جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الصناعي – الخزف والزجاج

الأول

تأليف

د. شهاب احمد زيدان الجبوري

علي ادهم عبد الامير يحيى رشيد

زهراء صلاح

الطعبة الرابعة

1447هـ - 2025 م

مقدمة الكتاب

هذا الكتاب هو الأول في سلسلة كتب تكنولوجيا الخزف ضمن منهاج العلوم الصناعية للمرحلة الأولى – الإعدادية المهنية، ويشمل سبعة فصول هي: نبذة تاريخية عن الخزف، تركيب المادة، تصنيف المواد السيراميكية المتقدمة، الخواص المهمة أثناء عملية التصنيع، تشكيل المواد الخزفية وعمليات تجفيف المنتجات الخزفية.

بنيت فصول الكتاب على أساس الخلفية العلمية للطالب وما تم دراسته في المراحل الدراسية السابقة وبالاعتماد على مراجع عربية وأجنبية عديدة ومتنوعة. وللأسف وجدنا الكتب العربية المؤلفة أو المترجمة في هذا المجال قد اهتمت بالجانب الفني ومتطلبات العمل الفني فقط ولم تناقش الجانب العلمي والتكنولوجي بالتفصيل لذلك جاء هذا الكتاب ليسد النقص الحاصل في المكتبة العربية خصوصاً أن تكنولوجيا وصناعة الخزف أصبحت واحدة من أهم الدعائم التي يرتكز عليها اقتصاد العديد من دول العالم، فقد حصلت تطورات سريعة وكبيرة في معدات تحضير المنتجات الخزفية الأمر الذي أدى إلى توسع هذه الصناعة لتشمل منتجات خزفية متقدمة أطلق عليها (السيراميك المتقدم) ومن أمثلتها الكاربيدات والنتريدات، لتتحول هذه الحرفة القديمة إلى صناعة متقدمة ومتطورة.

لذلك حاولنا في هذا الكتاب الاهتمام في فن وتكنولوجيا الخزف على حد سواء مع عرض الأنظمة المتقدمة لإنتاج الخزف وإضافة عنصر التشويق للطالب من خلال الصور الملونة والمخططات التوضيحية.

في الختام نأمل أن نكون قد وفقنا في تأليف ما يفيد طلبتنا الأعزاء في مجال فن وتكنولوجيا الخزف ليكون هذا الكتاب عوناً لهم في فهم أساسيات هذه الحرفة والصناعة المهمة.

والله من وراء القصد

لجنة التأليف

المحتويات

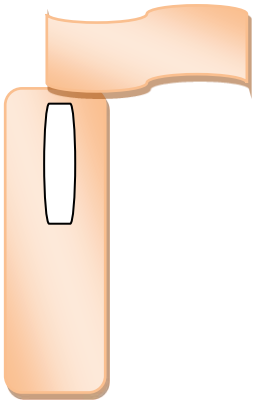
الفصل الاول	4
1-1 المقدمة	5
2-1 كيف يتطلع عامة الناس إلى قطعة خزفية قديمة وحديثة	8
3-1 الخزف بين المادة والتكوين	11
1- 4 تكوين الشكل الفني	12
الاسئلة	14
الفصل الثاني	15
1-2 التركيب الذري	16
2-2 خواص المادة	17
3-3 اشكال المادة	17
4-1 حالات الاكسدة	19
1- 5 التركيب البلوري	20
6-2 الاواصر الذري	21
7-2 الخواص العامة للمواد	24
الاسئلة	31
الفصل الثالث	32
1-3 تعريف الخزف	33
2-3 اهمية وتطور صناعة الخزف	33
3-3 تصنيف المواد الخزفية	35
4-3 استعمالات الخزف	39
5-3 الاطيان	44
6-3 اصل الطين	44
7-3 كيف تحلل الصخور إلى المعادن الطينية	45
8-3 انواع الاطيان	47
9-3 الفلنت	54
10-3 المواد الخزفية غير اللدنة	54
11-3 الطبيعة الفيزيائية للاطيان	58
12-3 مواصفات الخامات العراقية الاولية المستخدمة في صناعة الخزف	62
الاسئلة	64

الفصل الرابع	65
1-4 اكاسيد المعادن	66
2-4 الكاربيدات	73
3-4 النترات	75
4-4 الكرافت	76
5-4 السيرميت	76
الاسئلة	77
الفصل الخامس	78
1-5 اللدونة	79
2-5 المادة الرابطة	80
3-5 خواص العالق	81
الاسئلة	85
الفصل السادس	86
1-6 عمليات تشكيل الطين وتصنيعة	87
2-6 تشكيل الطين	89
3-6 عمليات تشكيل السيراميك	93
الاسئلة	119
الفصل السابع	120
1-7 المقدمة	121
2-7 الماء الفيزيائى	121
3-7 الية التجفيف	122
4-7 العوامل الداخلية المؤثرة فى الية التجفيف	124
5-7 العوامل الخارجية المؤثرة في الية التجفيف	125
6-7 انكماش التجفيف	126
7-7 الاخطاء المحتملة اثناء التجفيف	127
الاسئلة	128

الفصل الأول

نبذة تاريخية عن صناعة الخزف

مفردات الفصل :



1-1 المقدمة

2-1 كيف يتطلع عامة الناس إلى قطعة خزفية قديمة أو حديثة

3-1 الخزف بين المادة والتكوين

4-1 تكوين الشكل الفني للخزف

الأغراض السلوكية :

بعد دراسة هذا الفصل يكون الطالب قادراً على أن:

- **يتعرف على دور العرب في تطور صناعة الخزف.**
- **يذكر ابرز المدن العربية التي اهتمت في صناعة الخزف.**
- **يعطي أمثلة على ابرز الطرق القديمة في صناعة الخزف.**

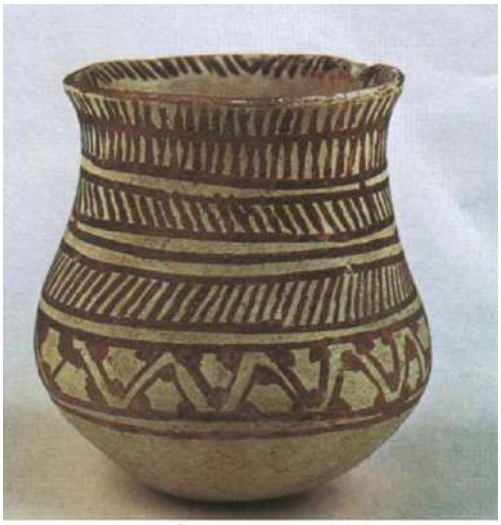
1-1 المقدمة

تعتبر صناعة الخزف من أوائل الصناعات التي ظهرت على الأرض، فقد صُنِعت أقدم الأواني بالأيدي من الطين الخام المستخرج من الأرض وكانت مثل هذه الأواني تجفف في الشمس والهواء. وحينما أُكتشِفَت النار، تعلم الإنسان كيف يجعل أوعيته أكثر صلابة وقدرة على البقاء. وفي العصور القديمة قبل الاسلام لم يكن للخزف قيمة تذكر وذلك بسبب استخدام المسؤولين على رعاية الفنون للأواني المعدنية من الذهب والفضة، وبالتالي لم يهتموا بالأواني التي تصنع من الفخار، ولما جاء الاسلام حرم البذخ والتغالي في استعمالات أدوات الزينة والأواني المصنوعة من الذهب والفضة ومما كان لهذا التحريم اطيب الأثر في العناية بصناعة الخزف وابتكار أنواع جديدة لتحل محل الأواني المعدنية. فظهر لأول مرة الخزف ذو الزخارف البارزة تحت طلاء مذهب والذي يعتبر التجربة الأولى لإبتكار الزخرفة بالطلاء ذي البريق المعدني في البصرة بالعراق في القرن التاسع الميلادي، الذي يعد ابتكاراً اسلامياً خالصاً غير مسبوق في الحضارات السابقة للإسلام، ولم يتوصل له الصينيون بالرغم من علو شأنهم في مجال صناعة الخزف والبورسلين وأنتقل الخزف العربي من مرحلة تقليد الخزف الصيني الى مرحلة الإبتكار وإبراز الشخصية الفنية العربية حيث عثر على الخزف ذي الزخارف المرسومة بالبريق المعدني في العراق في كثير من الأماكن مثل المدائن وسامراء ، وفي مصر في أطلال مدينة الفسطاط. وكانت صناعة الخزف في سامراء وصلت الى مرحلة التطور والإزدهار ولاسيما في القرن الثالث الهجري (التاسع ميلادي)، وتتميز هذه الصناعة بالدقة والبراعة في التلوين أو التزجيج، وكما امتازت بتنوع اشكالها وجمال زخرفتها وتعدد ألوان دهانها، ومن أشهر أنواع هذه الخزفيات هي تلك المزخرفة بالطلاء ذي البريق المعدني. ويمكن اعتبار سامراء فرعاً للمدرسة العراقية في صناعة الخزف ذي البريق المعدني ولابد أن تكون بلاطات جامع القيروان من صناعة بغداد التي كانت تسبق في تاريخها صناعة خزف سامراء. وتوجد في متحف برلين أمثلة كثيرة من هذا النوع وفي متحف المتر وبوليتا بنيويورك بالإضافة إلى نماذج كثيرة منه معروضة في متحف الخزف الإسلامي بمصر، شكل (1-1)

شكل 1-1 نماذج من الخزف ذي البريق المعدني من التراث المصري

يقول ديماند في كتابة الفنون الإسلامية: (كان العراق، وعلى الأخص بغداد يعد أكبر مركز لإنتاج هذا النوع الفاخر من الخزف في القرن التاسع للميلاد) ويقول: (ان انتاج ايران من هذا النوع المتعدد الألوان والمصنوعة وفق الأساليب العراقية). وأما ما عثر عليه بمصر ولاسيما الفسطاط والبهنسا وبعض الأماكن المصرية الأخرى من الخزف ذي البريق المعدني المتعدد الألوان فمن الراجح أنه مستورد من العراق شكل (1-2).

أنتقل استخدام هذا النوع من الطلاء العراقي الجديد الى أوربا أيضاً وهذا ما أثبته لنا العالم الإنكليزي (آرثرلين) حيث يقول: (أتجه الأوربيون الى الخزف الإسلامي واستعانوا بخزافين من الأندلس وتتلمذوا عليهم وعرفوا منهم أسرار هذه الصناعة). وكان للخزف العراقي الأثر الكبير في تطوير صناعة الخزف في أوربا فقد وصلهم عن طريق الأندلس ونقله عنهم الايطاليون في القرن الخامس عشر الميلادي. واشتهرت الموصل بخزف البريوتين كالخوابي والحباب والزمزميات والجرار التي كانت تستخدم في خزن المياه والنبيذ في العصر السلجوقي (447-590هـ) اذ شاع في ذلك العصر استخدام مثل هذا الخزف ذي الرسوم البارزة المصنوعة بالفرطاس أو القمع، وتشمل أشكالاً حيوانية وطيور مختلفة مفرعة كالأسد والكبش والطاووس والحمام وحيوانات خرافية كبيرة شكل، (1-3) وكانت توضع هذه الأشكال حول الأناء أو في موضع قريب من فوهته، واستخدمت أشكالاً زخرفية هندسية جميلة.



وعاء من الفخار المزخرف بألوان ترابية
– سامراء –

قدر من الخزف ذي البريق المعدني
– مصر –

شكل 1– 2 نماذج من تراث الخزف العراقي والمصري

ويلاحظ أيضاً في بعض الأواني الخزفية العراقية على النصف الأعلى منها اشكال نساء بوجه كامل مصور على سطوحها الخارجية، ويبدو على صدورهن ورؤسهن حلى مختلفة، كما لوحظت مثل هذه الرسوم على النقود الاتابكية. وهناك حباب ماء مختلفة عثر على أحدها في قرية كبيرة تقع على بعد 25 km غربي الموصل ومعظمها مزيناً برسم حيوانات خرافية كبيرة وبارزة. واشتهر الفخاري عبد المنعم وهو من الشمال بصناعة هذه الأنواع الفخارية حيث وجد أسمه مكتوباً على جزء من حب موجود في متحف الموصل .

(آسكوس) فخار فينيقي من القرن السابع ق.م
– قبرص –

لعل من أبرز الأسباب التي جعلت العراقيين يتقدمون في صناعة الخزف هي وفرة الخامات الطينية اللازمة لهذه الصناعة إذ تتميز الخامات الطينية في العراق بتنوعها ووفرتها، فقد بذلت الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين جهداً جباراً من خلال باحثيها في تهيئة تقارير مهمة حول الخامات العراقية ووفرتها والنسب المئوية لمكوناتها وأعطت هذه التقارير صورة واضحة عن إمكانية تقدم هذه الصناعة وبشكل كبير وبكافة الاتجاهات منها صناعة الخزف والزجاج والحراريات.

2-1 كيف يتطلع عامة الناس إلى قطعة خزفية قديمة أو حديثة :-

يعتبر عامة الناس أن صناعة الخزف تتدرج تحت إطار الأعمال الحرفية التي تدعى أرتيزانا، شكل (1-4) والخزاف هو حرفي يحقق الحاجات الأولية للمجتمع والبيئة المحيطة من خلال المادة التي يصنعها من الطين، وحسب رأي المؤرخين للفن أن السيراميك هو حرفة فنية متغيرة تعطينا إمكانيات مختلفة في الشكل المادي (الأثر)، والزخرفي (الفن). ومنذ اللحظة التي بدأ فيها اهتمام الخزاف بتلوين الدوائر أو رسم خطوط ملونة على إبريق، أوصحن، أو قارورة، أصبحت معه طريقة التعبير ذات موهبة تصويرية أولاً وروائية ثانياً (مشهد إنساني، حيواني، ميثولوجي) فيما بعد كان الاهتمام بالاساس الخزفي(الفخار الناتج عن شوي الطين) أي المادة الحاملة للصورة الملونة، هذا يعني أن الخزاف يتعامل مع المادة كفنان وليس كصانع وحرفي فقط .

ويبدو أن الحدث الأساس في تاريخ السيراميك يعتمد على جمع مادة التراب إلى الماء لتكوين الطين وعرضها على الهواء لتجف، ثم تقديمها إلى النار لتكتسب قوة الصلابة من الهواء لتجف، كما يبدو أنها بادرة حب جمعت عناصر الطبيعة الأربعة : الأرض، الماء، الهواء، والنار بهدف فعل التكوين "التكوين " فن الخزف .

شكل 1-4 نموذج خزفي قديم يدلل على أن الخزف كان يلبي حاجة الإنسان الفنية

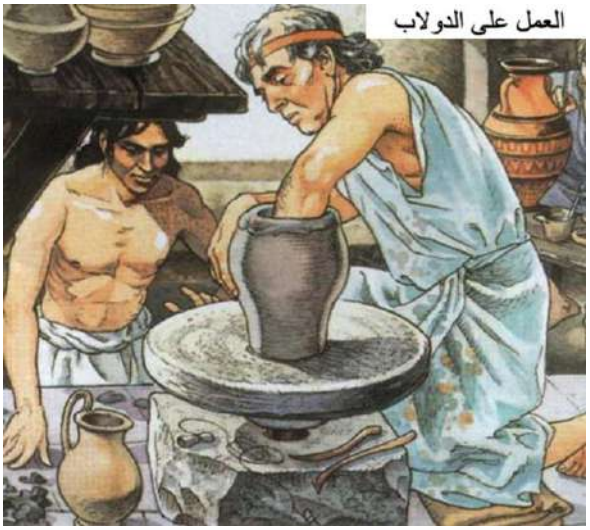
هنا تبدأ قصة دور اليد الآدمية التي أصبحت اداة الإبداع في مجال التشكيل والتكوين فالتراب يمثل الأرض التي تصبح الإناء، واليد التي تجمع الماء إلى التراب ليعطي الطين اللزج القابل للتشكيل، كما في الشكل (1- 5).

تحضير الطين بطريقة زلج الطين بالأرجل

شكل 1– 5 الطريقة القديمة لتحضير طين الخزف تدلل على علاقة الإنسان بعناصر الطبيعة

ومن التشكيل الفني للطين يُعَرَضْ الطين للهواء الذي يجفف الإناء المشكل، واليد التي تنقله بعد لمسات التشكيل المجففة إلى النار لطبخه (الشوي)، شكل (1-6) هي الوسيط الفني الأساس لتكوين التوازن بين عناصر الطبيعة التي كونت "الخزف" (كحالة من الفنون الإبداعية)، ويد الإنسان الفنان التي جعلت من توازن الكتلة والشكل والمادة أمكانية لا متناهية من حيث التشكيل الحرفي والفني أولاً والوظيفي لما هو مشكل من الخزف ثانياً، والفنان الخزاف يشكل منحوتة مفرغة من كتلة أساس تراب وماء (الطين)، وبمساعدة الدولاب يذهب الخزاف إلى أبعد من تشكيل الفراغ حيث يستعمل إحدى القوى البسيطة المرتبطة بفيزياء الجسد " القوة الطاردة المركزية " والتي تساوي البعد الروحي لأي عمل إبداعي حيث يعتمد على اليد والروح معاً شكل (1-7) .

شكل 1–6 الكورة القديمة المستخدمة لشوي المنتجات الخزفية



شكل 1-7 العمل على الدولاب اليدوي يجسد اثر الروح والجسد في العمل الإبداعي

إن دمج التراب إلى الماء التي عالجها الإنسان بفن وبيديه الاثنتين هو إنتاج طبيعي لحب الماء للتراب (عناصر الطبيعة، نهر النيل والفرات مثلاً هو أشبه بحب الإنسان للطبيعة وبحب الطبيعة لذاتها).

إن القيمة الاجتماعية والروحية لأي عمل خزفي لا تنفصل عن الوظيفة الأساسية التي صنع لأجلها وتكمن في مستوى اختيار أصحابها لها، وتدل على المستوى الاجتماعي الراقي والمتوازي في القيمة المادية إلى حد ما وهذا ما تثبته العناصر الزخرفية .

وجد الخزاف عبر العصور أنه من الطبيعي تأسيس لعلاقة وثيقة وضيقة تعطي مقياس الأهمية للعمل الإبداعي لأية آنية طينية قد يشكلها، إنها علاقة سرية أشبه بالنمط الصوفي الباطني، علاقة الروح بالجسد – علاقة التربة بالأرض، وقد انعكست تلك العلاقة ومفاهيمها المستعارة أحياناً على زخرفة العمل الخزفي .

لذا ففي القديم كما اليوم كانت الأواني موصوفة بواسطة مصطلحات متداولة من التشريح الجمالي لجسم الإنسان: فنحكي في الخزف عن الشفاه، الرقبة، الأكتاف، البطن، الأرجل، الذراع (الأذن لدى الإغريق) وكأنها أما منحوتة لإنسان حي أو إبداع لعمل حي.

لهذا وبدون شك إن جمالية العمل الخزفي في أي زمان وفي أي مكان ليست معزولة عن هدفها الوظيفي الأساسي التي صنعت لأجله، وأن صانعوها كانوا على معرفة عميقة بالقيم الفنية التي تحدثنا عنها، وربما أكثر مما نتصور وبالتأكيد عبر معطيات أكثر تنوعاً لا تزال بحاجة إلى كشفها في المستقبل.

3-1 الخزف بين المادة والتكوين

بالإضافة إلى كون الخزف نتاج يدوي، متنوع في مكوناته الأساسية، فهو يأخذ في مجال الآثار دلالات أخرى مختلف، فمصطلح خزف يصبح في أكثر الأحيان شمولياً عندما يعبر عن مرحلة تاريخية فنقول مثلاً خزف بلاد الرافدين أو خزف (تيراسيجلاتا) الروماني فيقصد بذلك الإشارة إلى أشياء فنية مصنوعة من الخزف ذات خصائص مشتركة : جغرافية، حضارية، وتقنية. فهذه الصناعة الفنية بدأت تأخذ إطارها الجغرافي والحضاري في النصف الثاني من العصر الحجري الحديث حوالي (6000 ق.م) في الشرق الأدنى مثل : حسونة في شمال العراق وأوغاريت (رأس شمرا) في شمالي سوريا .

ومع تصاعد الحاجة إلى الأواني الخزفية ذات الوظائف المتعددة بدأ ظهور الخزف وانتشاره وتطورت الطرق التقنية لتصنيعه تبعاً لتبدل الظروف الاجتماعية للإنسان في مواطن الاستقرار

الجديدة من قرى ومستوطنات ومدن، وكذلك مع بداية العصور التاريخية حوالي (3000 ق.م) ومنذ تلك الفترة دخل الخزف ليلبي حاجات إنسانية متعددة، سواءً كانت منزلية أو صناعية.

ففي الحياة اليومية استخدمت الأواني الفخارية لأغراض شتى كتخزين الحبوب والمواد الغذائية والسوائل، وفي حالات أخرى لدفن الموتى أو لاحتواء رماد الجثث المحروقة طبقاً لطقوس دينية محددة أو حتى لتزويد الميت بمتطلبات العيش بعد الموت ولضمان استمراره في الحياة الماورائية حسب معتقدات بعض الشعوب القديمة. لهذا تشكل مادة الخزف لمؤرخي الفن ولعلماء الآثار مادة أساسية لدراسة تطور الحضارات عبر العصور، وأضحى علم الخزف اليوم من الاسس المهمة في دراسة علم الآثار، إذن ما هي خصوصيات هذا العلم من اجل دراسة وتصنيفة ومواده وتنوع أشكاله وزخارفه ؟ وما هي المواد الأساسية التي يتكون منها الخزف ؟

كما سبق وأشرنا في مقدمة هذا الموضوع فإنه لا يمكن التحدث عن الخزف دون معرفة التربة وخواصها والتي تكون المادة الأساسية لمعظم أنواع الخزف، فالتربة الممزوجة بالماء تشكل الطين المرن واللزج القابل للتشكيل. اما ظاهرة التقلص والتماسك بعد الجفاف وقابلية التصلب والتحجر بعد الشَي، والتربة هي مزيج من السيليكا والمانييزيوم التي تسمى الصلصال بالعربية وتسمى آرجيلا (Argilla) باللاتينية.

تعتبر عملية تحضير الطين أو العجينة الطينية أساس صناعة الخزف لأن اختيار الخامات وطرق تحضيرها يحددان نمط القطع المصنوعة منها لهذا فإن التربة تمر بعدة مراحل قبل تشكيلها فتصفى أولاً لتنظيفها من الشوائب وذلك بسحقها ونخلها وتنقل بعدها إلى حوض الترقيد، وقد يبقى الطين السائل في الحوض لفترة طويلة تبعاً للحاجة الأساسية للتصنيع، وبعد جفاف الطين يؤخذ من الحوض ويضاف إليه التراب الناعم ثم يعجن بالأيدي أو بالأرجل كي يخلص من الفقاعات الهوائية، ويصبح أكثر تجانساً وصالحاً للعمل .

4-1 تكوين الشكل الفني للخزف

ثمة طرق استعملت قديماً في عملية التكوين والتي تبدأ بكتلة الطين وتنتهي بالإناء أو بالشكل الفني المراد تشكيله، ولهذا نجد ثلاث طرق وهي: التشكيل باليد، التشكيل بالدولاب، والتشكيل بالقولبة والصب، ويعتبر التشكيل باليد التقنية الأكثر قدماً والأكثر بساطة حيث يتم بناء الآنية مثلاً بتكوين حبال من الطين تلف لولبياً وتأخذ شكل الحلقات المتتالية التي تسوى باليد لتكون جدران الوعاء كما في الشكل (1-8)، ويستعين الخزاف بعدد من الأدوات البسيطة المكونة

من الخشب كلمسوط والمقشط، وفي حالة تشكيل الأعمال الكبيرة نسبياً كالتماثيل التي تفرغ من الداخل كي لا تشوه أو تتشقق و تنفجر أثناء الشَي .

فعلى صعيد الاكتشافات الأثرية، نشير إلى أن الأعداد الكبيرة من الأواني القديمة المشكلة باليد والتي تعود إلى الفترة الممتدة بين الألف السادس والألف الثالث ق.م، تعبر عن تناغم في العناصر وعن جمالية راقية تعكس قدرات الخزافين القدماء في تلك الفترة .

شكل 1-8 طريقة تشكيل الجسم الخزفي بالحبال الطينية

1- ماذا يجسد العمل على الدولاب اليدوي؟

2- ما هي أبرز المراحل التي يتبعها الخزاف في تحضير المنتجات الخزفية؟

3- ما العامل المهم الذي يحدد نمط المنتجات الخزفية المصنوعة؟

4- لماذا يتم وضع الطين الممزوج بالماء لفترة طويلة في الماء (الترقيد)؟

5- ما هي أسباب ازدهار صناعة الخزف بعد ظهور الإسلام؟

6- عدد أبرز الطرق القديمة التي استخدمت في تكوين الجسم الخزفي؟

7- لماذا تجوف المنتجات الخزفية الكبيرة عند التشكيل؟

8- أي نوع من الخزف الذي يعد ابتكاراً إسلاميا خالصاً، وأين ظهر؟

مفردات الفصل

2 - 1 التركيب الذري

2 - 2 خواص المادة

2 - 3 أشكال المادة

2 - 4 حالات الأكسدة

2 - 5 التركيب البلوري

2 - 6 الأواصر الذرية

2 - 7 الخواص العامة للمواد

الأغراض السلوكية

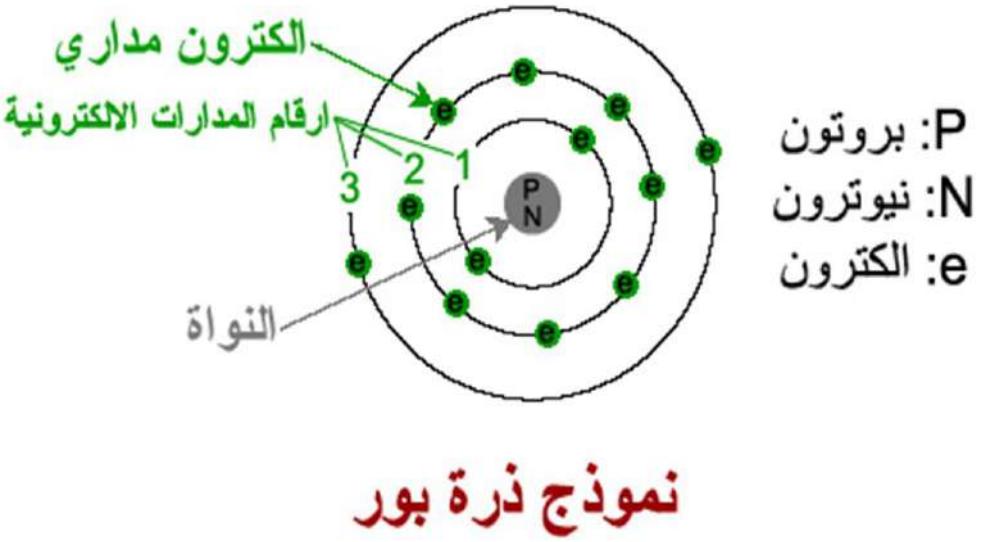
بعد دراسة هذا الفصل نتوقع أن يكون الطالب قادراً على ان:

- يتعرف على التركيب الذري للمادة ومكونات الذرة.
- يحدد الخواص العامة للمادة الصلبة.
- يقارن بين الترتيب الذري العشوائي والبلوري.
- يميز بين أنواع الأواصر التي تربط الذرات في المادة الصلبة.
- يحسب رياضياً بعض خواص المواد الصلبة.

2 - 1 التركيب الذري :

تعتبر الذرة أصغر وحدة تركيبية في المادة والتي تحدد خواصها وتساهم في تركيب مختلف المواد علما بأنها قابلة للتجزئة الا أن أجزائها لا تتفاعل كيمياوياً مع أية مادة أخرى، ولهذا السبب تعتبر الوحدة الأساسية للعنصر وقطرها حوالي 3×10^{-10} m، لها جزء مركزي صغير جداً يسمى النواة، تمتلك شحنة موجبة، شكل (2-1). ويمكن اعتبار كتلة الذرة مركزة في نواتها وقطر النواة حوالي 10^{-14} m ، كما تحتوي النواة على نوعين من الجسيمات الأساسية هي البروتونات (شحنتها موجبة) والنيوترونات (متعادلة) ولهما كتلتان متقاربتان ويمثل مجموعهما العدد الكتلي للذرة. عدد البروتونات في النواة يعطي العدد الذري للعنصر ويمكن من خلاله معرفة العنصر في الطبيعة. الجسيمات السالبة المحيطة بالنواة تدعى الالكترونات ولها شحنة سالبة تعادل شحنة البروتونات في النواة وتترتب هذه الالكترونات في مستويات محددة تدعى المدارات الالكترونية وتدور هذه الالكترونات بمدارات محددة حول النواة . وفي الذرة الواحدة يمكن إيجاد العلاقات التالية بين المكونات :

- عددا لالكترونات = عددا لبروتونات = العدد الذري
- العدد الكتلي = عدد البروتونات + عدد النيوترونات
- شحنة البروتون (الموجبة) = شحنة الإلكترون (السالبة) = 1.6×10^{-19} C
- كتلة البروتون = كتلة النيوترون



شكل2-1 : المكونات الأساسية للذرة

2 - 2 خواص المادة :

يمكن تقسيم خواص المادة الى ثلاثة أقسام رئيسة هي :

أ- الخواص الكيميائية ب- الخواص الفيزيائية ج- الخواص الميكانيكية

أ- الخواص الكيميائية : من أهم خواص المادة الكيميائية قابلية هذه المادة أو المواد المختلفة للتفاعل الكيميائي وينتج عن ذلك مواد أخرى جديدة بصفات مختلفة. وذلك عند توفر الظروف المناسبة. مثل عملية احتراق الفحم وإنتاج الرماد وصدأ الحديد وتعفن الطعام، واحتراق الوقود.ويعبر عن هذا التفاعل بالمعادلة الكيميائية والتي هي وصف موجز ودقيق لهذا التغير الكيميائي .

ب- الخواص الفيزيائية : تعتبر الخواص التالية – اللون – الطعم – الرائحة – درجة الغليان – درجة التجمد – البريق –الكثافة – الصلادة – الحجم – الكتلة – الحالة (صلبة – سائلة – غازية)، وغيرها كثير هي خواص فيزيائية للمادة، ويمكن تقسيمها بأكثر من طريقة الى أكثر من مجموعة، فمثلاً هناك طريقة تقسمها الى:-

1- خواص شاملة مثل درجة غليان المادة ولونها وكثافتها وهي الخواص التي لا تعتمد على كمية المادة.

2- خواص محددة مثل الكتلة والحجم وهي التي تتغير بتغير كمية المادة.

وهناك طريقة اخرى تقسم الخواص الفيزيائية الى قسمين:-

1- خواص نوعية وهي الخواص التي لايمكن تحديد قيم معينة لها مثل الطعم والرائحة.

2- خواص كمية وهي الخواص التي يمكن تحديد كميتها مثل درجة الغليان والكتلة.

ج- الخواص الميكانيكية: مثل السرعة ، التعجيل ، الشغل ، المتانة ، مقاومة المادة للاجهادات.

2 - 3 أشكال المادة :

تتواجد المادة في الطبيعة على ثلاثة أشكال:-

1- العنصر : ويعرف على أنه أي مادة لا يمكن تفكيكها الى مواد أخرى بالطرق الكيميائية والفيزيائية، هذا يدل على أن العنصر هو وحدة البناء للمادة بحيث يمكن أن توجد هذه الوحدة بشكل مستقل وحر أو بشكل غير مستقل بل مرتبط ، وقد بلغ عدد العناصر المعروفة (106) عنصر يمكن تصنيفها في الجدول الدوري، كما في الشكل (2 - 2) إلى فلزات و لا فلزات وأشباه الفلزات

ومن العوامل التي تضفي على العنصر خواصاً فلزية أو لا فلزية يأتي في المرتبة الاولى عدد الكتروناته الخارجية وبعدها عن النواة .

ويوصف العنصرX بدلالة العدد ألكتلي A والعدد الذري Z كما يلي:

$$ {}^{A}_{Z}X $$

شكل (2-2): الجدول الدوري للعناصر

2- المركب :

يتكون المركب دائماً من أكثر من عنصر واحد بإتحادها كيميائياً مع بعضها البعض بطريقة محددة، بحيث يحتوي المركب على العناصر المكونة له بنسبة وزنية ثابتة. ويتكون المركب اما بتفاعل العناصر مع بعضها البعض أو بتفاعل المركبات مع بعضها البعض أو بتفاعل المركبات مع العناصر. والمركبات لها أهمية كبيرة تتجاوز أهمية العناصر وفي كل يوم تكتشف مركبات جديدة، وعدد المركبات المعروفة كبير جداً يتجاوز المليون مركب. و تختلف المركبات في صفاتها وتفاعلاتها كلياً عن العناصر المكونة لها، كما يمكن فصل معظم عناصر المركب بالوسائل الكيميائية فقط.

3- الخليط :

حينما يوجد عنصران أو أكثر متحدان اتحاداً غير كيميائي و بنسب وزنية غير ثابتة فانه يقال أنهما يكونان مخلوطاً وليس مركباً. بل أن الخليط قد يكون مجموعة من المركبات متحدة اتحاداً غير كيميائي، بل فيزيائي، وقد تكون المخاليط متجانسة مثل السكر المذاب بالماء ، ومثل الهواء. وقد تكون المخاليط غير متجانسة مثل الزيت والماء، وتتميز المخاليط بأنه يمكن فصل بعضها عن بعض بالطرق الفيزيائية أو كيميائية، كما تبقى كل مادة من الخليط محتفظة بخواصها الأصلية ويعد محلول الطين والماء مثال على خليط من حبيبات طين عالقة في الماء.

2 - 4 حالات الاكسدة :

إذا فقد العنصر أو اكتسب واحداً أو أكثر من الكتروناته في المدارات الخارجية فيقال أن العنصر في حالة أكسدة ويدعى بالأيون. وقد تكون للعنصر الواحد أكثر من حالة أكسدة ولكن العدد التأكسدي الأصغر يكون أكثر أهمية والشكل(2 - 2) يوضح حالات الأكسدة للعناصر ويمكن أن نلاحظ منه اذا كانت حالة الأكسدة موجبة هذا يعني فقدان الكترون أو أكثر من المدار الخارجي وفي حالة الأكسدة السالبة يعني اكتساب الكترون أو أكثر في المدار الخارجي.

ان الحالات التأكسدية الموجبة تكون مهمة جداً في حالة الفلزات واشباه الفلزات مثلاً (Na^{+1}، Mg^{+2}، Al^{+3}، Si^{+4}، K^{+1}، Ca^{+2}، Ti^{+4}،Fe^{+3} ...).

أما الحالات التأكسدية السالبة فتكون مهمة في اللافلزات. ويكون الأوكسجين مركبات ثنائية (O^{-2}) مع جميع العناصر تقريباً باستثناء الغازات النادرة. وعليه يمكن كتابة جملة أكاسيد العناصر على شكل المركبات التالية:

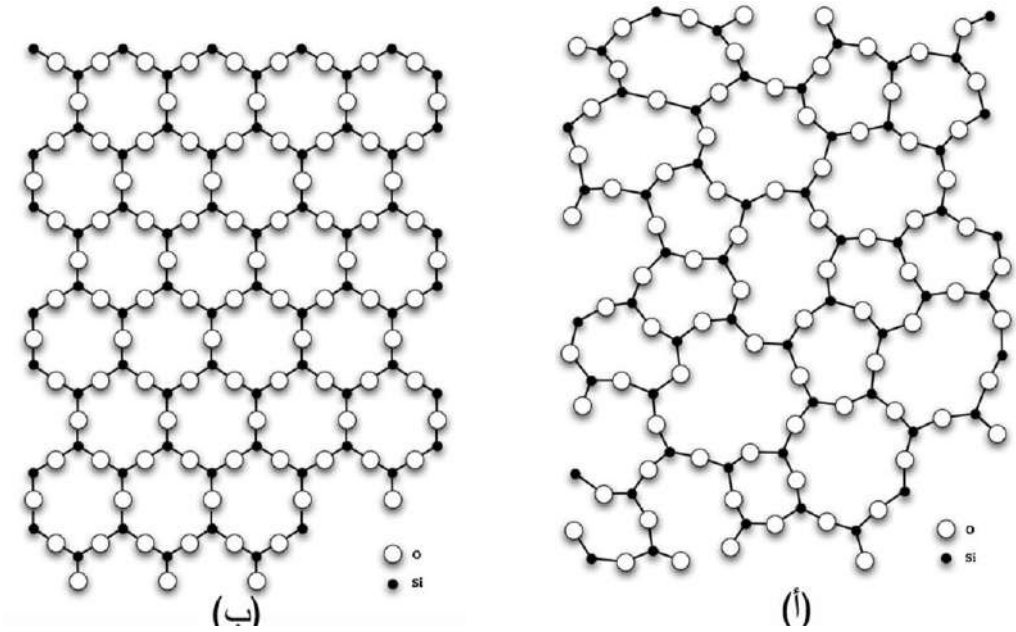
Na_2O، MgO، Al_2O_3، SiO_2، K_2O، CaO، TiO_2، Fe_2O_3 .....

بحيث تكون هذه المركبات متعادلة كهربائياً.

2- 5 التركيب البلوري :

إذا ترتبت الذرات مع بعضها بأشكال مجسمة منتظمة هندسيا فإنها تدعى بالبلورة ويطلق حينها على هذه المواد مصطلح المواد الصلبة المتبلورة حيث تحتوي صفوفاً من الذرات المرتبة بشكل دوري مكونة تشكيلة ثلاثية الأبعاد فيكون تركيبها تكرار لأنموذج أو خلية وحدة ثلاثية الأبعاد. وتحتفظ البلورة بهذه الدورية في أبعادها الثلاثة الى ما لا نهاية لكل محور.

أما المواد الصلبة الغير متبلورة فأن ذراتها تتجمع بشكل عشوائي وبدون انتظام أو نسق محدد بحيث لا يمكن اعتبار تركيبها تكراراً لأي خلية وحدة (مثل الكربون، الزجاج) وتقع السوائل ضمن المواد العشوائية الترتيب الذري. وقد يكون للمركب الواحد حالتين من التبلور وعدم التبلور مثل مركب SiO_2 فانه عشوائي في حالة الزجاج و متبلور في حالة الكوارتز. الشكل (2 - 3) يوضح حالة الإنتظام وعدم الإنتظام البلوري لنوعين من SiO_2.



شكل (2 . 3): (A) تركيب اوكسيد السيليكون الغير منتظم (عشوائي) ويمثل حالة الزجاج
(B) تركيب اوكسيد السيليكون المنتظم (بلوري) ويمثل حالة الكوارتز.

2 - 6 الأواصر الذرية :

تمتلك المواد الصلبة قوة تجاذب بين ذراتها تسمى الأواصر الذرية، وهذه الأواصر تعطي للمواد خاصية التماسك والمقاومة ضد القوى المسلطة عليها. وتعتبر متانة هذه الأواصر صفة من صفات هذه المادة.

