البلاستيك والمعادن وحتى الخشب، توفر هذه التقنية طبقة حماية متينة تكون مقاومة للتآكل والكيماويات والاهتراء والصدمات بالإضافة لخاصية التزليق المهمة جداً في العديد من الصناعات التي يوجد فيها عمليات احتكاك.



الشكل (4-11): الطلاء بتقنية CERAKOTE

4-6 بعض تطبيقات الطلاء :

هناك مجموعة كبيرة من التطبيقات للمواد الطلائية في كافة المجالات نذكر منها:

4-6-1 الطلاء لأغراض الوقاية:

بما أن تآكل المعادن يبدأ من السطح نتيجة ملامسته المباشرة للعوامل المسببة للتآكل. ونظراً لأن المعادن تختلف عن بعضها البعض في مدى قابليتها للتآكل فالبعض منها يتأثر بدرجة أقل بالعوامل المسببة للتآكل، والبعض الآخر يقاوم هذه العوامل ولا تتأثر بها إلا بدرجة بسيطة جداً، فعملية طلاء المعادن بالكهرباء تهدف إلى تغطية أسطح المعادن القابلة للتآكل بمعادن أخرى مقاومة له. بالإضافة إلى أن عمليات الطلاء تستهدف الوقاية من التآكل الميكانيكي الناتج عن الاحتكاك، وذلك من خلال تغطية أسطح المعادن المنخفضة الصلابة المعرضة للاحتكاك الشديد، بطبقة من معدن شديد الصلابة مثل معدن الكروم. وتجدر الإشارة هنا إلى أن هناك طرقاً أخرى تستعمل لوقاية المعادن من التآكل، منها الطلاء عن طريق الغمر في مصهور المعدن المراد الطلاء به فيتغطى السطح بطبقة رقيقة من هذا المعدن، وتستعمل هذه الطريقة في صناعة الصفائح وذلك بغمر ألواح الصلب الرقيقة في مصهور القصدير، كما تستعمل في غلظة المنتجات الحديدية بغمرها في مصهور الزنك.

ومن الطرق الأخرى التي تستعمل للوقاية من التآكل معالجة أسطح المعادن ببعض المركبات الكيماوية الخاصة وينتج عن ذلك تكون مركبات على السطح لها خواص مقاومة للتآكل، مثال ذلك المعالجة بمركبات الفوسفات، ومركبات الكرومات. كما نشير إلى أن استعمال البويات في حماية المعادن من التآكل، وهناك أنواع خاصة من البويات لكل ظرف من ظروف التعرض للتآكل، ومنها ما يصلح لوقاية المعادن المغمورة في المياه وغير ذلك.



الشكل (4-12) طلاء الاجزاء المعدنية للوقاية من الصدأ

4-6-2 الطلاء لأغراض الزينة:

الهدف من الطلاء ايضا تزيين أسطح المعادن، ويتم ذلك عن طريق تغطيسها بطبقات تتميز بالصلقل واللمعان والألوان الجذابة، وتظل محتفظة بهذه الصفات لفترات طويلة دون أن يطرأ عليها إي تغيير. كما تستعمل عمليات الطلاء بالمعادن كالذهب والفضة لتحسين مظهر الأدوات والمنتجات التي تطلّى بها، ولإحياء بأنها مصنوعة من هذه المعادن المرتفعة الثمن، وهو ما يحدث عند طلاء الحلي المصنوعة من معادن رخيصة كالنحاس بطبقة من الذهب تجعل من الصعب على الرائي أن يفرق بينها وبين الحلي المصنوعة من الذهب الخالص.



الشكل (4-13) تزيين الأشكال بالطلاء

4-6-3 طلاء أجهزة الهاتف:

الفولاذ هو المعدن الرئيسي المستخدم في صناعة أجهزة الهاتف، بالإضافة إليه يستخدم النحاس الأصفر وسبائك الزنك والألمنيوم والمعادن الخفيفة كالألومنيوم والمغنسيوم. تستخدم طلاءات الزنك ونيكل - كروم على كثير من الأجزاء ولكن النهايات العضوية تشكل أكثر طرق الحماية استخداماً.

4-6-4 طلاء الأجهزة المنزلية:

تشمل الأجهزة المنزلية غسالات المنزل والغلايات وغسالات الصحون والبرادات واللعب الخارجية للمكيفات، وغيرها الكثير من الاجهزة الحديثة. بالطبع لن تستطيع أن نشرح بشكل مفصل خطوات إعداد سطوح كل هذه الأجهزة. فمثلاً الغسالات المنزلية وحسب مواصفات شركة General Electric Company الأمريكية تعالج أولاً بفوسفات الزنك، يلي ذلك الطلي بدهان أكريليك يتصلب حرارياً، ويخضع إما يدوياً أو بطريقة تسييل الدهان، حيث يصب الدهان على السطح ويجري الزائد منه إلى وعاء الدهان ثانية. الطبقة النهائية هي أكريليك يتصلب بالحرارة أيضاً ويطبق إما بالبخ اليدوي أو بطريقة Ransburg الإلكترونية، أما الأجهزة الكهربائية فإنها تعالج إما بفوسفات الحديد أو بفوسفات الزنك، يلي ذلك طلي بدهان أساسه إيبوكسي. يلي ذلك تعويم بالمذيب لمدة دقيقة واحدة، ثم يطلى بالكيد زيت جوز الهند الذي يتصلب بالحرارة بنفس الطريقة. يلي ذلك عملية شوي من شأنها معالجة كل من طبقة الأساس والطبقة النهائية.

التطورات في مجال طلي الأجهزة المنزلية دائمة ومستمرة، ولذلك فمجال الاختيار أضحى كبيراً ومتنوعاً. فالطلاءات المستخدمة على أجهزة الاتصال والكمبيوترات والاجهزة المكتبية وأجهزة التحليل تكون ذات نوعية ممتازة وعالية التكاليف.

4-6-5 طلاء السيارات:

عمليات الطلي والإعداد والإنهاء تختلف اختلافاً كبيراً من شركة إلى أخرى ولكن يمكن ان نذكر فيما يلي طريقة عامة نموذجية:

أ- التنظيف:

بعد عمليات اللحام والربط المختلفة تحسن مستويات السطوح باللحام والحشو والبردغة. تتم عملية التنعيم النهائية باستخدام دولايب قماشي. بعد ذلك يغسل جسم السيارة يدوياً لإزالة الشحوم وبقايا السحب. ولهذا الغرض يمكن استخدام مزيج من النفط مع كمية صغيرة من هيدروكسيد الامونيوم. في بعض الشركات يستخدم محلول ساخن للكحول الممدد بالماء في هذه المرحلة لمنع حدوث الصدأ.

عند ظهور بقع صدأ يجب إزالتها قبل عملية التنظيف العامة. لإزالة الشحوم تستخدم مركبات قلوية متنوعة تحتوي في غالبيتها على صودا الغسيل والكواستيك وفوسفات الصوديوم وسيليكات الصوديوم، كذلك فقد انتشر استخدام المنظفات الإستحلابية .

إن عملية الغسيل يمكن أن تتم في نظام بخ يتألف من ست مراحل في نفق طوله 140 قدم (42 متر). هياكل السيارات والصفائح المعدنية تتقدم خلال هذا النفق حيث تبخ أتوماتيكياً من عدة زوايا بحيث يصل البخ إلى كل سطوح الأجزاء .

شركة " Ford Motor Company " تطلي طبقة الأساس بطريقة الطلي الكهربائي، والشكل (1) يوضح هذه الطريقة. وفي هذه الطريقة تتسرب جزيئات الدهان أو قطيراته المعلقة في الماء بالهجرة الكهربائية حيث يجعل جسم السيارة أنوداً (مصعداً) وحوض الطلي مهبطاً. وبما أن معظم الماء يغادر الطلاء بعملية النضح الكهربائي (electro-endosmosis) بعد ترسيب الدهان، لذلك فإن السطح المطلي يكون دبقاً شيئاً ما. كما يكون الطلاء متجانساً من حيث السماكة.

4-6-6 طلاء السطوح الساخنة:

السطوح الفولاذية التي تتعرض إلى درجات حرارة عالية ينبغي طليها لمنع تشكل القشرة والتفتت. ومن هذه السطوح نذكر الغلايات ومكثفات البخار وأنابيب العوادم وغيرها. إن أنواع الطلاء المقاومة للحرارة تطبق مباشرة على السطوح المعدنية النظيفة بدون استخدام طبقات تأسيس. ومن الطلاءات الأخرى التي وصفت بأدائها الحسن في هذا المجال نذكر سيليكات الإيتيل الذي يبخ على ألومنيوم مبخوخ، في هذا النظام الذي لا يحتاج إلى معالجة حرارية مسبقة تترسب السيليكا في البنية المسامية للطلاء الألومنيوم عندما يسخن. كما استخدمت طلاءات السيليكون كطلاءات

مقاومة للحوض وعوامل الأكسدة. فطلاءات السيليكون المشوية استخدمت كطلاءات مقاومة للحرارة على بعض أنواع الصواريخ (Willimam and others 1930).