هناك نوعان أساسيان من الأواصر :

1- الأواصر الرئيسية : وتشمل الأواصر الأيونية والأواصر التساهمية والأواصر الفلزية وهذه الأواصر الثلاثة تكون قوية.

2- الأواصر الثانوية : مثل قوى فاندرفالز وتشمل أنواع عديدة من الأواصر الضعيفة نسبيا ولكن لها قوة جذب مهمة للعديد من المواد.

1- الأواصر الرئيسية :

A) الأواصر الأيونية : تنشأ من تجاذب الايونات المتعاكسة بالشحنة مثال ذلك الآصرة بين عناصر مركب كلوريد الصوديوم NaCl ، كما موضحة بالشكل (2- 4)، فذرة الصوديوم تفقد ألكترون وتتحول الى أيون الصوديوم Na^{+1} أما ذرة الكلور فتكتسب آلكترون وتتحول إلى أيون الكلورايد Cl^{-1} وبعد ذلك يرتبط أيون الصوديوم وأيون الكلورايد بقوة تجاذب متبادلة بسبب شحنتهما الكهربائية المختلفة والتي تنتج قوى كولومية تحسب من المعادلة:

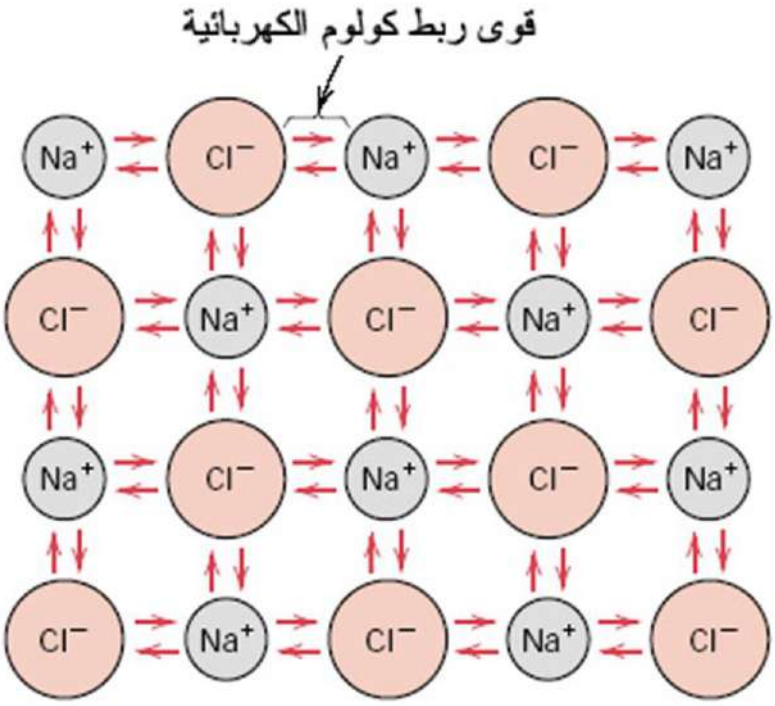
$$F_e = k\frac{q_1.q_2}{r^2}$$

حيث k: ثابت مقدارهُ : $9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$

q_1،q_2 : شحنة أيون الصوديوم والكلورايد.

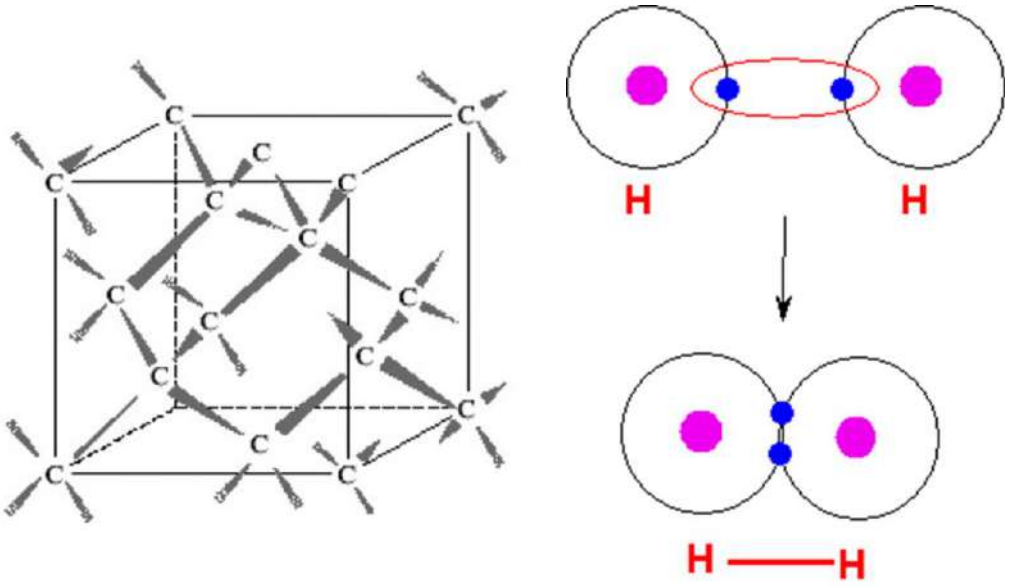
r: المسافة بين الأيونين.

القوى الكولومية أعلاه تدعى بالأصرة الأيونية، وفي الحالة الصلبة تكون هذه الأواصر (في المواد الأيونية) أساس تماسك الشبيكة البلورية التي تمتد في الاتجاهات الثلاثة.



شكل (2-4): الاصرة الايونية في بلورة NaCl

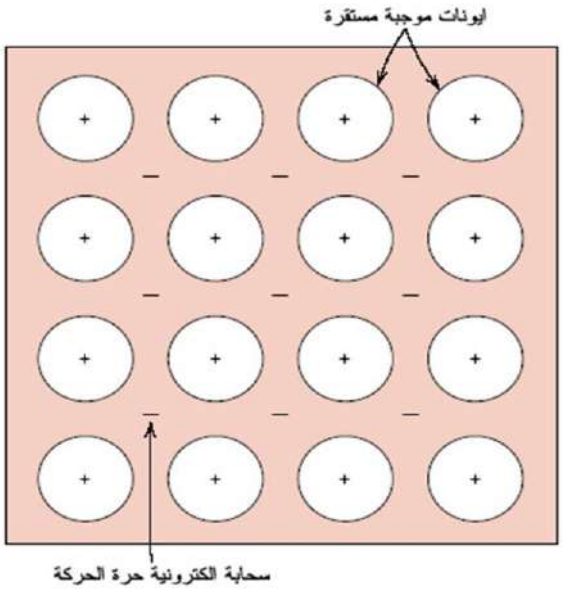
B) الأواصر التساهمية : مثال ذلك اتحاد ذرتان من الهيدروجين H لتوليد جزيئة H_2 ويكون هذا الترابط تساهميا، انظر الشكل (2-5)، حيث الذرتان تشتركان بالكترونين. ويمكن تصورهما كآصرة بين الالكترونات السالبة والنوى ذات الشحنات الموجبة. ومن أبرز المواد التي تتميز بوجود هذه الأواصر هو الماس الذي يتكون من مجموعة كربون فقط فكل ذرة كربون لها أربعة الكترونات في غلافها الخارجي والتي ترتبط مع أربعة ذرات كربون مجاورة لها في جزيئات الماس، شكل (2-6) لتكون شبكية مجسمة مرتبطة كلياً بأواصر تساهمية قوية تكسب مادة الماس صلادة عالية بالإضافة إلى درجة تسامي عالية (أكثر من 3300°) التي يمكن رفع درجة حرارة الماس لها قبل تحطيم التركيب الشبكي هذا بواسطة الطاقة الحرارية.



شكل (2–5) : الآصرة التساهمية في جزيئة الهيدروجين (H_2)

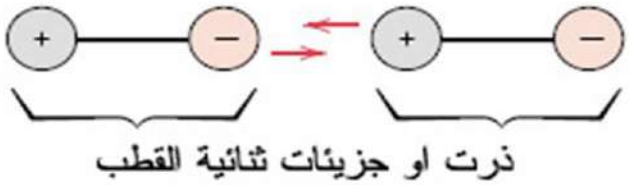
شكل (2–6) : ارتباط كل ذرة كربون مع أربعة ذرات كربون مجاورة بآصرة تساهمية.

جـ) الأواصر الفلزية : هي الأصرة التي تربط بين ذرات الفلزات وتنشأ نتيجة أحتواء ذرات الفلزات على الكترون واحد أو ألكترونين في المدار الخارجي وتكون هذه الألكترونات حرة الحركة وضعيفة الأرتباط بالذرة وبالتالي ستنشأ سحابة ألكترونية حرة الحركة يقابلها أيونات موجبة (النواة) مستقرة، كما موضح بالشكل (2-7). إن هذه الألكترونات السائبة هي التي تعطي الفلزات خواصها الكهربائية، الحرارية، الضوئية والمغناطيسية.



شكل 2– 7 : الايونات الموجبة المستقرة في النواة وسحابة الالكترونات الحرة تنشأ الآصرة الفلزية.

د) قوى فاندر فالز : في حال وجود ذرات ممتلئة مداراتها الخارجية بالالكترونات أي لايوجد ألكترون حر مثال ذلك الغازات الخاملة (He، Ne، Ar،..... الخ). فأن الذرتان المتجاورتان لا تستطيعان الإرتباط بأي من الروابط التي مر ذكرها ولكن الألكترونات في أحد الذرات قد تتواجد في مواقع مختلفة عن ذرة مجاورة قد ينشأ عنها مجال كهربائي تستقطب إليها الذرة الأخرى المجاورة ويحدث تجاذب ضعيف بين الذرات التي تولد ثنائيات قطب كما موضح بالشكل (2-8). وهذه القوى هي المسئولة عن تسييل الغازات الخاملة. وتعتبر قوى ضعيفة بالمقارنة بين القوى السابقة.



شكل 2–8 : قوى فاندرفالز الناشئة بين ثنائيات القطب للذرات أو الجزيئات

2-7 الخواص العامة للمواد :

أ) الخواص الميكانيكية :

1- الإجهاد : هو القوة المسلطة على وحدةو المساحة وله وحدات N/m^2 ويحسب من العلاقة :

$$\text{الإجهاد} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}} \quad \text{أو} \quad \sigma(stress) = \left(\frac{F}{A}\right)$$

2- الانفعال : هو الاستطالة الناتجة عن تسليط القوة بطريقة الشد او هو مقدار التقلص الناتج عن تسليط القوة بطريقة الانضغاط و يعرف بطريقتين :

أ- الاستطالة أو التقلص بالأمتار لكل متر من الطول الأصلي . ويحسب من العلاقة :

$$\text{الاستطالة} = \frac{\text{التغير في الطول}}{\text{الطول الأصلي}} \quad \text{أو} \quad \varepsilon(strain) = \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)$$

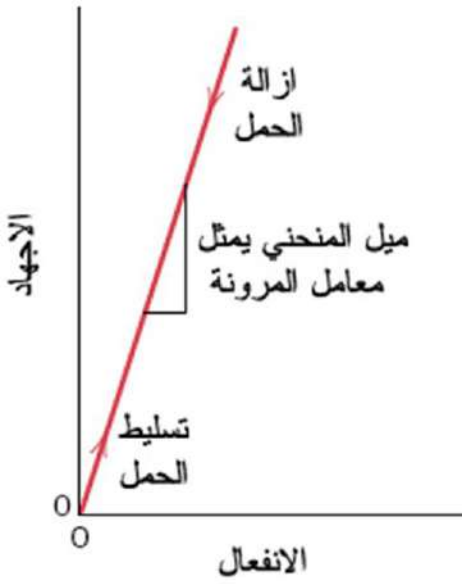
ب- النسبة المئوية للاستطالة بالنسبة لطول الاصل وتحسب من العلاقة:

$$\text{الاستطالة \%} = \frac{\text{التغير في الطول}}{\text{الطول الأصلي}} \times 100\ \%$$

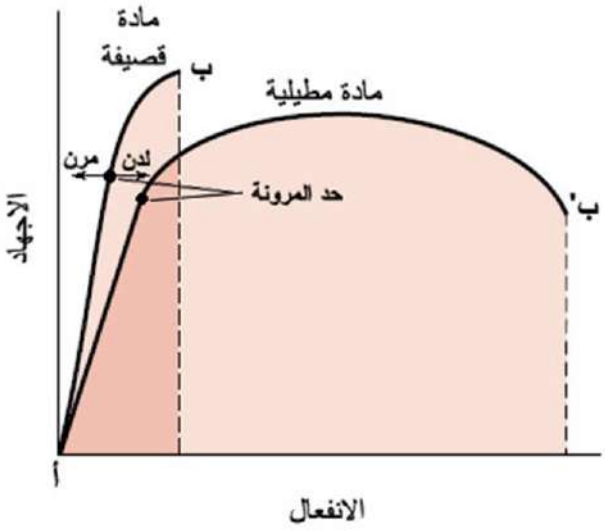
ويكون الانفعال على نوعين : الانفعال المرن والانفعال اللدن .

الانفعال المرن (أو الانفعال التناسبي) يكون ذو طبيعة رجوعية حيث يتلاشى الانفعال بعد ازالة الاجهاد المسلط ويتناسب الانفعال هنا طردياً مع مقدار الاجهاد المسلط، كما في الشكل (2-9).

أما الانفعال اللدن هو انفعال ثابت غير رجوعي يحدث للمادة نتيجة تسليط إجهاد يفوق حد المرونة أو نقطة الخضوع، كما في الشكل (2-10). حيث يكون الانفعال اللدن نتيجة ازاحة دائمية للذرات داخل المادة بعكس الأنفعال المرن الذي لايحدث فيه ازاحات دائمية للذرات، ويبقى لكل ذرة نفس الذرات المجاورة لها قبل وبعد الانفعال. فالمواد القصيفة (Brittle) او اللامطيلية مثل الزجاج والخزف لا يحدث لها تشوه لدن قبل تمزقها. أما المواد المطيلية (Ductility) فإنها تتشوه بشكل دائمي إذا ما تجاوز الإجهاد المسلط حد المرونة.



شكل 2-9: مخطط إجهاد- الانفعال المرن



شكل 2-10: مخطط إجهاد – انفعال للمواد القصيفة والمطيلية.

3- معامل المرونة (معامل يونك Young's modulus): هو النسبة بين الإجهاد المسلط الى الانفعال المرن الناتج وله وحدات N/m^2 ويعطى بالعلاقة :

$$\text{معامل المرونة} = \frac{\text{الأجهاد}}{\text{الأنفعال}} \quad \text{أو} \quad Y(\text{young's Modulus}) = \left(\frac{Stress}{Strain}\right)$$

ويمكن إيجاد قيمة معامل المرونة من ميل منحني إجهاد- انفعال للمنطقة المرنة، كما في الشكل (9-2).

4- مقاومة الشد : تحسب مقاومة الشد للمادة بقسمة أقصى قيمة للحمل المسلط (بوحدات نيوتن) على مساحة المقطع العرضية الأصلية وتسمى هذه مقاومة الشد الهندسية اما مقاومة الشد الحقيقية للمادة فتحسب بالتقسيم على مساحة المقطع الحقيقية حيث يحصل تناقص في المساحة نتيجة تأثير القوة ولذلك تكون مقاومة القطع أقل من مقاومة الشد.

5- الصلادة : تعرف الصلادة بمقاومة سطح المادة الخارجي للغرز او الخدش او الاختراق. وهناك طرق مختلفة تقاس من خلالها الصلادة منها صلادة برنل و روكويل و فيكرز وتختلف في أداة وطريقة الغرز أما طريقة شور سكليروسكوب فإنها تختلف عن الطرق السابقة حيث تعتمد على ارتداد كرة من الفولاذ يتم إسقاطها على سطح العينة.

ب- الخواص الحرارية :

1- كمية الحرارة والحرارة النوعية : درجة الحرارة هي قياس النشاط الحراري ويعبر عنها بالدرجة المئوية (°م) أو الدرجة المطلقة (درجة كلفن) .

يقصد بالحرارة مقدار الطاقة الحرارية و وحداتها الجول ، فاذا أعطيت كمية من الطاقة الحرارية (ΔQ) الى جسم كتلته (m) وحصل تغير في درجة الحرارة (ΔT) فان السعة الحرارية بوحدات $J/^oC$ تعطى بالعلاقة:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

وهي بذلك تساوي كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة الجسم بمقدار درجة واحدة. كذلك تسمى السعة الحرارية لوحدة الكتلة بالحرارة النوعية وتعرف بالعلاقة :

$$C_m = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

أي أنها تساوي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الكتلة من المادة بمقدار درجة واحدة.

2- التمدد الحراري : من ابرز التغيرات التي يسببها تغير درجة حرارة جسم ما هو تغير ابعاده أو تغير حالته وسوف نتطرق هنا الى تغير ابعاد المادة. ان المادة الصلبة في ابسط إنموذج لها تتكون من ذرات تربطها قوى كهربائية تعمل على شد بعضها الى بعض. بحيث تتصرف الذرات وكانها مرتبطة بنوابض وتتحرك ذرات المادة حركة اهتزازية في أي درجة حرارة وعندما تزداد درحة الحرارة تزداد سعة ذبذبتها بصورة عامة ويزداد تبعاً لذلك معدل المسافة الفاصلة بين ذرة و اخرى وهذا يؤدي الى تمدد الجسم ككل. ويسمى تمدد أي بعد واحد من الجسم كالطول أو العرض أو الأرتفاع بالتمدد الطولي وقد وجد بالتجربة أن الزيادة في الطول **ΔL** الناتجة عن زيادة درجة الحرارة بمقدار**ΔT** تتناسب طردياً مع الطول **L** ومع **ΔT** أي أن:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

حيث **α** كمية ثابتة تسمى معامل التمدد الحراري الطولي وتختلف قيمته من مادة الى أخرى واذا أعدنا كتابة المعادلة أعلاه نحصل على:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L \Delta T}$$

نستطيع أن نعرف معامل التمدد الطولي بأنه الزيادة في وحدة الأطوال الناتجة عن تغير درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة .

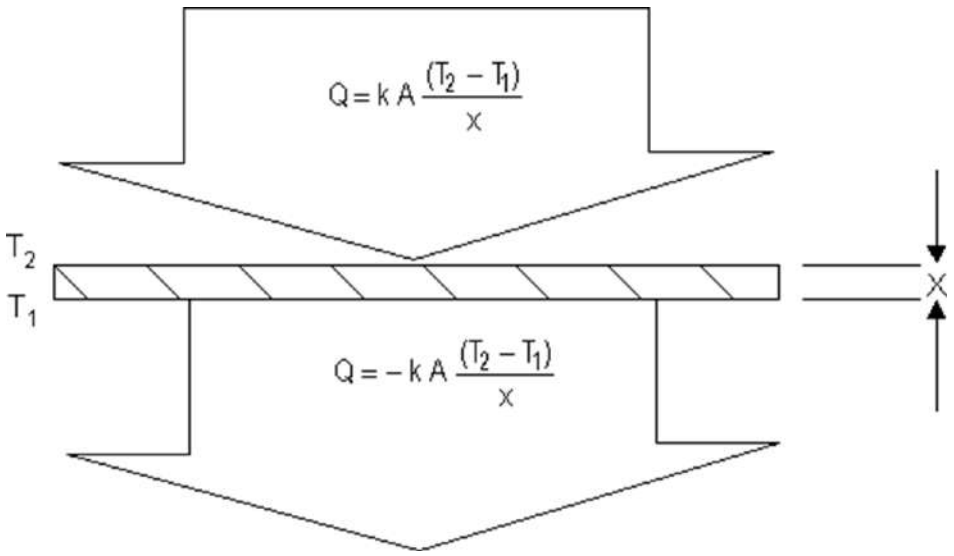
3- التوصيل الحراري : واحدة من طرق انتقال الحرارة في المواد الصلبة، فإذا كانت **Q** تمثل كمية الحراة المنتقلة خلال مقطع في الجسم مساحته **A** وسمكه **x** ، شكل **(2-11)** خلال فترة زمنية **t** فان التيار الحراري **(H)** يعرف بالعلاقة :

$$H = \frac{Q}{t}$$

وتشير التجارب الى أن التيار الحراري يتناسب طرديا مع الفرق في درجة الحرارة (T_2-T_1) ومع مساحة المقطع اي ان :

$$\frac{Q}{t} = kA\frac{T_2 - T_1}{x}$$

حيث تعرف الكمية **k** بمعامل التوصيل الحراري ووحداته **(J/^{o}C.sec.m)**.



شكل 2-11 : مخطط التوصيل الحراري في المواد الصلبة

4- الخواص الكهربائية : تعرف المقاومة الكهربائية (R) لموصل كهربائي بالمعادلة الآتية :

R $$R = \rho \frac{L}{A}$$:

المقاومة الكهربائية (Ω).

ρ: المقاومة النوعية (Ω.m).

L: طول الموصل الكهربائي (m).

A: مساحة مقطع الموصل العرضية (m^2).

الموصلية الكهربائية هي عكس المقاومة النوعية و لها وحدات $(\Omega.m)^{-1}$ و تعطى بالعلاقة :

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

ترتبط المقاومة الكهربائية بالتيار المار في الدائرة (I) والفولتية (V) بالعلاقة التالية :

$$R = \frac{V}{I}$$

اما القدرة الكهربائية (P) بوحدات (watt) فتعطى بالعلاقة :

$$P = IV$$

و بعكس المواد الموصلة للكهرباء (الموصلات) التي باستطاعتها نقل الشحنات الكهربائية يوجد هناك الكثير من المواد الهندسية التي تمنع انتقال الشحنات خلالها وتسمى بالمواد العازلة و يكون لها خاصية متانة عزل كهربائي تعطى بالعلاقة:

$$\text{متانة العزل الكهربائي} - \frac{\text{اقصى فولتية}}{\text{المسافة بين القطبين}} \ (\text{volt / m})$$

ومن العوامل التي تؤثر على خاصية العزل هي السمك و المساحة السطحية والمسامية و كذلك الشوائب وعيوب التركيب الذري للمادة .

هناك خاصية اخرى للعوازل الكهربائية هي ثابت العزل الكهربائي والتي يمكن توضيح معناه من مناقشة عمل متسعة كهربائية حيث ان هذا الجهاز يستعمل لخزن الشحنات الكهربائية ويتكون من لوائح موصلة تتخللها مواد عازلة، الشكل (2-12) وهذه المواد العازلة لاتنقل الشحنات الكهربائية ولكنها مواد غير خاملة فعند تسليط مجال كهربائي خارجي على هذه العوازل يعمل هذا المجال الكهربائي على تبديل موقع الشحنات الالكترونية او الايونية من مواقعها الاعتيادية في التركيب الداخلي للمواد .والشحنات (q) بوحدات الكولومب او (الامبير . ثانية) التي تحمل في المتسعة تتناسب طرديا مع الفولتية (V) خلال المتسعة و بموجب المعادلة:

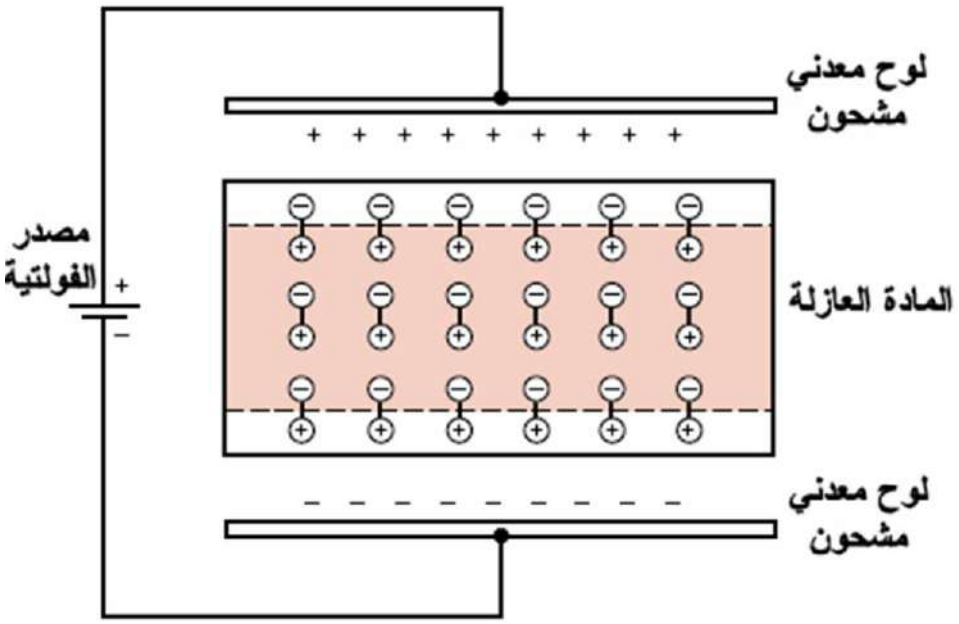
$$q = CV$$

حيث : q : الشحنة الكهربائية (كولوم C) او (امبير.ثانية).
V: الفولتية (volt).
C: سعة المتسعة (فاراد F).

وتعتمد سعة المتسعة على ثابت العزل النسبي والشكل الهندسي للمتسعة و تحسب قيمة سعة المتسعة من العلاقة الاتية:

$$C = K_e \frac{A}{x}$$

حيث ان : K_e : ثابت العزل الكهربائي للمادة (K_e للهواء=1)، A : مساحة لوح المتسعة، X: سمك المادة العازلة (المسافة بين اللوحين).



شكل 2- 12: متسعة كهربائية مشحونة بمصدر فولتية مستمر.

الأسئلة

لماذا تعتبر الذرة متعادلة كهربائياً؟

1- أحسب القوة الكهربائية الناشئة في ذرة الهيدروجين(اعتبر المسافة بين الجسيمات المشحونة تمثل قطر الذرة)؟

2- باستخدام الجدول الدوري، أحسب العدد ألكتلي والوزن الذري للمركبات ألتالية:

Na_2O ، K_2O، TiO_2، Fe_2O_3، SiO_2،Al_2O_3

3- هل تعني إضافة الماء إلى الطين تغيراً في الخواص الفيزيائية أم الكيماوية؟

4- جد احتمالات الأكسدة للعناصر التالية:

Fe، Ti، Na ، K ، Mg ، Si ، Al

5- احسب قوة الآصرة الأيونية التي تربط بين ايون الصوديوم Na^{+1} وأيون الكلورCl^{-1} في بلورة NaCl ، اذا كانت أنصاف أقطار الايونات هي:

$Na^{+1}=0.95\times10^{-10}$ m، $Cl^{-1}=1.81\times10^{-10}$ m

7- فرن كهربائي أبعادة (0.6×0.6×0.6 m) مغطى بعازل حراري من الصوف الزجاجي سمكة 12.5m حول جميع جدرانه.

1- إذا كانت درجة حرارة الفرن 300ºC ودرجة حرارة المحيط خارج الفرن 25ºC فما معدل الفقدان الحراري من الفرن إلى المحيط الخارجي عبر جدرانه علماً أن معامل التوصيل الحراري للصوف الزجاجي هو 0.25 W/m.ºC .

2- ما هو طول السلك الكهربائي اللازم لمعادلة الفقدان الحراري في الحالة(1) إذا كان قطرة 1.5 mm ومعامل مقاومته الكهربائية 0.008 Ω.m وسخن باستمرار بواسطة مصدر كهربائي ذي فولتية 220 Volt .

8- مادة لها معامل مرونة 200×10^{19} N/m^2 ، ما مقدار الانفعال الذي يسببة إجهاد مقدارة 4×10^6 N/m^2 .

9- احسب مقدار الإجهاد المسلط على مادة لها مساحة مقطع 50 mm^2 إذا أثرت قوة شد مقدارها 1000 N .

10- قوة شد أثرت على عمود طوله 300 mm وأحدثت تمدداً مقداره 2mm ما مقدار الانفعال .

11- احسب التغير في طول الأنبوب الزجاجي للمدفئة الكهربائية، إذا كان طول الأنبوب 45 cm إذا ارتفعت درجة الحرارة من درجة حرارة الغرفة إلى 800 ºC علماً أن معامل التمدد الحراري للأنبوب 0.5×10^{-6} ºC^{-1} .

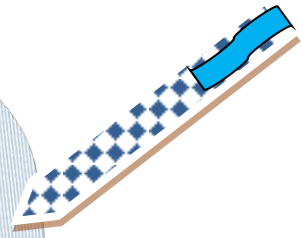
12- أ- احسب ألمقاومة الكهربائية الناشئة من عمود زجاجي قطرة 1 cm وطولة 10 cm إذا كانت ألمقاومة ألنوعية للزجاج 10^{12} Ω.m .

ب- أيهما اكبر المقاومة الناشئة عن عمود من البورسلين أم الزجاج إذا كانت لهما نفس الأبعاد وان ألمقاومة ألنوعية للبورسلين 10^{10} Ω. m.

13- احسب متانة العزل الكهربائي للبورسلين سمكة 1.2 mm إذا كانت أقصى فولتية يحدث عندها الانهيار الكهربائي 12000 V.

14- احسب ثابت العزل الكهربائي لمادة عازلة وضعت بين لوحين معدنين فكانت سعة المتسعة F 6×10^{-6} ثم استبدلت ألمادة ألعازلة بالفراغ فكانت سعة المتسعة F 1×10^{-6}.

15- جد سمك ألمادة ألعازلة في السؤال -14- إذا كانت مساحة لوح المتسعة 20 cm^2.



الفصل الثالث
تصنيف المواد الخزفية

مفردات الفصل :

3-1 تعريف الخزف
3-2 أهمية وتطور صناعة الخزف
3-3 تصنيف المواد الخزفية
3-4 استعمالات الخزف
3-5 الأطيان
3-6 أصل الطين
3-7 كيف تتحلل الصخور إلى المعادن الطينية
3-8 أنواع الأطيان
3-9 الفلنت
3-10 المواد الخزفية غير اللدنة
3-11 الطبيعة الفيزيائية للأطيان
3-12 مواصفات الخامات العراقية الأولية المستخدمة في صناعة الخزف

الأغراض السلوكية :

بعد دراسة هذا الفصل نتوقع أن يكون الطالب قادراً على أن :

- **يعرف الخزف.**
- **يقارن بين الخزف التقليدي والسيراميك الهندسي.**
- **يصنف انواع الخزف.**
- **يحدد التركيب الكيميائي لأنواع مختلفة من الأطيان.**
- **يتعرف على أهم خصائص الاطيان.**
- **يحدد تأثير التركيب الكيميائي على خصائص الاطيان.**

3-1 تعريف الخزف :

الخزف والسيراميك كلمتان مترادفتان تعنيان الطين المشكل والمجفف تحت الهواء والمعرض لدرجة حرارة الافران فيصبح طيناً مفخورا تغلب علية الصلابة ليمنع نفوذية الماء والسوائل فيصبح خزفاً بعد الانتهاء من فخرة وتزجيجة . السيراميك (بالعربية) و(سيراميكا أو سيراميك) باليونانية أواللاتينية، وأصل كلمة سيراميك يعود إلى المصدر الإغريقي كيراموس Keramos و المصدر كيراميس Kerames ، ويعني القرميد أو طينة الأوعية أو من المصدر كيرامون Keramon ما يعني أوعية الشراب المصنوعة من الطين المشوي، ويعود الفضل في هذه التسمية الشائعة في العالم لمصطلح سيراميك كمقابل للبوتيري (Pottery) للخزاف الفرنسي (Brongniart).

أما التعريف العلمي الحديث للخزف أو باللغة اللاتينية السيراميك (Ceramics) هو فرع التكنولوجيا أو العلم أو الفن الذي يتعامل مع جميع المواد الغير عضوية عدا الفلزات والسبائك ، أو المتعلق بإنتاج سلع أو أدوات من هذه المواد أو باستخدامها، وبالرغم من أن المفهوم الشائع لدى الناس أن الخزف لا يتعدى الأغراض التقليدية في الاستخدام مثل أواني الطهي وأدوات المائدة التي تصنع غالباً من البورسلين، وكذلك الخزف الصحي إضافة إلى خزف الجدران والأرضيات، إلا أنه لم تعد كلمة خزف كافيه لوصف وتحديد مجال واسع من المنتجات والأجسام والتقنيات الخزفية التي تتنوع في أشكالها وبنائها البلوري.

فن الخزف أو السيراميك يشير إلى الأسلوب التقني والمهاري لقولبة وشَيْ الطين فنياً وعملياً أما علم السيراميك فهو يختص بدراسة خواص جميع المواد الغير عضوية والغير معدنية ما عدا المعادن والسبائك والتي نحصل عليها كمنتجات في درجات حرارية عالية لإستخدامها في تطبيقات مختلفة. ويشمل الخزف المواد المعدنية اللاعضوية المكونة للصخور والأطيان وتكون على شكل أكاسيد.

3- 2 أهمية وتطور صناعة الخزف :

كانت صناعة الخزف من الصناعات أو الحرف والفنون القديمة جداً منذ بداية العصر الحجري وخلال العصور المختلفة، وخاصة في العصر الأسلامي، فهو إضافة إلى قيمته الفنية فإن له جانباً تطبيقياً هاماً حيث لا يمكن الاستغناء عنه في أي منزل.

وفيما مضى لم توجد أي بوادر تشير إلى نقلة تكنولوجية ملحوظة في صناعة الخزف، حيث ظل الإنتاج يعتمد على وسائل تقليدية بدائية، وتمثل معظم الإنتاج في منتجات الخزف الأرضي ذي

الخواص المعروفة من حيث ارتفاع المسامية وسمك ملحوظ للجدران، وانخفاض درجات الحرق، وكانت المنتجات تكفي لتلبية الاحتياجات الأساسية من أواني حفظ الماء والطهي وما شابهها، وكذلك كان هناك استخدام لطرق تشكيل بدائية يدوية.

وفي بداية الثورة الصناعية في القرن التاسع عشر، بدأ استخدام طاقة البخار في عمليات التصنيع التي أصبح لها أثرها الكبير على العمليات الصناعية السيراميكية التي أصبحت تتم من خلال المكائن، مثل الخلط، والترشيح، والكبس الجاف، ولم ينتشر استخدام المكائن بشكل واسع جداً حيث ظلت بعض المصانع (خاصة في إنكلترا موطن اختراع الآلة البخارية) تستخدم طرق يدوية لإنجاز بعض عمليات الإعداد والتحضير. وقد واجه هذا العلم (السيراميك) تطوراً سريعاً في فترات زمنية تارة، وتطوراً بطيئاً تارة أخرى وخاصة في النصف الثاني من القرن العشرين .

وبالرغم من ذلك أصبحت مجالات الاستفادة من الخزف عديدة وواسعة جداً يدخل فيها الخزف بشكل أساس، ومن هنا اجري تقسيم الخزف كمنتجات تبعاً للخواص الفيزيائية والكيميائية إلى:

1- منتجات كهربائية : مثل أجزاء الدوائر الكهربائية، أجهزة تعمل بالموجات فوق الصوتية، أجهزة ضبط نسبة الوقود في الهواء ومحركات السيارات، أجهزة مراقبة تسرب الغازات، عناصر تسخين الأفران لدرجات حرارية عالية، أقطاب البطاريات،.....

2- منتجات مغناطيسية : مكونات خاصة بذاكرة الكومبيوتر، الشرائط الممغنطة، الرووس المغناطيسية لأجهزة تسجيل الصوت، المواد الماصة للأشعة الكهرومغناطيسية،.....

3- منتجات نووية: الجدران الواقية للمفاعلات النووية.

4- منتجات بصرية : لإنتاج أجزاء شفافة تقاوم الحرارة العالية والتآكل.

5- منتجات ميكانيكية (الهندسة السيراميكية) : أجزاء من مكائن الاحتراق الداخلي للسيارات ، أدوات القطع والتجليخ، مضارب التنس، السكاكين،.....

6- منتجات حرارية : عوازل حرارية، جدران مقاومة الحريق،.....

7- منتجات كيميائية : وسائط التبادل الالكتروني، ومواد مساعدة ومحفزة للتفاعلات الكيميائية، البلاطات المقاومة للحوامض.

8- منتجات بايلوجية : ويدعى بالبايوسيراميك (Bioceramics)، ويشمل أجزاء صناعية للعظام، ومفاصل صناعية، أسنان صناعية، ومشارط للعمليات الجراحية ، مساحيق التجميل.

9- منتجات تقليدية : وتشمل استخدامات منزلية مثل أواني الطهي، البورسلين، أدوات المائدة، الأدوات الصحية، عوازل البورسلين الكهربائية، بلاط الأرضيات والجدران، أشكال ومنحوتات فنية مختلفة.

مما سبق نرى التطور الهائل الحديث في القرن العشرين، وخاصة في طرق تحليل الخامات، وتتيح هذه الطرق معرفة واسعة في خواص وسلوك المواد الخزفية، ولقد تطورت هذه الأبحاث خاصة أثناء الحرب العالمية الثانية وفي المانيا تحديداً وتوصلوا إلى أجسام تسمى البورسلين اسيتايت التي تستخدم في مجال وتطبيقات الترددات العالية.

وهناك استخدام الوسائل للخامات في مجال الحراريات حيث تم أنتاج طابوق ذي مواصفات ممتازة من خلال زيادة محتوى الالومينا (Al_2O_3) وتحسين طرق التشكيل، ومن أهم هذه الأنواع : طابوق الالومينا- سيليكا (Al_2O_3-SiO_2) والطابوق عالي الالومينا.

أما التقنيات ألمستخدمة في إجراء التحليلات ألكيميائية للخامات فقد وصلت إلى حد هائل من التطور، حيث يمكن القيام بعملية التحليل الكيميائي لتركيز يصل إلى أقل من المايكرون(المايكرون واحد من المليون). كذلك تحليل أسطح يصل إلى تركيز سمكها إلى طبقات ذرية معدودة، وفي مجال تحليل التركيب الجزيئي للمواد، فانه من الممكن خلال زمن قصير (دقائق قليلة) تحديد جزيئات تصل إلى أقل من واحد من المايكرون، كما وصلت صناعة أشباه الموصلات في العمليات السيراميكية سواء كانت في هيئة مكونات تدخل في تصميم الأجهزة والمعدات، أم كانت في شكل نظم الحاسوب الآلي الذي أصبح استخدامه ملموساً في إنتاج العمليات السيراميكية.

ومن ذلك يتضح أن مفهوم علم الخزف لم يعد يقتصر على تلك المفاهيم الشائعة التقليدية، وإنما أصبح أكثر تطوراً وأهمية.

3-3 تصنيف المواد الخزفية :

يمكن تصنيف الخزف إلى نوعين :

1- الخزف التقليدي : يشمل جميع المنتجات المحتوية على الأطيان بحيث تكون نسبة الأطيان (clays) فيها تتراوح مابين 20% إلى 100% ويصطلح عليها أحياناً بالمصطلحات التالية:

- الفخار (pottery) : يشمل جميع الخزفيات المتكونة من الأطيان والتي لا تستخدم لأغراض التحمل الميكانيكي أو الحراري.

- الخزف الصيني(white ware): ويشمل القطع الخزفية ذات اللون الأبيض أو العاجي أو الرمادي الفاتح بعد الحرق.