4-7 الأمن والسلامة المهنية في عمليات الطلاء:

على الرغم مما تتصف به عملية الطلاء من سهولة وسرعة وقدرة على تغيير المظهر العام وهو ما يفسر شغف الكثيرين بها إلا أنها تشتمل كغيرها من بقية الأعمال المنفذة حالياً، على بعض المحاذير والمخاطر، ويحتاج من ينفذها لبعض النصائح التي يجب مراعاتها بكل عناية ودقة تماماً مثل مجموعة الاحتياطات التي يتعين اتخاذها في بعض الحالات الخاصة.

العوامل التالية هي الأكثر شيوعاً والتي قد تسبب أضراراً على الصحة:

- تبخر المذيبات التي يمكن استنشاقها وتلف الجهاز التنفسي.
- يمكن أن يؤدي استنشاق رذاذ الطلاء والغبار إلى ابتلاع الراتنجات والأصباغ في الجسم.
- الامتصاص من خلال الجلد من المواد الخطرة من رذاذ الطلاء.
- تعتمد درجة الخطورة الناتجة عن هذه العوامل على:
- مكونات الدهانات المستخدمة.
- كمية الطلاء المستخدمة وطريقة التطبيق.
- الشروط في مكان العمل على سبيل المثال تهوية.
- كيف يتم مراعاة تدابير السلامة بدقة.
- أساليب العمل للموظفين.

أثناء القيام بعملية الطلاء ينبغي علينا اعتماد وسائل الأمان اللازمة لوقاية العيون والرئتين، هذا مع ضرورة إدراكنا للمخاطر الكيميائية الناجمة عن استخدامنا للطلاءات القديمة ذات الأبخرة المحتوية على عنصر الرصاص.

الفصل الخامس: القسم العملي

1-5 مقدمة:

تم استخدام فولاذ متوسط نسبة الكربون AISI 4340 مصنع بطريقة انتاج الحقن المعدني (Metal injection MIM molding) يتمتع معدن AISI 4340 بالقوة العالية والليونة والمتانة ومقاومة الاجهاد مقارنة بمعظم أنواع المعادن الخلائطية الأخرى كما تتراوح قيم قساوته من 24 إلى 53 HRC، اعتماداً على المعالجة الحرارية . تم اجراء الاختبارات على منتج لا نمطي (مغلاق مسدس الشكل (1-5)) وفق المواصفات القياسية، ويبين الجدول (1-5) التركيب الكيميائي للمعدن المستخدم حيث تم استخدام جهاز التحليل الطيفي.



الشكل (1-5): شكل المنتج المختبر

المصدر من إعداد الباحث

الجدول (1-5) التركيب الكيميائي لمعدن الفولاذ AISI 4340

كربون C	كروم Cr	مولوبيديوم Mo	نيكل Ni	منغنيز Mn	سيليكون Si	حديد Fe
-0.45 %0.35	%0.9-0.7	%0.3-0.2	%2-1.65	%0.8-0.6	-0.15 %0.45	النسبة الباقية

2-5 تقنية MIM (Metal injection molding):

تستخدم تقنية MIM لتصنيع الأجزاء الصغيرة والمعقدة هندسياً بكميات كبيرة ولها قدرة عالية على انتاج قطع بتفاصيل معقدة ودقيقة وذلك دون الحاجة الى آلات الخراطة الآلية وتتميز بإمكانية استخدام طيف واسع من المعادن وسبائكها الخ، وتتميز هذه التقنية بالاقتصادية الصناعية وتكون حلاً فعالاً بدلاً من عمليات الحدادة والصب والتصنيع الآلي ، تستخدم منتجات هذه التقنية في العديد من الصناعات، مثل السيارات والإلكترونيات والاتصالات السلكية واللاسلكية والتجهيزات الطبية والأسلحة.

تمر هذه التقنية بعدة مراحل بدءاً من تحضير المواد الأولية وصولاً للمنتج النهائي وفقاً لما يلي:

1-2-5 تحضير المواد الأولية / feedstock:

يتم خلط مسحوق المعدن الناعم مع مواد بوليميرية بالحرارة ومواد رابطة شمعية. بشكل يعطي تجانس وتوزع متساوي للمكونات على كافة اجزاء المادة الاولية ويلي ذلك تحويل الناتج الى حبيبات ليسهل التعامل معها ضمن المراحل اللاحقة.

5-2-2 الحقن / injection:

يتم وضع المادة الاولية في مزود الة الحقن يليه عملية تسخين للمواد وحقنها ضمن تجويف قالب خاص بالقطع المطلوب انتاجها تحت ضغط عال وسرعة محددة وتتم اعادة العملية للحصول على العدد المطلوب من القطع.

5-2-3 إزالة الروابط البوليميرية / Debinding:

يتم إزالة الروابط البوليميرية في فرن خاص ضمن درجة حرارة ثابتة وبجو خامل باستخدام مذيب محدد يزيل الرابط دون التأثير على القطع والتشكيل وبشكل يضمن خروج القطعة سليمة حيث يكون نتيجة هذه العملية الحصول على قطع هشة وشبه مسامية تحتوي على الشمع والمعدن ومع الحفاظ على الشكل والابعاد في هذه المرحلة.

5-2-4 التليد / Sintering:

تتم هذه العملية في فرن خاص ضمن الفراغ بدرجات حرارة عالية قريبة من درجة الانصهار حيث يحدث في هذه المرحلة تبخير وسيلان المادة الشمعية وبقايا المواد البوليميرية إن وجدت وتليه عملية انكماش محدد النسبة بشكل مدروس ويتحول المنتج الى قطعة معدنية صلبة ذات كثافة عالية.

5-3 عمليات تحضير العينات قبل الطلاء:

قبل البدء بالطلاء يجب تحضير العينات المراد طلاؤها لتكون جاهزة لعملية الطلاء وهذه التحضيرات تتضمن عمليات التنعيم وإزالة العوالق ونواتج عمليات التشغيل بالإضافة لعمليات تنظيف متعددة وذلك بحسب نوع المعدن ونوع العمليات التشغيلية وبحسب نوع الطلاء المستخدم وهي كما يلي:

5-3-1 بالنسبة للأسطح الناعمة (مجلخة):

1- حوض قلوي كهربائي من المركبات التالية:

يتم تغطيس العينات بمحلول مكون من التركيبات الكيميائية التالية:

أملاح سيانيد وسيانور وهيدروكسيد الصوديوم وكربونات وسيليكات الصوديوم مع وجود تيار كهربائي بقيمة 15V ولمدة 5 دقائق لإزالة بقايا عمليات التشغيل.

2- ماء مقطر: يتم تغطيس العينات بالماء المقطر لإزالة بقايا المحاليل الكيميائية.

3- ثم يتم تغطيس العينات في حوض حمضي يحوي حمض كلور الماء بتركيز 30% (تجاري) لمدة دقيقتين لإذابة بقايا المواد العالقة على سطح المعدن.

4- تغطيس العينات بالماء المقطر لإزالة بقايا المحاليل الكيميائية والمواد الحمضية

5- تغطيس العينات في جهاز التراسونيك الشكل (2-5): وهو عبارة عن جهاز يحتوي حوض مملوء بالماء المقطر مع مواد تنظيف كيميائية خاصة يختلف نوعها حسب مجال العمل المستخدم بالإضافة لوجود سخانات لرفع حرارة مواد التنظيف بالإضافة لوجود تجهيزات تعطي موجات صوتية داخل الحوض لإزالة أي شوائب عالقة في المنتجات المراد تنظيفها.

حيث تكون درجة حرارة الحوض بين 50 - 80 درجة مئوية وشدة الموجات الصوتية تتراوح بين 20 كيلوهرتز و400 كيلوهرتز (مواد التنظيف إما ماء مقطر أو يمكن إضافة مواد تنظيف خاصة تعتمد على حاجة المستخدم) لمدة 15 دقيقة.



الشكل (2-5): جهاز الالترسونيك

المصدر من إعداد الباحث

6- تغطيس العينات في الماء المقطر لإزالة بقايا مواد التنظيف.

7- تغطيس العينات في الاسيتون المخبري بدرجة نقاوة 99.999 % مع مسح العينات وذلك لإذابة أي شوائب عضوية متبقية على سطح العينات.