- البورسلين : يشمل الخزفيات المزججة(Glazed) والغير مزججة المتكونة من الطين الصيني ورمل الكوارتز مع الفلدسبار. ويستخدم البورسلين لأغراض تقنية مثل كرات المطحنة (Ball mill) وحاوية المطحنة والعوازل الكهربائية بالإضافة إلى التطبيقات التقليدية الأخرى وصناعة القطع المقاومة للمحاليل الكيميائية وصناعة البلاط.

2- الخزف الهندسي(السيراميك الهندسي(Engineering Ceramics)):

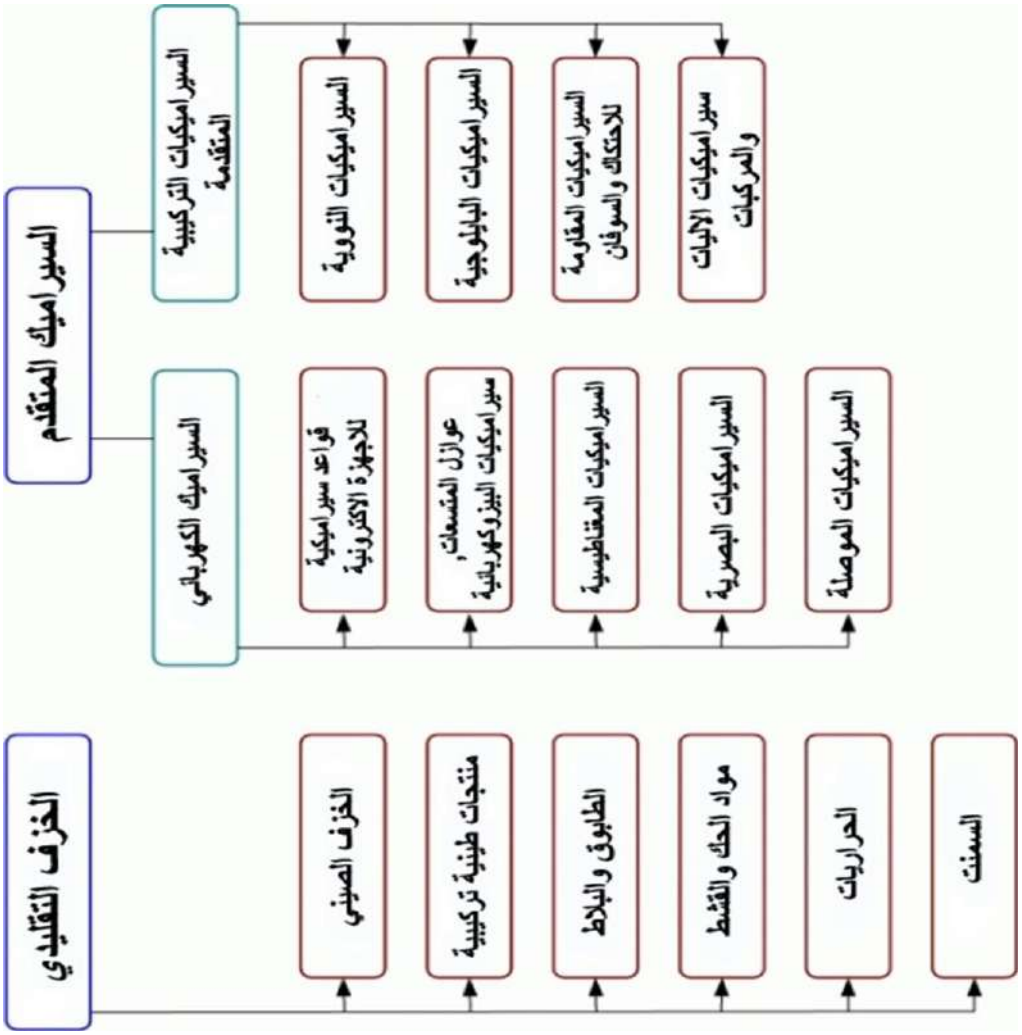
الخزفيات ألتقليدية ضعيفة بسبب احتوائها على المسامات (الفجوات) والشقوق بالإضافة إلى معامل مرونة واطئ بسبب نسبة الأطوار الزجاجية، لذلك السيراميك الهندسي طور جوانب الضعف تلك من خلال الحصول على خزفيات ذات كثافة تامة مع القليل جداً من الشقوق ومعاملات مرونة عالية. في بعض الأحيان يطلق مصطلح السيراميك المتقدم (Advanced Ceramics) على المنتجات الخزفية المستخدمة في تطبيقات مهمة مثل الكهربائية و المغناطيسية والضوئية والكيميائية و الحرارية و الميكانيكية و البايلوجية والنووية.

ومن أبرز المواد السيراميكية الهندسية وتطبيقاتها:

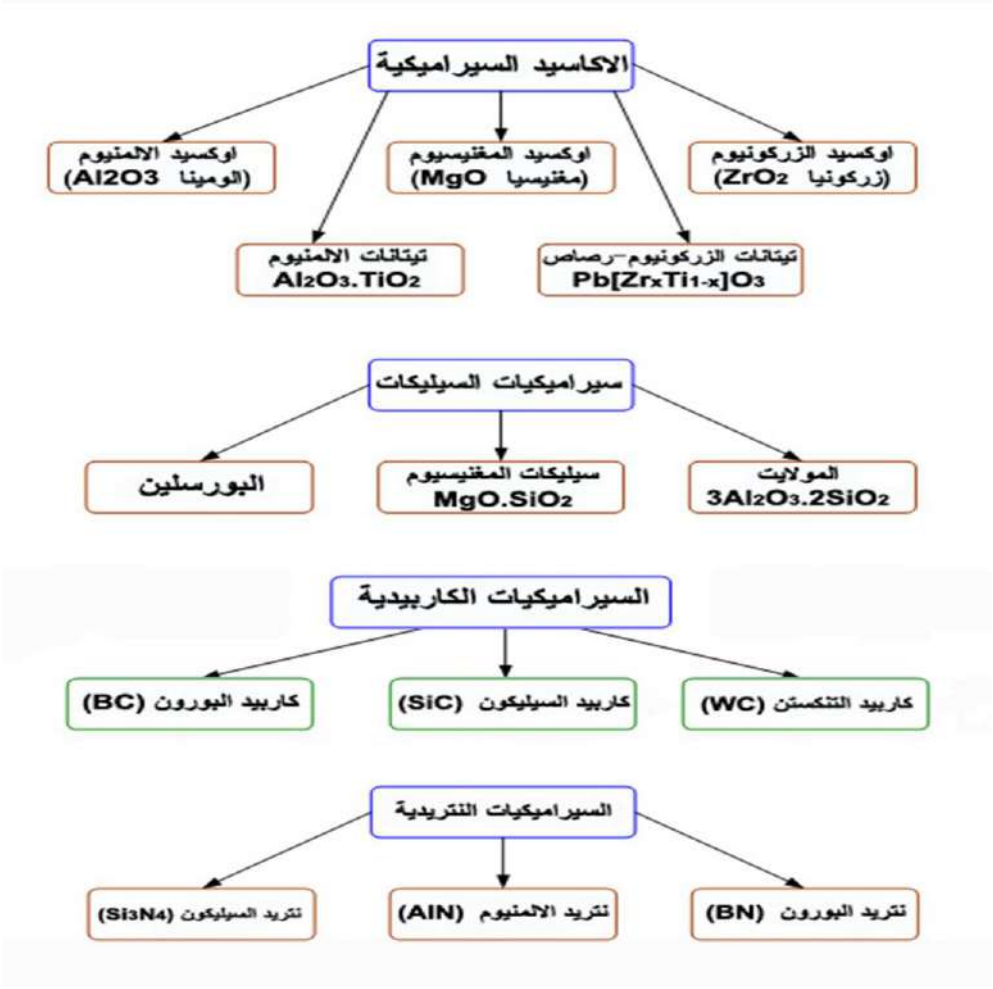
التطبيقات	السيراميك	
أدوات القطع، القوالب، مواد مقاومة للحك والسوفان(مواد طلاء)، مركبات مقاومة للدرجات الحرارية العالية، أجزاء التوربين، دروع الأجسام، الحواجز ألواقية من الإشعاع....	Al_2O_3	الألومينا
	SiC	كاربيد السيليكون
	Si_3N_4	نتريد السيليكون
	ZrO_2	الزركونيا
	BN	نتريد البورون

ويمكن أدراج أنواع أخرى ضمن الخزف منها: الزجاج الخزفي، السمنت والكونكريت (حيث يحتوي السمنت على خليط من الاكاسيدAl_2O_3،SiO_2،CaO) ويتميء بالماء متحولاً إلى مادة صلبة.

يمكن وضع مخطط لتصنيف المنتجات السيراميكية حسب التطبيقات كما في المخطط (3-1) أ ، وآخر يشمل المواد الخزفية التقليدية والسيراميكية المتقدمة كما في المخطط (3-1) ب .



شكل (3-1) أ: مخطط لتصنيف المنتجات السيراميكية حسب التطبيقات



شكل (3-1) ب : مخطط تصنيف المواد الخزفية التقليدية و السيراميكية المتقدمة.

4-3 استعمالات الخزف :

أدى التطور في اكتشاف مواد سيراميكية جديدة إلى ظهور استعمالات متقدمة في السيراميك بالإضافة إلى المعدات الحديثة التي دخلت في صناعة الخزف أدت إلى توسع استعمالات الخزف التقليدي ليدخل في تطبيقات تقنية متقدمة.

أعطت الخصائص التي يتميز بها السيراميك أفاقاً واسعة لاستعماله في التقنيات المتقدمة والتي تشمل:

1- الصلادة العالية (مقاومة للسوفان Wear Resistant) .
2- مقاومة للتشوة ألدائمي .
3- مقاومة لدرجات الحرارة العالية .
4- مقاومة للتآكل الكيميائي .
5- التوصيلية الحرارية الواطئة .
6- التوصيلية الكهربائية الواطئة .

ومن الاستعمالات الشائعة للسيراميك هي :

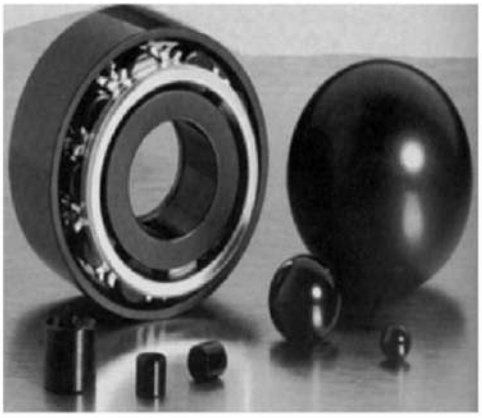
1- الفضاء: جدران المركبات الفضائية،الحواجز الحرارية، النوافذ الزجاجية المقاومة للحرارة.
2- الاستعمالات الاستهلاكية: الزجاجيات، النوافذ، الفخاريات، المغانط، البلاطات، العدسات.
3- الآليات:المرشحات (Filters)، متحسسات الكيس الهوائي (Air Bag) الصمامات(Valves)، الأجزاء الدوارة (Rotors)، شمعات القدح، متحسسات الاهتزازات، بلورات البيزوكهربائية وأجهزة توليد الموجات فوق الصوتية، متحسسات الأوكسجين، حلقات مكابس المحركات(Piston Rings).
4- الطبية : المفاصل، الأسنان، العظام.
5- عسكرية :هياكل العربات والمركبات الجوية والأرضية، القذائف، المتحسسات، طلاءات سطوح طائرات الشبح.
6- الحاسبات: العوازل، المقاومات، الموصلات الفائقة(Superconductors)، المتسعات، المكونات الفيروكهربائية، أشباه الموصلات.
7- صناعات أخرى تقليدية: الطابوق، السمنت، أغلفة المرشحات، الأدوات المختبرية.

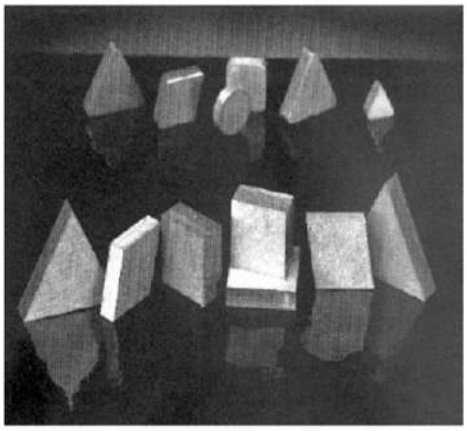
8- الاتصالات: الألياف البصرية(Optical Fibers)، اتصالات الليزر، مكونات التلفزيون والراديو، مكبرات الصوت.

الشكل (3-2) يوضح تطبيقات مختلفة للخزف التقليدي والسيراميك المتقدم

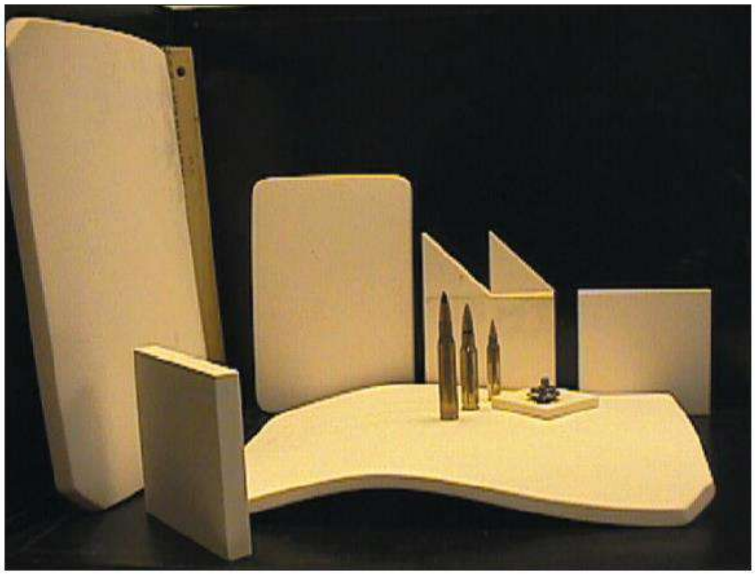
متسعات خزفية للفولتيات العالية
تستخدم في اجهزة الليزر والاشعة السينية

ادوات خزفية مختبرية





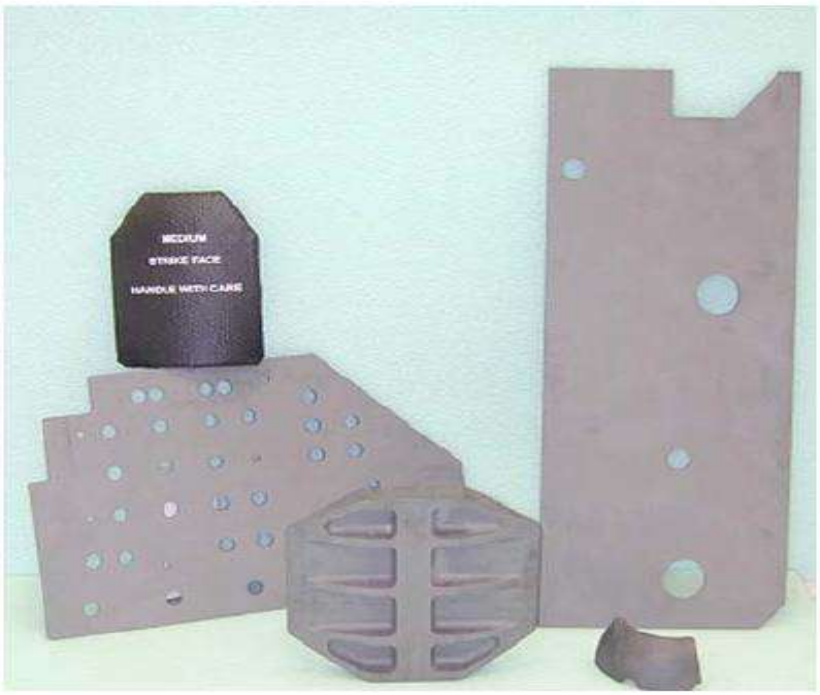
استخدامات نتريد السيليكون: ادوات القطع والتنعيم، النوزلات، كرات التنعيم والطحن، مساند دوارة ذات الكرات (Ball bearings)



الواح واقية مصنوعة من السيراميك(Al_2O_3) ضد الرصاص للاشخاص والمركبات

صمامات محركات الاحتراق الداخلي
مصنوعة من مواد سيراميكية مختلفة

حامل مصباح سيراميكي مصنوع من البورسلين



دروع واقية ضد الرصاص مصنوعة من الكاربيد السيراميكي

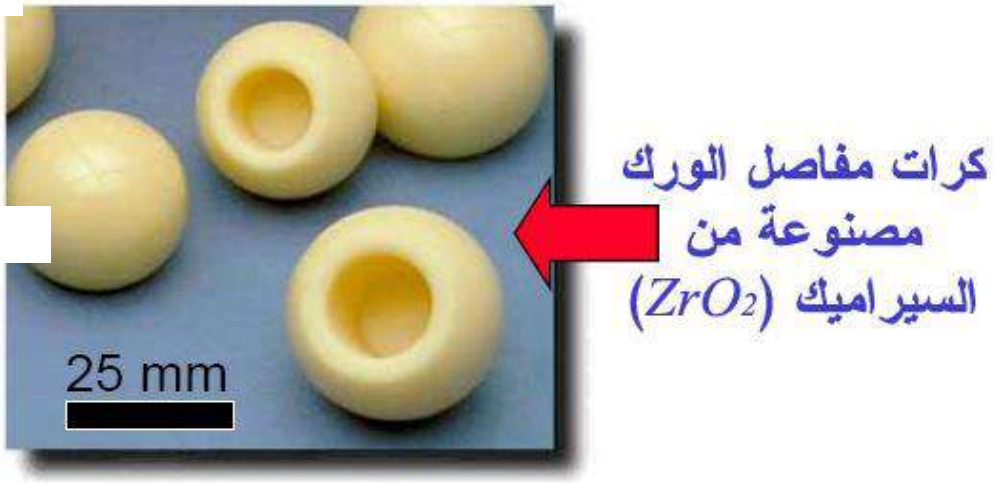
عوازل كهربائية بورسلينية تستخدم للفولتيات العالية
في خطوط نقل الطاقة الكهربائية

بريمة سيراميكية مصنوعة من $SiC-Al_2O_3$

مرشحات سيراميكية لتنقية عوادم محركات الديزل مصنوعة من كاربيد السليكون

حلقات مكابس المحركات السيراميكية

الطابوق الحراري المستخدم لتبطين افران درجات الحرارة العالية



شكل 3-2: تطبيقات مختلفة للخزف التقليدي والسيراميك المتقدم

5-3 الأطيان :

كلمة طين تطلق على المادة الأرضية الترابية الدقيقة الحبيبات التي لا ترى بالعين المجردة والتي تتكون أساساً من سيليكات الألمنيوم المائية والتي يرمز لها وفق الصيغة الكيميائية ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) والمختلطة ببعض من مواد غروية وفتات الصخور، والتي تصبح سهلة التشكيل إذا بللت بالماء، وتصبح صلدة صخرية إذا أحرقت بالنار.

6-3 أصل الطين :

في العصور الجيولوجية النائية البعيدة كانت الأرض عبارة عن كتلة من مواد منصهرة بدأت بالبرودة التدريجية مكونة القشرة الأرضية(الطبقة الخارجية) الباردة المغلفة بمواد منصهرة داخل جوف الأرض، ومن خلال عدم الاستقرار في قلب الأرض الحار والمتغيرات المختلفة يحصل انضغاط لتلك المواد في الداخل تخرج بقوة نتيجة لتشقق القشرة الأرضية إلى الخارج لتبرد متصلبة مكونة صخور تسمى الصخور النارية ذات أعمار وأنواع مختلفة لحصول هذه الظاهرة بفترات زمنية متفاوتة.

أن أنواع المعادن المنبعثة من داخل جوف الأرض تعتمد بالغالب على عمق تواجدها، فالمعادن الثقيلة تظهر لنا من أعماق أبعد من السطح أي تزداد كلما ازداد العمق في الجوف، وبالامكان القول أن الصخور النارية ممكن أن تكون على أنواع ونذكر هنا نوعين أساسيين منبثقيين من عمق أميال عديدة من سطح القشرة الأرضية وهي حجر الصوان (الكرانيت Granite) والآخر المتكون من أعماق ابعد وأكثر وهو البازلت الاسود (Basalt).

يمكن وضع تعريف مبسط لطين الخزف وهو نتاج أرضي طبيعي ذو جسيمات ذات حجم أقل من 2 مايكرون (المايكرون وحدة قياس تساوي 1000/1 من الملمتر)، يتميز باللدونة والقابلية على التشكيل وله خاصية اكتساب الصلابة والقساوة بعد تعرضه إلى الحرارة العالية.

أجريت تحاليل كيمياوية للصخور النارية على أبعاد مختلفة وأخذت معدلات المكونات والذي من الممكن اعتباره متوسط تركيب القشرة الأرضية. ولبعد حوالي عشرة أميال عمقاً وهي موضحة في الجدول:

العنصر	الرمز	العدد الذري	الوزن الذري	معدل ألنسبة المئوية ألوزنية%
الأوكسجين	O	8	15.9994	46.71
السليكون	Si	14	28.0855	27.69
الالمنيوم	Al	13	26.98154	8.0 7
الحديد	Fe	26	55.847	5.05
الكالسيوم	Ca	20	40.08	3.65
الصوديوم	Na	11	22.98977	2.75
البوتاسيوم	K	19	39.0983	2.58
المغنيسيوم	Mg	12	24.305	2.08
اخرى				1.42

ونلاحظ من الجدول أعلاه أن ثمانية عناصر فقط من أكثر من تسعين عنصراً في الطبيعة تكون حوالي 99% وزناً من تركيب القشرة الأرضية وان بقية العناصر مثل الذهب،النحاس، الرصاص، الزنك، القصدير.....الخ تكون حوالي 1% فقط.

ألملاحظة الأخرى أن الأوكسجين هو أكثر العناصر انتشاراً على الإطلاق وهذا لا يعني انه بشكله الحر الطليق بل غالباً ما يكون مرتبط كيمياوياً بعناصر أخرى مكوناً ما يدعى بالاوكسيد وهو التركيب الأساسي لمختلف الصخور، ويمكن اعتبار الاوكسيد هو الوحدة الكيمياوية الأساسية لأغلب التفاعلات.

والجدول أدناه يوضح أهم اكاسيد القشرة الأرضية مع النسبة المئوية الوزنية:

الاوكسيد	معدل النسبة المئوية الوزنية
SiO_2	59.14
Al_2O_3	15.34
Fe_2O_3+FeO	6.88
CaO	5.08
Na_2O	3.84
MgO	3.49
K_2O	3.13
H_2O	1.15
TiO_2	1.05
Other	0.9

7-3 كيف تتحلل الصخور إلى المعادن الطينية :

من خلال البحوث والدراسات التي أجريت على التحاليل الكيمياوية لأنواع مختلفة من الصخور ومن نواتج الفحوصات المجهرية لشرائح تلك الصخور أمكن التعرف على عمليات تحلل الصخور النارية أو البركانية ونتائج تحللها وعلى التفاعلات والظروف التي أحاطت بهذه العمليات في العصور الجيولوجية،كل هذا كان له الأثر في دراسة الطين ومعرفة مدى صلاحيتة وحسن توجة استعماله من نواحي الصناعات الخزفية.

يعد الكرانيت واحد من أهم الصخور النارية والتي تنشأ من تجمد المواد المنصهرة من باطن الأرض. ويتكون الكرانيت من نسب متساوية تقريباً من عناصر:

1- المايكا ($K_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$)

2- الكوارتز (SiO_2).

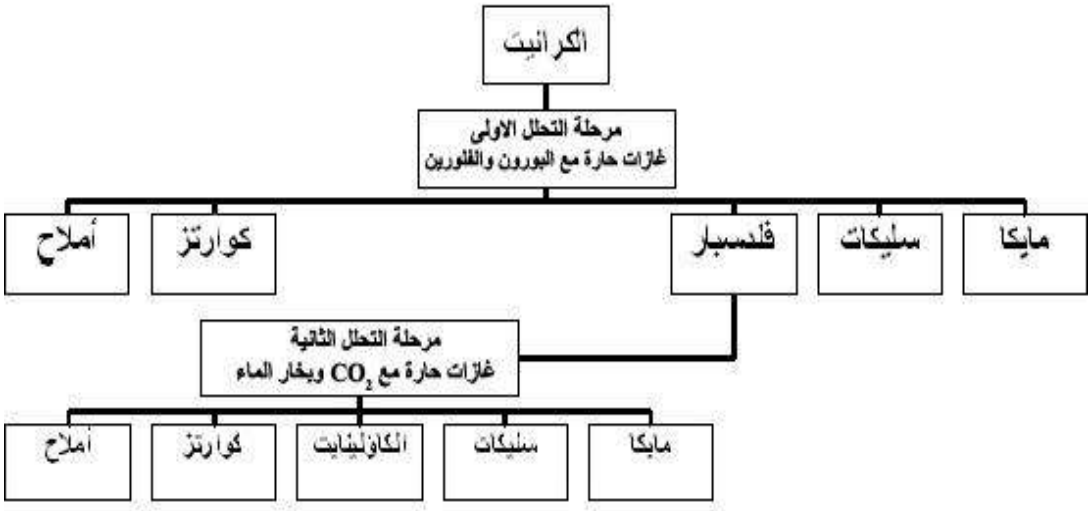
3- الفلدسبار ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$).

ويعتبر الفلدسبار أقل هذه العناصر ثباتاً عندما يتعرض للماء والهواء بعملية تدعى التجوية (Weathering) وهي من العوامل الأساسية والفاعلة في تغير تراكيب وتنوع معادن القشرة الأرضية، وللتجوية تأثيرين: تأثير فيزياوي وآخر كيمياوي، الفيزياوي وهو الذي يؤدي إلى تكسير الصخور والمعادن وتفتيتها دون حدوث تأثير كيمياوي ويسمى التفتيت، وأهم هذه العوامل هي انخفاض وارتفاع درجة الحرارة وفعل الجاذبية والرياح والأعاصير والمياه، وتقوم بالإضافة إلى تفتيت الصخور بنقل حبيباتها الصغيرة من مكان إلى آخر فتنبري وتتكسر وتستدير حافاتها أما التأثير الكيمياوي فهو تغير معالم المعادن وتحويلها من مركبات إلى أخرى جديدة وتعرف العملية بالتحلل وتشمل عمليات كيمياوية يدخل الأوكسجين فيها وتعرف (بالأكسدة) والماء فتسمى (التميؤ) وثاني اوكسيد الكربون وتسمى (الكربنة).... تحصل هذه التفاعلات بفترات زمنية متفاوتة وتشمل سطح الصخور. بعض أو كل هذه التفاعلات يكون الناتج النهائي لها مركبات كاربونية واكاسيد ومعادن طينية.

فبعد تعرض الفلدسبار إلى ظروف التجوية على مدى فترات زمنية طويلة يتكون طين الكاؤلين حيث يذوب اوكسيد البوتاسيوم وجزء من السيليكا الموجودة في الفلدسبار ويتحد الباقي مع الماء مكوناً المعدن الطيني الكاؤلينايت :

$$\underset{\text{فلدسبار}}{K_2O.Al_2O_3.6SiO_2} + CO_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{تجوية}} \underset{\text{(كاؤلينايت)}}{Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O} + K_2CO_3 + 4SiO_2$$

يعتبر الكاؤلينايت ماده متبلوره بلوراتها منفرده مسطحه سداسيه الشكل، وتعتبر بلوراتة كبيرة نسبياً بالمقارنة ببلورات عناصر الطين الأخرى بالرغم من صغرها المتناهي (تتراوح أقطار معظم البلورات بين 1-10 مايكرون). ويرجع الكثير من الخواص المهمة للعناصر المكونة للطين إلى صغر حجم البلورات وطبيعتها التي تشبه الألواح (صفائح).



يستمر تأثير عوامل الطبيعة في مكونات القشرة الأرضية وبالتحديد عوامل التجوية من رياح ومياه وانهار وتيارات بحرية وانزلاقات في الكتل الأرضية ينتج عنها تنوع وتعدد واسع من تراكيب طينية يدفع ذوي الاختصاص في الصناعات الخزفية لاختيار أنواع تعتمد ليس على التركيب المعدني للطين فحسب بل على نوع ونسبة المعادن غير الطينية الداخلة معه والتي تؤثر مباشرة على خواصه الفيزيائية ولونه،ولهذا صنف مختصو الجيولوجيا الأطيان بنوعين اساسين هما ابتدائي وثانوي، ومن كل صنف تتشعب أنواع وتسميات وخواص متبانية.

8-3 أنواع الأطيان:

تنقسم الأطيان من ناحية تكوينها ونقلها إلى نوعين:

أولا : الأطيان المتبقية أو الابتدائية (Residual or Primary Clay) وهي الأطيان التي لم تنقل بواسطة العوامل الطبيعية بل بقت في موقع تكوينها مثل الكاؤلين والطين الصيني والتي توجد غالباً مع صخور الكرانيت والفلدسبار والتي تحولت منها، وتمتاز بلونها الأبيض ونقاوتها وحبيباتها الكبيرة الحجم نسبياً وقليلة اللدونة.

ثانياً: الأطيان الرسوبية المتنقلة أو الثانوية (Sedementry or Secondary Clays) وهي الأطيان المنقولة من مواقع تكوينها بواسطة العواصف والسيل وغيرها، ومثال ذلك الطين الكروي والناري والأطيان الصخرية وطين البناء الشائع الاستخدام في مراحل ما قبل التاريخ والذي استخدمه الإنسان في كل أشكاله الفخارية، وتمتاز تلك الأطيان عموماً بصغر حجم حبيباتها ولدونتها الجيدة واحتوائها على نسبة مرتفعة ومتفاوتة من المواد غير الطينية التي تؤثر على صفاتها الفيزيائية ولونها.

التصنيف السابق للأطيان لا يعطي صورة واضحة ودقيقة على تركيب الأطيان فهو لا يميز بين الأطيان من ناحية البنية التركيبية والبلورية لذلك فان التصنيف الأكثر قبولاً هو الذي يعتمد على نوع المعادن الطينية وهي:

3-8-1 معادن الوفان (Alloplane Minerials) :

يطلق هذا المصطلح على أي مادة غير متبلورة في الأطيان والتي لها تركيب كيمياوي متغاير وقد اثبت روز (Ross) وكير (Ker) انه يحتوي على سيليكا (SiO_2) والومينا (Al_2O_3) وماء (H_2O) على هيئة سيليكات الالمنيوم المائية وقد أثبتت فحوصات الأشعة السينية أن له ترتيب أكثر من ترتيب الزجاج .

3-8-2 الكاؤلينايت (Kaolinite) :

يعتبر الكاؤلينايت الصورة النقية لخام الكاؤلين وصيغتة ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) وخام الكاؤلين يحتوي على اكاسيد أخرى مثل (Fe_2O_3، MgO، TiO_2، K_2O، a_2O، CaO)، ومكوناته:

(Al_2O_3 39.5 %، SiO_2 46.5 %، H_2O 14 %) برهن ذلك ؟

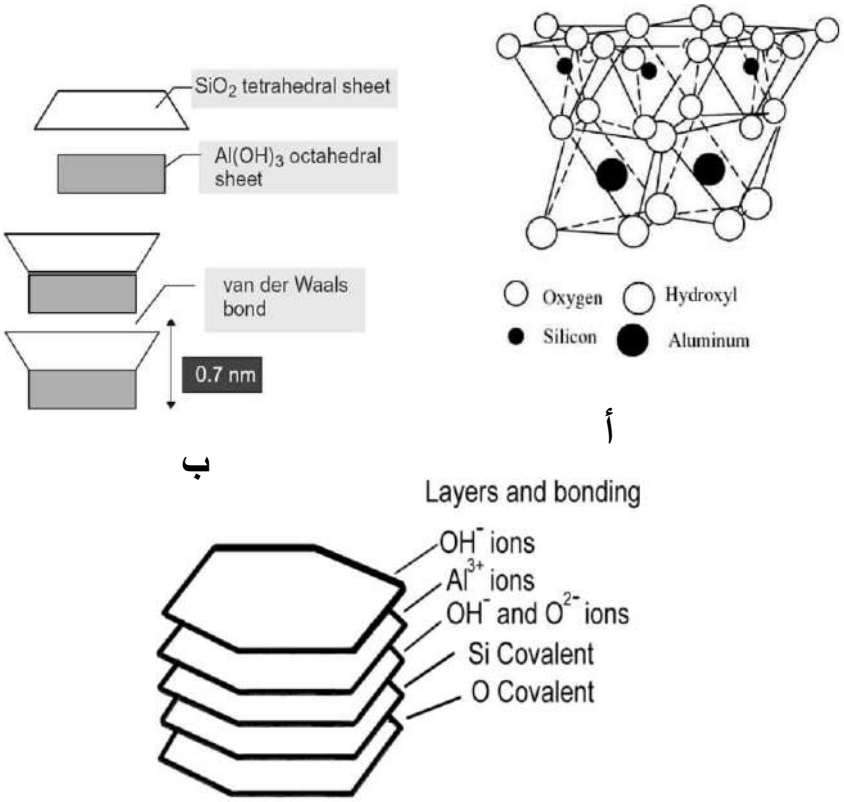
الماء الموجود في البنية التركيبية ليس حراً وإنما يوجد على شكل ايونات (OH) مرتبطة بالتركيب البلوري ويدعى ماء التبلور (Lattice Water).

التركيب البلوري للكاؤلينايت عبارة عن صفيحتين لكل طبقة كاؤلينايت؛ الأولى صفيحة من السيليكا الرباعية (Silica Tetrahedral Sheet) تتكون من ذرتي سيليكون (2Si) مرتبطة بثلاث ذرات أوكسجين مكوناً (Si_2O_3)، والثانية هي صفيحة من الالومينا الثمانية (Alumina Octahedral Sheet) تتكون من أربع ايونات هايدروكساید $(OH)_4$ مرتبطة بذرتي ألمنيوم وترتبط ذرتا الألمنيوم بدورها بذرتي أوكسجين ويرمز لهذه الصفيحة: $Al_2(OH)_4O_2$ (الشكل (3-3)). ترتبط الصفيحتان عن طريق اصرتين تربط بين ذرتي السيليكون وذرتي أوكسجين في الصفيحة الثانية مكونة وحدة تركيبية تمثل طبقة الكاؤلينايت. الصفائح تمتلك شحنات كهربائية مختلفة بحيث الشحنة الكلية للوحدة التركيبية للكاؤلينايت تساوي صفر. الشحنة الكهربائية للصفائح تجعلها سهلة الانزلاق والتحرك الواحدة فوق الأخرى معطية الطين خواصه الفيزياوية كالليونة وتكوين كتلة لزجة متماسكة عند الخلط مع الماء ومن ثم إمكانية التشكيل .

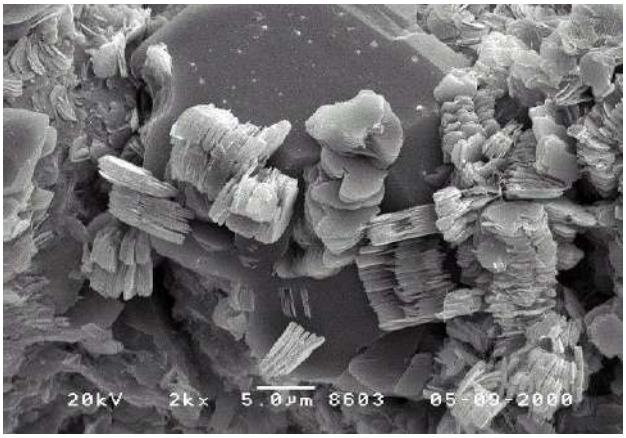
سمك طبقة الكاؤلينايت 5×10^2 انكستروم وعرضها 6×10^3 انكستروم (1 انكستروم = 10^{-10} متر)، وحجمها يتراوح بين الناعم (اقل من 2 µm) الى الخشن (200 µm) ($1\mu m=10^{-6}$ m). هناك نوعين من القوى الضعيفة تربط بين صفائح الكاؤلينايت :

1- قوى فاندرفالز الضعيفة : تظهر بين الدقائق المتقاربة وهذه القوى قصيرة المدى أي تتلاشى بزيادة المسافة بين الدقائق.

2- الأواصر الهيدروجينية الضعيفة : هي الأواصر التي تربط بين مجموعات الهيدروكساید في صفيحة الالومينا و ذرات الأوكسجين في صفيحة السيليكا القريبة. أن ضعف ترابط صفائح الكاؤلينايت يجعل المعادن الطينية ذات طبقات عريضة ولكنها خفيفة. يعرف الفاصل القاعدي (Plinth Separator) بأنه المسافة بين الصفائح المتماثلة من الذرات مثل المسافة بين السليكون في احد صفائح الكاؤلينايت إلى السليكون في الصفيحة التالية مباشرة. وبسبب امتلاك الكاؤلينايت صفيحة واحدة من الالومينا والسيليكا فأنها تدعى المعادن الطينية أحادية الطبقة ويرمز لهذا الصنف 1:1 والشكل (3-4) يوضح صورة مأخوذة بالمجهر الالكتروني لصفائح الكاؤلينايت.



شكل 3-3: أ- الترتيب الذري لمكونات الكاؤلينايت، ب- توزيع طبقات وصفائح الكاؤلينايت، ج- طبقات والأواصر التي تربط طبقات الكاؤلينايت.



شكل 3-4: صورة مأخوذة بالمجهر الالكتروني للكاؤلينايت.

أنواع الأطيان الكاؤلينية :

تشمل الأطيان التي تحتوي على الكاؤلينايت كمعدن طيني أساسي بالإضافة إلى بعض الاكاسيد الأخرى التي تختلف نسبتها من نوع لآخر .

1- الأطيان الصينية (China Clay) : بالإضافة إلى الكاؤلينايت فإنها تحتوي على المايكا والفلدسبار ويمكن تنقيتها بسهولة نسبية بعملية الترشيح لان الحبيبات اقل نعومة من الشوائب فتنتج أطيان بيضاء حتى بعد التلبيد. الجدول أدناه يوضح التركيب الكيمياوي لنموذج من الطين الصيني :

الاوكسيد	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	L.O.I
% wt	48	37	0.03	0.6	0.3	0.1	1.6	0.1	12.4

(loss on ignition (L.O.I)) الفقدان في الكتلة نتيجة الحرق)

نلاحظ أن نسبة TiO_2 و Fe_2O_3 قليلة لذلك التلوين في هذه للأطيان قليل. يستخدم هذا النوع في أدوات الزينة البيضاء وفي صناعة الورق والسيراميك.

2- أطيان الكرات (Ball Clays) : جاءت التسمية من المكعبات والكرات التي تقطع منها الصخور، تمتاز بصغر الحجم الحبيبي وارتفاع محتوى الشوائب ومتانة تجفيف ولدونة اكبر بالمقارنة مع الأطيان الصينية وبسبب وجود اكاسيد الحديد والتتانيوم فإنها تتلون بلون بني داكن ويتغير بسبب وجود المواد العضوية فيصبح رمادي داكن قريب إلى الأسود ويدعى (Black Ball Clay) وهناك نوع أخر ازرق يدعى (Blue Ball Clay). وجود بعض الاكاسيد المساعدة على الصهر تقلل من مقاومة هذه الأطيان للصدمة الحرارية. هناك نوع آخر يدعى السيليكوني (Siliceous) حيث يحتوي على نسب عالية من السيليكا أكثر من 60% وهذا يعني احتواء هذا النوع على نسب قليلة من المعدن الطيني (الكاولينايت) وتناقص اللدونة.

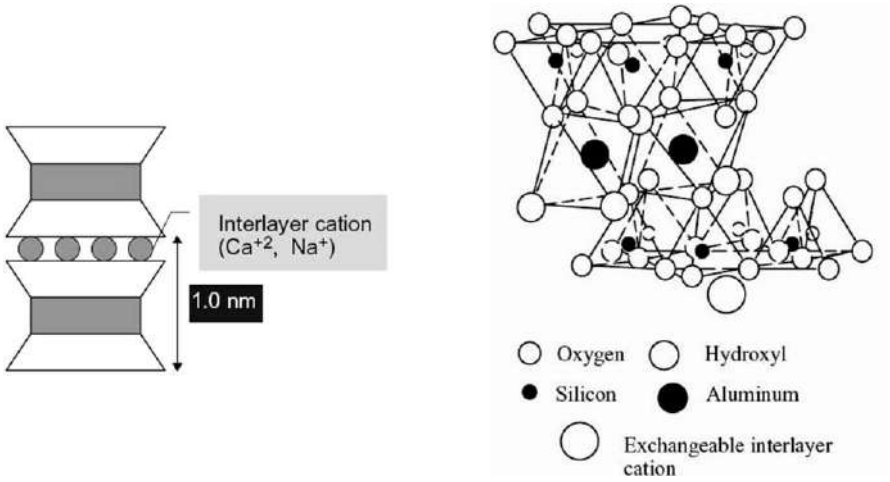
طين الكرات	SiO_2 %	TiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	MgO %	CaO %	K_2O %	Na_2O %	L.O.I %
الأسود	48	0.8	33	1	0.3	0.2	1.8	0.3	15
الأزرق	52	0.9	31	1.5	0.5	0.3	3.1	0.4	9.5
السيليكوني	74	1.5	15	0.8	0.3	0.1	1.6	0.3	5

بسبب وجود الشوائب العضوية في بعض هذه الأنواع تكون لها لونة عالية بالإضافة إلى نسبة عالية من الفقدان في الكتلة نتيجة الحرق .

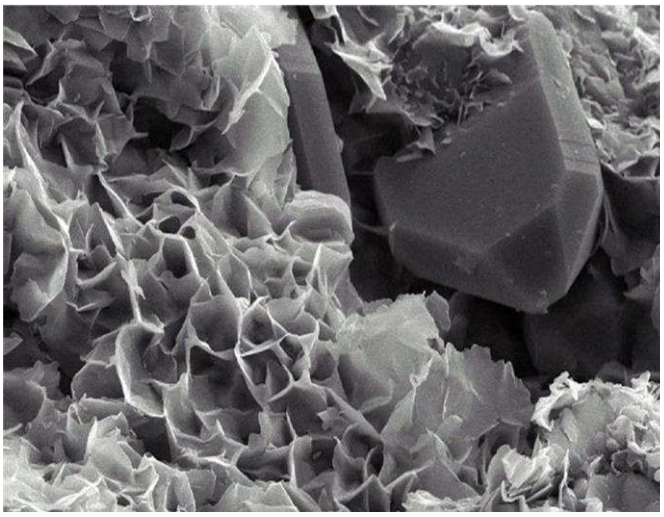
3- الأطيان المحروقة (Fire Clays) : لها خصائص مشتركة من الأنواع السابقة، وبسبب اختلاطها مع الفحم النباتي الذي يقوم بامتصاص المركبات القلوية وبالتالي زيادة مقاومة الصدمة الحرارية لذلك تستخدم في صناعة الحراريات (Refractories).

3-8-3 المونتمورلونيت (Montmorillonite) :

الوحدة التركيبية له تتألف من ثلاث صفائح الأولى من الالومينا الثمانية محصورة بين صفيحتين من السيليكا الرباعية شكل (3-5) لذلك هي من صنف 2:1 ويمكن أن يدخل Mg^{+2} أو Ca^{+2} أو Na^{+1} كبديل عن Al^{+3} في طبقة الالومينا وهذا يعني زيادة في الشحنة السالبة (صافي الشحنة لا يساوي صفر) ولكي تتعادل طبقة المونتمورلونيت تمتص ايونات موجبة (Cations) فتعمل هذه الايونات الموجبة على زيادة قوى الترابط بين الطبقات وهي السبب في ظاهرة الانتفاخ (Swelling) عند امتصاص الماء ولدونة ومتانة تجفيف عاليتين بالإضافة إلى نعومة التركيبي الحبيبي. ومن ابرز الخامات التي تحتوي على المونتمورلونيت هو البنتونايت (Bentonite)والذي لا يستخدم كأساس في صناعة الأجسام السيراميكية بسبب التقلص العالي في الحجم بعد الحرق وبسبب النسبة العالية من اوكسيد الحديد (3-4%) وبسبب احتواءه على القلويات بحيث يحصل فيه انصهار بدرجة $1300^{o}C$ ويستخدم كإضافات لبعض الأطيان لتحسين متانتها. أيضا يستخدم البنتونايت بكثرة في عمليات التنقيب عن النفط ويستخدم أفضل من الرمل في السباكة وفي صناعة مواد التجميل والشكل (3-6) يوضح صورة مأخوذة بالمجهر الالكتروني لتركيب المونتمورلونيت.



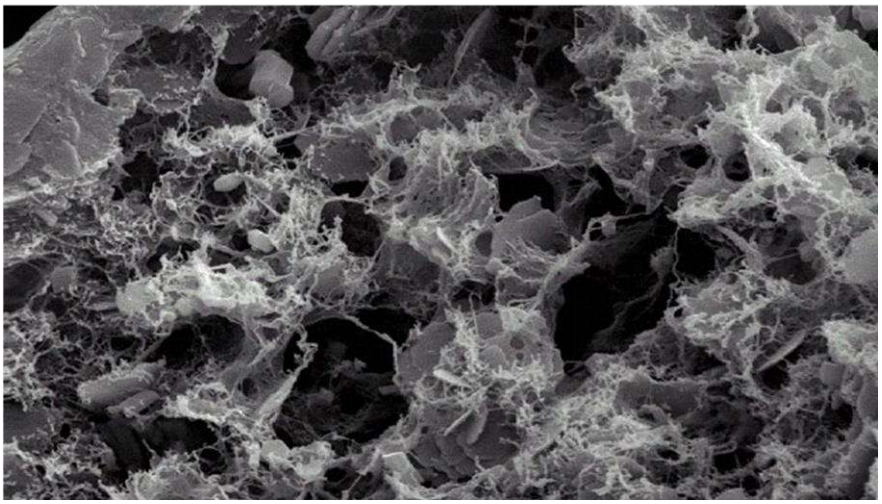
شكل 3-5 : التوزيع الذري للمعدن الطيني المونتمورلونيت وتوزيع طبقات صفائح المونتمورلونيت



شكل 3-6: صورة مأخوذة بالمجهر الالكتروني للمونتمورلونيت.

4-8-3 تركيب الاليت (Illite Structure) :

يمتلك ثلاث صفائح تشبه تلك في المونتمورلونيت وقد يستبدل Al^{+3} في صفيحة الالومينا بالعنصر Mg^{+2} أو Fe^{+3} والايون الموجب بين الطبقات هو K^{+1} . المايكا تمثل هذا النوع من المعادن الطينية ووجد في الكرانيت وصخور أخرى، الشكل (3-7) يوضح صورة المعدن مأخوذة باستخدام المجهر الالكتروني.



الشكل 3-7 : صورة معدن الاليت مأخوذة باستخدام المجهر الالكترونى.

5-8-3 المايكات (The Micas) :

بالرغم من أن المايكات لا تعد من الأطيان لأنها لا تنتج كتلة لدنه بإضافة الماء إليها، فانه من الممكن تناولها هنا حيث أن تركيبها يشبه إلى حد كبير المونتمورلونيت وصيغتة الكيميائية هي :

المايكا البوتاسيومية ($K_2O. 3Al_2O_3. 6SiO_2. 2H_2O$).

المايكا الصوديومية ($Na_2O. 3Al_2O_3. 6SiO_2. 2H_2O$).

المايكا الكالسيومية ($CaO. 2Al_2O_3. 2SiO_2. H_2O$).

9-3 الفلنت (Flint) :

يدعى أيضاً بحجر الصوان وهو واحد من الصخور الرسوبية لونه غامق أو رمادي يحتوي على نسبة عالية من السيليكا المتبلورة وغير المتبلورة حيث يعود اللون الغامق إلى وجود المركبات الكربونية فيها .

أثبتت الدراسات صلاحيتها كمواد أولية لصناعة الحراريات وعند أضافته إلى خلطات الخزف فانه يقلل الانكماش نتيجة الحرق ويعطي المنتجات الصلابة بالإضافة إلى الشفافية ويعتبر أحد مكونات البورسلين بالإضافة إلى الكاؤلين والفلدسبار.

10-3 المواد الخزفية غير اللدنة :

1- المواد المساعدة على الصهر (Fluxes) :

هي المادة التي تخفض درجة حرارة انصهار المادة أو الخليط الذي تضاف إليه وقد تحتوي على نسبة عالية من القلويات والأتربة القلوية، وتستعمل مساعدات الصهر مع الطين في عجائن الأجسام الخزفية والحرارية لتعمل على خفض درجات حرارة الانصهار للمعدن الطيني. كما تعمل مساعدات الصهر كمواد رابطة لأجزاء الجسم الحراري نتيجة لانصهارها في درجات حرارة منخفضة عن درجات انصهار الطين إلى سائل عادي اللزوجة ثم يتصلب على هيئة زجاج، فتعمل على ملىء الفراغات والمسامات بمادة زجاجية رابطة. إن وجود الشوائب مع المعدن الطيني الكاؤلينايت تعمل على خفض درجة حرارة التزجيج، وتختار الأطيان المستخدمة لمنتوجات الطين الحراري بحيث تكون فيها نسبة الشوائب الطبيعية للمواد المساعدة على الصهر منخفضة. وتحتوي الأطيان النارية بالأساس على المعدن الطيني والكوارتز والمايكا بالإضافة إلى شوائب ضئيلة مثل المواد العضوية وأكاسيد الحديد والتتانيوم والكاربونات والكبريتات. وعادة الطين

الناري المحتوي على مواد أقل من المايكا المساعدة على الصهر يكون أكثر نفعا كطين حراري يدخل في صناعة الحراريات، بينما تضاف المواد المساعدة على الصهر إلى خلطات المواد الخام الخزفية لتقليل درجة حرارة الحرق المطلوبة عند إنتاج المواد غير الحرارية المستخدمة عند درجة حرارة الغرفة أو أكثر بقليل، وإذا لم تضاف المواد المساعدة على الصهر ويحرق الجسم عند درجة حرارتة الاعتيادية فتتكون كمية صغيرة من الزجاج أو لا تتكون على الإطلاق مما يجعل الجسم الناتج ضعيفاً. أما عجينة البورسلين القوية المستخدمة في إنتاج أدوات المختبرات مثل البوادق والأحواض ...الخ فانه يراد منها أن تتحمل درجة حرارة (1200ºC-1100ºC) لذلك تضاف كمية صغيرة نسبياً من المواد الصاهرة ويحرق الجسم عند درجة حرارة عالية (حوالي 1400 ºC) . من ناحية أخرى يستعمل الفخار الزجاجي لإنتاج أدوات المائدة للفنادق والأدوات الصحية حيث انه غير مطلوب بمثل هذه المواد أن تقاوم درجات الحرارة العالية، لذلك تضاف كمية أكثر من المادة المساعدة على الصهر، لتساعد في تكوين الزجاج في الجسم وتعطي المتانة الضرورية عند درجة حرارة أقل (حوالي 1150 ºC). تحتوي بعض الأطيان على مادة طبيعية مساعدة على الصهر تكفي للاستخدام المطلوب بدون إضافة زيادة من المواد المساعدة على الصهر فمثلاً تحتوي أطيان الخزف الحجري علي المواد الطبيعية الصاهرة مثل المايكا والفلدسبار والجير والمغنيسيا (MgO) واكاسيد الحديد، فيمكن حرقها عند درجة حرارة (1200ºC-1300ºC) ليعطي جسماً زجاجياً بدون إضافة مادة مساعدة على الصهر .

2- الفلدسبار (Feldspar) :

يوجد على أربعة أشكال وهي :

- الفلدسبار البوتاسيومي (اورثوكليس) Orthoclase ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$)

-الفلدسبار الصوديومي(البات) Albite ($Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$)

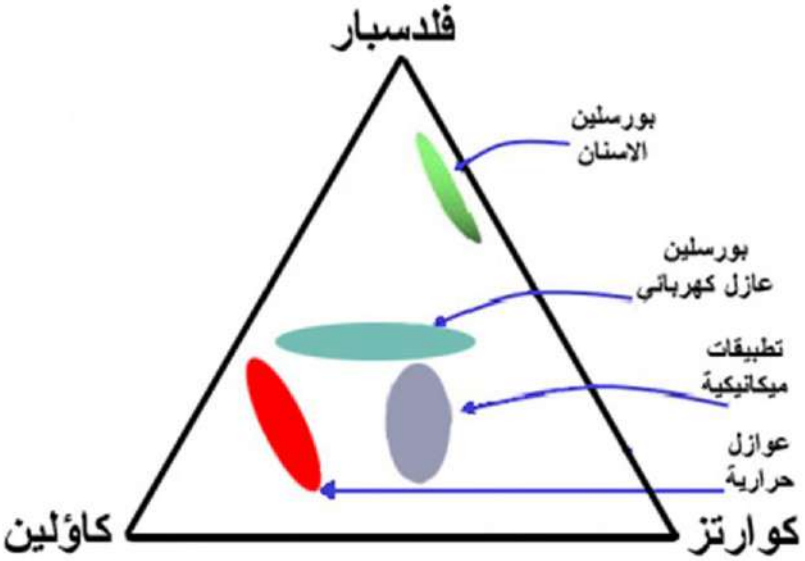
-الفلدسبار الكالسيومي(انورثايت) Anorthite ($CaO.Al_2O_3.2SiO_2$)

- الفلدسبار الباريومي(سليسان) Celsian ($BaO.Al_2O_3.2SiO_2$)

يعتبر الفلدسبار أحد فصائل المعادن الطينية المؤلفة من سيليكات الالمنيوم مع واحد أو أكثر من اكاسيد الفلزات القلوية وتوجد معادن الفلدسبار في أغلب الصخور النارية الحامضية مثل صخور الكرانيت ونادراً ما يوجد الفلدسبار منفرداً على هيئة صخور الفلدسبار كذلك لا يوجد أحد الأنواع بصورة نقية وإنما يتواجد معه نوع آخر من الفلدسبار فمثلاً الفلدسبار البوتاسيومي يحتوي على كمية من الفلدسبار الصوديومي كما يوجد اوكسيد الحديد وحجر الكوارتز في الفلدسبار التجاري.

يجب أن يكون محتوى الحديد واطئ للاستعمال في إنتاج الأجسام الخزفية البيضاء والا ظهر لونه في المادة المحروقة. وبصفة عامة فان وجود الفلدسبار العالي الصوديوم يؤدي إلى خفض درجات حرارة تزجيج الجسم أكثر من الفلدسبار العالي البوتاسيوم كما أنه أكثر ميلاً إلى أن يسبب التواء واعوجاج المادة المصنعة عند الحرق لأن السائل المتكون اقل لزوجة من الذي يتكون عند استعمال الفلدسبار البوتاسيومي. يجب أن تتوزع المادة المساعدة على الصهر بانتظام على الجسم ولذلك يجب أن تطحن جيداً قبل خلطها، ويستعمل الفلدسبار كمادة مساعدة على الصهر ليس في تركيب المادة السيراميكية فقط بل وفي طلاء الأجسام الخزفية والزجاج والخزف الصيني الملون. وتعتبر المصادر الرئيسية للفلدسبار هي النرويج والسويد وروسيا والولايات المتحدة الامريكية وكندا.

يشترك الفلدسبار مع الكاؤلين والكوارتز (او الفلنت الذي يعتبر احد مصادرالكوارتز SiO_2) في تكوين البورسلين الذي له استخدامات واسعة منها كهربائية وحرارية وبايلوجية وميكانيكية، كما في الشكل (3-8)



شكل 3-8: مناطق تطبيقات البورسلين حسب نسب المكونات الأساسية.

3- حجر الكورنيش (Cornish Stone) :

يتواجد كمرحلة وسطية بين تحلل الفلدسبار إلى المعدن الطيني (الكاؤلينايت) ويتكون من الفلدسبار والكوارتز والكاؤلينايت والمايكا والفلوروسبار (CaF_2) وكمية قليلة من شوائب أخرى. يصنف حجر الكورنيش على أساس اللون وتعرف الأنواع المختلفة منه على أنها أرجوانية شديدة وأرجوانية معتدلة وبيضاء، أما الألوان الأرجوانية فهي غنية بالفلدسبار كما أن الكمية الموجودة

في اللون الأبيض ضئيلة وعليه فان الأرجواني الشديد يعتبر أقوى المواد المساعدة على الصهر ويعود اللون إلى وجود الفلوروسبار أو فلوريد الكالسيوم (CaF_2) والذي يحتوي على شوائب ملونة. يتضمن استعمال حجر الكورنيش انبعاث مركبات الفلورين الضارة بالصحة خلال عملية الحرق لذلك يجب معاملتة لإزالة الفلوروسبار قبل استعماله وعندئذ يعرف الناتج بالحجر اللافلوري ولسوء الحظ فان هذه العملية قد ثبت عدم جدواها الاقتصادي وأوقف العمل بها. وقد استعمل حجر الكورنيش على نطاق واسع في الخزفيات البيضاء في بريطانيا لأنه لا توجد رواسب الفلدسبار هناك كما استعمل بدلاً من الفلدسبار وبعض الأطيان المستعملة في أجسام مشابهة في دول أخرى.

4- سينيت النفلين (Nepheline Syenite) :

يحتوي على نسبة عالية من معدن النيفلين Na، $(K)_2O.Al_2O_3.2SiO_2$ وبعض من الفلدسبار الصوديوم والبوتاسيوم والمايكا وشوائب منها الحديد المغناطيسي ويحتوي على نسبة عالية من القلويات أكثر من الفلدسبار ويعتبر من أكثر المواد ألمساعدة على الصهر قوة وله مدى واسع من التحمل لدرجات الحرارة دون تشوه المنتج أثناء الحرق. والجدول التالي يوضح التحليل الكيمياوي للفلدسبار وحجر الكورنيش وسينيت النفيلين.

الاوكسيد	الفلدسبار	حجر الكورنيش	سينيت النفلين
SiO_2	70 - 67	73.5 - 72	56.1
TiO_2	0.07 - 0.02	0.15 -0.05	0.1
Al_2O_3	18.5 - 16.5	14.5 - 16.5	24.7
Fe_2O_3	0.3 - 0.1	0.1 - 0.3	0.08
MgO	0.15 - 0.03	0.2 - 0.05	-
CaO	0.5 - 0.3	1.5 - 1.9	0.75
K_2O	11 - 9	4.5 - 4	9.2
Na_2O	3.3 - 2.5	4 - 3	8.1
L.O.I	0.7 - 0.4	2 -1	0.75

5- التالك (Talc) :

أحد أعضاء مجموعة المونتمورلاينت ويسمى سيليكات المغنيسيوم والرمز الكيمياوي له هو $(3MgO.4SiO_2.H_2O)$ ويستخدم كمادة مساعدة على الصهر ومصدر للمغنيسيا(MgO) لذلك فان الأجسام السيراميكية بدرجات الحرارة العالية المحتوية على التالك تمتاز بالتمدد الحراري الواطئ ومقاومة عالية للصدمة الحرارية.

من عيوب التالك حدوث التشوه في الأجسام الخزفية المحتوية على نسبة عالية منه بسبب المدى القليل لتحمله لدرجات الحرق. وعند الحرق بدرجات واطئة أقل من 1200° c التالك يعطي زيادة_بالتمدد الحراري. ولكن التالك يعطي المنتج الخزفي تقلص في الأبعاد قليل ومتانة عالية ومقاومة للتشقق عالية، ولكن قلة التمدد_الحراري بعد الحرق يجعل هذه المنتجات غير صالحة في التزجيج .

6- الرماد العظمي (Bon Ash) :

العظام المكلسنة (المحروقة) ما هي إلا فوسفات الكالسيوم الثلاثية $Ca_3(PO_4)_2$ ولكنها تحتوي أيضاً على بعض المواد ألعضوية المختلفة وتستعمل كمادة مساعدة على الصهر في صناعة أدوات الخزف الصيني مع الفلدسبار أو حجر الكورنيش كما تزيد شفافية الأجسام المحروقة بالإضافة إلى كونها تعمل كمادة مساعدة على الصهر وان الكمية الضئيلة من ألمادة العضوية الموجودة تزيد من اللدونة المنخفضة للجسم الخزفي. تعتبر درجة حرارة كلسنة العظام امراً مهماً مادام ذلك يؤثر كثيراً على سلوك العظام وعلى وجه الخصوص فإنها تحدد مقدار ألمادة ألعضوية التي تبقى في العظام ومنه مقدار اللدونة التي تمنحها العظام للجسم المصنوع .

إن العظام المحروقة بدرجة حرارة فوق الكلسنة تملك كمية قليلة من المواد ألعضوية وقد لا تمتلك أي بقايا عضوية ولذلك لا تعطي إضافتها اللدونة المناسبة للجسم الخزفي. ومن جهة أخرى فان العظام المحروقة بدرجة حرارة تحت الكلسنة فإنها تحتوي على مواد عضوية كثيرة قد تسبب رغوة في محلول عوالق الطين مما يؤدي إلى ظهور عيوب في المنتج.

11-3 الطبيعة الفيزيائية للأطيان :

يعتمد الخزاف في اختيار مادة الطين الطبيعية لتنفيذ أعماله ألفنية على خواصها الأساسية والتي بدونها يصبح الأمر صعباً في تحقيق مبدأ إنتاج الأعمال الخزفية ألجيدة، تلك الخواص مجتمعة تسمى الطبيعة الفيزيائية للأطيان أو إمكانية التشغيل (Workability) للطين وتشمل

خاصية اللدونة أي ألقدرة على التشكيل، والنفاذية تعني إمكانية التجفيف، والتصلب يعني قدرة الجسم الخزفي على التحمل والديمومة بعد الحرق، لذلك على الخزاف أن يحدد نوع وتقنية الإنتاج المطلوب في تهيئة الطينة الملائمة وإجراء فحص الصلاحية من حيث درجة لدونة ونفاذية ودرجة حرارة تصلب وميكانيكية التحمل ونسبة الانكماش ألحجمي .

وفيما يلي تفاصيل أبرز خصائص الأطيان :

اولاً: خاصية اللدونة (Plasticity) :

تعرف اللدونة بشكل عام على أنها الخاصية التي تسمح للمادة بأن تتشوه (أو تُشكل) عند تسليط قوة خارجية دون تمزقها أو تكسرها وتحتفظ بشكلها الجديد عند إزالة قوة التشويه أو تقليلها تحت قيمة معينة. درجة لدونة الأطيان تتباين من تقنية إلى أخرى لكنها عند أفضل مستوى مطلوب يجب أن يتشكل الجسم الخزفي عند تسليط الضغط ولا يعود إلى شكله الأول ذاتياً. ومن أبرز العوامل التي تعتمد عليها اللدونة هي:

1- حجم وشكل جسيمات الطين :

جسيمات(حبيبات مسحوق الطين) لها تأثير مباشر على اللدونة فالاطيان ذات الجسيمات ألصغيرة طبيعياً تتميز بلدونة أفضل من الكبيرة، كون ألصغيرة توفر فرصة أوسع وأكبر لدخول الماء فيما بينها لتحقيق انزلاق أفضل من ذات الجسيمات الكبيرة. مثال ذلك الطين الصيني يتميز بجسيمات ذات حجم يقرب من 2 مايكرون يمنح الناتج لدونة متوسطة، في حين أن الطين الكروي يتصف باللدونة ألجيدة المتوافقة مع حجم جسيمات يقترب من 0.25 مايكرون والبنتونايت 0.05 مايكرون.

جسيمات الطين اللدن الصغيرة الحجم يمكن أن يكون لها تأثير سلبي حيث تقلل التحمل الميكانيكي وثبات جدران الأجسام المشكلة ولذلك تضاف نسبة من مواد صلبة مثل الكروك grog (وهو طين محروق مسبقاً) أو الرمل بحجم حبيبي يمر من منخل رقم 100 تقريباً لتحقيق قدرة التحمل دون إضعاف في اللدونة.

شكل جسيمة الطين له تأثير ايجابي على اللدونة، فقد أوضح الفحص ألمجهري أن شكلها المنبسط باتجاهين ومنضغط بالاتجاهين الآخرين (صفائحي) يحقق مساحة التصاق جيدة فيما بينها وبوجود الماء وتسليط ضغط معين تنزلق الجسيمات الواحدة على الأخرى مع بقائها محافظة على موقعها.

2- المواد العضوية :

تحتوي الأطيان طبيعياً، وبالذات الرسوبية منها على كميات متفاوتة من مواد عضوية تؤثر ايجابياً على درجة اللدونة، أن وجود المواد الهايدروكاربونية والبكتريا ذات الافرازات الغروية

تحقق للأطيان لدونة أفضل من الأخرى الخالية منها، فهي تساعد على التصاق عدد من الجسيمات مكونة كتل متقاربة مع بعض دون انفلات، علماً بان زيادة تلك المواد عن النسبة المثالية يكون الطين لزج ويلتصق باليد ويصعب تشكيلة.

3- عوامل مختبرية :

من المؤكد أن لدونة الطين مرتبطة بشكل وثيق مع توفر الماء والرطوبة وتختفي بعد التجفيف، نقصد بالرطوبة الكمية المثلى للماء المضاف إلى الطين وصولاً إلى أعلى لدونة ممكنة. إن إضافة الماء إلى مسحوق الطين الجاف يعمل على تكوين غشاء من سائل يحيط بسطح جسيمات الطين مما يعطي تأثيراً تجاذبياً ويحقق الالتصاق، تسهل معه عملية الانزلاق مع بعض عند تسليط قوة أو ضغط دون تمزيقه أو تفتته، تتصاعد اللدونة مع زيادة الرطوبة في الطين إلى حدود معينة يتحول بعدها إلى محلول رائب، كذلك قلة الرطوبة تجعله مفتتاً غير لدن، أي أن هنالك نسبة رطوبة مثالية تجعل الطين أكثر لدونة من الجافة أو الرائبة.

الأطيان التي تحتوي على مواد قلوية بشكل طبيعي تنتج طيناً ناعماً متجانساً إذا أضيف إليها الماء لغرض اللدونة بحيث تكون بدرجة أفضل من الأطيان التي تحتوي مواد حامضية حيث تظهر الحامضية عدم التشبع السريع إلا بكمية ماء أكثر ولذلك لا يتحمل الجسم عندها الإجهاد الميكانيكي وينهار بسهولة عند تشكيله.

4- عجن الطين :

ويقصد به خلط وضغط الطين (Wedging) ويتم ذلك باليد أو آلياً بعد إضافة كمية من الماء بغية تجانسه، ولهذا فالعجن يؤكد ويحسن درجة اللدونة من خلال إلغاء الفراغات وإزالة الفجوات الهوائية بين حبيبات الطين يؤدي ذلك إلى زيادة قابلية العمل به وتصاعد لدونته ظاهرياً، كذلك يعزز تجانس الحبيبات ويساعد على توحيد نسيج الطين إضافة إلى إزالة أية كمية زائدة من الرطوبة يمتصها سطح طاولة العمل.

5- خزن الطين :

خزن الطين لفترة زمنية يساعد على تأكيد وتحسين درجة اللدونة من خلال توفر الوقت الكافي لتفتيت كتل الحبيبات المتراصة بتأثير تداخل الرطوبة فيما بينها، يؤدي ذلك إلى زيادة نسبة الجسيمات الناعمة وتجانس نسيج الطين، يضاف لها منح ألفرصة ألكافية لفعل بعض الحوامض على تكاثر البكتريا وتفسخ المواد ألعضوية التي تزيد من حالة الترابط والالتصاق بين الجسيمات.

وقد مارس الصينيون القدامى هذا الأمر بحفظ الأطيان داخل حفر خاصة ويتناقل العمل به أكثر من جيل من الخزافين.

ثانياً:خاصية المسامية (Porosity) :

وهي نسبة عدد الفراغات البينية بين حبيبات الطين والمواد الأخرى منه وتقاس بوحدة المساحة السطحية، فهي إذن تلك الخاصية التي تسمح بجفاف الأعمال الطينية من خلال السماح بتبخر جزيئات الماء ونفاذها من تلك المسامات المنتشرة على سطح الجسم الخزفي بأمان دون أن يتعرض الشكل إلى الانحناء أو التشقق.

تحتوي الأطيان طبيعياً على حبيبات من مواد غير طينية وغير لدنة تمنح تلك الأطيان صفة المسامية مثل الكوارتز، الرمل، الفلدسبار، المايكا وغيرها. وتعتبر هذه المواد ذات حبيبات كبيرة نسبياً بالمقارنة بحبيبات الطين، وهذا التباين في حجوم الحبيبات يمنح الفرصة الكافية لتكون الفراغات البينية التي تسمح بنفاذية ماء اللدونة بهيئة بخار والمواد العضوية بهيئة غازات، وبدون هذه الخاصية يصبح من الصعوبة تجفيف وحرق الأعمال الطينية.

تعدل نسبة مسامية الأطيان بإضافة مواد ذات حبيبات صلبة كبيرة نسبياً كالرمل أو مسحوق الكروك ونسبة إضافتها تعتمد على طبيعة الحاجة لتلك الطينة والتقنية المطلوبة لإنتاج العمل مع حجم العمل الفني. الشكل أدناه يوضح أن بعض شروط المسامية تقع بالنقيض من شروط اللدونة، ويتطلب ذلك من الخزاف إيجاد حالة التوزان الصحيحة بين متطلبات اللدونة والمسامية لكل تقنية مستخدمة مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير ذلك على معامل انكماش الطين الذي يتناقص مع زيادة نسبة المسامية.

ثالثاً: خاصية التصلب والتكثيف (Densification) :

وهي الخاصية التي يكتسب بها الجسم الخزفي قوة وصلابة وقدرة تحمل ميكانيكية وديمومة نتيجة لتعرضه إلى درجة حرارة التصلب المثلى والتي تعرف بأنها الدرجة الحرارية التي تكتسب بها كتلة الطين أعلى كثافة وصلابة ممكنة دون حصول تشوه أو انصهار في شكل العمل الخارجي.

يحصل التصلب علمياً عند تعرض الطين إلى درجة حرارة تعتمد قيمتها على تركيب الطين ونوع ونسبة المركبات غير الطينية فيه، تبدأ فعلياً فوق درجة حرارة الاحمرار700ºC والتي تنصهر عندها بعض المركبات القلوية والقاعدية وتتفاعل دقائقها مع مكونات الطين والسيليكا الحرة أو فتات الصخور ومعادن الفلدسبار لتكون سائلاً زجاجياً تزداد كميته مع ارتفاع درجة الحرارة، نتيجة لذلك تقل مسامية الطين وينكمش الجسم وإذا سمح للسائل أن يزداد أكثر ويشمل كل أجزاء الجسم تتحول الكتلة إلى منصهر زجاجي ويفقد فيه الجسم شكله وتفاصيله

أي يصل إلى مرحلة الميوعة والالتصاق بالرفوف الحرارية، وتسمى هذه المرحلة بالتزجيج الكامل(Vitrification). إن ظهور الوجه ألانصهاري الأول يعمل على ملئ المسامات البينية بين دقائق الطين ويؤدي إلى التحامها مع بعض، وعند التبريد يتجمد المنصهر ليمنح الجسم الكثافة والمتانة والصلابة. في بعض تراكيب المواد الخزفية يحصل تفاعل الحالة الصلبة دون تشكل سائل زجاجي، كما في بعض تراكيب الالومينا والمواد النقية التي تتعرض إلى حرارة قد تصل إلى 800 ºC ، هنا يحصل التفاعل من خلال تشابك البلورات مع بعضها البعض وتسمى بالتلبيد، ولتحقيق اكبر قدر ممكن من التفاعل يتطلب تجميع وتكثيف دقائق المواد المراد تفاعلها عن طريق كبسها وهي مسحوق، قبل عملية الحرق ، إضافة إلى اعتماد زمن طويل في عملية الحرق وإجراء تشبع حراري كافٍ عند الدرجة العظمى.

الأطيان الحمراء الشائعة تقع ضمن المجموعة المتدنية حرارياً (الترابية Earthenware) وتصل درجة حرارة التصلب المثلى لها لغاية 1150 ºC وغالباً أدنى من ذلك، وعند درجة حرارة 1250 ºC يحصل الانصهار والميوعة. أما الأطيان ذات الحرارة المرتفعة(الحجرية Stoneware) تتجاوز 1250 ºC، والسبب هو احتواء الأطيان الترابية على نسبة من المواد الصاهرة كالقلويات والحديد أكثر منه في الطين الحجري. في حين أن نسبة المواد المقاومة حرارياً تكون أقل من نسبة تواجدها مع الأطيان الحجرية. وهنالك أطيان نقية مثل البورسلين(خليط من الكاؤلين والفلدسبار والفلنت) تصل درجة حرارة تصلبه أعلى من 1300 ºC.

12-3 مواصفات الخامات العراقية الأولية المستخدمة في صناعة الخزف:

تحدد مواصفات الخامات الطبيعية إمكانية تطوير الصناعات الخزفية في أي بلد من البلدان وذلك من خلال الجدوى الاقتصادية المتحققة من استخدام الخامات المحلية وكذلك ضمان ديمومة عمليات الإنتاج مستقبلاً من خلال الوفرة الطبيعية لتلك الخامات.

لذلك يمكن عد وجود أنواع من الخامات بمواصفات فيزيائية وكيميائية متميزة واحدة من الثروات الوطنية.

يزخر العراق بوجود العديد من الخامات المهمة والتي تستخدم في مختلف الصناعات(الخزفية، الحراريات، الزجاج، السمنت، الزيوت النباتية...) خصوصاً في مناطق الصحراء الغربية(محافظة الانبار) وفيما يلي ابرز تلك الخامات ومواصفاتها:

1- الكاؤلين الأبيض: يتكون من الكاؤلينايت والكوارتز، وفرته في منخفض الكعره- الصحراء الغربية والجدول أدناه يوضح النسب المئوية الوزنية لمكوناته:

التحاليل الكيميائية%						
الطبقة	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	L.O.I
العليا	45-64	33.3-38.5	0.9-2.5	0.2-1.7	0.6-1.2	12-14
السفلى	45-58.5	28.4-37.9	0.5-1.4	0.4-1.7	1.1 - 0.3	11-13

2- الكاؤلين الملون: وفرته في منخفض الكعره ووادي الحسينيات ومواقع أخرى عديدة في الصحراء الغربية. وتتكون هذه الترسبات من الكاؤلينايت والكوارتز واكاسيد الحديد وتتميز عن ترسبات الكاؤلين الأبيض بنسبة اكبر من اكاسيد الحديد فقط والجدول أدناه يوضح نتائج التحاليل الكيميائية لبعض هذه الخامات:

المنطقة	التحاليل الكيميائية %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	L.O.I
شمال الحسينيات	45.8-57.1	24.7-29	0.8-9.9	1.3-2.3	0.3	0.3	0.3	7.7-13.6
المعدل	50.4	28.7	5.5	1.3				11
العامج	44-52.2	22.5-32.6	4.3-6.9	1.5	0.3	0.2	0.6	11
المعدل	48	28.8	6					
جنوب الحسينيات	50.5	21.4	11	-	0.9	1.5	-	11

3- أطيان الفلنت: موقعها شمال شرق الحسينيات- الصحراء الغربية ومكوناتها موضحة في أدناه:

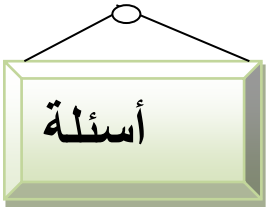
التحاليل الكيميائية %						
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	L.O.I
38.45	35.5 - 41.5	0.5-2	1.4-3	0.2	0.1	13.4 - 15.1

4- البنتونايت: توجد ترسبات البنتونايت في الصحراء الغربية في منطقة طريفاوي على بعد 35 كيلومتر جنوب محطة الضخ H_3. ويتكون من معدن المونتمورلينايت بنسبة 80 % ، الجدول التالي يوضح نتائج تحليل هذا الخام:

التحاليل الكيميائية %								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	L.O.I
المعدل	56.7	15.7	5.1	4.5	3.4	1.1	0.6	9.5

5- الفلدسبار: توجد على شكل رمال الحاملة للفلدسبار في هضبة النجف وتقع بحدود 25 كم إلى الشمال الغربي من النجف. ويتكون من ترسبات مروية فلدسبارية غير ناضجة معدنياً، المروية معظمها أحادي التبلور وأن نسبة الالبايت(الفلدسبار الصوديومي) تشكل نسبة 16% من نسبة الفلدسبار الكلي. أدناه التحليل الكيميائي لهذا الخام:

التحاليل الكيميائية %									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	L.O.I
المعدل	88.7	3.7	0.9	0.9	0.5	0.8	1.4	0.5	1.1



1- من تعريف السيراميك ، أي من المواد التالية تعد مادة سيراميكية:
1- الخشب 2- السمنت 3- اكاسيد المعادن 4- الفلزات 5- كلوريد الصوديوم 6- الرمل 7- عظام الحيوانات 8- الكربون 9- الجص 10- حجر الجدران 11- الفحم 12- رماد الفحم 13- جليد الماء.
2- قارن بين علم السيراميك وفن الخزف.

3- علل ما يلي :
a. ضل الخزف مقتصراً على المنتجات التقليدية مثل ادوات الزينة والاواني المنزلية لعقود طويلة من الزمن.
b. لا يستخدم الفخار لأغراض التحمل الميكانيكي والحراري.
c. يستخدم السيراميك في جدران المركبات الفضائية.
d. بعض أنواع اطيان الكرات لها مقاومة صدمة حرارية منخفضة.
e. يتميز طين الكرات السليكوني بانخفاض الفقدان في الكتلة نتيجة الحرق.
f. تحصل ظاهرة الانتفاخ في البنتونايت ولا تحصل في الكاؤلين.
g. إضافة الفلنت إلى خلطات الخزف تقلل من الانكماش نتيجة الحرق.
h. وجود الشوائب مع المعدن الطيني (الكاؤلينايت) تعمل على خفض درجة حرارة التزجيج.
i. لايضاف إلى أطيان الخزف الحجري مواد مساعدة على الصهر.
j. تعمل المواد العضوية على تحسين لدونة الأطيان.
k. يستعمل الفلدسبار البوتاسيومي بدل الصوديومي في صناعة البورسلين الكهربائي.