8- تغطيس العينات في الماء المقطر لإزالة بقايا الأسيتون.

9- ثم يتم غسل العينات في الاسيتون كمرحلة تنظيف نهائية.

10- تغطيس العينات في الماء المقطر لإزالة بقايا أي مواد عالقة من عمليات التنظيف.

يتم تنظيف المنتجات بالماء المقطر بين كل مرحلة والمرحلة التالية لإزالة أي مواد كيميائية عالقة بين المراحل لمنع انتقال المواد الكيميائية من حوض إلى آخر.

5-3-2 بالنسبة للأسطح الغير ناعمة (غير مجلخة):

1- الضرب بالرمل باستخدام آلة السفع بالرمل الشكل (5-3): وهي عبارة عن حجرة تحتوي على رمل خاص بالإضافة لضغط هواء لتنفيذ تيار هوائي رملي يقدم احتكاك على سطح المنتجات لإزالة بقايا طلاء سابق أو بقايا مواد عالقة على سطح المنتجات بدون أن يسبب أي أذى لسطح المنتج بالإضافة إلى أنه يشكل سطح مناسب لالتصاق مواد الطلاء.



الشكل (5-3): آلة السفع بالرمل

المصدر من إعداد الباحث

2- فرشاة بولاد (حسب الطلب).

3- حوض قلوي كهربائي من المركبات التالية: يتم تغطيس العينات بمحلول مكون من التركيبات الكيميائية التالية: أملاح سيانيد وسيانور وهيدروكسيد الصوديوم و كربونات وسيليكات الصوديوم مع وجود تيار كهربائي بقيمة 15V ولمدة 5 دقائق لإزالة بقايا عمليات التشغيل.

4- ماء مقطر.

5- حوض حمضي يحوي حمض كلور الماء بتركيز 30% (تجاري) لمدة دقيقتين.

6- ماء مقطر.

7- التراسونيك التراسونيك (جهاز التنظيف بالموجات الصوتية والحرارة).

حيث تكون درجة حرارة الحوض بين 50 - 80 درجة مئوية وشدة الموجات الصوتية تتراوح بين 20 كيلوهرتز و 400 كيلوهرتز (مواد التنظيف إما ماء مقطر أو يمكن إضافة مواد تنظيف خاصة تعتمد على حاجة المستخدم) لمدة 15 دقيقة.

8- ماء مقطر.

9- اسيتون مخبري بدرجة نقاوة 99.999 % مع مسح.

10- ماء مقطر.

11- اسيتون غسل.

12- ماء مقطر.

5-3-3 مرحلة التجفيف بعد الطلاء :

تتم باستخدام فرن بدرجة حرارة تتراوح بين 100-300 درجة مئوية مع مراوح سحب تخرج الرطوبة الناتجة عن الطلاء خارج الفرن لتجفيف المنتجات بعد الطلاء الشكل (4-5)



الشكل (4-5): فرن لتجفيف المنتجات بعد الطلاء

المصدر من إعداد الباحث

وتختلف درجة الحرارة حسب كل نوع من أنواع الطلاء كما هو مبين في الجدول:

الجدول (2-5) درجة حرارة التجفيف حسب نوع الطلاء (كتالوجات المصنع)

نوع الطلاء	المواد المعدنية	المواد اللامعدنية	ملاحظات
كروم	-	-	لا يحتاج
نيكل	(280) درجة مئوية	-	لمدة 4 ساعات
	(400) درجة مئوية	-	لمدة ساعة واحدة فقط
PVD	120 درجة مئوية	-	لمدة 20 دقيقة
سيركوت	درجة مئوية 125	60-70 درجة مئوية	-

4-5 الاجهزة المستخدمة في البحث:

1-4-5 جهاز فحص سماكة الطلاء:

هو جهاز يُستخدم لقياس سمك الطلاء على سطح معين الشكل (5-5). تقوم عملية القياس باستخدام جهاز قياس السماكة على العديد من العوامل مثل نوعية المعدن الذي تنبعث منه الموجات، والسماكة والقساوة للطلاء، ودرجة الحرارة والرطوبة.

تمت التجربة من خلال جهاز يقيس سمك الطلاء من (0-2000 μm) على المعادن والمواد الغير معدنية وذلك باستخدام عدة مستشعرات يمكن تبديلها على الجهاز الشكل (5-5) وتم استخدام المواصفة القياسية ASTM D1186.



الشكل (5-5): جهاز قياس سماكة الطلاء

المصدر من إعداد الباحث

2-4-5 حوض الرذاذ الملحي:

في تجربة الرذاذ الملحي استخدمنا ماء منزوع الشوارد حيث وضعت نسبة أملاح 20% أي بمعدل 200 g ملح نقي لكل لتر من الماء وتم ملئ الحوض بكمية 5 لتر من الماء , أبعاد الحوض 20x25x 50 cm والضغط المستخدم يساوي 2 بار الشكل (5-6) يبين حوض الرذاذ الملحي المستخدم في التجربة والمنتج المختبر .



الشكل (5-6): جهاز قياس سماكة الطلاء

المصدر من إعداد الباحث

5-5 مقارنة تقنيات الطلاء الأربعة المستخدمة في البحث:

الجدول (5-3) يبين مقارنة بين تقنيات الطلاء المستخدمة في البحث:

تقنية الطلاء	التوصيف	الجهاز
الترسيب الفيزيائي بالتبخير	تقنية يتم فيها تبخير المواد العالية النقاء مثل التيتانيوم والكروم والألمنيوم بواسطة الحرارة أو باستخدام التحفيز بالشرارة الكهربائية، وفي الوقت نفسه يتم إدخال غاز متفاعل مثل النيتروجين أو أي غاز آخر يحتوي على الكربون	
CERAKOTE	عبارة عن طلاء إيبوكسي مركب مصنوع من مزيج من البوليمر والسيراميك ليقدم صلابة ومرونة في نفس الوقت. بعد طلاء أي سطح باستخدام هذه التقنية يصبح مقاوماً للتآكل ، ومقاوماً للاحتكاك ، ومقاوماً للمواد الكيميائية (بالإضافة للعديد من الخصائص الوقائية الأخرى أيضاً).	

	عملية يتم من خلالها ترسيب طبقة من معدن النيكل بمساعدة الفوسفور بشكل موحد على عينة معدنية دون استخدام الكهرباء . تتميز هذه العملية بقدرتها على التلبس المثالي على عكس انواع الطلاء الكهربائي.	طلاء النيكل بدون كهرباء
	هو عملية تحليل كهربائي يتم فيها ترسيب الكروم على عينة بشكل يكسبها خصائص فريدة مثل القساوة ومقاومة التآكل مقاومة الاحتكاك والهيكل العام للعملية يكون عن طريق الترسيب الكهربائي من خلال تمرير تيار كهربائي معلوم الجهد على حسب مساحة السطح المراد تلبسه ضمن محلول من حمض الكروم بوجود قطبين السالب منهم على العينة ينتج عنه تفاعل كيميائي بمحصلة يترسب الكروم من المحلول على العينة بطبقة تحدد سماكتها بطول المدة الزمنية لعملية التلبس	طلاء الكروم الصلب

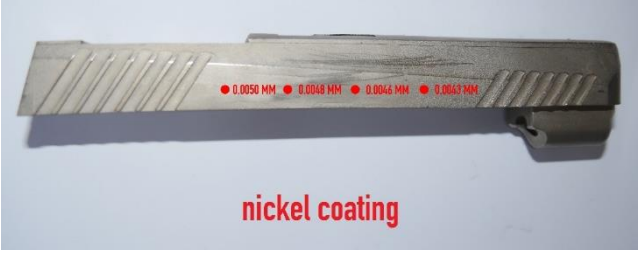
5-6 نتائج عينات الاختبار :

5-6-1 قياس سماكة العينات بطرق الطلاء الأربعة

5-6-1-1 نتائج قياس سماكة طبقة الطلاء بتقنية hard chrome coating :

	
الشكل (5-7): نتائج اختبار لسماكة للعينة المطلوبة بتقنية Hard chrome coating المصدر من إعداد الباحث	

5-6-1-2 نتائج قياس سماكة طبقة الطلاء بتقنية nickel coating :

	
الشكل (5-8): نتائج اختبار لسماكة للعينه المطلية بتقنية Nickel coating المصدر من إعداد الباحث	

3-1-6-5 نتائج قياس سماكة طبقة الطلاء بتقنية cerakote coating :

	
الشكل (5-9): نتائج اختبار لسماكة للعينه المطلية بتقنية Cerakote coating المصدر من إعداد الباحث	