4- عرف ما يلي: 1- البايوسيراميك 2- الكرانيت 3- التجوية 4- الكروك 5- البورسلين .

5- احسب النسب المئوية للاكاسيد ألداخلة في تركيب :
1- فلدسبار البوتاسيوم 2- المايكا البوتاسيومية.
وايهما يحتوي على نسبة أعلى من اوكسيد البوتاسيوم K_2O .
6- ناقش هذه العبارة :

(الطين الناري الذي يحتوي على كمية قليلة من المايكا يكون أكثر نفعاً في صناعة الحراريات).
7- ما نوع الأجهزة التي أدت إلى تطور الصناعات السيراميكية من خلال التحليلات الكيميائية وتحليل السطوح.

8- بماذا يختلف البورسلين عن الخزف الصيني.
9- برهن إن صافي شحنة صفائح الكاؤلينايت تساوي صفر.
10- ما هي الفائدة المتوخاة من وجود المسامات في الأجسام الطينية.

الفصل الرابع

المواد السيراميكية المتقدمة

مفردات الفصل :

4-1 أكاسيد المعادن

4-2 الكاربيدات

4-3 النتريدات

4-4 الكرافيت

4-5 السيرميت

الاغراض السلوكية :

بعد دراسة هذا الفصل نتوقع ان يكون الطالب قادراً على ان:

- **يتعرف على ابرز خصائص وتركيب السيراميكيات المتقدمة.**
- **يحدد بعض تطبيقات السيراميكيات المتقدمة في ضوء خصائص كل مادة.**
- **يتعرف على بعض الطرق المستخدمة في تحضير المواد السيراميكية المتقدمة.**

أكاسيد المعادن :

تعد جميع أكاسيد المعادن مواداً سيراميكية، وفي أدناه ابرز تلك الاكاسيد التي تدخل في صناعة الأجسام السيراميكية:

أ- الالومينا(Alumina):

رمزها الكيميائي (Al_2O_3) تستخلص من أطيان البوكسايت (Bauxite) والتي تحتوي على المعدن الطيني الجبسايت $Al(OH)_3$ بطريقة باير(Bayer process) أما بلورات الالومينا في الطبيعة فأنها توجد على شكل بلورات الياقوت كما موضحة في الشكل (4-1)أ. تتميز الالومينا الاواصر الأيونية القوية والتي تجعلها ذات خصائص جيدة (كثافتها $3.95\ g/cm^3$) ، ويعد الطور البلوري α -Al_2O_3 الأكثر استقراراً من بقية الاطوار ويدعى الكورندم (Corundum) ومن الممكن أن يتواجد في بعض الصخور كما في الشكل (4-1)ب، ويستخدم في تطبيقات تركيبية تتحمل إجهاد ميكانيكي عالي وذات خصائص حرارية جيدة ومتانة عزل كهربائي عالية.

تستخدم الالومينا في جو مؤكسد وغير مؤكسد لغاية 1925ºC (درجة حرارة انصهار الالومينا 2050ºC) ولكن يحدث فقدان في الوزن في ضغوط واطئة في جو مفرغ وبدرجات حرارية بين 1700ºCإلى 2000ºC . تقاوم الالومينا جميع الغازات عدا غاز الفريون الرطب (Wet Fluorine) وتقاوم الحوامض عدا حامض الهيدروفلريك (HF) وحامض الفسفوريك ويحصل تآكل في الالومينا عند نفوذ أبخرة المعادن القاعدية عند درجات مرتفعة خصوصاً في الالومينا الاقل نقاوة . ولتحسين خصائص الالومينا (من ناحية التلبيد) تضاف اكاسيد مثل اوكسيد الكروم Cr_2O_3 أو المغنيسيا MgO لتحسين الصلادة وتغير اللون وتحسين خصائص النمو الحبيبي . ويتكون السباينل (Spinel) من اضافة MgO الى Al_2O_3 ورمزه ($MgAl_2O_4$) وتركيبه مكعب. يمكن الحصول على منتجات الالومينا بطرق التشكيل المختلفة . وتستخدم الالومينا في تطبيقات واسعة منها : أنابيب الليزر الغازي ، العوازل الكهربائية في درجات الحرارة العالية والفولتيات العالية، أنابيب الأفران الحرارية ، الدروع الواقية من القذائف ،متحسسات درجات الحرارة ، أدوات طحن المساحيق ، مواد التنعيم والصقل ، عوازل شمعات القدح في المحركات (Spark Plug) ، بوادق صهر العادن ، أدوات القطع .....(انظر الشكل 4-2).

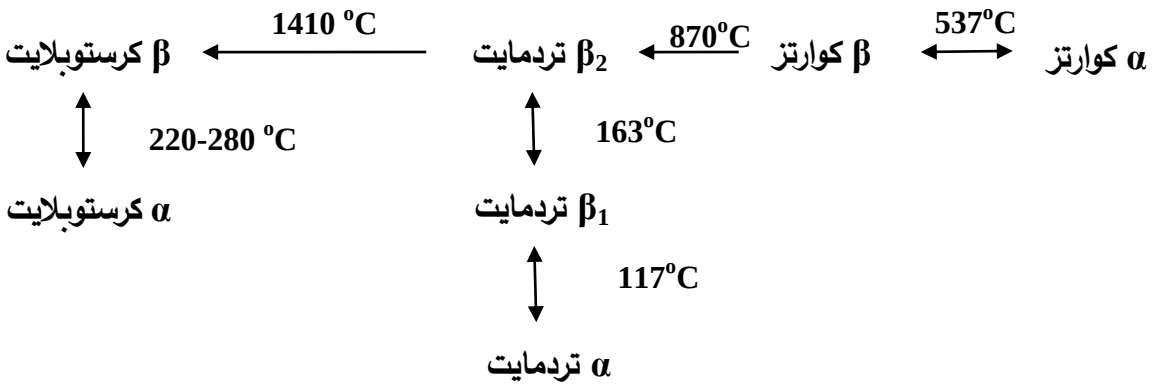
(أ) (ب)

شكل (4-1): أ- الومينا بطور الكورندم , ب- بلورات الياقوت الطبيعي

شكل 4-2: بعض تطبيقات الالومينا

ب- السيليكا (Silica) :

السيليكا أو ثاني اوكسيد السليكون (SiO_2) هي أكثر المواد انتشاراً في الطبيعة وهي توجد على هيئة بلورات ذات تبلور جزئي أو غير متبلورة . وتستعمل السيليكا في الحراريات وفي الخزف بعد تنقيتها من الشوائب الضارة مثل الكاربونات . وتستعمل السيليكا في الخلطات كمساعد صهر (Flux) وكمادة رابطة ومن الضروري وجود أحد أنواع السيليكا بنسب خاصة لتعمل كمادة خشنة تقوم بتكوين هيكل الجسم وتقلل حدوث التشقق والانكماش ، ولكن تقلل اللدونة . السيليكا هي مادة الزجاج والتزجيج الأساسية حيث يتحد مع اكاسيد المعادن القاعدية مكوناً الزجاج. ويعتبر الكوارتز (Quartz) المطحون أكثر استخداماً من الانواع الاخرى من مصادر (SiO_2) ويتحول الكوارتز الى أطوار بلورية أخرى عند التسخين كما في المخطط التالي :

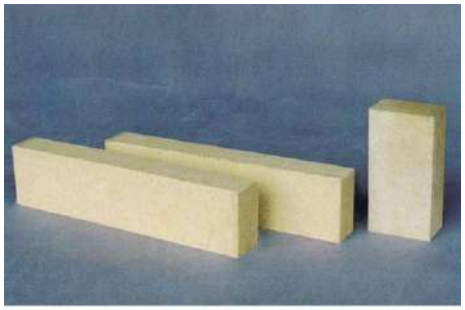


يتم الحصول على قطع صغيرة من SiO_2 بتكسير الكتل الكبيرة مثل خام الكوارتزايت (شكل 4-3) بواسطة الصدمة الحرارية من خلال التسخين لدرجة حرارة 900°C حيث يتحول الى اللون الأبيض.

شكل 4-3: خام الكوارتزايت عالي النقاوة

أما الشكل الغير بلوري للسيليكا فيدعى بالسيليكا الزجاجية (Fused Silica) ويتميز بمعامل تمدد حراري واطئ جداً بالمقارنة مع الاشكال البلورية . تمتلك السيليكا كثافة ودرجة حرارة انصهار اقل من الالومينا (2.65 g/cm^3، 1710°C) وهي من العوازل الكهربائية الممتازة وتستخدم مع الالومينا مكونين مركب حراري ممتاز يدعى المولايت ($3Al_2O_3.2SiO_2$) وتشمل استخدامات السيليكا بالاضافة الى الزجاجية استخداماتها في صناعة الالياف البصرية(Optical fibers) وصناعة الطابوق الحراري والمواد الحرارية (انظر الشكل(4-4)). ولتنعيم الحجم الحبيبي للكوارتز يطحن بوجود 55% ماء ويصل قطر الحبيبات الى أقل من 10µm .

يعتبر الفلنت(Flint) أحد المصادر الكوارتز المهمة والتي تضاف الى الخامات الاخرى لتحسين خصائص الصلادة والشفافية. أما رمل السيليكا (Silica Sand) فانه رمل نقي يحتوي على نسبة تصل إلى 99% من مركب SiO_2 والاقل منه بسبب اكاسيد Fe_2O_3 أو TiO_2.



طابوق السليكا الممتاز المقاوم للحرارة العالية

انابيب مقاومة للحرارة
مصنوعة من السليكا

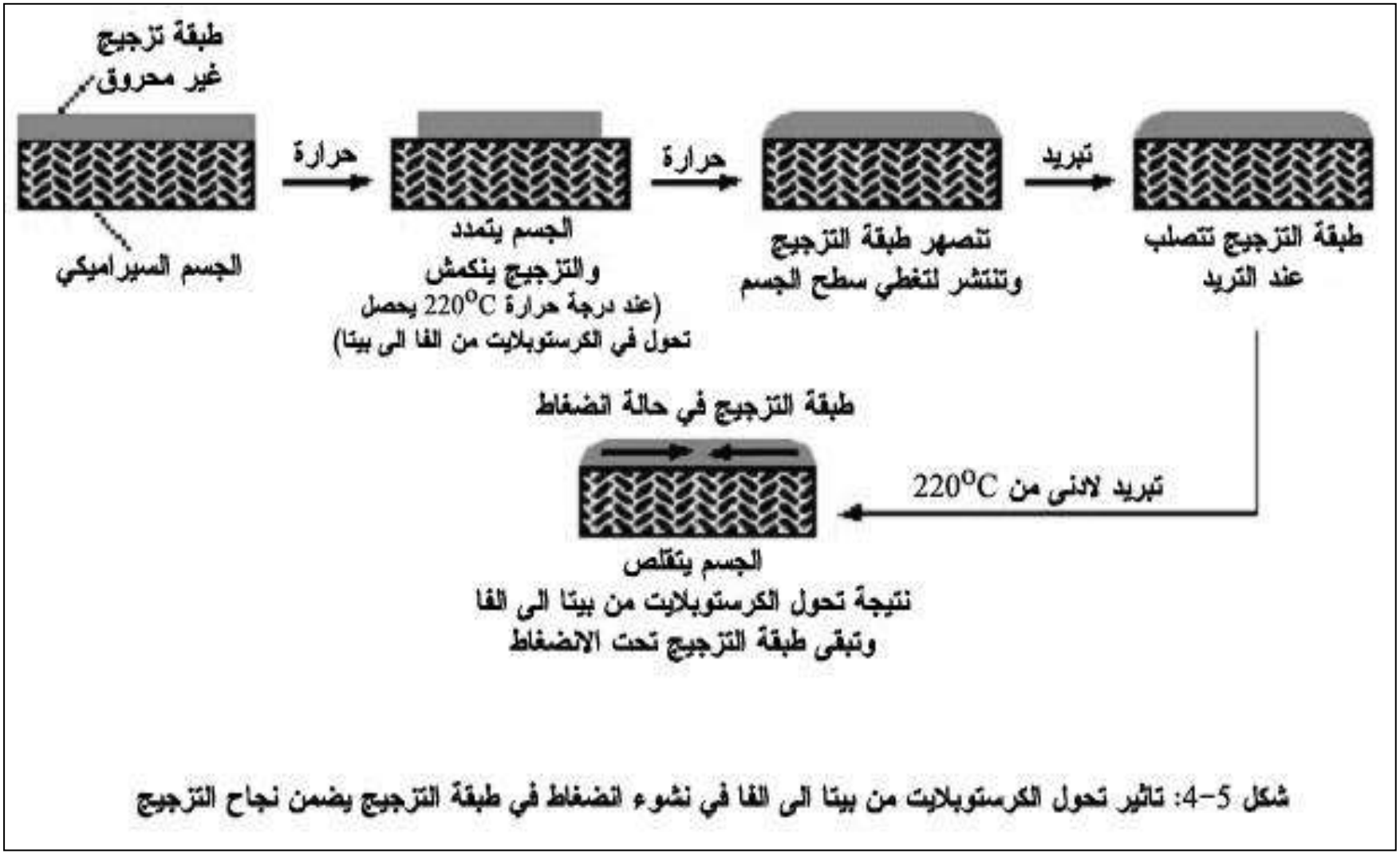
شكل 4-4: بعض استخدامات السيليكا في التطبيقات الحرارية

تحولات و أنقلاب السيليكا:

عند تحول السيليكا من كوارتز←التردمايت ←الكرستوبلايت لوحظ تناقص في الوزن النوعي (specific gravity) كما يلي:

الطور	الوزن النوعي
α- كوارتز	2.65
β – كوارتز	2.53
α- التردمايت	2.26
β – تردمايت	2.22
α- كرستوبلايت	2.32
β – كرستوبلايت	2.2

إن تحول السيليكا من صيغة إلى أخرى تعتمد على الحجم الحبيبي للمادة حيث التحول من صيغة إلى أخرى يمثل تحولات السيليكا (Conversion) ومن طور لآخر ضمن نفس الصيغة يدعى انقلاب السيليكا(Reversion). من فوائد الانقلاب يمكن السيطرة على عدم التشقق في طبقة تزجيج الخزف بواسطة السيطرة على الانقلاب في الاطوار حيث يتم السيطرة على معدل الانكماش النسبي بين المادة الأساس وطبقة الزجاج حيث يولد هذا الفرق في الانكماش ضغط على المادة الزجاجية كما موضح بالشكل (4-5).



شكل 5-4: تاثير تحول الكرستوبلايت من بيتا الى الفا في نشوء انضغاط في طبقة التزجيج يضمن نجاح التزجيج

الزركونيا (Zirconia):

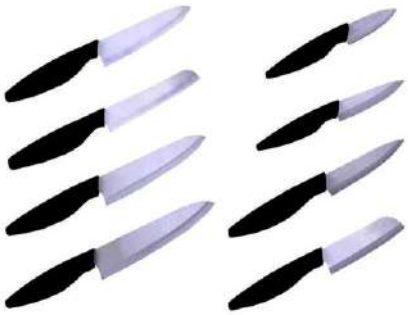
يعرف اوكسيد الزركون (ZrO_2) بالزركونيا وهي مادة بلورية أحادية التركيب في درجة حرارة الغرفة وتتحول إلى مادة بلورية رباعية التركيب بزيادة درجة الحرارة.

ان صفات هذه المادة تعتمد بصورة رئيسية على درجة استقرارها ونقاوتها ،فتوجد في الطبيعة مرتبطة مع (الصوديوم،الكالسيوم، الحديد، السليكون، التيتانيوم ، الثوريوم ،الاوكسجين).

ويمكن الحصول على الزركونيا من خامات سيليكات الزركونيوم ($ZrSiO_4$). يتواجد عنصر الزركونيوم مع المعادن الاخرى في الصخور البركانية والصخور المتحولة ويوجد الى جانب السيليكا اي ينتشر في الصخور التي تحتوي على السيليكا بنسبة عالية مثل الكرانيت . تدخل الزركونيا في صناعة الحراريات لانها تتصف بالمتانة العالية في درجة حرارة الغرفة وتحافظ على هذه الصفة في درجات الحرارة العالية فوق (1500°C) وهذه الخاصية مهمة ومفيدة اذ يمكن استعمال هذا النوع من الحراريات كبطانة للافران. كذلك تتصف بانها مقاومة للتفاعل مع منصهرات المعادن وقليلة الفشل بسبب تمددها الواطئ والكثافة الحجمية العالية والتوصيلية الحرارية المنخفضة ومن الجدير بالذكر ان الزركونيا لاتتفاعل بسرعة مع المعادن ولهذه الخاصية اهمية اذ تكون مفيدة في صناعة البوادق بالاضافة الى مقاومتها العالية للحك والسوفان (البلى).

ان أغلب المواد التي تدخل في الصناعات السيراميكية هي مادة الالومينا وقد تم اضافة الزركونيا الى الالومينا لتحسين الخصائص الميكانيكية وذلك لتميزها بخصائص ميكانيكية عالية. الشكل (6-4) يوضح بعض تطبيقات الزركونيا المتقدمة.

مساند دوارة ذات الكرات مصنوعة من الزركونيا



سكاكين سيراميكية مصنوعة من الزركونيا

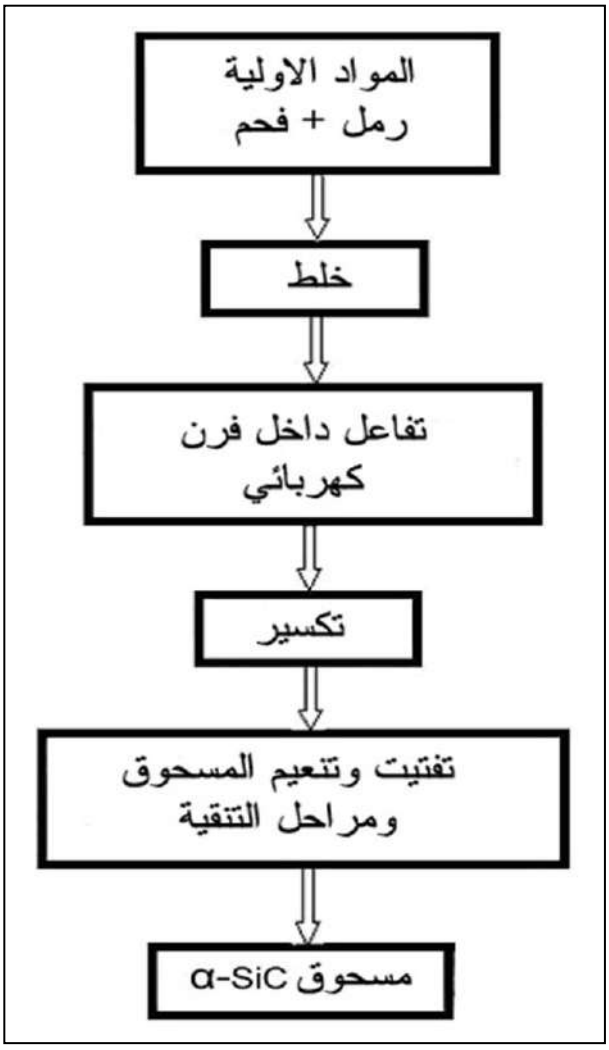
الكاربيدات:

1- كاربيد السيليكون Silicon Carbide SiC:

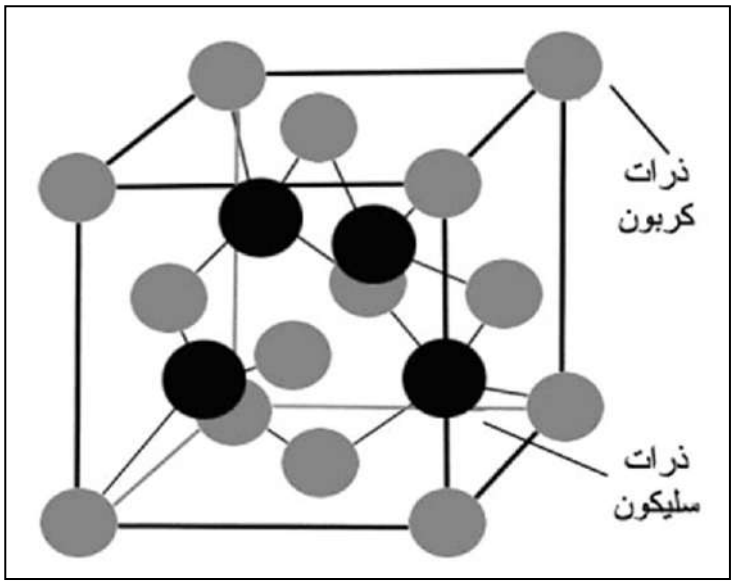
مادة تتميز بالاواصر التساهمية لذلك هي ذات صلادة عالية جداً تقترب من الماس وتحضر من تسخين رمل السيليكا وفحم الكوك كما يلي:

$$SiO_2(s) + 3C(s) \Leftrightarrow SiC(s) + 2CO(g)$$

ويمكن تلخيص مراحل انتاج كاربيد السيلكون بالمخطط التالي :



هناك أنواع مختلفة من التركيب البلوري لكاربيد السيليكون منها β-SiC الشبه موصل والنوع الآخر α-SiC وغيرها من التسميات المختلفة بالتركيب البلوري. الشكل أدناه يمثل التركيب البلوري لنوع β-SiC.



عند تصنيع منتجات SiC نحتاج درجات حرارية عالية وتحت ظروف حرق خاصة لذلك معظم منتجات SiC تستخدم معها مادة رابطة مثل الزجاج أو الطين أو نتريد السيليكون أو اكاسيد أخرى....يمتاز SiC بالمقاومة العالية للزحف عند درجات حرارية عالية وذات قدرة عالية للتحمل الميكانيكي عند درجات حرارية عالية ومستقرة كيمياوياً ولكن تتأكسد عند التسخين كما يلي:

$$SiC_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SiO_{2(s)} + CO_{(g)}$$

وبسبب الصلادة العالية فانه يستخدم لأغراض تنعيم السطوح وأدوات القطع، وبسبب التوصيلية الحرارية فانه يستخدم في الأفران ويستخدم في صناعة عناصر تسخين الأفران Heat Element ولدرجات حرارية عالية (اكبر من $1400^{o}C$) (شكل 7-4).

شكل 7-4: عناصر تسخين الأفران مصنوعة من كار بيد السليكون

2- كاربيد البورون B_4C Boron carbide :

مادة ذات صلادة أعلى من SiC , تنتج من كربنة اوكسيد البورون B_2O_3 ويستخدم كمادة قاشطة عالية المقاومة للبليان والمقاومة الحرارية, ويستخدم في رؤوس فوهات الأنابيب وخطوط التحميل وفي المفاعلات النووية وفي الدروع الواقية من الرصاص والاقنعة الواقية من النيوترونات بسبب قدرته على امتصاص النيوترونات.

3- كاربيد التتانيوم Titanium carbide TiC:

مادة صلدة جداً وتعتبر من المواد المقاومة للحرارة ومقاومة للحك والبلى والصدمة الحرارية وتستخدم في مساند المحاور الدوارة(Bearings) والنوزلات وادوات القطع وعادة ما يتم ربط حبيبات كاربيد التتانيوم بالمعادن ويعد من الموصلات الكهربائية الجيدة خصوصاً في درجات الحرارة العالية.

3-4 النتريدات :

1- نتريد السليكون (Silicon Nitride) :

رمزه الكيميائي(Si_3N_4) وهو مادة صلدة لمدى واسع من درجات الحرارة، ويحضر من تسخين مسحوق السليكون في جو من النتروجين أو الالومينا ويكون مقاوم للتأكسد أكثر من كاربيد السليكون ومقاوم للصدمة الحرارية وله متانة عا لية ومقاوم للتآكل والخدش ويستخدم في ريش التوربين . ويمتاز بالاواصر التساهمية وعادة ما تضاف الاكاسيد التالية عند تلبيده مثل: MgO ، Y_2O_3،ZrO_2،Ce_2O_3 بسبب ارتفاع درجة حرارة انصهاره.

2- نتريد البورون (Boron Nitride) :

رمزه الكيميائي (BN) ويحضر ايضاً بتسخين البورون في جو من غاز النتروجين أو الامونيا وهو ذات صيغتين احدهما مشابه للكرافيت حيث يكون عالي ألمقاومة للحرارة ولكنه ضعيف ميكانيكياً وذات معامل احتكاك واطئ والصيغة الثانية يشبه الماس اي ذات صلادة عالية. ويستخدم في انتاج البودقات والسدادات المحكمة والحشوات المانعة للتسرب لدرجات عالية. له قدرة امتصاص جيدة للنيوترونات لذلك يستعمل في صناعة قضبان السيطرة في المفاعلات النووية، ويستخدم في تزيت قوالب تصنيع الزجاج لانه لايلتصق به.

4-4 الكرافيت Graphite :

يتواجد في الطبيعة على شكل كاربون وهو سداسي التركيب البلوري مقاوم للحرارة ومقاوم للتفاعلات الكيمياوية ويتأكسد في درجات الحرارة العالية بشدة الى CO_2 ولذلك يستخدم في تطبيقات الحرارة العالية في جو مفرغ من الهواء. وهو من السيراميكيات التي تتميز بالتوصيل الحراري والكهربائي وتمدده الحراري واطىء ومقاومته للصدمات الحرارية عالية وتزداد متانته بارتفاع درجة الحرارة, لذلك يستخدم في تطبيقات واسعة منها: البوادق, القوالب في الكبس على الساخن, مغلفات المزدوج الحراري, الأقطاب الكهربائية, فحمات المحركات الكهربائية, الحث الحراري, ويعتبر وسط مهدىء للنيوترونات ومادة مزيتة لان حبيباته زيتية.

5-4 السيرميت Cermets :

هي مواد خليطة من السيراميك والمعدن وتحمل صفات مشتركة للسيراميك(الصلادة, مقاومة التآكل, تحمل الحرارة العالية) والمعدن (المطيلية, مقاومة الصدمة الحرارية, التوصيل الحراري, التوصيل الكهربائي) ولذلك سنحصل على مادة ذات صفات جيدة وتستخدم في صناعة ريش التوربين ورؤوس أنابيب الصواريخ ويتم إنتاج السيرمت من خلط نسبة معينة من السيراميك (الكاربيدات مثلاً) مع نسبة أخرى من مسحوق معدني ويكبس ويلبد في جو مفرغ لمنع الأكسدة وتصنع اللقم الكاربيدية المستخدمة في تشغيل المعادن من السيرميت. ومن أمثلة السيرمت:

$SiC + Al$
$WC,TiC + (Fe,Co,Ni)$
$Al_2O_3 + Cu$

1- ما هي المصادر الأساسية الطبيعية التي يمكن منها الحصول على الاكاسيد التالية:

1- الالومينا 2- السيليكا 3- الزركونيا.

2- أعط مثالاً لتحول وآخر لانقلاب السيليكا.

3- لماذا يفضل بقاء طبقة التزجيج تحت تأثير الانضغاط؟

4- ما هو سبب طلاء البوادق السيراميكية المستخدمة في صهر المعادن بمادة الزركونيا؟

5- اذكر ميزات استخدام المواد السيراميكية في صناعة المساند ألدوارة.

6- كيف يمكن تصنيع منتجات من كاربيد السليكون بدرجات حرارية قليلة.

7- ما هي المواد السيراميكية التي يمكن الحصول عليها من عمليات الكربنة والنتردة.

8- إذا استعملت عناصر التسخين ألمصنعة من كاربيد السليكون في الأفران، هل تتوقع تغيرا يحصل في خصائص هذه العناصر نتيجة ظروف الاستعمال.

الفصل الخامس

الخواص المهمة أثناء عملية التصنيع

مفردات الفصل :

1-5 اللدونة

2-5 المادة الرابطة

3-5 خواص العالق

الأغراض السلوكية:

بعد دراسة هذا الفصل نتوقع أن يكون الطالب قادراً على أن:

- **يعرف ويحسب لدونة الأطيان.**
- **يتعرف على أنواع المواد الرابطة وتأثيرها في الخصائص الأخرى.**
- **يفهم آلية تشتيت المساحيق السيراميكية في العوالق.**

اللدونة :

إن إجراء فحص اللدونة للأطيان أمر يكتسب أهمية عملية وتطبيقية لدى العاملين في مجال صناعة الخزف. ويتم تحديد درجة اللدونة من خلال كمية الماء المضاف إلى الطين للحصول على أفضل لدونة، أما إجراءات هذا الفحص فهي سهلة وتتم بعد تحديد كمية معينة من الطين الجاف ولتكن 1 kg مع اسطوانة مدرجة تستوعب $1000\ cm^3$ من الماء ($1\ cm^3$ من الماء حجماً يعادل 1 g وزناً) ثم نبدأ بإضافة الماء إلى الطين للوصول إلى أفضل لدونة عندها يوزن النموذج كاملاً ويسجل (وزن النموذج لدن) بعدها تحدد كمية الماء المستخدم من خلال طرح المتبقي في الاسطوانة من المجموع ويتم احتساب نسبة الرطوبة وفق ألمعادلة ألتالية:

$$\text{النسبة المئوية للدونة} = \frac{\text{وزن الماء المضاف}}{\text{وزن النموذج اللدن}} \times 100\ \%$$

$$= \frac{\text{وزن النموذج اللدن} - \text{وزن النموذج جاف}}{\text{وزن النموذج اللدن}} \times 100\ \%$$

وترتفع مع الأطيان ذات الحبيبات ألدقيقة، وقد تشكلت علاقة توافقية معقولة بين نسبة الماء المضاف ودرجة اللدونة بغض النظر عن اعتبار الخواص الاخرى للاطيان كدرجة الانكماش وغيرها ولغرض تأكيد الدقة في تحديد الاوزان اعلاه يتم تجفيف النماذج داخل مجفف حراري لغاية 110-120 ^oC لأتمام تبخر ماء اللدونة كاملاً ثم يحسب الوزن.

هناك طرق مختبرية عالمية تعتمد للتعرف على درجة اللدونة واجراءات فحص التربة يطلق عليها طريقة فحص بفركورن Pfefferkorn test (الجهاز موضح في الشكل (5-1)), خطواتها تتم من خلال تحضير خلطات طين وماء بنسب متعددة ويعمل منها نماذج اسطوانية الشكل بارتفاع 4 cm وقطر 2.8 cm توضع عامودياً على قاعدة ويتم اسقاط قرص معدني يزن 1 kg من ارتفاع تقريبي 16 cm مباشرة على رأس الاسطوانة الطينية ويلاحظ درجة التشوه في ارتفاع الاسطوانة اي قياس فارق الارتفاع الاول قبل الانضغاط والثاني بعده، تؤخذ النتائج وتنظم وفق رسم بياني لتلك القراءات على وفق القيم الرقمية الناتجة من النسبة المئوية للرطوبة الى نسبة التشوه والتي تقدر قياسياً بأرقام مثل 2.5،3،3.3... وتسمى قيم بفركورن وتعتمد هذه الطريقة على نوع الجهاز وحجم العينات ويتم حسابها وفق المعادلة التالية:

$$\text{نسبة التشوه} = \frac{\text{الارتفاع الاول للنموذج}}{\text{الارتفاع الثاني بعد الانضغاط}}$$

شكل 5-1: جهاز بفركورن لقياس اللدونة

هناك طريقة مختبرية أخرى معتمدة عالمياً وهي طريقة أتربيرج Atterberg لفحص اللدونة، يتم بواسطتها معرفة نسبتي الرطوبة للأطيان، الأولى لأفضل لدونة والثانية لمرحلة المحلول، فالأولى تتحدد عندما يصل الطين إلى لدونة جيدة بعد أن يتجاوز مباشرة مرحلة التفتت والتكسر ويلاحظ ذلك من خلال تدوير حبل من الطين قطره أقل من 1 cm دون تكسر أو تفتت. أما حدود المحلول فتكون فوق نسبة تحوله الى محلول سلس رائق وتحت كونه لدن، ومن الممكن اعتماد طريقة لتحديد المرحلتين وبالأخص مع الأطيان النقية أو الخاصة بمحاليل الصب، تقوم على تحضير محلول طيني كثيف القوام يصب على لوح ماص كالجبس لحين تحوله إلى كتلة جامدة لا تسير ولا ترتج، ونقوم بفحصه بين الحين والآخر بعمل شق (جرح) بواسطة آلة حادة نتوقف عندما لاتحصل معالجة أي يبقى الشق مفتوح عندها تتحدد نسبة الرطوبة ويطلق عليها حدود اللدونة العليا، وبعد ازدياد تصلبه يزاح من اللوح ويعمل باليد لحين فقدانه اللزوجة أو إمكانية تشكيلة عند الضغط بالاصابع عندها تقاس نسبة الرطوبة وتسمى حدود اللدونة الدنيا ثم تطرح الارقام من بعض والناتج يسمى معامل اللدونة Plasticity Index وفق طريقة اتربيرج. وقد اعتمدت بعض المختبرات طريقة شملت الوسيلتين أعلاه وهي قياس نسبة الرطوبة وفق طريقة بفركورن وحدود اللدونة وفق طريقة اتربيرج والناتج أفضل معامل عملي لقياس اللدونة.

1-5 المادة الرابطة:

إن إضافة الماء إلى الطين تهدف إلى إكسابه خاصية اللدونة لكي تكون هناك امكانية تشكيله بالطرق اللدنة ويجب أن لا تكون نسبة الماء المضاف إلى حد يجعل ألمادة الطينية تكون بالحالة ألسائلة ولا الى حد قليل فتكون صعبة التشكيل. من هذا نستنتج أن الماء هو ألمادة الرابطة الملائمة للأطيان ويعزى سبب ذلك إلى كونه مادة قطبية يعمل على حصول تبادل أيوني بينه وبين مكونات الطين مما يؤدي إلى تسهيل انزلاق صفائح الطين مع بعضها البعض وبالتالي حصول خاصية اللدونة.

أما بالنسبة للمواد السيراميكية التي لا يحدث فيها تشوه دائمي في حدودها ألحبيبية أثناء عمليات التشكيل مثل الكبس والتي قد تتكسر حبيباتها عند زيادة قوة الكبس فان نوعاً من المواد الرابطة يجب اضافته لتحقيق تماسك المنتوج بعد التشكيل. وبالرغم من أهمية المادة الرابطة في تماسك الجسم السيراميكي الا أن لها آثاراً سلبية من ناحية ترك مسامات داخل الجسم السيراميكي خصوصاً عندما يراد تصنيع مواد سيراميكية ذات مسامات قليلة جداً أو معدومة مثل صناعة العوازل الكهربائية. ان وجود المادة الرابطة يوفر المتانة الرطبة Green Strength حيث تعمل على ربط الحبيبات مع بعضها لذلك يجب ان تتوفر خاصية الالتصاق ما بين المسحوق السيراميكي والمادة الرابطة لكي تؤدي المادة الرابطة وظيفتها الاساسية، لهذا يجب أن تحقق المادة الرابطة أحد الشروط التالية:

1- تترك ألمادة الاساس عند التجفيف أو الحرق دون أن تخلف أي مادة غير مرغوب بها مثل إضافة الماء إلى الطين أو إضافة المواد البوليمرية إلى الاكاسيد مثل الالومينا أو المغنيسيا ... الخ.
2- اذا بقت داخل المادة يجب أن لا تتفاعل مع المادة وتكون أطوار جديدة ولا تؤثر على الخواص المطلوبة لذلك فان هذا النوع من الربط سوف ينصهر بدرجة حرارة أوطأ من درجة حرارة انصهار المادة الأساس ويربط المسحوق بخاصية تغلغل الطور الزجاجي مابين حبيبات المسحوق السيراميكي ومثال ذلك إضافة الزجاج أو الطين كمادة رابطة إلى كاربيد السليكون (SiC الذي يتميز بدرجة انصهار عالية) فينصهر الزجاج أو الطين ويتغلغل ما بين حبيبات الكاربيد ويعمل على ربطها وإكساب المنتوج صلابة عالية. ولكن من عيوب هذا النوع من الربط هو أن خواص ألمادة الناتجة الميكانيكية تعتمد على الرابط وليس ألمادة الأساس.
3- إذا تم تبخر جزء من ألمادة ألرابطة وتترك مادة من نفس ألمادة الأساس فمثلاً الكرافيت تتميز دقائقه بأنها زيتية تنزلق فوق بعضها البعض عند الكبس ولا تتماسك عند الكبس لذلك يستخدم

رابط مثل مادة قيرية (Bituminous) وتكبس على البارد أو على الساخن فان المادة الرابطة سوف تنصهر ويتبخر جزء منها وتترك جزء آخر عبارة عن دقائق من الكاربون الذي له نفس تركيب الكرافيت وبالتالي لن يؤثر الرابط على خواص المادة التركيبية.

ان المادة الرابطة أيضاً تساعد في سهولة انزلاق المسحوق تحت الكبس وسهولة اخراج المكبوسة بعد االكبس.