4-1-6-5 نتائج قياس سماكة طبقة الطلاء بتقنية PVD coating :

	
الشكل (5-10): نتائج اختبار لسماكة للعينه المطلية بتقنية PVD coating المصدر من إعداد الباحث	

يبين الجدول (5-4) نتائج قياس سماكة المنتج بتقنيات الطلاء الأربعة

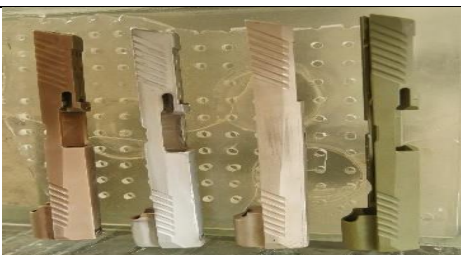
الجدول (4-5) نتائج قياس سماكة طبقات الطلاء بتقنيات الطلاء الأربعة

0.110	0.106	0.104	0.104	hard chrome coating (mm)
0.0043	0.0046	0.0048	0.0050	nickel coating
0.028	0.030	0.031	0.031	cerakote coating
0.021	0.021	0.020	0.020	PVD coating

5-6-2 نتائج اختبار الرذاذ الملحي

يبين الجدول (5-5) نتائج اختبار الرذاذ الملحي على أربع عينات مطلية بأربع طرق مختلفة

الجدول (5-5) نتائج اختبار الرذاذ الملحي على أربع عينات مطلية بأربع طرق مختلفة

ملاحظات	العينات	
خلو العينات من أي مظاهر صدأ وتآكل.		قبل بداية الاختبار
ظهور علامات الصدأ على العينة المطلية بطلاء النيكل اللاكهربائي.		بعد مرور 30 ساعة
ظهور علامات الصدأ على العينة المطلية بطلاء PVD		بعد مرور 46 ساعة
عدم ظهور علامات الصدأ على كل من تقنيتي الطلاء (تلبيس الكروم القاسي وطلاء سيركوت).		بعد مرور 72 ساعة

5-7 المعايير والمواصفات (الاتجاهات) المؤثرة في الجودة والموثوقية والاقتصادية وتحديد الطريقة الرياضية الأنسب لمعالجة البيانات المتوافرة احصائياً واختبارياً

هناك عدة طرق رياضية إحصائية لتحليل البيانات مثل تحديد التشتت ، الانحراف المعياري ، المتوسطات الحسابية والفجوات إضافة للتباين منها مقياس Servqual وأسلوب التقدير الجمعي (مقياس ليكرت) وطريقة Anova ومصنوفة تاغوتشي، وبما أن الخصائص والمتطلبات المتعلقة بالجودة و الوثوقية والاقتصادية هي مجموعة كبيرة من البيانات الإحصائية مأخوذة من التجارب العملية على المنتج من قبل فرق الاختبار الميداني خارج المصنع ومختبرات بالسنية دولية متخصصة إضافة لاختبارات المصنع ضمن كل قسم إضافة إلى جداول التصنيع المتعلقة بالتكاليف والجودة وبيانات الموارد البشرية لكل قسم والملاحظة والخبرة العملية لرؤساء الأقسام تم اعتماد مقياس ليكرت الخماسي لتحديد المواصفات الأكثر تأثيراً ومن أجل ضمان توافر الأسلوب العلمي المنهجي وتحليل البيانات في قوائم الفحص وذلك من خلال تحديد الاوزان الخاصة بالإجابات عن اسئلة قائمة الفحص وفق الجدول التالي:

وزن الفقرة (الدرجة)	فقرة المقياس
0	الحد الأدنى
1	مقبول
2	جيد
3	جيد جداً
4	الأفضل

5-7-1 المفاهيم الأساسية المستخدمة في تحديد المعايير والمواصفات المؤثرة:

- تم تحديد عشرة معايير تعتبر الأكثر تأثيراً والتي أمكن دراستها مع وجود معايير أخرى لمتطلبات خاصة تتعلق بالبصمة الالكترونية والحرارية والاختفاء لم يتسنى لنا دراستها.
- تم تقسيم المعايير الرئيسية الى أربع معايير جزئية وفق مبدأ الانتقال من الاتجاهات الفرعية الى الاتجاهات الرئيسية (مبدأ عظم السمكة).

- اعتمدت علاقة الترابط بين الاتجاهات الفرعية والرئيسية للمعايير اثناء جمع البيانات وفق المبدأ الشجري للترابط وتم الانتقال من الأطراف إلى الجذر (لأن شجرة المعايير قابلة للتغيير والتبدل حسب المتطلبات).
- تم تحديد اهمية المعايير وفق الترتيب الهرمي المعتمد على مبدأ الاوزان والنقل وهو ترتيب قابل للتغيير وفق المتطلبات والاهداف المعتمدة ومدى التطوير والتحسين في التقنية نفسها من قبل ادارة المصنع حسب الحالة الراهنة (ظروف حصار اقتصادي - حالة حرب - حالة تراخي الزمن في السلم).
- البيانات المدروسة هي بيانات لدفعات انتاجية حسب الطلب وليست لخط انتاج مستمر حيث كانت تبرز مشكلة اتخاذ القرار بسبب الطلب المتغير لذلك تم مراجعة جداول التصنيع للعامين السابقين بالتعاون مع المهندسين رؤساء الأقسام وهي الفترة التي توطنت فيها التقنيات الأربعة في المصنع.
- اعتماد مفهوم المتوسط الحسابي الراجع الذي يظهر الوزن والتكرار والاتجاه حيث هناك المتوسط الحسابي والمتوسط الحسابي المتغير والمتوسط الهندسي والمتوسط التوافقي في الاحصاء الرياضي ولكل اهميته حسب النموذج المستهدف.

ومن اجل ايجاد حجم الفجوة والمفاضلة لأفضل التقنيات (تقنيات الطلاء الأربعة المستخدمة في البحث) حسب المتطلبات التشغيلية والعملية تم استخدام العميات الرياضية التالية:

1- استخدام مقياس ليكرت الخماسي.

2- حساب المتوسط الحسابي الراجع وفق المعادلة التالية:

$$\text{مجموع الاوزان} * \text{التكرارات} / \text{مجموع التكرارات}$$

3- حساب مدى التطابق وفق المعادلة التالية:

$$\text{المتوسط الحسابي الراجع} / \text{اعلى قيمة في المقياس (وهي القيمة 4)}$$

4 - حساب النسبة المئوية لمدة التطابق وفق المعادلة:

مدى التطابق * 100

بناء على المعاينة المباشرة الميدانية على ارض الواقع ومتابعة نظام العمل المتبع في مكان الدراسة وبالاعتماد على اسئلة قوائم الفحص وعرض نتائجها بهدف معرفة مدى التطابق ونقاط القوة والضعف والتشخيص الفعال لها من اجل تعزيز الكفاءة والجودة والوثوقية والارتقاء لمستوى اعلى في جودة العمليات.

2-7-5 نتائج قوائم الفحص وتحليلاتها

وكانت النتائج كما يلي

1-2-7-5 الزمن

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
4	2	3	3	زمن تجهيز التقنية للعمل
4	1	3	2	زمن تجهيز القطع المراد طلاؤها للعملية
4	1	3	3	زمن القيام بعملية الطلاء
4	2	2	3	الزمن اللازم لتسليم منتج للمرحلة اللاحقة بعد انتهاء عملية الطلاء

التكرار/الاوزان	0	1	2	3	4	المجموع
كروم	0	0	1	3	0	11
نيكل	0	0	1	3	0	11
PVD	0	2	2	0	0	6
سيركوت	0	0	0	0	4	16

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
4	1.50	2.75	2.75	المتوسط الحسابي الراجع
1	0.375	0.680	0.680	مدى التطابق
%100	%37.5	%68.0	%68.0	النسبة المئوية للتطابق

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة للعملية من حيث الزمن هي لتقنية السيركوت بينما اقل نتيجة كانت من نصيب تقنية الـ PVD بما يتوافق مع معيارنا ب التآرجح بين المقبول والجيد وكل من تقنيتي طلاء الكروم والنيكل كانت نتائجهما وفق المقياس في نقطة جيد جدا بعد التقريب.

وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

- تقنية السيركوت تعطي أفضل النتائج في هذه الابعاد المفروضة بالنسبة بما يرتبط بموضوع الزمن ككل.
- تقنيتي الكروم والنيكل تتطلب زمن عملياتي أطول نسبيا من تقنية السيركوت لكن تبقى قصيرة نسبيا.
- تقنية الـ PVD تعتبر الأطول زمنا من حيث كل الابعاد المفروضة.