2-5 خواص العالق :

يتكون العالق (slip) من مسحوق سيراميكي مشتت في سائل مثل الطين والماء. حيث يتصرف الطين كأنه أيون سالب لحامض ضعيف مع أيون موجب(M) كما في أدناه:

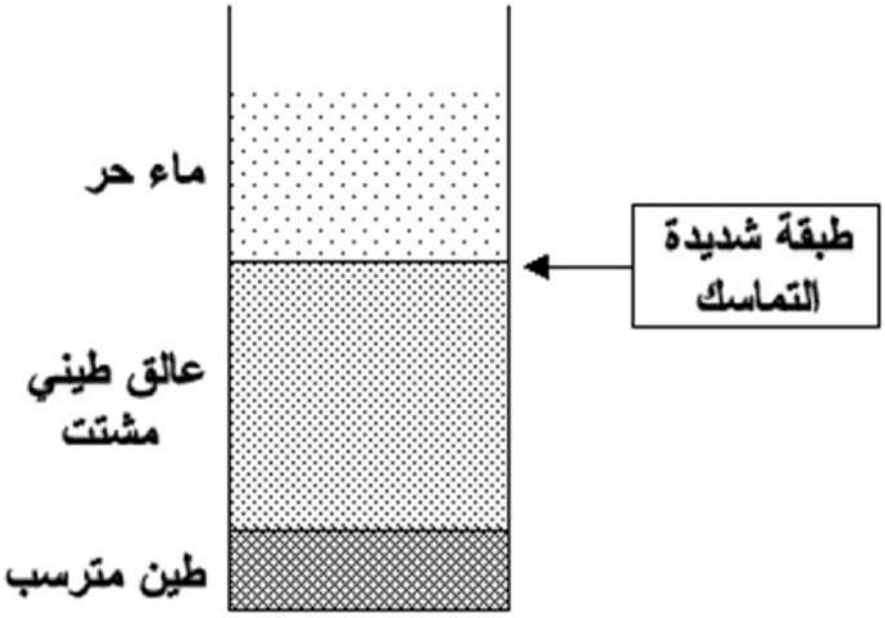
$$M\,Clay \leftrightarrow M^{+} + Clay^{-}$$

وتعتمد درجة التأين على الكهربائية الموجبة للايون الموجب M فعند زيادة درجة تأين الطين السالبة يحدث تنافر بين دقائق الطين المتأينة ويزداد هذا التنافر (التشتت) كلما زادت درجة التأين. ولكن زيادة تركيز الايونات تؤدي إلى تقارب الدقائق مع بعضها وتظهر قوى فاندرفالز التجاذبية بشكل اكبر من التشتيت ولذلك يجب أن يحدث توازن بين قوى التجاذب والتنافر. ويحدث امتزاز للماء من سطح الطين بالإضافة إلى الايونات الموجبة المتبادلة وبسبب ارتفاع تركيز الشحنة الكهربائية لسطح الطين السالب وبسبب قطبية جزيئات الماء فان جزيئات الماء تبقى قريبة من سطح الطين وكلما زاد بعدها عن السطح قلت درجة الانتظام وتقل قوى تماسك جزيئات الماء . يعبر عن مقدار الشحنة الكهربائية في الطبقة الفاصلة بين العالق الطيني والماء الحر(شكل 2-5) بجهد زيتا ويحسب من العلاقة التالية:

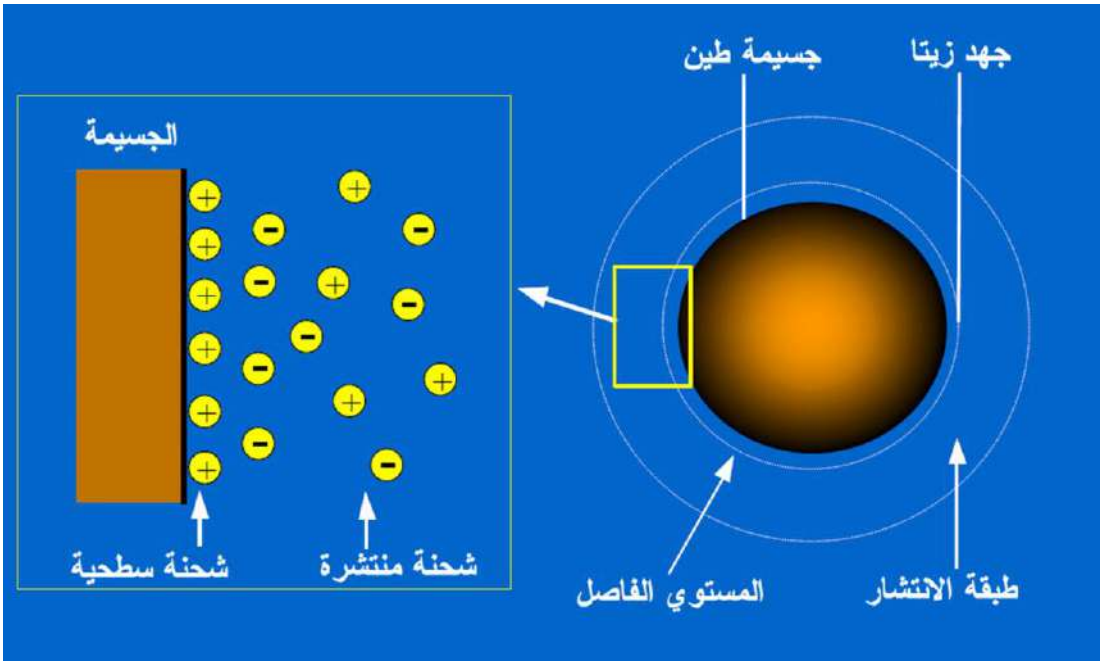
$$Z_p = \frac{4\pi\sigma d}{\varepsilon_r}$$

حيث Z_p يمثل جهد زيتا , σ : كثافة الشحنة السطحية , d: سمك الطبقة شديدة التماسك, ε_r : ثابت العزل الكهربائي للوسط. الشكل (3-5) يوضح توزيع الشحنات الكهربائية بالقرب من جسيمة الطين اما جهد زيتا فيمثل الجهد الكهربائي للشحنة السطحية.

قيمة جهد زيتا تبين فيما اذا كانت الدقائق سوف تترسب أو تتشتت ولكي يبقى العالق مشتتاً يجب أن يكون جهد زيتا اكبر من 0.02V (موجب أو سالب) ولكل أيون موجب (Ca^{+2},H^{+}), Mg^{+2},Na^{+}جهد زيتا محدد له.



شكل 5-2: طبقات المحلول الغروي في عالق الطين والماء

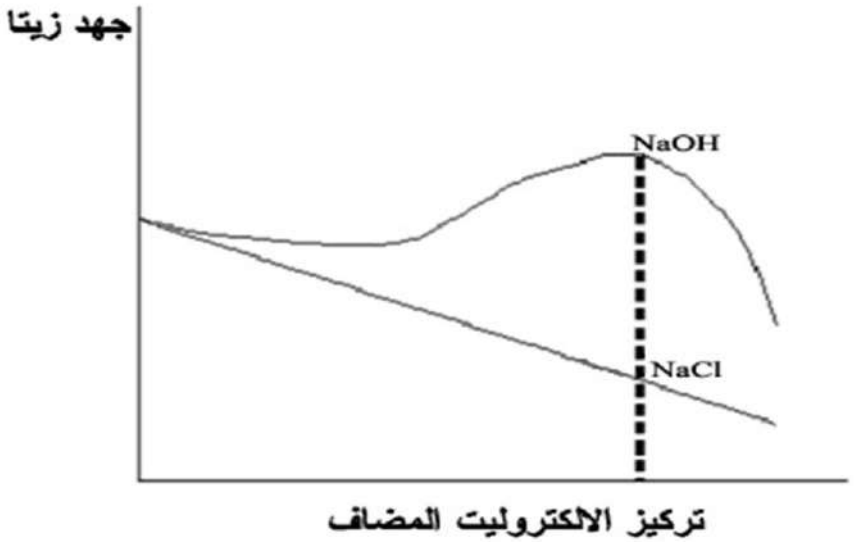


شكل 5-3: توزيع الشحنة الكهربائية بالقرب من جسيمة الطين.

إن إضافة الالكتروليت تؤثر على جهد زيتا فمثلاً وجود ايون الهيدروجين الموجب مع الطين يجعل العالق طين هيدروجيني وينخفض جهد زيتا الكهربائي أما إذا أضيف هيدروكسيد الصوديوم إلى العالق فان الصوديوم يحل محل الهيدروجين كما في ألمعادلة:

$$H^+ clay + NaOH \leftrightarrow Na^+clay + H_20$$

فيرتفع جهد زيتا لطين الصوديوم وعند الاستمرار بإضافة هيدروكسيد الصوديوم يستمر جهد زيتا بالزيادة إلى أن يصل إلى القيمة القصوى فتحدث حالة التشبع بأيون الصوديوم وإذا تم الاستمرار بالزيادة فان ايونات الصوديوم لايمكن امتزازها من قبل الطين لذلك فان زيادة تركيز ايون الصوديوم يقلل الجهد السالب أي يقل سمك الطبقة الفاصلة بين الماء الحر والعالق المشتت.وهذا يؤدي إلى انخفاض جهد زيتا كما في الشكل 5-4.



شكل 5-4: تأثير تركيز الالكتروليت على جهد زيتا.

وتسمى هذه الزيادة ثم النقصان بالمزاحمة (Overdoping) ويمكن توضيحها من قياس اللزوجة بطريقة الالتواء بإضافة نسب قليلة من كاربونات الصوديوم أو سيليكات الصوديوم التي سوف تقلل اللزوجة بسبب تفكك الطين باستمرار الإضافة ولكن عند الوصول إلى حالة معينة (تركيز معين من الإضافة) تبدأ عندها اللزوجة بالزيادة بسبب المزاحمة. ويستفاد من دراسة خواص التشتيت في العوالق وذلك في عمليات التشكيل بالصب الانزلاقي والحصول على عالق سيراميكي جيد لاغراض التزجيج للمواد السيراميكية. كذلك يمكن ان يحدث امتزاز للايونات الموجبة العضوية وتصبح الاطيان ميالة للمواد العضوية مثل (المونتمورلينيت).

الأسئلة

1- هل من الممكن استبدال الماء بالبنزين أو النفط لغرض إكساب الطين اللدونة اللازمة للتشكيل، ولماذا؟

2- جففت كتلة طينية رطبة وزنها 1 kg فأصبحت بعد التجفيف 670 g احسب النسبة المئوية للدونة.

3- احسب نسبة التشوه الحاصلة لنموذج طيني اسطواني ارتفاعه 16 cm قبل تسليط الحمل وأصبح 10 cm بعد تسليط الحمل عند استعمال جهاز بفركورن لقياس اللدونة.

4- ما المقصود بجهد زيتا وكيف تؤثر قيمته على قدرة العالق على تشتيت المساحيق السيراميكية.

5-ما المقصود بالمادة ألمشتتة، وما هي المواد المفضلة في تشتيت عوالق الأطيان وكيف تؤثر إضافتها على اللزوجة

6 - هل يمكن تشتيت مساحيق الالومينا وكاربيد السليكون في عالق؟

7 - ايهما أفضل في عملية التشتيت المساحيق السيراميكية الناعمة أم الخشنة ولماذا؟

الفصل السادس

تشكيل المواد الخزفية

مفردات الفصل :

1-6 عمليات تشكيل الطين وتصنيعه

2-6 تشكيل الطين (طريقة الحبال الطينية، طريقة الشرائح الطينية، طريقة القوالب، طريقة الدولاب

3-6 عمليات تشكيل السيراميك(التشكيل الجاف: الكبس المحوري، الكبس المتوازن على البارد، الكبس المتوازن على الساخن)، (التشكيل الرطب: التشكيل بالبثق، التشكيل اللدن اللين، الصب الانزلاقي، طريقة مشرط الطبيب)، التشكيل بالرش الحراري.

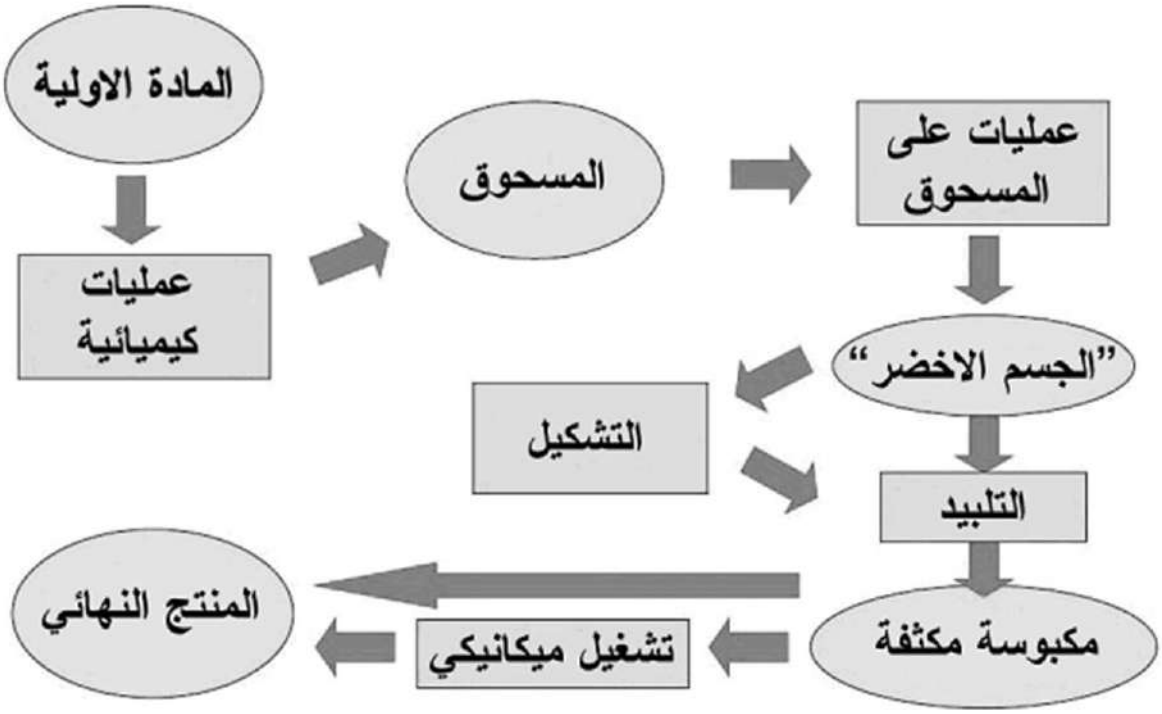
الأغراض السلوكية :

بعد دراسة هذا الفصل نتوقع أن يكون الطالب قادراً على ان:

- **يحدد مراحل إنتاج القطع الخزفية.**
- **يتعرف على أنواع تشكيل الخزف التقليدية والمتقدمة.**
- **يتعرف على المعدات والأدوات اللازمة لتشكيل الخزف.**
- **يقارن بين طرق تشكيل الخزف.**

عمليات تشكيل الطين وتصنيعه :

تمثل عملية التشكيل واحدة من مراحل إنتاج المواد الخزفية وهي تحدد الخصائص النهائية للمنتوج الخزفي بالإضافة إلى المراحل الأخرى والموضحة بالمخطط العام لعمليات إنتاج المواد



المخطط العام لعمليات ومراحل إنتاج الخزف

يحتاج العاملون في صناعة الخزف (الخزافون) في إعداد أعمالهم إلى مواد أولية جميعها مواد طبيعية أرضية منها ما هو سهل الحصول ومنها ما يحتاج إلى عمليات استخراج وإعداد وأهم هذه المواد هي الأطيان وهي التي تغطي كامل ألقشرة الأرضية، سهلة التناول والتحضير، وبامكان أي شخص له إلمام بسيط بالخزف إيجاد مواقع لحفر الطين الصالح للاستخدام وأفضلها موقعاً هو ما تحت السطح الأولي للتربة بعمق يزيد قليلاً عن المتر الواحد وفي بعض الأحيان قد تتواجد بالقرب من سطح الأرض (شكل 6-1) والخطوة ألثانية هي ملاحظة صلاحية الطين ذاته مثلاً من الممكن أن يكون الطين قوي أي يحتوي على كمية كبيرة من المواد القلوية الذائبة فهو لا يستحق جهد الحفر والاستخراج ويمكن ملاحظة ذلك على الطين حيث توجد حبيبات بيضاء معه وكذلك يجب ملاحظة نسبة الكلس ($CaCO_3$) الموجودة غالباً وبنسب عالية في التربة العراقية

الرسوبية فهو يتحول إلى اوكسيد الكالسيوم CaO وهذا الاوكسيد غير مستقر له قابلية امتصاص بخار الماء كرطوبة ينتفخ على أثرها ويزداد حجم حبيباته ويولد ضغطاً على الطين من حوله مما يؤدي إلى تشقق جدار الجسم الطيني وأحياناً تهشمه وتفتيت جدرانه وممكن حصول ذلك أثناء الحرق أو بعده مباشرة أو خلال أيام أو حتى بعد اشهر من خزن المنتوج. فمن الضروري الابتعاد عن هذا النوع من الطين. ويمكن التأكد من ذلك عملياً بالإضافة إلى خبرة ألمشاهدة وذلك برمي كرة صغيرة من الطين في محلول الهيدروكلوريك HCl بتركيز 50% فانه يتفاعل بسرعة محدثاً فوران وفقاعات واضحة. بالإضافة إلى ذلك ممكن أن يكون الطين غير صالح للأعمال الخزفية كونه رملي بنسبة عالية أو محمل بفتات الصخور من الفلدسبار ومعادن أخرى، أو أنه يحتوي على نسبة عالية من المواد ألعضوية فيكون بهذه الحالة لزج جداً صعب العمل به ويحصل ذلك غالباً في تربة السطح العلوية كونها داخله في الاستخدام المباشر للبشر والحيوانات والنباتات. يتحدد لون الأطيان بشكل أولي من وجود نسبة أكاسيد الحديد والمواد الفحمية فألوانه ألمتوقعة هي الأحمر، الأصفر، الجوزي ، مخضر أو مسود وممكن أبيض أو رمادي وأغلب الأطيان عدا الأبيض وبعض أنواع الأصفر عند حرقها بدرجات نضج واطئة تتحول إلى درجة أخف لونياً.

شكل 6-1: تواجد أطيان الخزف على سطح الأرض أو على عمق قريب من سطح الأرض

ويمكن تنقية الطين وذلك بخلطة مع الماء جيداً في وعاء ويترك لفترة لكي تتفتت الكتل الكبيرة وقد تطول لمدة 24 ساعة حيث يترسب الطين أسفل الإناء وتختلط بعض الأملاح والقلويات المذابة وتبقى عالقة في الماء يسحب الماء بالسيفون وتكرر هذه ألعملية مرة أخرى وثالثة وهكذا للتخلص من كل الأملاح والقلويات ويمكن تمرير محلول الطين والماء إلى غربال بقطر صغير للتخلص من الكتل الطينية الكبيرة والصخور والعوالق الأخرى. بعد عملية ترسيب الطين وسحب الماء منه ينتشر الطين على مسامات مفتوحة ويفضل وضعه على قواعد مسامية لكي تسحب الماء وتسرع من الجفاف مثل الجلفاص أو ألواح البورك وبعدها نحصل على طين حسب اللدونة

المطلوبة ويمكن جمعه وحفظه بأواني محكمة غير قابلة للصدأ ويفضل أن يترك لمدة لا تقل عن شهر لكي تتحلل البكتريا فيه لزيادة لدونته وتجانسه العالي. وقد تتم عملية تهيئة العجينة الطينية يدوياً (شكل 6-2أ) أو باستخدام الماكنة (شكل 6-2ب) والتي بوساطتها نحصل على عجينة طينية أكثر تجانساً (شكل 6-2ج).

(أ)

(ب)

(ج)

شكل(6-2): أ- عجن الطين يدوياً لإزالة الفقاعات, ب- ماكنة عجن الطين, ج- العجينة الطينية الناشئة من ماكنة العجن.

6-1 تشكيل الطين :

يتم بطرق شتى ، بعضها تستعمل فيه اليدان فقط. وأسهل الطرق يتم فيها تشكيل قرص الطين حتى يأخذ شكله المرغوب فيه. والكثير من المبتدئين في صناعة الخزف يستعمل هذه ألطريقة لصنع ما يسمى بالأواني المقروصة. وهناك طريقة أخرى لاستعمال اليدين تسمى التكوين الصلب حيث تنحت فيها كتلة من الطين في شكل ما.

هناك أربع طرق معروفة لتشكيل الخزف من الأطيان اللدنة هي :

1- الحبال الطينية 2- طريقة الشرائح 3- طريقة القوالب 4- طريقة الدولاب، فالطريقتان الأوليتان تستعمل فيهما اليدان وأما ألثالثة والرابعة فتحتاج كل منهما إلى أجهزة ومعدات خاصة. ويستطيع الخزاف استعمال مزيج من هذه الطرق في آن واحد. يمكن له مثلاً ، أن يصنع الهيكل العام لإبريق شاي على الدولاب الدوار وأن يستعمل يديه في صناعة مقبض الإبريق وصنبوره.

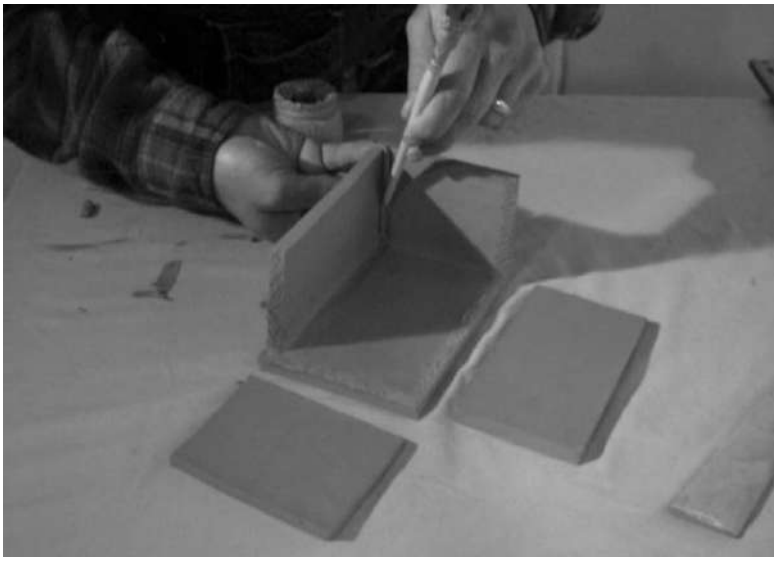
1-2-6 طريقة الحبال الطينية :

هي من أقدم الطرق وأسهلها في صناعة الخزف، فبعد تحضير الطين ، يسطح الخزاف قطعة منه ليصنع منها قاعدة لإناء. أما ما تبقى من الطين فيكرر في شكل حبال طينية طويلة (شكل 1-8 الفصل الأول)، ثم يستعمل الخزاف القاعدة كأساس ليلف هذه الحبال الطويلة، الواحدة فوق الأخرى في شكل لولبي ،

ويجب ربط الشرائط بعضها إلى بعض كي يصبح الإناء قوياً متماسكاً , ويلصق الخزاف كل طبقة من الشرائط أللولبية بالتي تليها بوساطة مادة لزجة تسمى ألطينة ألسائلة, وتصنع هذه ألمادة التي تستعمل للربط بإضافة الماء إلى الطين, ويملس الخزافون دائماً الجانب الداخلي من قطعة خزف مصنوع بطريقة الحبال الطينية كما يملسون أحياناً الجانب الخارجي حسب تصميم ألقطعة الخزفية.

2-2-6 طريقة الشرائح الطينية :

يصنع الخزف بهذه ألطريقة من قطعة طينية مسطحة ويكون الخزاف شرائح سميكة ومسطحة من الطين ، بأن يضغط عليه بيديه أو يسطحه بوساطة دحراجة، ثم يستعمل الخزاف شريحة طينية واحدة كقاعدة ويضع شرائح أخرى على جوانب القاعدة لتكون زوايا قائمة بعضها مع بعض ، ولتكون جوانب ألقطعة الخزفية التي ينوي صنعها، ثم يلصق الشرائح السميكة بوساطة ألطينة ألسائلة. وقد يصعب العمل بالشرائح الطينية خصوصاً إذا كانت كبيرة الحجم، ولهذا قد يترك الخزاف الشرائح لتجف قليلاً قبل ربطها معاً (الشكل6-4).



شكل 6-4: طريقة التشكيل باستخدام الشرائح الطينية

3-2-6 طريقة القوالب :

تستعمل هذه الطريقة لإنتاج قطع خزفية يشبه بعضها بعضاً، وهناك طريقة لإنتاج عدد كبير من القطع الخزفية المجوفة التي تسمى بالسباكة الردغية (الصب ألانزلاقي)، وتتمثل هذه ألتقنية في صب ألطينة ألسائلة في قالب جبسي وسنأتي لشرح هذه ألطريقة بالتفصيل لاحقاً.

4-2-6 طريقة الدولاب :

تستخدم هذه الطريقة لتصنيع الأجسام الخزفية المستديرة الشكل وهذا الدولاب جهاز يتكون من قطعة معدنية مستديرة ومسطحة، يديرها الخزاف ويشكل عليها أثناء هذا الدوران, ومعظم الدواليب تستخدم التيار الكهربائي، وتدور حينما يضغط الخزاف برجله على دواسة, وعندما يدور الدولاب، يدخل الخزاف إبهاميه أو أصابعه الأخرى في وسط الطين وهو يدور بسرعة, هذه ألعمليه تحول الطين إلى إناء سميك الجوانب ومنخفض، ويستطيع الخزاف إعطاء الجوانب الشكل الذي يرغبه بضغط إحدى يديه داخل الإناء والأخرى خارجه وهو يدور بسرعة الدولاب كما موضح بالشكل(6-5).

يعود التشكيل بالدولاب إلى النصف الثاني من الألف الرابع ق.م، وأول شكل بدائي لدولاب الخزاف (العجلة) اكتشف في وادي الرافدين (شكل 6-6أ)، وانتشر استعماله في العالم القديم بعد ذلك، وفي أول الأمر كان الدولاب يدوياً يحرك باليد، وهو عبارة عن قاعدة ثابتة وقرص متحرك يجمعها محور عامودي، وظهر بعده الدولاب ذو القرصين الذي يحرك بوساطة القدم وهو الأكثر تطوراً ولا يزال مستعملاً حتى يومنا هذا، بالإضافة إلى ظهور الدواليب الكهربائية الحديثة (شكل 6-6ب).

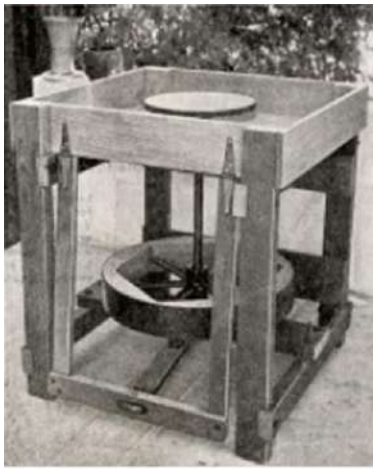
ساعد اكتشاف الدولاب السريع الخزافين القدماء على التحكم بالمادة واقتصرت وظيفة اليدين على تسوية وتشكيل العجينة الطينية بشكل أفضل، ويجب الإشارة هنا الى أن الدولاب يسمح بتشكيل الأعمال الفخارية الدائرية المقطع فقط، ففيما يخص توابع القطعة الخزفية) كالمصب أو الزلومة أو العنق أو القاعدة المرتفعة أو المصفاة)، فإنها تصنع بمعزل عن الوعاء وتشكل منفردة ثم تضاف إليها وتلصق بعد أن تجف قليلاً بوساطة الطين الطري .

أما تقنية القولبة والتشكيل من خلال القالب المعد لغرض النسج وإعادة الإنتاج بأعداد كثيرة لنفس العينة فهي تقنية قديمة أيضاً استخدمت على نطاق واسع في حوض البحر الأبيض المتوسط كما تشير إليه الاكتشافات الأثرية في وسط مدينة بيروت على سبيل المثال فالقالب يصنع انطلاقاً من عينة تم تشكيلها باليد أو بالدولاب، وتم حرقها وتحولها إلى عينة من الطين المشوي (الفخار)، ويمكن للخزاف من خلال ضغط كمية من الطين تمدد فوق القالب وتضغط باليد كي تأخذ شكل

العينة، وما يحمله أحياناً من أشكال زخرفية بإنتاج عينات متعددة ومتكررة لنفس العينة، وفي الحالات الأكثر تعقيداً تتطلب العينة عملية تشكيل مختلفة، وتتم تجزئة العمل تبعاً لطبيعة عناصر العينة، وفي كلتا الحالتين يتطلب إنجاز العمل الفني الخزفي تدخل الخزاف النهائي، وذلك لمعالجة السطح بعد القولبة لتسوية النتوءات، ولإخراج القطعة بشكلها الفني المراد لها، ومعالجة السطح تتم في الحالات الثلاث لتشكيل القطعة إن كانت باليد أو على الدولاب أو بطريقة القولبة، وتهدف هذه العملية إلى صقل العمل الخزفي وجعله متجانساً وناعماً، ويتم ذلك بعد جفاف العجينة بعض الشيء بوساطة أدوات خشبية أو حجرية أو من العظم، وتساهم هذه الطريقة في سد المسام، ويصبح الإناء أقل نفاذاً للسوائل وأقل قابلية للرشح.

وللوصول لنتائج مميزة، كان الخزافون يعمدون إلى تحضير سائل طيني من التربة المختلفة الألوان تستعمل كطلاء وتسمى بالمصطلح الأثري البطانة تطلى به الأعمال الفنية قبل الشَي في الغالب ويشكل الطلاء في هذا الحال غلافاً يكسب جدارها لوناً جديداً يختلف عن لون العجينة، وتتم هذه العملية بطرق عدة : فإما أن يغطس الإناء في حوض السائل الطيني، وإما أن يمدد السائل على سطحه بوساطة فرشاة أو قطعة من الجلد أو القماش.

شكل 6-5: طريقة التشكيل على الدولاب



شكل 6-6أ: الدولاب القديم

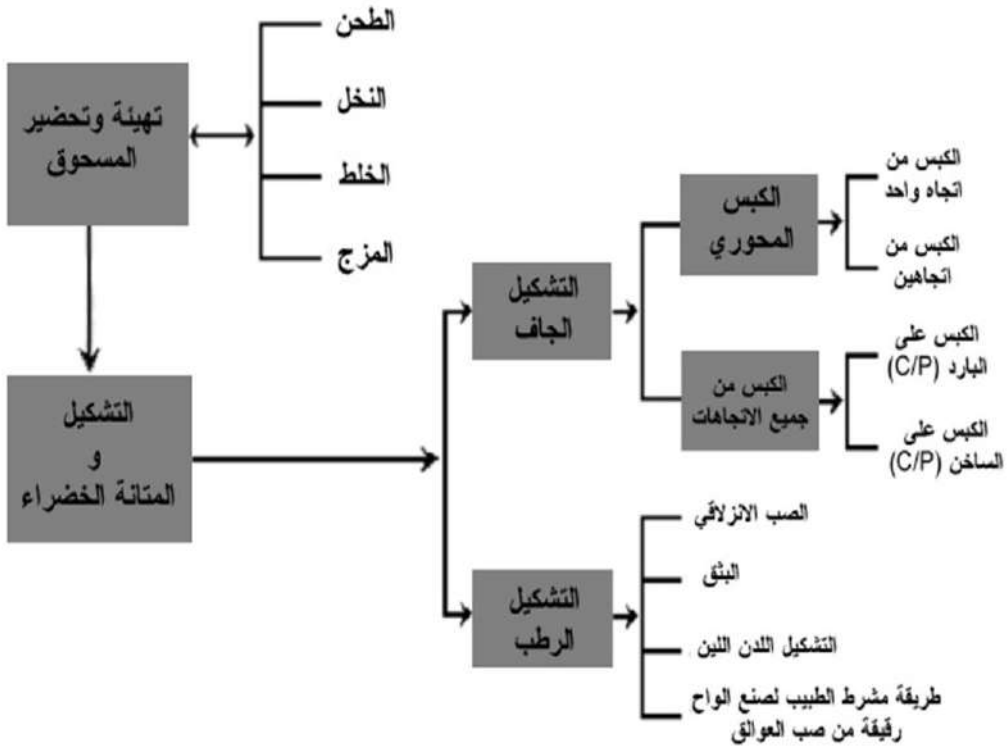
دولاب كهربائي حديث لتشكيل الخزف

شكل 6-6 ب

3-6 عمليات تشكيل السيراميك (Forming Processes):

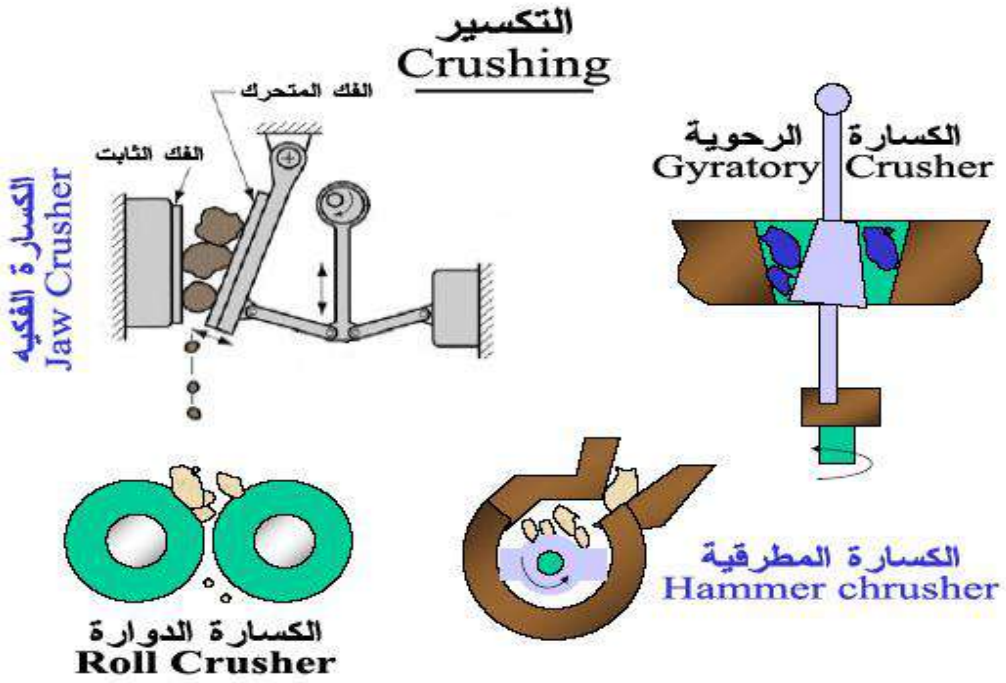
اغلب المنتجات السيراميكية يتم الحصول عليها أساسا من مساحيقها ولكي يتم استخدام هذه المواد بأشكال محدده يجب إجراء عمليات التشكيل للجسم السيراميكي حيث تشمل بالأساس عمليات تهيئة وتحضير المسحوق السيراميكي ومعرفة التوزيع الحبيبي للمسحوق وتحديد المواد المضافة والمواد ألرابطة وطريقة التشكيل اللازمة للحصول على الخواص المطلوبة للمنتج السيراميكي لان عمليات التحضير و التشكيل تحدد خواص المنتج ألنهائية.

تُشكل المنتجات السيراميكية من مساحيقها بطريقة تعرف بتكنولوجيا المساحيق Powder Technology واختصاراً P/T وتنقسم عمليات تشكيل السيراميك إلى الأنواع التالية:

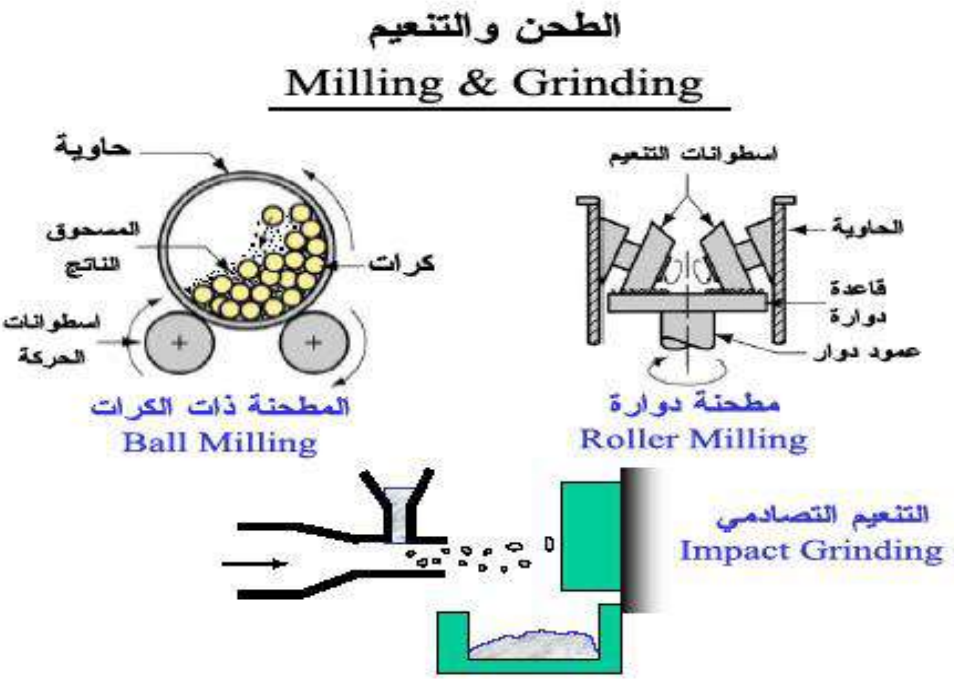


تمثل عمليات تهيئة المساحيق السيراميكية: (الطحن Milling ، النخل Sieving ، الخلط Mixing ،المزج Blending) أولى مراحل تشكيل المواد السيراميكية حيث يتم بوساطة هذه العمليات تحديد حجم جسيمات المسحوق (Particle Size) والتوزيع ألحجمي لها. الشكل (6-7أ) يوضح أنواع مختلفة من الكسارات المستخدمة في تكسير الصخور والكتل السيراميكية الكبيرة, أما الشكل (6-7ب) يبين أنواع من المطاحن ومنظومات تنعيم المساحيق السيراميكية اللازمة في الصناعات السيراميكية.

من مخطط تصنيف طرق التشكيل نلاحظ أن هناك نوعين من تشكيل المواد السيراميكية هما التشكيل الجاف والتشكيل الرطب فالأول يعني كبس المساحيق بدون استخدام مادة رابطة أو باستخدام مواد رابطة ولكن بكمية قليلة بحيث تبقى ألمادة السيراميكية محافظة على شكلها ألمسحوقي. أما النوع الثاني (التشكيل الرطب) فهو يتم باضافة نسبة عالية من ألمادة ألرابطة وقد تتحول المساحيق إلى عجينة أو محاليل غروية تحوي على مساحيق سيراميكية عالقة.



الشكل (6-7أ) انواع الكسارات

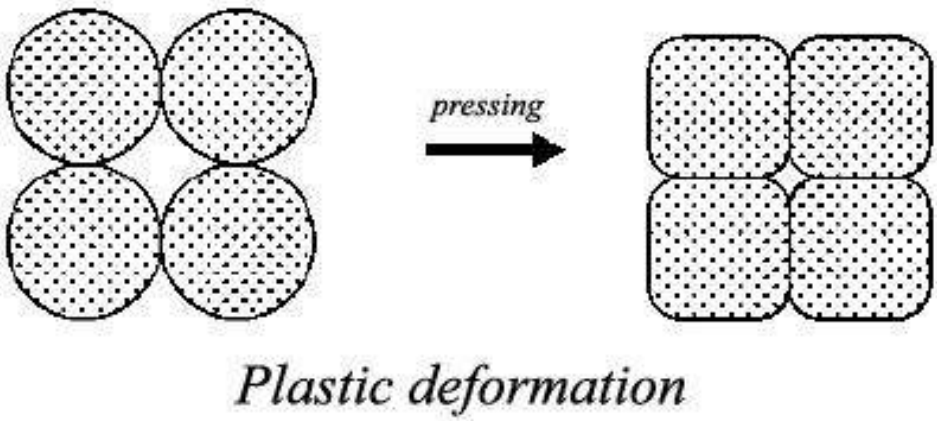


1-3-6 التشكيل الجاف (Dry Forming):

أ- الكبس المحوري:

يتضمن هذا النوع إجراء عملية الكبس للمسحوق السيراميكي وبقوة كبيرة داخل قالب معين يتضمن شكل المنتج المراد تصنيعه بدون إضافة أي مادة رابطة، أما إذا تمت عملية الكبس بإضافة نسبة قليلة من المادة الرابطة فان العملية تسمى الكبس شبه الجاف (Semi-Dry ressing)، وفي كلتا الحالتين فان سبب استخدام الكبس الجاف هو للحصول على أجسام سيراميكية ذات مسامية قليلة ومتانة ميكانيكية عالية تستخدم في تطبيقات تركيبية لتحملها الاجهادات الميكانيكية المختلفة.

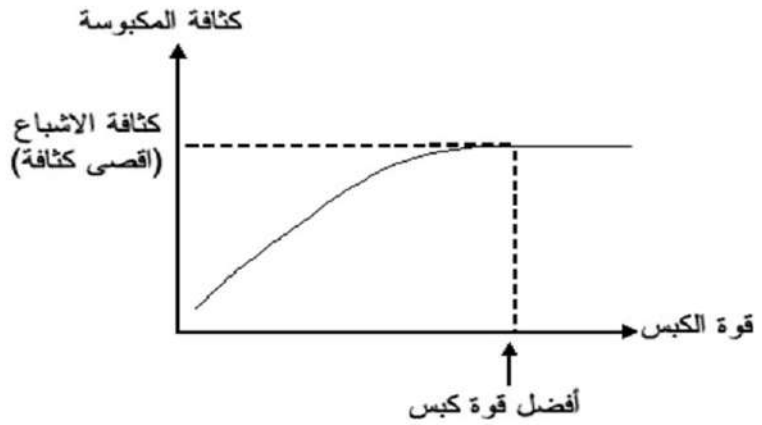
إن عملية كبس المسحوق يجب أن يتبعها تماسك العينة المكبوسة(المكبوسة) لكي يسهل حملها من مكان الكبس إلى الحرق ولذلك يجب أن تكون للحبيبات قابلية لإحداث التشوه اللدن ألدائمي (Plastic Deformation) في حدودها الحبيبة، كما في الشكل (6-8).



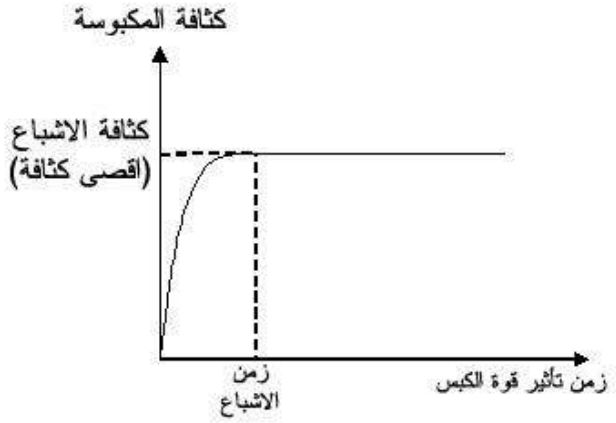
شكل 6-8: تشوه لدن مثالي للحدود الحبيبية

معظم المساحيق السيراميكية عدا الأطيان لا تتحقق فيها ظاهرة التشوه اللدن بسبب معامل المرونة العالي وهشاشة المساحيق السيراميكية. أما الحبيبات التي يتم تشكيلها بالكبس والتي تكون ذات رص عالي يعني أنها تحوي على متانة ربط حبيبي جيدة بين الحبيبات مما يزيد من كثافة العينة المكبوسة.

أن حجم العينة المكبوسة يتناقص مع زيادة قوة الكبس وبما أن الكتلة ثابتة لذلك فان كثافة المكبوسة تزداد كلما زادت قوة الكبس ولكن تصل إلى أقصى قيمة لها عند قوة كبس محددة وهذه القوة هي المفضلة عند التشكيل بالكبس، (شكل 6-9). وكذلك فان كثافة الرص تزداد مع تزايد زمن بقاء المكبوسة تحت تأثير الضغط ولكن هذه الزيادة غير مستمرة لفترات زمنية طويلة حيث نحصل على حالة إشباع أي الوصول إلى كثافة ثابتة عند زمن معين، كما في الشكل (6-10) .



شكل 6-9: تغير كثافة المكبوسة مع قوة الكبس



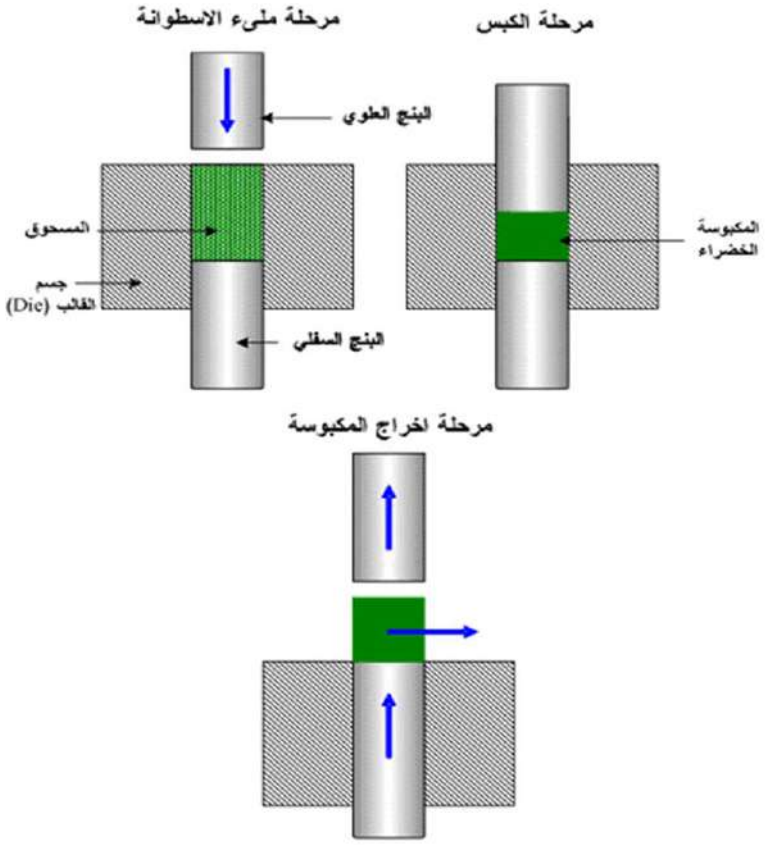
شكل 6-10 تغير كثافة المكبوسة مع زمن تأثير قوة الكبس

يستخدم في عملية التشكيل بالكبس المحوري قالب مكون من ثلاث قطع كما في الشكل (6-11) وهي :

1- الجزء العلوي ويدعى البنج العلوي (Upper Punch)

2- الجزء السفلي ويدعى البنج السفلي (Lower Punch)

3- جسم القالب الاسطواني المجوف ويدعى (Die).



شكل 6-12: أجزاء قالب الكبس المحوري مع مراحل الكبس.

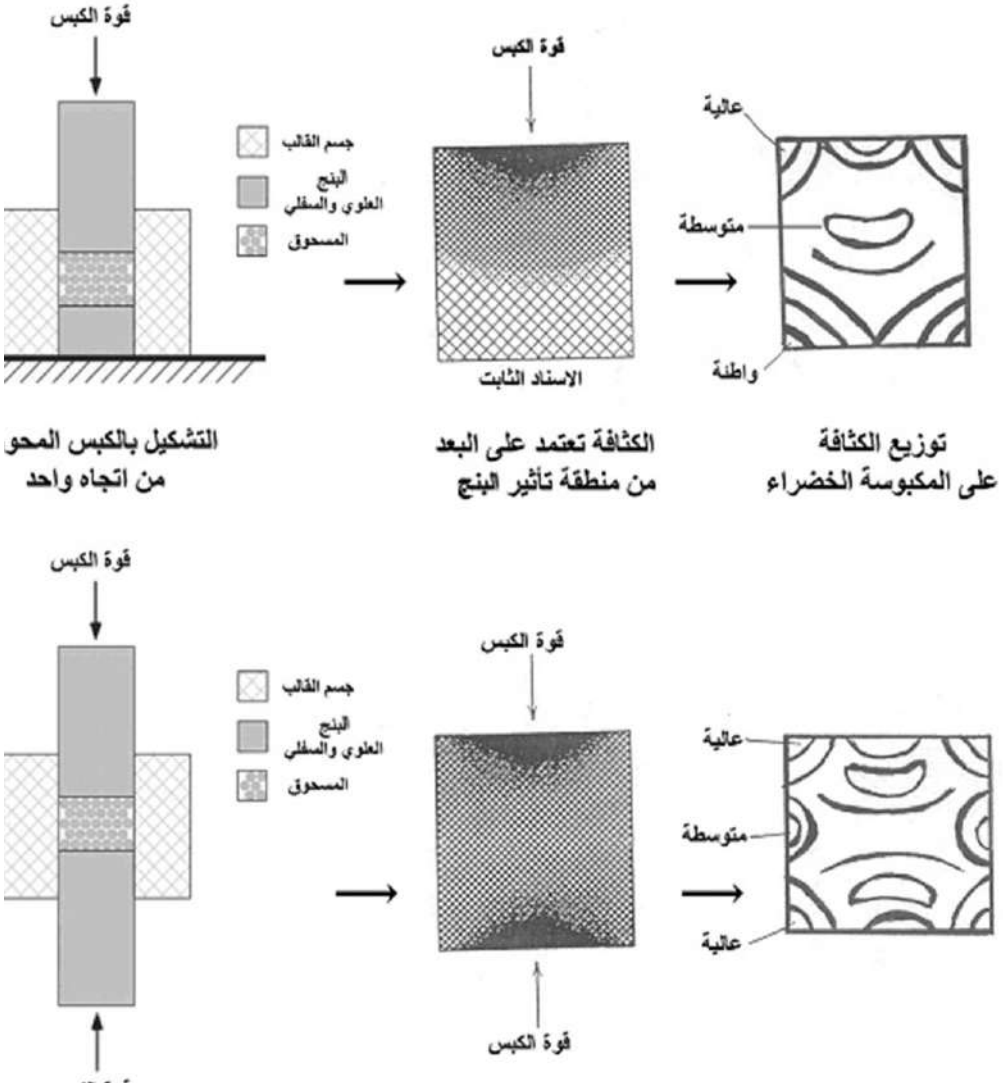
تتم عملية التشكيل باستخدام مكبس هيدروليكي يسلط فيه الضغط يدويا أو آليا. ومن عيوب الكبس المحوري ظهور عدم تجانس في توزيع الكثافة على جميع أجزاء العينة نتيجة عدم توزيع الضغط على جميع أجزاء العينة بالتساوي.

وبسبب قوى الاحتكاك بين حبيبات المسحوق مع بعضها البعض كذلك بين الدقائق والسطوح الداخلية للقالب فانه سوف يكون هناك ضياع في قوة الكبس المسلط وعليه سوف لا يتوزع ضغط الكبس بشكل متساوٍ على جميع أجزاء المسحوق المراد كبسه ولهذا نلاحظ حصول توزيع غير متجانس في الكثافة المكبوسة. إن ظهور عدم التجانس في الكثافة للسطوح البعيدة من تأثير قوة الكبس هو بسبب أن السطح المباشر للقوة يقوم بامتصاص القوة والرص بشكل أكبر من المناطق البعيدة, فنحصل على كثافة أعلى في المناطق المباشرة لقوة الكبس وفي جميع الأحوال فان القوة يكون تأثيرها على وسط العينة قليل فتكون كثافة الرص في الوسط أقل ما يمكن.

وبسبب التوزيع الغير متجانس للكثافة فان مقدار الترابط بين الحبيبات بعد الكبس يكون قليل في المناطق الأقل كثافة وهذا ينعكس على المراحل الأخرى مثل الحرق حيث يكون الاندماج بين الحبيبات قليل في المناطق الأقل كثافة.

وتحدث حالة عدم التجانس بشكل واضح في المنتجات الكبيرة, كذلك فان مقدار ألسماحية بين أجزاء القالب المتراكبة يجب أن تكون صغيرة جدا لكي لا يدخل المسحوق الناعم بين القطع المعدنية مما يؤدي إلى إعاقة حركة أجزاء القالب أثناء العمل.

إذا كان أحد بنجات (Punch) القالب ساكن والآخر متحرك فان المتحرك يسبب الضغط على المسحوق, لذلك يدعى هذا النوع من الكبس بالكبس المحوري من اتجاه واحد (Unaxial Press). أما إذا كان كلا البنجين متحركين والقوة من الأعلى و الأسفل فان هذا النوع يدعى الكبس المحوري من اتجاهين (Biaxial Press) والنوع الثاني يعطي أفضل تجانس في الكثافة منه في الحالة الأولى (شكل 6-12) .



الشكل 6-12: توزيع الكثافة على المكبوسة في حالة الكبس المحوري من اتجاه واحد ومن اتجاهين

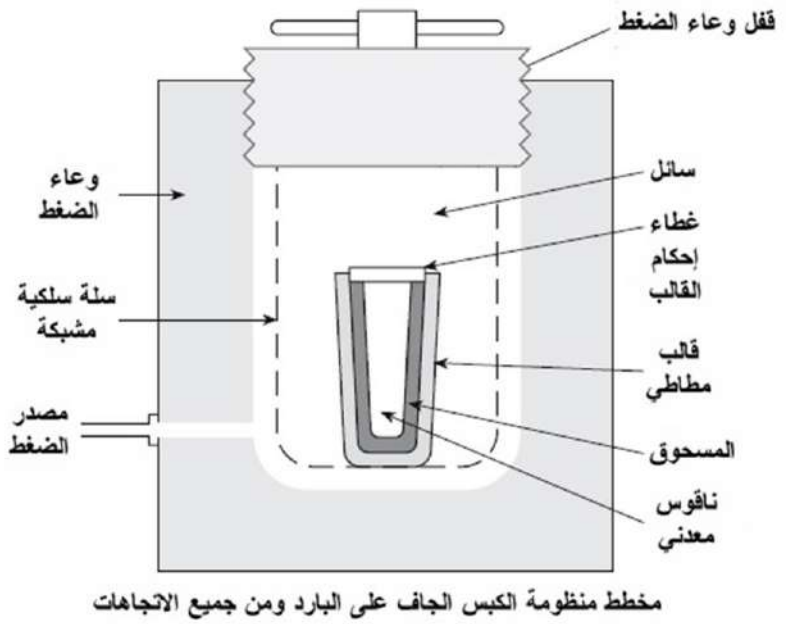
ب- الكبس المتوازن (Isostatic Pressing) من جميع الاتجاهات :

يختلف مبدأ الكبس هنا عن الكبس المحوري حيث تتوزع قوة الكبس على جميع أجزاء العينة المكبوسة حيث يتم الحصول على منتجات متجانسة الكثافة. ويقسم الكبس المتوازن الى قسمين:

1- الكبس المتوازن على البارد :

إن عملية الكبس المتوازن تتم إما لغاية الكبس فقط وتسمى (C/P) Cold Pressing ويدعى الكبس البارد أو تتم لغاية الكبس والحرق معا لدمج الحبيبات أي تسليط حرارة أثناء الكبس

وتسمى الكبس الساخن Hot Pressing (H/P), ففي حالة الكبس البارد (شكل 6-13) يتم وضع المسحوق داخل حقيبة بلاستيكية تأخذ شكل العينة المطلوب تشكيلها (Bag Plastic) بعد ضخ سائل وبضغط عالي جدا حول العينة المراد تشكيلها فيتوزع الضغط بالتساوي على العينة فنحصل على جسم سيراميكي متجانس الكثافة.



شكل 6-13: الكبس المتوازن على البارد.

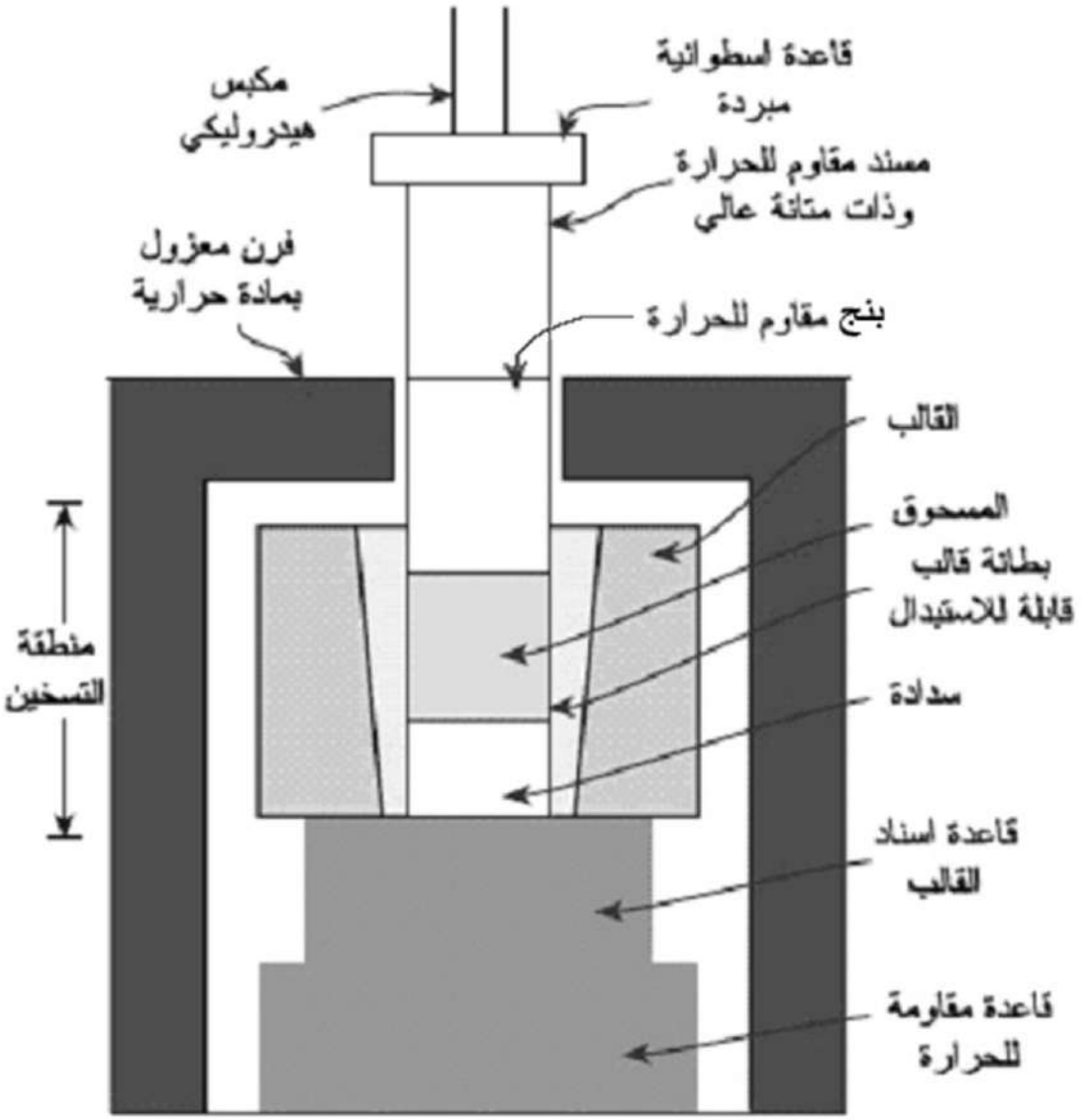
تستخدم هذه الطريقة في تصنيع العدد من المنتجات السيراميكية المتقدمة ومنها المادة العازلة السيراميكية في شمعات القدح (Spark Plug) المستخدمة في مكائن الاحتراق الداخلي (السيارات) والمكونة من الألومينا (Al_2O_3).

2- الكبس المتوازن على الساخن :

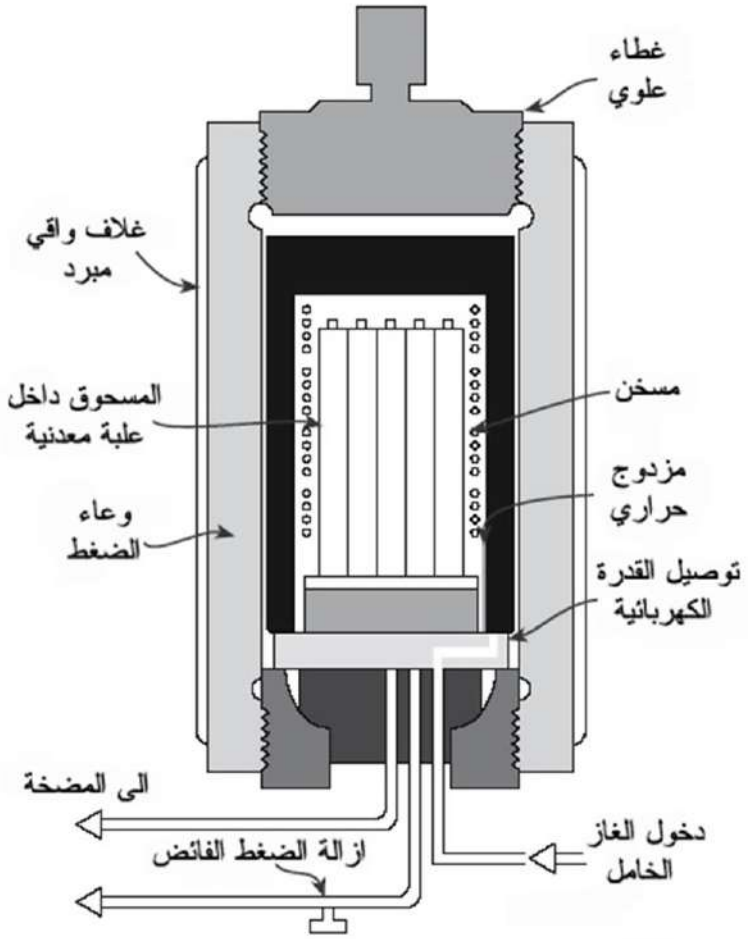
تهدف هذه العملية إلى تشكيل الأجسام السيراميكية بالكبس و الحرق بنفس الوقت (H/P) (Hot Pressing) فنحصل على كثافة منتجات عالية وبدرجات حرارية أقل من تلك المستخدمة في الكبس على البارد (C/P). فيحصل نمو حبيبي سريع بهذه الطريقة وتتناقص المسامية بشكل كبير وعادة ما تستخدم هذه الطريقة لتشكيل المنتجات السيراميكية عالية الصلادة والتي لايمكن تشكيلها بالكبس لعدم حدوث تشوه لدن دائمي في الحدود الحبيبية إلا بإضافة المادة الرابطة وهذا يؤثر على المسامية لذلك نلجأ إلى الكبس على الساخن.

يصنف الكبس على الساخن إلى صنفين : الأول يمثل كبس محوري مع وجود مصدر تسخين (H/P) وهذا النوع لا يمثل كبساً متوازناً من جميع الاتجاهات (الشكل 6-14). الصنف الثاني يشمل كبس من جميع الاتجاهات مع وجود المصدر الحراري (HIP) (Hot Isostatic Press) فهي تطوير لعملية الكبس على البارد حيث يتم في هذه الطريقة ضخ غاز خامل بدل السائل مثل الأركون Ar لتفادي عملية التبخر التي قد تحصل للسائل بدرجات الحرارة العالية, ويتم أيضا استبدال الحاوية البلاستيكية بعلبة معدنية (CAN) لكي تتحمل الحرارة المؤثرة عليها وتوجد حول المنظومة ملفات لتسخين العينة تحت الكبس كما في الشكل (6-15).

وتعتبر هذه الطريقة من التقنيات المتطورة والعالية لأنها تحتاج إلى أدوات ومعدات تتحمل درجات حرارية عالية لغرض تشكيل المساحيق السيراميكية ويمكن بوساطة هذه التقنية الوصول إلى الكثافة النظرية للجسم السيراميكي (مسامية ≈ صفر). وغالباً ما تصنع المواد التي لها تحمل عالي للإجهاد الدوري والمسمى بالكلال بطريقة الكبس على الساخن مثل الأجزاء المصنعة في الطائرات والصواريخ لأن هذه الأجزاء يجب أن تكون خالية من العيوب وذات مسامية واطئة جدا لكي لا تظهر فيها عيوب الشقوق المجهرية التي تؤدي إلى فشل المنتج أثناء العمل.



شكل 6-14: الكبس المحوري على الساخن (H/P)



شكل 6–15: التشكيل المتوازن من جميع الاتجاهات على الساخن (HIP)

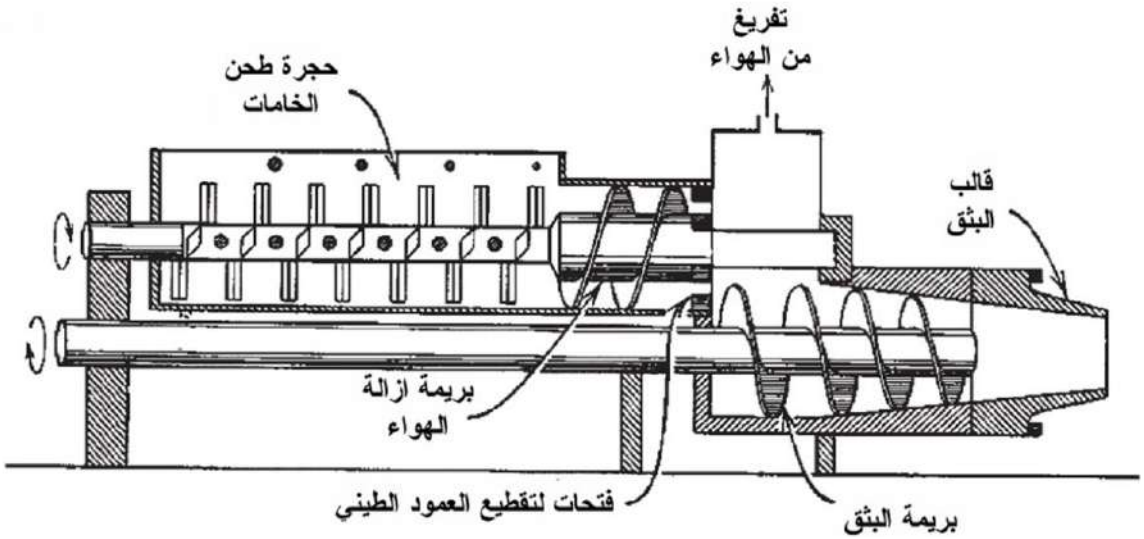
2-3-6 التشكيل الرطب (Wet Forming):

أ- التشكيل بالبثق(Extrusion):

تستخدم هذه ألطريقة لتصنيع مواد سيراميكية ذات مقاطع ثابتة وتستخدم بكثرة في صناعة المواد السيراميكية ذات الأساس الطيني والخزف الصيني وفي صناعة الطابوق العادي والحراري. الهدف الأساس من استخدام هذه ألطريقة هو الحصول على منتج ذو كثافة جيدة خصوصاً أن هذه

ألطريقة تمثل واحدة من طرق التشكيل الرطب والتي غالباً ما ينتج عنها مادة سيراميكية ذات كثافة قليلة.

الشكل (6-16) يوضح مخطط ماكنة البثق حيث يعتبر قالب البثق (Extrusion Die) الجزء المهم الذي يحدد شكل المنتج النهائي. يجب أن تحتوي ألعجينة الطينية على نسبة من الماء تتراوح مابين 12% إلى 20% للحصول على اللدونة اللازمة للتشكيل أما في حال استخدام مواد ليس لها لدونة جيدة فيضاف لها مادة تكسبها لدونة معينة مثل: الصمغ أو الرانتج أو النشويات أو لدائن PVC أو الشمع ويجب أن تكون للمادة الملدنة(Plasticizer) درجة حرارة أقل من درجة حرارة انصهار ألمادة السيراميكية لكي لا تؤثر على خواص ألمادة السيراميكية.



شكل 6-16: مخطط ماكنة التشكيل بالبثق (الباثقة)

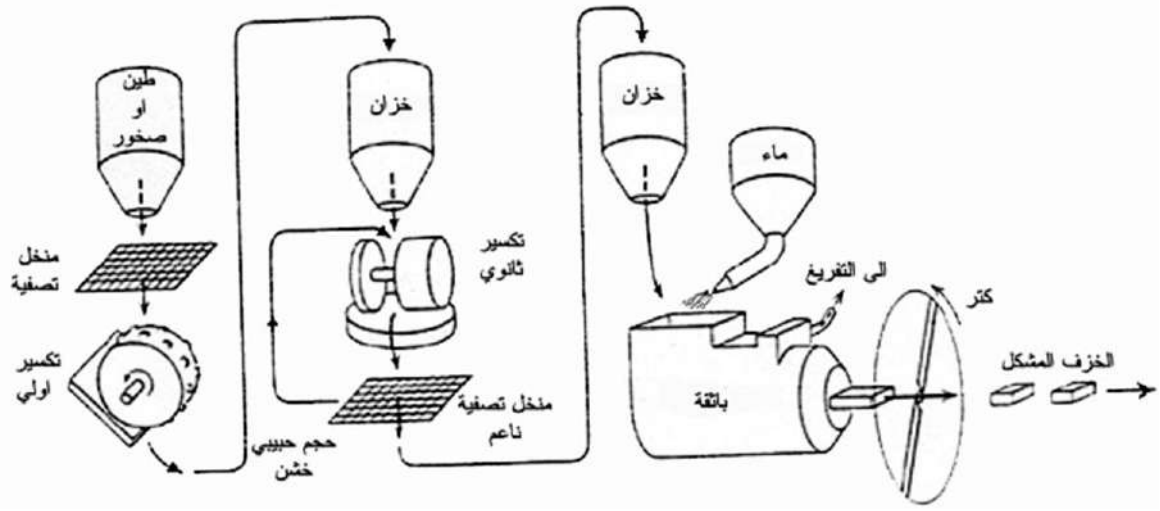
تتضمن عملية تشكيل السيراميك بالبثق ثلاث مراحل: الأولى خلط المواد السيراميكية وتكوين ألعجينة وتحديد اللدونة اللازمة بإضافة مادة ملدنة، ثانياً نزع الفقاعات الهوائية من ألعجينة السيراميكية والثالثة البثق خلال القالب (Die). وتتم عملية تغذية المواد الجافة بشكل مستمر من حوض يتم فيه رش الماء إذا كان السيراميك من الطين.

تتألف ماكنة البثق من الأجزاء ألتالية :

1- حاوية العجن: حيث تحتوي على سكاكين وشفرات دوارة تعمل على تقطيع وعجن وخلط ألمادة السيراميكية لضمان الحصول على التجانس واللدونة المطلوبتين، ويكون شكل السكاكين مائل مع الدوران لتحريك ألعجينة ودفعها بشكل بطئ من حاوية العجن إلى ألمرحلة اللاحقة بوساطة بريمة (Auger) موجودة في نهايتها.

2- حاوية البثق: تحتوي على بريمة ذات عزم أقوى من تلك الموجودة في مرحلة العجن وترتبط فيها منظومة تفريغ من الهواء للتخلص من الفقاعات الهوائية للحصول على كثافة جيدة للمنتج المبثوق وتقوم بريمة البثق بدفع ألعجينة بقوة إلى قالب البثق حيث يأخذ الشكل النهائي للمنتوج.

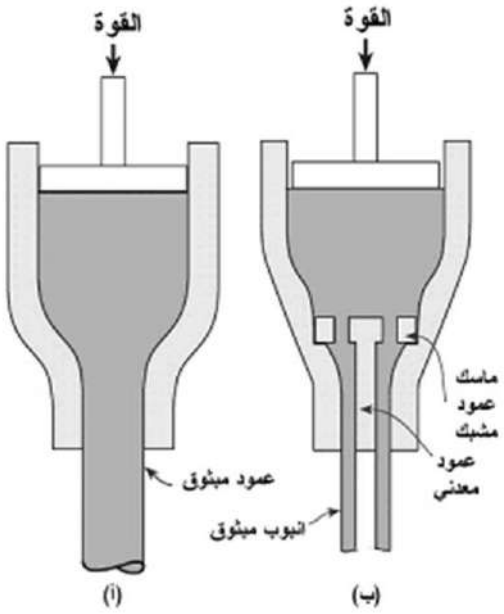
يمكن إجراء عمليات القطع للعجينة المبثوقة بعد خروجها من قالب البثق للحصول على الأحجام المطلوبة (شكل 6-17) وعادة ما يتم تصنيع الطابوق بهذه ألطريقة والمنتجات التي لاتتطلب متانة ميكانيكية عالية.



شكل 6-17: مراحل التشكيل بالبثق

يمكن إجراء عملية الكبس والبثق من خلال قالب يحتوي على فتحة صغيرة لإنتاج أجسام سيراميكية كما في الشكل (6-18).

الشكل (6-19) يبين نموذج من ماكنة البثق الصناعية.



شكل 6-18: طريقة البثق بالضغط فقط: (أ) بثق عمود, (ب) بثق انبوب

شكل 6–19: ماكنة بثق صناعية

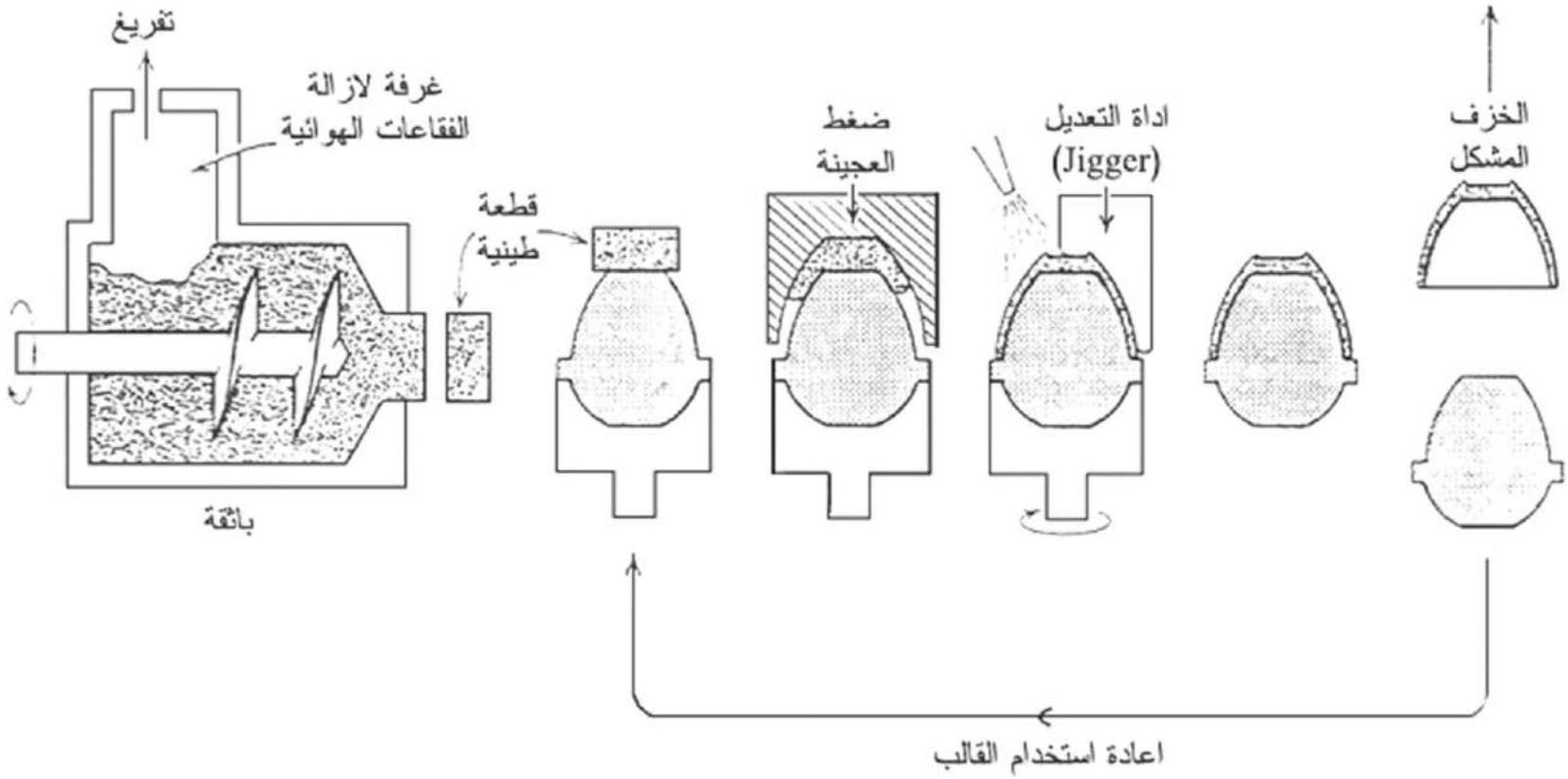
ب-التشكيل اللدن اللين (Soft Plastic Forming):

أكثر المواد السيراميكية الطينية يتم تشكيلها بهذه ألطريقة بإضافة محتوى مائي يتروح ما بين 20% إلى 30% وهذه ألطريقة تتطلب ضغط واطئ. وتتم عملية التشكيل اللدن اللين باستخدام قاعدة دوارة تدعى(Jiggering) يوضع عليها قالب جبسي يمثل شكل الجسم السيراميكي المراد

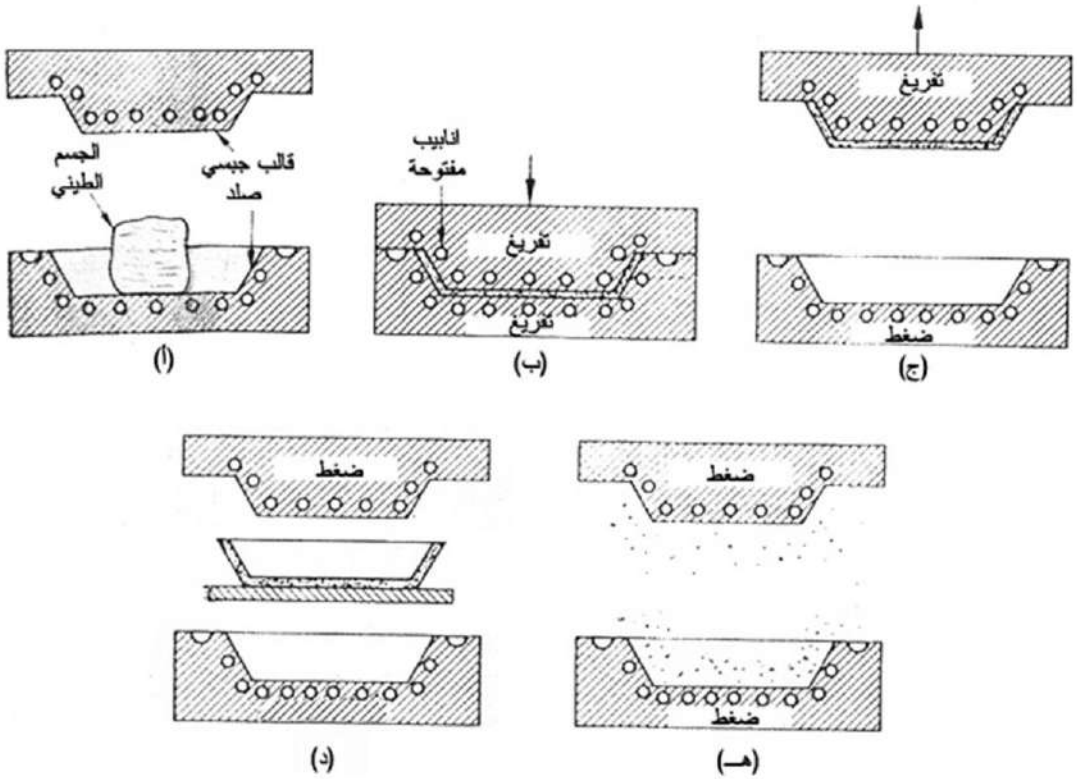
تشكيلة، فبعد بثق كتلة الطين اللدنة توضع على سطح القالب ألجبسي أو في تجويف القالب ومن ثم تضغط ألعجينة لتتوزع بالتساوي على سطح القالب ألجبسي بعدها يتم إجراء تعديلات على السطح حسب شكل المنتج المطلوب بوساطة أداة معدنية تسمى (Jigger Tool) مع تدوير ألعجينة والقالب ألجبسي ويرش رذاذ من الماء للمحافظة على لدونة سطح ألعجينة الطينية وضمان توزيع الطين بشكل متجانس على أجزاء الجسم السيراميكي ومن ثم يترك المنتوج على القالب ألجبسي ليقوم بامتصاص المحتوى المائي والتجفيف ومن ثم انفصال العينة عن القالب كما في الشكل(6-20).