2-2-7-5 طيف الالوان

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
4	3	1	1	تعدد الالوان الممكن تطبيقها
4	3	1	1	الشدة اللونية الممكن الحصول عليها
4	1	2	2	قابلية اصفاء لمعة للألوان
4	2	0	0	امكانية المزج والحصول على عدة الوان في نفس القطعة

التكرار/الاوزان	0	1	2	3	4	المجموع
كروم	1	2	1	0	0	4
نيكل	1	2	1	0	0	4
PVD	0	1	1	2	0	9
سيركوت	0	0	0	0	4	16

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
4	2.25	1	1	المتوسط الحسابي الراجع
1	0.56	0.25	0.25	مدى التطابق
%100	%56	%25	%25	النسبة المئوية للتطابق

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة من حيث طيف الألوان هي لتقنية السيركوت بينما كانت اقل نتيجة من نصيب تقنيتي الكروم والنيكل بما يتناسب مع معيارنا بالحد الأدنى وكانت نتائج تقنية الـ PVD وفق المقياس في نقطة بين الجيد والجيد جدا بعد التقريب.

وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

- تقنية السيركوت تعتبر التقنية الأفضل للحصول على طيف لوني واسع قابل أيضا للخلط واخذ اشكال متعددة ضمن القطعة والاحدة بالإضافة الى إمكانية التحكم بدرجة اللمعة المطلوبة عند تحضير مواد العملية.
- بالنسبة لتقنية الـ PVD فإنها تعطي طيف ألوان لا بأس به ولكن دون إمكانية الحصول على تشكيلات لونية متغايرة ضمن السطح ككل.
- تقنيتي الكروم والنيكل تقتصر فقط على لون واحد فقط أساسي.

3-2-7-5 العمالة والسلامة المهنية

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
3	2	4	3	العمالة اللازم للقيام بالعملية
3	3	3	3	الخبرات الفنية والعلمية للقائمين بالعملية
2	3	4	0	الخطورة الصحية على العاملين
3	3	4	0	مستلزمات الحماية والسلامة المهنية

المجموع	4	3	2	1	0	التكرار/الاوزان
6	0	2	0	0	2	كروم
15	3	1	0	0	0	نيكل
10	0	3	1	0	0	PVD
10	0	3	1	0	0	سيركوت

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
2.5	2.5	3.75	1.5	المتوسط الحسابي الراجع
0.62	0.62	0.93	0.375	مدى التطابق
%62	%62	%93	%37	النسبة المئوية للتطابق

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة من حيث العمالة والسلامة المهنية هي لتقنية النيكل بينما كانت اقل نتيجة من نصيب تقنية الكروم بما يتناسب مع معيارنا بالحد الأدنى وكانت نتائج تقنيتي الـ PVD والسيركوت وفق المقياس في نقطة بين الجيد والجيد جدا بعد التقريب.

وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

تعتبر تقنية النيكل هي التقنية الأكثر سلامة على صحة العاملين والأكثر امانا لهم مع توفر الخبرة الفنية والعلمية لدى العاملين.

- تقنية الكروم تعتبر الأخطر صحيا على العاملين نظرا للسمية الشديدة لمادة حمض الكروم وتتطلب زيادة في شروط ومستلزمات الحماية الشخصية والوقائية لدرء خطر تلك المواد قدر الإمكان
- بالنسبة لتقنيتي السيركوت والـ PVD تعتبران امنيتين نسبيا بشرط اتباع قواعد وشروط السلامة والتقيد بها.

4-2-7-5 التأثيرات البيئية والصحية

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
3	2	3	0	مدى التأثير على صحة العاملين الجسمية
2	3	3	0	مدى تأثير فضلات العملية على مياه الصرف الصحي
2	3	3	0	صعوبة معالجة التأثيرات البيئية
3	3	3	0	صعوبة معالجة التأثيرات الصحية

التكرار/الاوزان	0	1	2	3	4	المجموع
كروم	4	0	0	0	0	0
نيكل	0	0	0	4	0	12
PVD	0	0	1	3	0	11
سيركوت	0	0	2	2	0	10

المتوسط الحسابي الراجع	كروم	نيكل	PVD	سيركوت
المتوسط الحسابي الراجع	0	3	2.75	2.5
مدى التطابق	0	0.75	0.68	62
النسبة المئوية للتطابق	%0	%75	%68	%62

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة من حيث التأثيرات البيئية والصحية هي لتقنية النيكل بينما كانت

اقل نتيجة من نصيب تقنية الكروم بما يتناسب مع معيارنا بالحد الأدنى وكانت نتائج تقنيتي الـ PVD والسيركوت

وفق المقياس في نقطة بين الجيد والجيد جدا بعد التقريب.

وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

- تقنية الكروم هي الأخطر على المتطلبات البيئية والصحية وهي تقنية تحتوي فيها على مواد شديدة

السمية بيئيا وبشريا لذلك يجب التعامل معها بحرص ضمن الشروط والمواصفات العالمية

والمفروضة أيضا من قبل الإدارة.

- تعتبر باقي التقنيات ذات تأثير بيئي أخف بكثير من سابقتها وأيضا بشرط القيد بالتعليمات

والارشادات المرتبطة بكل تقنية.

5-2-7-5 الكلفة الاقتصادية التشغيلية للعملية

كروم	نيكل	PVD	سيركوت	
3	3	2	3	عدد مراحل التشغيل
2	3	1	4	الحاجة للتجهيزات الكهربائية
2	3	1	4	تكلفة الوحدة التشغيلية
3	3	2	4	تكلفة العمالة والمستهلكات التشغيلية

التكرار/الاوزان	0	1	2	3	4	المجموع
كروم	0	0	2	2	0	10
نيكل	0	0	0	4	0	12
PVD	0	2	2	0	0	6
سيركوت	0	0	0	1	3	15

المتوسط الحسابي الراجع	كروم	نيكل	PVD	سيركوت
3.75	2.5	3	1.5	3.75
مدى التطابق	0.62	0.75	0.37	0.93
النسبة المئوية للتطابق	%62	%75	%37	%93

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة من حيث الكلفة الاقتصادية التشغيلية للعملية هي لتقنية السيركوت بينما كانت اقل نتيجة من نصيب تقنية الـ PVD بما يتناسب مع معيارنا بالتأرجح بين الحد الأدنى والمقبول وكانت نتائج تقنيتي الـ النيكل والكروم وفق المقياس في نقطة بين الجيد والجيد جدا بعد التقريب. وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

- تقنية الـ PVD تعتبر التقنية ذات التكلفة الأعلى من حيث التشغيل نظرا لحاجتها الكبيرة لكميات هائلة من الطاقة الكهربائية.
- وبالنسبة لتقنيتي السيركوت والنيكل تعتبران الأفضل من حيث التكلفة التشغيلية.
- وتقنية الكروم هي تقنية متوسطة الكلفة نظرا للحاجة الى استخدام محولة كهربائية لكن باستطاعات صغيرة نسبيا.

5-7-2-6 العمليات التمهيدية والنهائية قبل وبعد الطلاء:

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
3	1	2	2	عمليات التنظيف الميكانيكية التمهيدية
4	1	2	2	عمليات التنظيف الكيميائية التمهيدية
4	4	2	4	المعالجات بعد الطلاء
3	3	4	4	ظروف الحفظ للمرحلة اللاحقة

التكرار/الاوزان	0	1	2	3	4	المجموع
كروم	0	0	2	0	2	12
نيكل	0	0	3	0	1	10
PVD	0	2	0	1	1	9
سيركوت	0	0	0	2	2	14

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
3.5	2.25	2.5	3	المتوسط الحسابي الراجع
0.87	0.56	0.62	0.75	مدى التطابق
%87	%56	%62	%75	النسبة المئوية للتطابق

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة من العمليات التمهيدية والنهائية قبل وبعد الطلاء هي لتقنية السيركوت بينما كانت اقل نتيجة من نصيب تقنية الـ PVD بما يتناسب مع معيارنا بالجيد وكانت نتائج تقنيتي النيكل والكروم وفق المقياس في نقطة الجيد جدا بعد التقريب.

وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

- جميع التقنيات قيد الدراسة تتشابه الى حد كبير في العمليات التمهيدية على القطع المراد طلاؤها مع اختلافات طفيفة حسب شكل القطعة ومتطلبات تشغيلها.
- تقنية الـ PVD تعتبر التقنية الأكثر تركيزات على عمليات التنظيف بشكل عام وبعدها مباشرة تأتي تقنية الكروم يليهم تقنيتي النيكل والسيركوت.

- بالنسبة للمعالجات الحرارية بعد عملية الطلاء او التلبيس فإن كل من تقنيتي الـ PVD والكروم لا تحتاجان الى هذه المرحلة بينما تقنيتي السيركوت والنيكل تحتاجان الى معالجة حرارية بعد عملية الطلاء او التلبيس وعادة ما تكون المدة الزمنية للمعالجة الحرارية لقطع النيكل هي الأطول زمنيا.
- بالنسبة لظروف الحفظ فهي متشابهة الى حد كبير مع مراعات حساسية القطع المطلية وخواصها ومواصفاتها.

7-2-7-5 تعدد انواع السطوح الممكن طلائها

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
4	4	4	4	فولاذ مقاوم للصدأ
4	3	4	4	فولاذ سبائكي
4	2	4	4	الحديد الصب
4	0	0	0	بوليميرات

التكرار/الاوزان	0	1	2	3	4	المجموع
كروم	1	0	0	0	3	12
نيكل	1	0	0	0	3	12
PVD	1	0	1	1	1	9
سيركوت	0	0	0	0	4	16

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
4	2.25	3	3	المتوسط الحسابي الراجع
1	0.56	0.75	0.75	مدى التطابق
%100	%56	%75	%75	النسبة المئوية للتطابق

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة من حيث تعدد انواع الاسطح الممكن طلائها هي لتقنية السيركوت بينما كانت اقل نتيجة من نصيب تقنية الـ PVD بما يتناسب مع معيارنا بالجيد وكانت نتائج تقنيتي النيكل والكروم وفق المقياس في نقطة الجيد جدا بعد التقريب.

وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

- تقنية السيركوت هي التقنية المثالية لطلاء جميع انواع الاسطح المفروضة لدينا بما في ذلك المعدنية وغير المعدنية.
- اما بالنسبة لتقنيتي الكروم والنيكل فلا يمكن استخدامهما الا على الاسطح المعدنية باختلاف أنواعها.
- بالنسبة لتقنية PVD فهي تقنية للترسيب على المعادن وخاصة معدن الفولاذ المقاوم للصدأ حيث نتائجها مثالية على هذه الاسطح وتقل الكفاءة كلما قل التركيب لمعدن الكروم في خليط معدن القطعة المراد طلاؤها.

5-7-2-8 تعقيدات الاشكال وقابلية الطلاء للأشكال ذات التجاويف الدقيقة والابعاد الناتجة

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
2	1	4	1	امكانية طلاء الاسطح الداخلية والتجاويف الداخلية
4	3	4	3	امكانية طلاء التجاويف الخارجية (السطحية)
3	2	4	2	وحدة سماكة الطلاء على الاسطح المستوية
2	1	4	0	سماكة الطلاء للتجاويف الداخلية

التكرار/الاوزان	0	1	2	3	4	المجموع
كروم	1	1	1	1	0	6
نيكل	0	0	0	0	4	16
PVD	0	2	1	1	0	7
سيركوت	0	0	2	1	1	11

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
2.75	1.75	4	1.5	المتوسط الحسابي الزاجح
0.68	0.43	1	0.37	مدى التطابق
%68	%43	%100	%37	النسبة المئوية للتطابق

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة من حيث تعقيدات الاشكال وقابلية الطلاء للأشكال ذات التجاويف الدقيقة والابعاد الناتجة هي لتقنية النيكل بينما كانت اقل نتيجة من نصيب تقنيتي الـ PVD والكروم بما يتناسب مع معيارنا بالتأرجح بين المقبول الجيد وكانت نتائج تقنية السيركوت وفق المقياس في نقطة الجيد جدا بعد التقريب وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

- تقنية النيكل هي التقنية المثلى للأشكال المعقدة وذات التجاويف الداخلية الدقيقة
- تعتبر تقنية السيركوت بدرجة جيدة جدا لهذه المتطلبات لكن بدرجة اقل من تقنية النيكل
- بينما تعد تقنيتي الـ PVD و الكروم تقنيات مختصة بالأسطح الخارجية دون الحصول على الكفاءة المطلوبة ضمن التجاويف والاشكال المعقدة

9-2-7-5 مقاومة العوامل الكيميائية والجوية:

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
3	2	3	4	مقاومة الماد الكيميائية
4	3	2	4	مقاومة الرطوبة
4	3	2	4	مقاومة الملوحة
3	2	3	4	مقاومة المواد العضوية ولا عضوية

التكرار/الاوزان	0	1	2	3	4	المجموع
كروم	0	0	0	0	4	16
نيكل	0	0	2	2	0	10
PVD	0	0	2	2	0	10
سيركوت	0	0	0	2	2	14

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
3.5	2.5	2.5	4	المتوسط الحسابي الراجع
0.87	0.62	0.62	1	مدى التطابق
%87	%62	%62	%100	النسبة المئوية للتطابق

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة من حيث مقاومة العوامل الكيميائية والجوية هي لتقنية الكروم بينما كانت اقل نتيجة من نصيب تقنيتي الـ PVD والنيكل بما يتناسب مع معيارنا بالتأرجح بين الجيد والجيد جدا وكانت نتائج تقنية السيركوت وفق المقياس في نقطة التأرجح بين الجيد جدا والأفضل بعد التقريب.

وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

- تقنية الكروم هي التقنية المثلى من اجل مقاومة العوامل الكيميائية والجوية.
- وتأتي تقنية السيركوت تقريبا في نفس المكانة من تقنية الكروم فيما يخص هذا النوع من المقاومات.
- بالنظر لكل من تقنيتي النيكل والـ PVD فإنها تبدي مقومة مقبولة نسبيا لكن اقل من سابقتها من التقنيات.
- المفاضلة بين التقنيات فيما يخص هذه المقاومات تعتمد بشكل أساسي على طبيعة الاستعمال وشروطه.

5-7-2-10 الخصائص الميكانيكية بعد الطلاء و السماكات الممكنة

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
3	2	2	4	زيادة الصلادة
3	3	4	4	مقاومة الاحتكاك
3	2	3	4	قوة الالتصاق بالسطح
3	2	4	1	تجانس طبقة الطلاء

المجموع	4	3	2	1	0	التكرار/الاوزان
13	3	0	0	1	0	كروم
13	2	1	1	0	0	نيكل
9	0	1	3	0	0	PVD
12	0	4	0	0	0	سيركوت

سيركوت	PVD	نيكل	كروم	
3	2.25	3.25	3.25	المتوسط الحسابي الراجع
0.75	0.56	0.81	0.81	مدى التطابق
%75	%56	%81	%81	النسبة المئوية للتطابق

بالاطلاع على النتائج السابقة كانت أفضل نتيجة من حيث الخصائص الميكانيكية المرجوة بعد الطلاء و السماكات الممكنة هي لتقنيتي الكروم والنيكل بينما كانت اقل نتيجة من نصيب تقنية الـ PVD بما يتناسب مع معيارنا بالجيد وكانت نتائج تقنية السيركوت وفق المقياس في نقطة الجيد جدا بعد التقريب.

وبالاعتماد على النتائج يمكن تحديد نقاط القوة والضعف:

- تعد تقنية الكروم هي التقنية الأفضل للحصول على زيادة في الخصائص الميكانيكية المفروضة لدى تطبيقها على القطع.
- اما بالنسبة لمقاومة الاحتكاك مع وتجانس طبقة الطلاء فتكون تقنية النيكل هي الحل المثالي لهذه المتطلبات.
- وتعتبر تقنية السيركوت مثالية الى حد ما في اضافة زيادة في الخواص المفروضة.

ملخص نتائج المعايير العشرة الأساسية وفق تقنيات الطلاء الأربعة المطبقة

بعد الدراسة العلمية والتطبيقية والمطابقة مع قوائم الفحص المفروضة واجراء المقابلات الشخصية مع الأشخاص ذوي الصلة المباشرة والمدراء المعنيين وعلى ضوء التحليلات السابقة بالاعتماد على قائمة الفحص وأيضا تحديد نقاط القوة والضعف بمكم تلخيص ما تم التوصل اليه وفق ما يلي:

سيركوت	PVD	نيكل	كروم		
4.00	1.50	2.75	2.75	الزمن	المتوسط الحسابي الراجع
4.00	2.25	1.00	1.00	طيف الألوان	
2.50	2.50	3.75	1.50	العمالة والسلامة المهنية	
2.50	2.75	3.00	0.00	التأثيرات البيئية والصحية	
3.75	1.50	3.00	2.50	الكلفة الاقتصادية التشغيلية للعملية	
3.50	2.25	2.50	3.00	العمليات التمهيدية والنهائية قبل وبعد الطلاء	
4.00	2.25	3.00	3.00	تعدد انواع الاسطح الممكن طلائها	
2.75	1.75	4.00	1.50	تعقيدات الاشكال وقابلية الطلاء للأشكال ذات التجاويف الدقيقة والابعاد الناتجة	
3.50	2.50	2.50	4.00	مقاومة العوامل الكيميائية والجوية	
3.00	2.25	3.25	3.25	الخصائص الميكانيكية المرجوة بعد الطلاء و السماكات الممكنة	
3.35	2.20	2.90	2.25	متوسط المجموع	

8-5 مناقشة النتائج والتوصيات

بعد الاطلاع على النتائج يمكن التعقيب عليها وتفسيرها وفق ما يلي:

1- قيمة المتوسط الحسابي العام الراجع لتقنية الكروم بقيمة 2.25 بما يتناسب وفق المعيار المفروض

بالتأرجح بين الجيد والجيد جدا وتفسير تلك القيمة يعود الى عدة أسباب:

- اكساب القطع خواص ميكانيكية عالية منها مقاومة الاحتكاك الصدم والقساوة العالية.
- اكساب القطع مقاومة عالية للظروف الجوية والرطوبة.
- اكساب القطع مقاومة عالية للمواد الكيميائية والعضوية.
- التأثيرات الخطيرة والكبيرة على الصحة العامة والبيئة.
- ظروف السلامة المهنية وتوابعها.
- صعوبة طلاء السطوح ذات التجاويف المعقدة.
- الافتقار الى طيف ألوان ومحدوديته واقتصاره على لون واحد فقط.

2- قيمة المتوسط الحسابي العام الراجع لتقنية النيكل بقيمة 3 بعد التقريب بما يتناسب وفق المعيار بالجيد

جدا وتفسير تلك القيمة يعود الى عدة أسباب:

- قابلية هذه التقنية لطلاء جميع الاشكال والتجاويف والتعقيدات الشكلية.
- واحتياجها لعمالة قليلة مع شروط سلامة مهنية بسيطة.
- اكساب القطع خواص ميكانيكية عالية منها مقاومة الاحتكاك الأعلى نسبيا.
- الافتقار الى طيف ألوان ومحدوديته واقتصاره على لون واحد فقط.

3- قيمة المتوسط الحسابي العام الراجع لتقنية الـ PVD بقيمة 2.2 بعد التقريب بما يتناسب وفق المعيار

بالجيد وتفسير تلك القيمة يعود الى عدة أسباب:

- الاحتياج لزمن تشغيل الأطول نسبيا.
- الكلفة الاقتصادية التشغيلية العالية.
- عدم القدرة الكاملة على طلاء جميع أنواع التجاويف والتعقيدات لأسطح القطع.
- محدودية أنواع الاسطح الممكن طلاؤها مع الحصول على أفضل نتائج.

4- قيمة المتوسط الحسابي العام الراجع لتقنية السيركوت بقيمة 3.35 بعد التقريب بما يتناسب وفق المعيار

بالتأرجح بين الجيد جدا والافضل وتفسير تلك القيمة يعود الى عدة أسباب:

- طيف الألوان اوسع مع إمكانية التحكم بالشدة اللونية.
- زمن العملية القصير نسبيا.
- اقتصادية الكلفة التشغيلية.
- تعدد أنواع الاسطح الممكن طلاؤها.
- ابداء مقاومات للعوامل الجوية عالية نسبيا.
- إضفاء خواص سطحية ميكانيكية مطلوبة.

يمكن من خلال استقراء نتائج الجدول السابق الخلوص الى عدد من النقاط المهمة من ناحية التطبيق والاختيار

والمفاضلة وكل ذلك بناء على سلسلة أمور منها هذه النتائج ومواصفات القطع ورؤية الإدارة والمعايير العالمية

نورد النتائج كما يلي:

1- القطع خارجية السطح

- تعد تقنية السيركوت هي الأفضل للقطع الخارجية من حيث تعدد طيف الألوان والخواص الميكانيكية المضافة لأسطح القطع بالإضافة الى قابلية مقاومة العوامل الجوية والكيميائية.
- تعد تقنية الـ PVD بالمرتبة الثانية بعد السيركوت بالنسبة للقطع الخارجية.
- طيف الألوان في تقنية السيركوت هو الاوسع والاشمل مقارنة بتقنية الـ PVD.
- تقنية السيركوت يمكنها التحكم بالشدة اللونية بعكس تقنية الـ PVD.
- المدة الزمنية التشغيلية لتقنية السيركوت هي أقصر من نظيرتها.

2- القطع معقدة التشكيل

- تقنية النيكل هي التقنية المثلى لمثل هذا النوع من المتطلبات.
- تعطي تقنية النيكل تجانسا كبيرا في السطح ووحدة في سماكة الطلاء لأي شكل مهما كان تعقيده وحجمه.
- وتعد تقنية السيركوت في المرتبة الثانية فيما يخص هذا الجزء المدروس وذلك بسبب محدودية قدرة عملية البخ وخبرة المشغل.
- بالنسبة لتقنية الـ PVD والكروم فهما محدودي القدرة على الوصول الى التجاويف الدقيقة وتغطية الابعاد الداخلية.

3- القطع الداخلية المطبق عليها اجهادات ميكانيكية وحركية عالية

- تقنية الكروم هي التقنية المثلى لمثل هذه المتطلبات التشغيلية لأنها تضيف للقطع خواص ميكانيكية عالية ومقاومات مرتفعة نسبيا للعوامل الجوية والكيميائية.
- تليها تقنية النيكل التي تكسب القطع مقاومة احتكاك عالية نسبيا.

4- القطع الخارجية المطبق عليها اجهادات ميكانيكية وحركية عالية

- تقنية الكروم هي التقنية المثلى مع الافتقار الى التنوع في طيف الألوان.

- تقنية السيركوت تعطي نتائج جيدة جدا وبطيف ألوان واسع.
- تقنية الـ PVD تعطي نتائج جيدة بطيف ألوان اقل من سابقتها.
- تقنية النيكل تعطي خواص ميكانيكية في مقاومة الاحتكاك دون الحصول على طيف ألوان.

جدول معطيات للتقنيات المدروسة والأماكن المناسبة للتطبيق

الجدول (5-6) التقنيات المدروسة والأماكن المناسبة للتطبيق

مواصفات ومكان التطبيق	التقنية الأنسب
القطع خارجية السطح	سيركوت تليها الـ PVD
القطع معقدة التشكيل	نيكل
القطع الداخلية المطبق عليها اجهادات ميكانيكية وحركية عالية	كروم تليها نيكل
القطع الخارجية المطبق عليها اجهادات ميكانيكية وحركية عالية	الكروم تليها السيركوت

9-5 المقترحات والتوصيات:

1. التوسع في التجارب من خلال تغيير نوع المعدن للركيزة وذلك وفق المعادن المدرجة للتصاميم في المصنع (سبائك الفولاذ الأخرى - خلأئط الألمنيوم - البولييمرات) وطرق انتاج اخرى (خرأطة - تفريز).
2. اجراء تجارب على القطع ذات المرونة العالية (صفأئح نابضيه -نوابض المخازن -نوابض آليات الأطلاق -حلقات التزويد) ومعرفة مدى تأثير الطلاء وثباتيته على هذا النوع من القطع.
3. اجراء اختبارات مدى التجانس اللوني ومدى تقليل التشطي البصري والاختفاء الراداري بالتعاون مع جهات متخصصة .

4. اعتماد الادخال الالكتروني المركزي والمستمر للبيانات والمعطيات بين مختلف الاقسام على برامج البيانات مثل الأكسل أو الأوراكل وأجراء عمليات الفلترة المستمرة حاسوبياً على البيانات ومراقبة مدى الاضطراب ومعدل التغيير في المعايير الفرعية لان العمليات في حالة تحسين مستمر والخبرة التقنية تترسخ مع مرور الزمن.
5. امكانية اعتماد برامج تصميم وتصنيع ذات شمولية عالية تتابع دورة حياة المنتج بشكل كامل مثل كاتيا وسيمنز لما لها من اهمية توثيق كامل العمليات وتفاصيلها.
6. الاستمرار بأجراء التجارب عند تغيير المواد الخام المستخدمة في التقنية وجهات التوريد بسبب الدور الذي تلعبه نقاوة هذه المواد ولما لظروف الحصار من أثر بتحديد الموردين.
7. العمل والسعي لإنشاء مخبر متخصص بجودة ووثوقية عمليات التلبيس بالاعتماد على الخبرة الوطنية والتعاون مع القطاع الخاص بسبب صعوبة توفر القاعدة التقنية للجهات البحثية الصناعية الوطنية في هذا المجال حالياً.
8. ادخال وتجريب تقنيات طلاء أخرى مستخدمة عالمياً والسعي لتوطينها.
9. اجراء المزيد من التجارب العلمية العميقة على تقنية السيركوت كونها تقنية جديدة ومتخصصة للدول الصناعية الكبرى.

المراجع العربية

- (1) محمد العوامي، محمد. ،ياسر عيد، محمد علي. (2020) توجيه المصمم لاختيار الطريقة الملائمة لمعالجة وإنهاء سطح المنتج المعدني، مجلة العمارة والفنون والعلوم الانسانية، المجلد 5، العدد 19 (31 كانون الثاني 2020)، ص. 560-585.
- (2) بوخلوة، باديس.(2016) أثر تطبيق مبادئ إدارة الجودة الشاملة على جودة المنتجات النفطية، جامعة قاصدي مرباح -ورقلة أطروحة دكتوراه
- (3) زين الدين ، فريد عبد الفتاح. (1992) ، المنهج العلمي لتطبيق إدارة الجودة الشاملة في المؤسسات العربية، دار الكتاب .بدون ذكر البلد.
- (4) صالح السمرائي، مهدي . (2007) إدارة الجودة الشاملة في القطاعين الإنتاجي و الخدمي، دار جرير للنشر و التوزيع، عمان، الأردن، ط4 ،ص49
- (5) علوان، قاسم نايف.(2005) إدارة الجودة الشاملة ومتطلبات الإيزو 9001 (2000) ، الطبعة الأولى دار الثقافة للنشر والتوزيع ، عمان، ص 81
- (6) الطائي، رعد عبد الله. قدادة، عيسى. (2005) إدارة الجودة الشاملة، دار اليازوري، عمان، الأردن، ص 25
- (7) شتيني عبد الرحيم وآخرون،(2011) إدارة الجودة الشاملة مدخل استراتيجي للتغيير التنظيمي في منظمات الأعمال، ملتقى دولي حول " : الإبداع والتغيير .-- التنظيمي في المنظمات الحديثة دراسة وتحليل تجارب وطنية ودولية" ، يومي 41 و 49 ماي ، جامعة سعد دحلب بالبلدية، الجزائر، ص44
- (8) عياش، قويدر.(2005) مدخل إدارة الجودة الشاملة كمحدد للأداء المتميز في المنظمات، المؤتمر العلمي الدولي حول الأداء المتميز للمنظمات و الحكومات يومي 08 -09 . -- مارس 2005 ، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، ص ص 223، 222

(9) مروان، المحاسني. مشوح، لبانة . لياس، سهيلا. أحمد، حسام. رزق، هاني. ناصر، أكرم. السهلي،

عبدة.(2022) معجم مصطلحات هندسة الوثوقية, مجمع اللغة العربية في دمشق

(10) ان .آر .جينزين -جونز ومات شرودر ، (2019) دليل إرشادي لتحديد الأسلحة الصغيرة والخفيفة والذخيرة

المرفقة لها، إصدار صادر عن مسح الأسلحة الصغيرة بدعم من مكتب إزالة الأسلحة والحد منها التابع لوزارة

الخارجية الأمريكية ،

(11) عزيمة، خليل. (2012) هندسة السطوح . دمشق : سوريا . جامعة دمشق .

(12) عزيمة، خليل. ضحية، فؤاد (2008) علم المواد وهندستها. دمشق: سوريا . جامعة دمشق .

(13) رمضان، عبد العزيز. (1995) التحليل الآلي منشورات جامعة حلب

المراجع الاجنبية

14) Zhiping, SUN ., Guangyu HE., Qingjie MENG., Yuqin L I.,Xiaodong TIAN
,(2020) “**Corrosion mechanism investigation of TiN/Ti coating and TC4 alloy for aircraft compressor application**” chinese journal of Aeronautics 33(6):1824–1835.

15) Sharun, V., Rajasekaran M., S.Suresh Kumar,Vikas Tripathi, Rajneesh Sharma., G.Puthilibai., M.Sudhakar., KassuNegash ,(2022) “**Study on Developments in Protection Coating Techniques for Steel**” Materials Science and Engineering

16) Pedro Poza., Miguel Angel Garrido–Maneiro,(2022) “**Cold–Sprayed coatings: Microstructure,mechanical properties,and wear behavior**” progress in Materials science (123),100839.

17)PanelJunyu Chen., Weijie Wang., Pengfei Jin ., Caihong Dou ., Chao Zhao. , Qi ang Li , Cheng Zhang , Jinfeng Huang ,(2022) **Thermo–mechanical analysis of strength degradation of 30SiMn2MoVA gun barrel material during continuous shooting**, September. Engineering Failure Analysis.

- 18) V V Deryushev., M M Zaitseva., E E Kosenko and V V Kosenko., (2020) , **The quality analysis of the anti-corrosion coatings metal structures operating in difficult conditions**, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 913 042059 DOI 10.1088/1757-899X/913/4/042059.
- 19) Sandeep Bhoi ., Ashwani Kumar ., Arbind Prasad ., Chandan Swaroop Meena ., Rudra Bubai Sarkar ., Bidyanand Mahto ., Aritra Ghosh. o,(2022) **Performance Evaluation of Different Coating Materials in Delamination for Micro-Milling Applications on High-Speed Steel Substrate Micromachine** Aug 8;13(8):1277. doi: 10.3390/mi13081277.
- 20) Mari Ramesh., Krishnaswamy Marimuthu., Palanisamy Karuppuswamy., Lakshmi Narasimhan., (2022) **Rajeshkumar “Microstructure and properties of YSZ- Al_2O_3 functional ceramic thermal barrier coatings for military applications”** Boletin de la Sociedad Espanola de ceramic y vidrio, 61 (6) Nov-Dec 2022 , pages 641-652.
- 21) ArdaYenipazarli.,(2019) **"Incentives for Environmental Research and Development: Consumer Preferences, Competitive Pressure and Emissions Taxation"**, European Journal of Operational Research,Vol. 276,No.2,p 757-769.
- 22)DubravkaPekanovetal.,(2015)**"QuantificationofQualityCosts:ImpactonTheQualityofProducts"**, Ekonomski pregled,Vol. 66, No.3, p231-251.
- 23) Zikmund and al., (2010). Business research methods, 8th ed. South-Western Cengage Learning, Canada. p. 199.
- 24) Crosby Philip B. (1979). Quality is Free. The Art of Making Quality Certain Mentor book Publisher, McGraw-Hill, ISBN, 0070145121, 9780070145122.

- 25) Draghici Mihai and Petcu Andreea Jenica, (2010). **TQM and Six Sigma – the Role and Impact on Service Organization**, The Romanian Economic Journal, 36(6), 123 – 136
- 26) Harvey L. and Green D. (1993). Defining quality. Assessment and Evaluation in Higher Education, 18(1). 9–34.
- 27) Juran M. Joseph and Goodfrey A. Blanton (1999). **Juran’s Quality Handbook** , 5th edition, McGraw–Hill, USA. P. 11.1.
- 28) Abdellali Bouzid (2010). **Normes ISO 9001, ou ligne directrices EQUA pour l’enseignement supérieur, Actes du colloque international sur les enjeux de l’assurance qualité dans l’enseignement supérieur**, 20 et 21 Nov. Consortium des Universités de l’Est, Université de Skikda. Algérie.
- 29) Garvin, D.A., (1987) **Competing in the Eight Dimensions of Quality**. Harvard Business Review, 101–109.

ABSTRACT

The production is military production with special requirements, as it is produced to order with great competition between manufacturers and products to produce reliable products in harsh working requirements and demanding requirements.

The importance of military production does not affect any part of the system, such as concealment, camouflage and colors, as well as protection against surface corrosion and reducing quality costs in the target factory.

As a result, the study produced an intellectual and practical definition of the concept of quality and reliability and their tests, through the use of four coating methods: paint coating, nickel plating, PVD coating, and a coating layer on a military product, corresponding to the best coating according to the specifications and place of application.

The experimental approach was relied upon and based on studying the processes within the facility, data was collected and the practical results were analyzed to reach the desired research objectives and determine the appropriate coating method.

Keywords: plating, circuit, quality, reliability, salt spray test, chrome plating, nickel plating.

Syrian Arab Republic

Damascus University

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Department of Mechanical Design Engineering



**The effect of coating methods on the properties, quality and
economical production of the metal surface**

A special case study

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for
the degree of Master in Industrial Engineering

By:

Eng. Salman Ali

Associated supervisor

Dr.Eng Wassim Dib

Departement of Mecanical Design
Engineering-Damascus University

Scientific supervisor

Dr.Eng Bassel sanoufeh

Assistant Prof-Departement of Mecanical
Design Engineering-Damascus University

Academic Year

2024–2025