تستخدم طريقة الدك (Ramming) كتعديل لطريقة القولبة اليدوية (شكل 6-21) وتتم بوضع طبقات متتالية على قالب وتدك كل طبقة بوساطة أدوات تعمل بالهواء المضغوط(Pneumatic Tools) وعادة ما تصنع بهذه ألطريقة الأجسام الكبيرة والمعقدة. أيضاً يمكن تصنيع صفائح سيراميكية بطريقة مرور ألعجينة المبثوقة بين اسطوانتين وتسمى هذه ألطريقة بالدرفلة (Rolling).

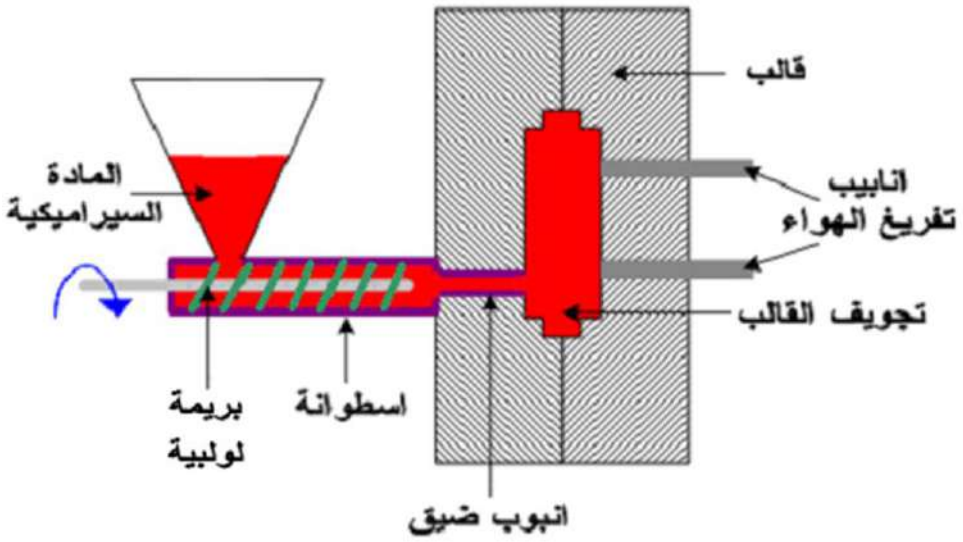
كذلك يمكن استخدام طريقة الحقن في قوالب (Enjection Molding) (شكل 6-22) حيث يتم حقن العجينة السيراميكية داخل قالب بوساطة بريمة لولبية بعد خلط المسحوق بمادة لدائنية أو الشمع أو مادة زيتية لتسهيل عملية الحقن, وبسبب وجود هذه المواد مع المسحوق السيراميكي فانه يحدث انكماش عالٍ وانخفاض في متانة المنتج بسبب المسامية الحاصلة نتيجة تطاير المادة اللدائنية بعد الحرق.



شكل 6-20: مراحل التشكيل اللدن اللين



شكل6-21: مراحل طريقة التشكيل بالدك: أ- ألعجينه الطينية توضع داخل القالب, ب- تضغط ألعجينه الطينية، ج- ترفع القطعة إلى الأعلى بوساطة القالب العلوي، د- القطعة تفصل بضغط الهواء من خلال الانابيب المفتوحة، هـ- ازالة الرطوبة من القالب.

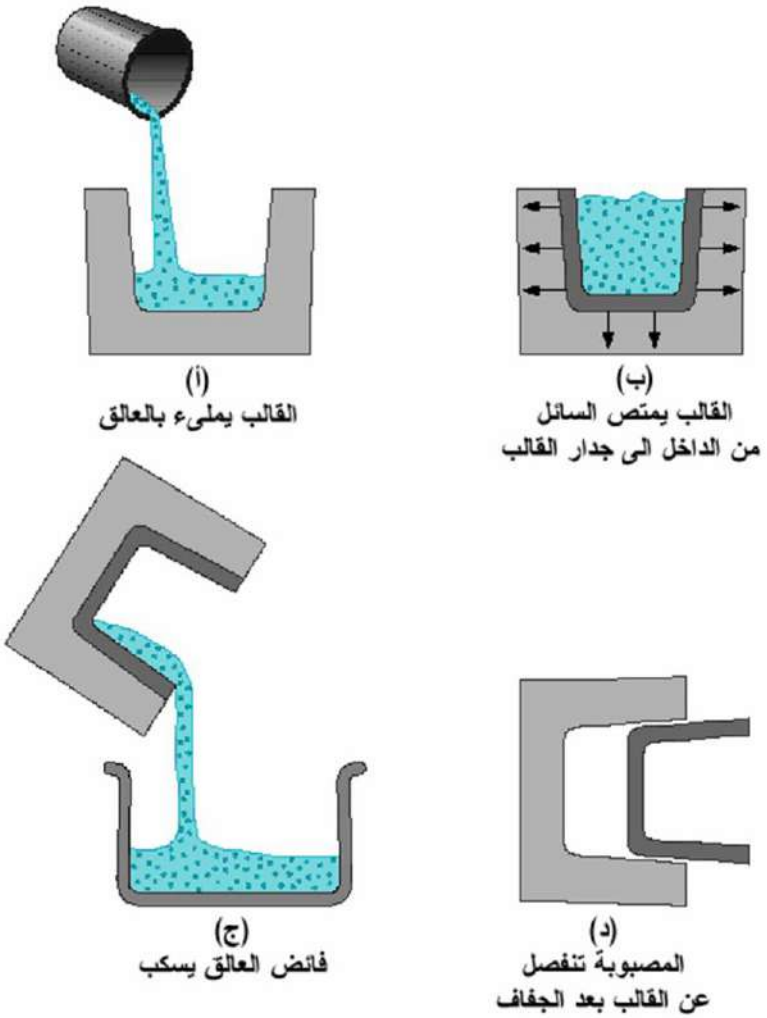


شكل 6-22: مخطط التشكيل بالحقن في القوالب

ج- الصب الانزلاقي (Slip Casting) :

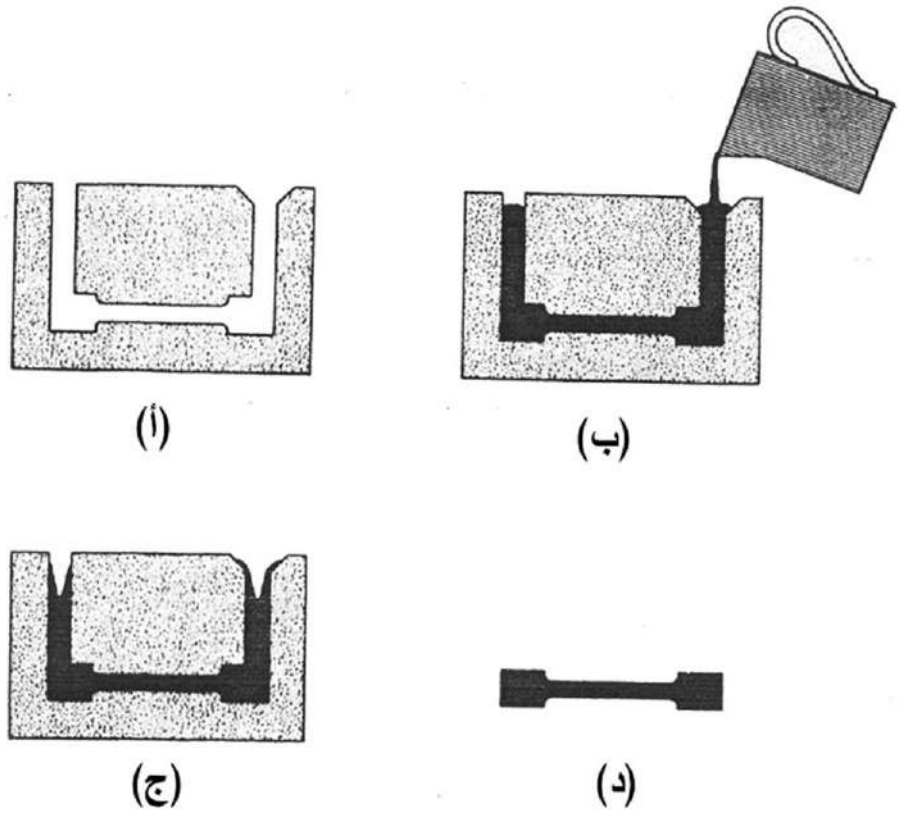
تعتبر طريقة الصب ألانزلاقي واحدة من طرق تشكيل المواد السيراميكية الرطبة وتنقسم إلى قسمين :

1- الصب بالترشيح (Drain Casting): تتضمن وضع العالق في القالب ويترك لوقت قصير لتتم عملية الترشيح لنحصل على قشرة رقيقة (Thin Shell) على جوانب القالب (شكل 6-23).



شكل 6-23: الصب بترشيح العوالق السيراميكية

2- الصب الصلب (Solid Casting) : تتضمن ملئ القالب بالعالق ويترك إلى أن تتحول المصبوبة إلى ألحالة ألصلبة (شكل 6-24).



مراحل التشكيل بالصب الصلب (أ) تصنيع القالب الجبسي (ب) ملىء القالب بالعالق (ج) المصبوبة داخل القالب (د) القطعة تفصل من القالب وتعدل من الاطراف.

شكل 6-24: الصب الصلب للعوالق السيراميكية

يستخدم لعملية الصب ألانزلاقي قالب جبسي حيث يقوم بامتصاص الماء العالق وتتجمع طبقات ألمادة السيراميكية على جوانب القالب. أما العالق فيجب أن يمتلك خواص انتشار وتشتت الحبيبات السيراميكية فيه لفترة طويلة دون حصول ترسب الحبيبات. كذلك يجب أن يمتلك العالق لزوجة قليلة أي جريانية عالية لكي يمكن ضخة في القالب ألجبسي بسهولة وتوزعه بشكل متجانس داخل القالب كذلك تسهيل عملية إزالة الفائض بكل سهولة ونظافة.

أيضا يجب أن يكون تركيز المادة السيراميكية عالياً مقاساً بوحدات غرام لكل ملي لتر, لكي لا تكون كمية الماء الممتصة عالية فيشبع القالب ألجبسي قبل اكتمال عملية الترشيح. يتراوح تركيز ألمادة العالقة بين (1.5 gm/ml إلى 2 gm/ml) أي بكثافة تتراوح مابين ($1.5\ gm/cm^3$ إلى 2) وباستعمال علاقة بروكنرت(Brogniart's Equation) يمكن حساب وزن المادة الجافة حيث:

$$W_d = (W_t - W_w) \times \left(\frac{S_d}{S_d - 1} \right)$$

حيث:

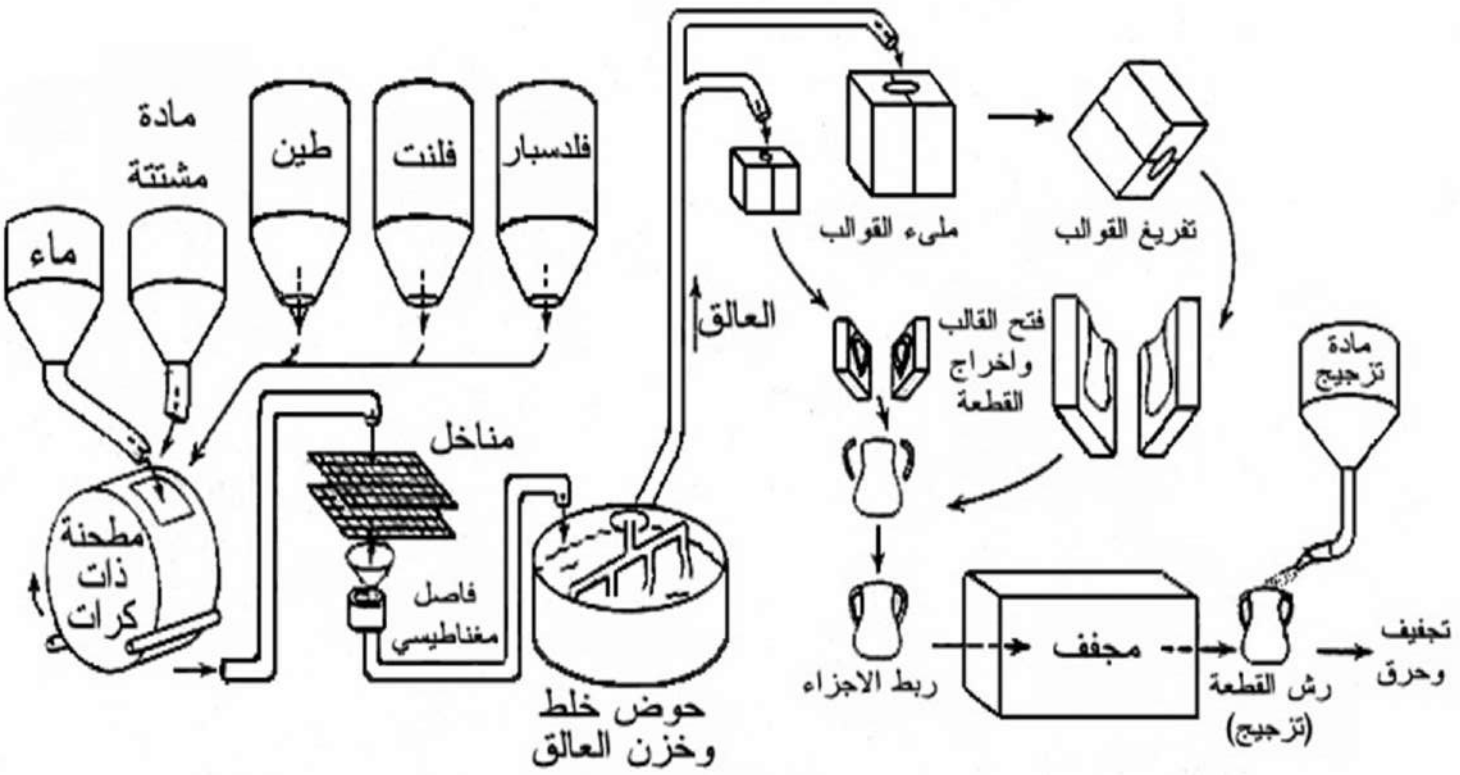
W_d: وزن المادة الجافة

W_T: وزن العالق الكلي

W_W: وزن الماء المقابل لنفس الحجم للعالق

S_d: الوزن النوعي للمادة الجافة

يفضل تمرير العالق خلال مناخل ناعمة قبل عملية الصب وذلك لإزالة المواد الخشنة أو التكتلات الطينية يمكن أن تشوه المنتوج النهائي وتزال الشوائب المغناطيسية بوساطة تأثير مجال مغناطيسي قوي على العالق. تتم عملية التشكيل بصب العالق في قالب جبسي يحوي تجويف يمثل شكل المنتوج المطلوب حيث يزال باقي العالق كذلك يزال أي عالق يلتصق بوجه القالب, ثم تترك المصبوبة لتجف جزئياً داخل القالب فتنفصل عن القالب (شكل 6-25).



شكل 6-25: مخطط كامل مراحل إنتاج البورسلين بطريقة الصب ألانزلاقي

آلية تشتيت وتفكيك المسحوق في العالق :

تهدف عملية التشتيت إلى انتشار الحبيبات السيراميكية داخل العالق وعدم ترسبها في قعر الإناء الموضوع فيه من خلال إضافة مواد مشتتة تعمل على توليد قوة معاكسة لقوة الترسيب (الجذب الأرضي) وهي قوة التنافر الكهربائي.

يمكن أن تحدث عمليات تبادل بين الايونات ألموجبة مثل Si^{+4} محل Al^{+3} حيث يصبح الطين ذا شحنة سالبة فتكون ألمادة الطينية لها القابلية على الاتحاد مع ايون موجب مثل الصوديوم Na^{+} كما في المعادلات:

$$M\ clay \leftrightarrow M^{+} + clay^{-}$$

$$M\ clay + NaCl \leftrightarrow Na^{+}\ clay^{-} + M^{+}Cl^{-}$$

حيث M يمثل نوع الطين المستخدم. فتتولد قوة تنافر بين حبيبات الطين فتحصل عملية التشتيت للمسحوق السيراميكي، كذلك إضافة المواد المشتتة تعمل على تقليل اللزوجة.

ومن أمثلة المواد ألداخلة في تحضير عالق طيني لغرض الصب ألانزلاقي :

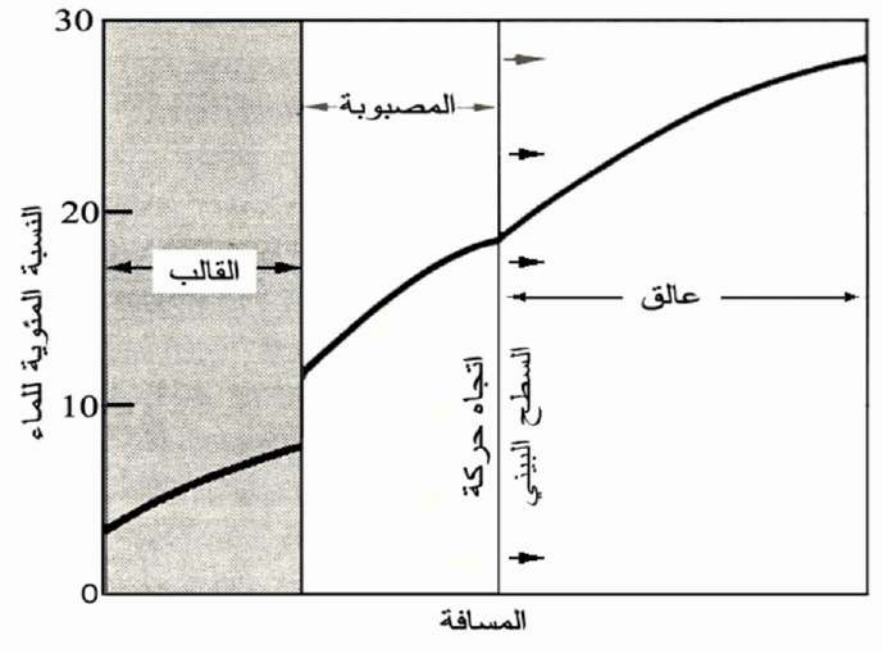
1- 52% نسبة وزنية (كروك أو مواد غير لدنة).
2- 30% نسبة وزنية كاؤلين.
3– 18% نسبة وزنية أطيان الكرات(Ball clay).

يضاف إلى ألخلطة أعلاه 0.05% نسبة وزنية من المواد ألمشتتة (مثل كاربونات الصوديوم أو سيليكات الصوديوم أو كلاهما) ونحصل من هذه ألخلطة على منتوج كثافتة تتراوح ما بين 1.75←2 g/cm^3 أما لزوجة العالق في حالة الصب بالترشيح فهي أقل من حالة الصب الصلب لعدم ألحاجة في حالة الصب الصلب إلى إزالة فائض العالق من القالب.

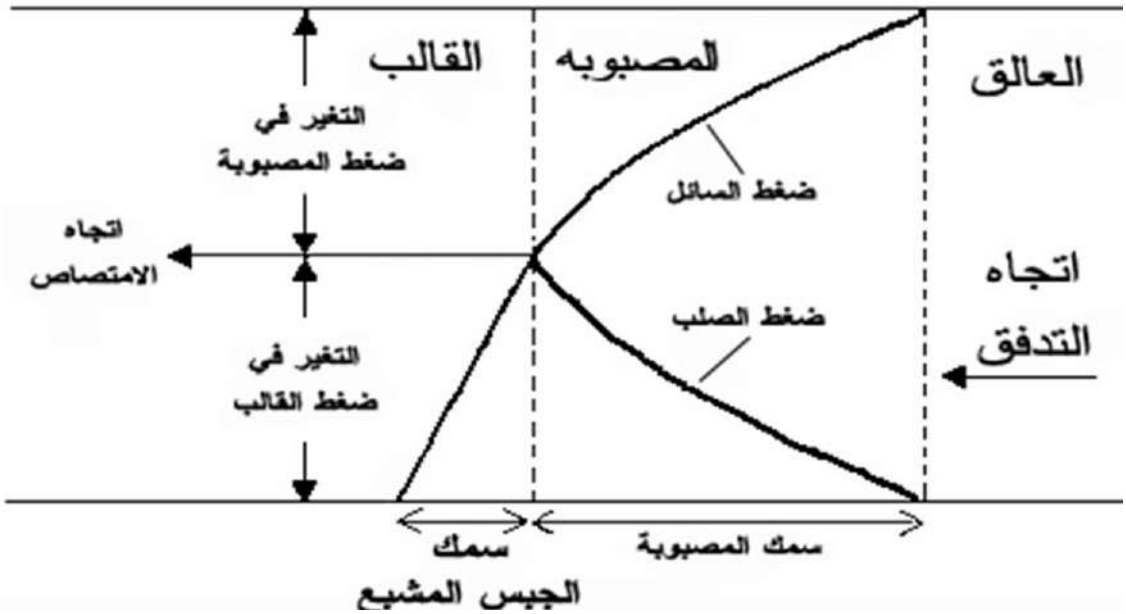
يعتمد سمك جدار المصبوبة على الفترة الزمنية التي يبقى بها العالق داخل التجويف مع استمرار القالب الجبسي بإمتصاص الماء حيث نلاحظ من الشكل (6-25) تغير النسبة المئوية للماء مع المسافة من العالق الى القالب.

اما تغير الضغط في منظومة الصب الانزلاقي فانه يشمل ضغط المصبوبة المؤلف من ضغط السائل وضغط المادة السيراميكية الصلبة اما ضغط الامتصاص في القالب الجبسي الذي يحدد قدرة

القالب على الاستمرار بأمتصاص الماء (الخاصية الشعرية) فانه ياتي من فرق الضغط للقالب الجبسي وفرق الضغط للمصبوبة (شكل 6-27).



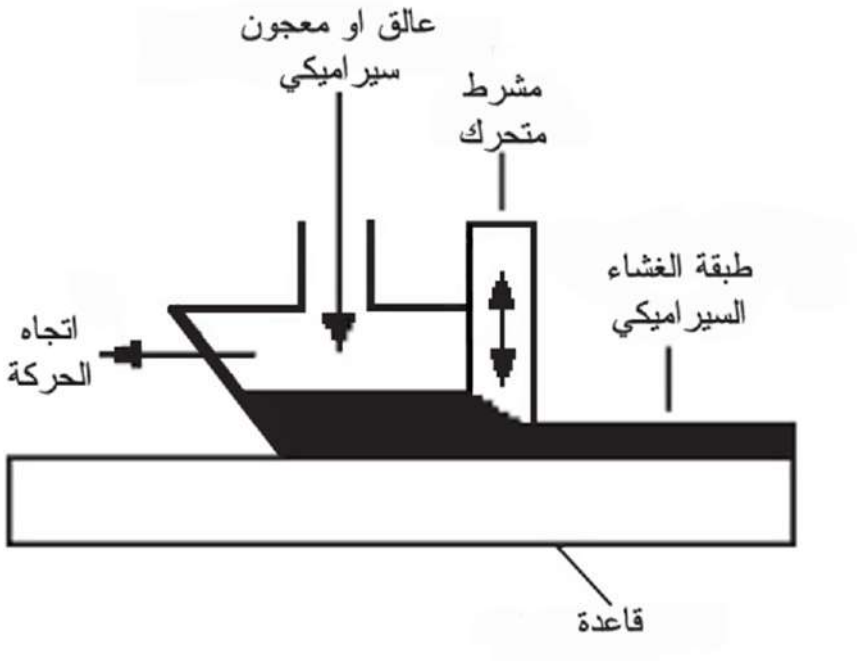
شكل 6-26: تغير نسبة الماء من العالق الى القالب مروراً بالمصبوبة



شكل 6-27: التغير في الضغط لمنظومة الصب ألانزلاقي

د- طريقة مشرط الطبيب (Doctor's Blade) :

وتدعى أيضا الصب الشريطي (Tape Casting) وهي طريقة اقتصادية لإنتاج مناطق سطحية كبيرة من الأغشية السيراميكية السميكة وقد تعتبر أحد طرق طلاء السطوح بطبقة سيراميكية، وعادة ما تكون المادة السيراميكية على شكل معجون أو عالق كثيف مضاف إليه مادة عضوية بوليمرية لتدعيم ألخلطة وضمان تجانس توزيعها ولكن يجب إزالة الطبقة البوليمرية بالحرق ولكن هذا قد يؤدي إلى زيادة مسامية الجسم الخزفي. الشكل (6-28) يبين أن المنظومة تتكون من خزان متحرك يحتوي على عالق سيراميكي يتدفق منه العالق على قاعدة وتقوم سكين او مشرط (Knife or Blade) (قابلة للحركة إلى الأعلى والأسفل) بإزالة ألطبقة الزائدة للحصول على السمك المطلوب من الغشاء, وتحدد الفتحة بين السكين والقاعدة سمك طبقة الغشاء المراد تحضيره. كذلك العوامل المؤثرة في نجاح هذه الطريقة تشمل عمق الخزان وسرعة الناقل المتحرك بالإضافة إلى لزوجة ألعالق.



شكل 6-28 : مخطط توضيحي لطريقة مشرط الطبيب او الصب الشريطي

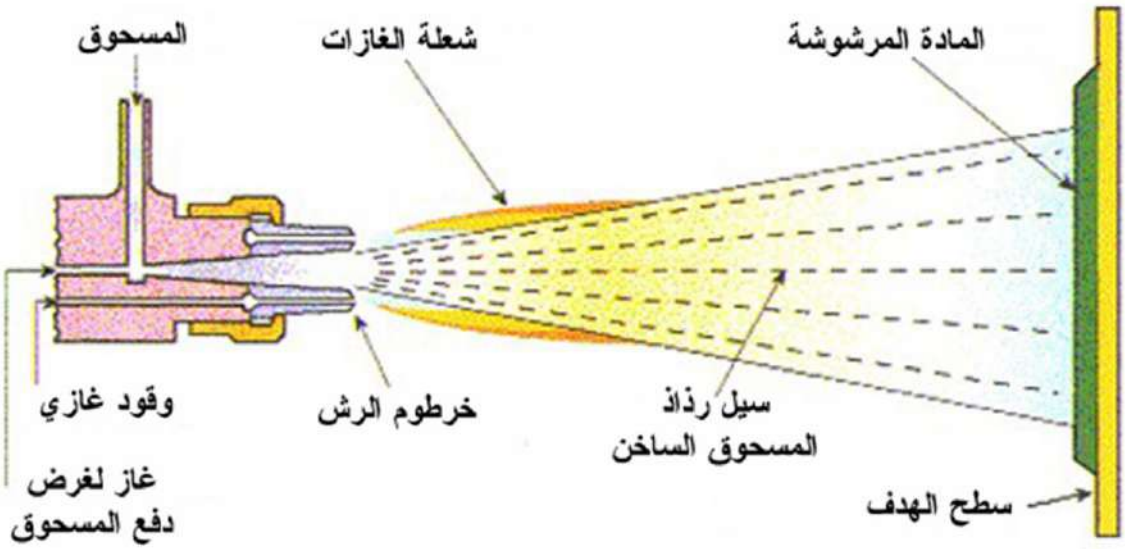
3-3-6 التشكيل بالرش الحراري (Thermal Spraying) :

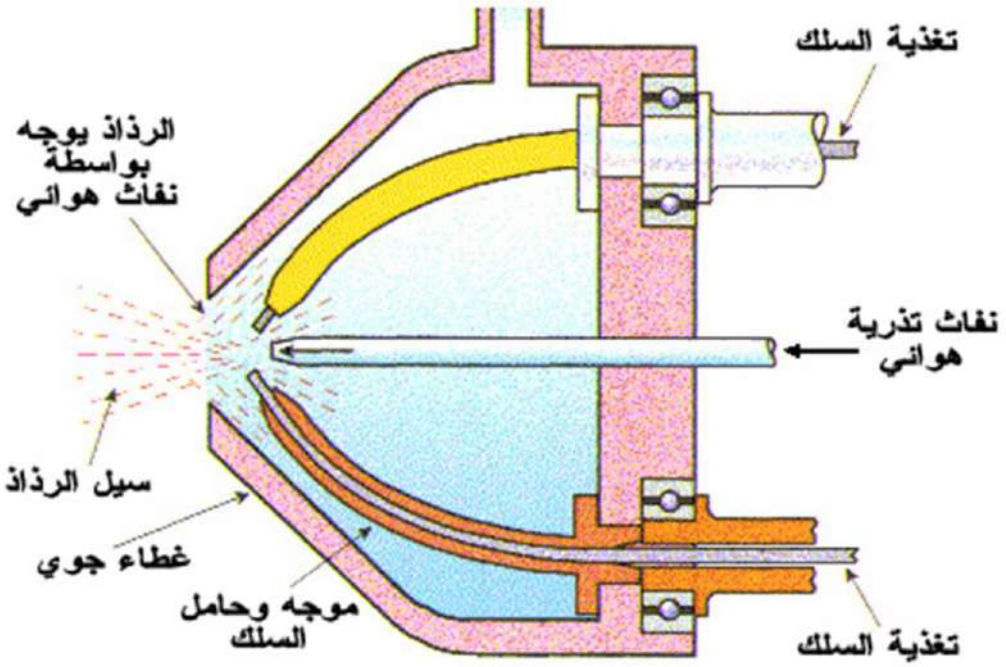
تستخدم هذه ألطريقة لغرضين هما :

1- تغطية المدن بطبقة سيراميكية واقية من تأثير المواد الكيمياوية والتآكل والأكسدة.
2- تكوين جسم سيراميكي بوساطة رش المسحوق السيراميكي المنصهر على قالب يعطي شكل الجسم السيراميكي.

يعتبر التشكيل باللهب ألرذاذي (Flame Spraying) واحد من طرق الرش الحراري حيث تتم عملية التشكيل باللهب ألرذاذي بوساطة تسخين سلك أو مسحوق سيراميكي ورشه بقوة بوساطة دفع تيار غازي مع ضخ وقود غازي مثل (Oxyacetylene) يدفع إلى هدف معدني أو سيراميكي (شكل 6-29 أ , ب).

يمكن أيضا إنتاج أشكال معقدة من المنتجات السيراميكية بوساطة تذرية المسحوق السيراميكي الساخن على قوالب معدنية بحيث يمكن إزالة ألقطعة السيراميكية بوساطة إجراء الصدمة الحرارية على ألطبقة السيراميكية والقالب المعدني معاً عندها سيتقلص المعدن بمعدل أعلى من السيراميك فينفصل الجسم السيراميكي عن القالب المعدني. أما إذا كان الشكل معقد بحيث لا يمكن فصل القالب عن الجسم السيراميكي فيمكن إذابة المعدن بحامض تاركاً ألطبقة السيراميكية بدون تفاعل، كذلك يمكن إزالة القوالب الكرافيتية من خلال التسخين في جو مؤكسد قوي فيتأكسد الكربون متحولاً إلى اوكسيد تاركاً الجسم السيراميكي. كذلك يمكن استخدام هذه التقنية في طلاء سطوح المعادن بالسيراميك.





شكل 6-29: أ- مخطط التشكيل باللهب ألرذاذي لمسحوق سيراميكي
ب- التغذية بسلك سيراميكي

الأسئلة

1- لماذا تفضل الأطيان الموجودة على أو بالقرب من سطح الأرض في الصناعات الخزفية.

2- لماذا يتم تحضير المنتجات السيراميكية من مساحيقها وبطريقة تكنولوجيا المساحيق بدل الصهر والصب.

3- ما هي الآثار التي تترتب على عدم انتظام كثافة المكبوسة عند الكبس بالطريقة المحورية.

4- قارن بين طرق التشكيل (الكبس المتوازن على الساخن، الكبس المتوازن على البارد، البثق، الصب ألانزلاقي) من ناحية :

1- الحاجة إلى مادة رابطة .
2- كثافة المنتج .
3- المسامية .
4- الخصائص الميكانيكية .
5- كلفة القوالب المستخدمة.

5- لماذا تستبدل العلبة البلاستيكية في الكبس المتوازن على البارد بعلبة معدنية عند استخدام الكبس المتوازن على الساخن.

6- ما سبب إجراء عملية التفريغ من الهواء في ماكنة البثق.

7- في مراحل التشكيل بطريقة الدك لماذا يتم استخدام التفريغ تارة والضغط تارة أخرى.

8- أحسب كمية الطين الجاف اللازم أضافته إلى الماء للحصول على عالق كتلته الكلية 1 Kg إذا كانت كتلة الماء المقابل لنفس حجم العالق هي 500 g علماً أن الوزن النوعي للطين 2.6 .

الفصل السابع

عمليات تجفيف المنتجات الخزفية

مفردات الفصل :

7-1 مقدمة

7-2 الماء الفيزيائي

7-3 آلية التجفيف

7-4 العوامل الداخلية ألمؤثرة في آلية التجفيف

7-5 العوامل الخارجية المؤثرة في آلية التجفيف

7-6 انكماش التجفيف

7-7 الأخطاء ألمحتملة أثناء التجفيف

الأغراض السلوكية:

بعد دراسة هذا الفصل نتوقع أن يكون الطالب قادراً على أن:

- يميز بين الماء الفيزيائي والشبكي.
- يحدد تأثير معدل فقدان الماء على متانة الجسم الخزفي.
- يعدد العوامل المؤثرة في عملية التجفيف.
- يحسب الانكماش في الأبعاد نتيجة التجفيف.

1-7 المقدمة :

يعرف التجفيف بأنه فقدان وطرد الماء الفيزيائي بعملية التبخر من جسم المنتوج الخزفي، فالماء الذي أضيف لمنح الطين اللدونة اللازمة وجعلها قابلة للتشكيل تنتهي وظيفته وتنقضي جدوى وجوده بعد إتمام تشكيل الجسم الخزفي عندها يمتلك الجسم بعض من الصلابة تسهل عملية حمله ونقله إلى الأفران. كذلك مغادرة الماء بشكل سريع بالحرق مباشرة دون مرحلة التجفيف يؤدي الى تدمير او ظهور شقوق في المنتجات الخزفية مما يؤدي الى فشل تلك المنتجات.

2-7 الماء الفيزيائي :

هناك نوعان من الماء في الأطيان الأول هو المرتبط بالتركيب البلوري للأطيان وعادة ما يكون على شكل ايونات هيدروكسايد (OH) (الماء الشبكي) ولا يترك التركيب البلوري في درجات الحرارة الأقل من 400 درجة مئوية. أما النوع الثاني فيدعى الماء الفيزياوي وهو عبارة عن جزيئات H_2O تم إضافتها عمداً لإغراض اللدونة لتسهيل عمليات التشكيل الرطب ويطلق عليه أحيانا بالماء الحر ويمكن إزالته بعملية التبخير وبدرجات حرارية اقل من 100 درجة مئوية. لذلك تشمل عمليات التجفيف إزالة الماء الفيزياوي فقط ولا تشمل الماء الشبكي.

تبتدئ أولى عمليات التجفيف عند درجة حرارة ألغرفة الاعتيادية ولا يتحقق التجفيف كاملاً إلا عند تعرض الجسم إلى حرارة تزيد قليلاً عن 100^oC لضمان خروج الماء الفيزيائي بالكامل ويتم ذلك داخل فرن وبمعدل حرق بطئ.

تعتمد كمية الماء الفيزيائي الموجود في الجسم الطيني على:

2- نوع و تركيب الطين 2- حجم حبيباته 3- طريقة التشكيل 4- سمك جدران الجسم.

يتواجد الماء الفيزيائي في الجسم الخزفي على شكل ثلاث حالات:

1- **الماء السطحي:** حيث يتفاعل الماء مع سطح حبيبة المعدن الطيني تفاعلاً كهروكيميائياً مكوناً سطحاً مائياً مستقراً على شكل طبقة رقيقة جداً تحيط بها ويحصل ذلك لكون ألشحنة الخارجية ألسالبة لجسيمة الطين تكون جاذبة للشحنات ألموجبة الموجودة في الماء .

2- **ماء المسامات:** عبارة عن طبقة جزيئات مائية داخل مسامات الجسم الطيني يلتصق ويتداخل في الفراغات البينية الحاصلة بين الجسيمات.

3- **ماء اللدونة:** عبارة عن الماء المضاف الذي يملئ الفجوات بين الحبيبات الطينية ويُبعد الواحدة عن الأخرى ويكسبها اللدونة أثناء التشكيل.

3-7 آلية التجفيف :

تبدأ عملية التجفيف بتبخر جزيئات الماء الموجودة على السطح الخارجي للجسم الخزفي حيث يسمح للرطوبة الموجودة بين الحبيبات بالخروج من داخل الجسم على هيئة جزيئات ماء أو بخار للتبخر من السطح عن طريق الأنابيب ألضيقة (الشعرية) ويحصل عندها تقارب بين الحبيبات بفعل قوى الشد السطحي مما يؤدي إلى انكماش حجم الجسم الخزفي بالإضافة إلى تصلبه وتسمى هذه ألمرحلة بصلابة الجلد (Leather hard)، وإذا تم توفير حرارة كافيه فان ماء المسامات يتصاعد على هيئة بخار أو جزيئات ماء متغلغلاً بين الحبيبات من خلال الفراغات البينية متجهاً إلى سطح الجسم ثم إلى الخارج وعند استمرار تأثير الحرارة يتبخر الماء المرتبط بجسيمات الطين وتبقى المسامات والفراغات البينية ممتلئة بالهواء حيث يحصل عندها انكماش كلي نتيجة لإعادة ترتيب حبيبات الطين باتجاهات أخرى مما يؤدي إلى تكثيف وتقارب تلك الحبيبات وتمثل هذه المرحلة التجفيف التام كما في الشكل (7-1).

شكل 7–1: التجفيف يؤدي إلى تناقص المسافات البينية بين صفائح الطين بسبب تناقص المحتوى المائي.

إن حركة وتبخر جزيئات الماء الحاصلة داخل الجسم الخزفي وسطحه الخارجي تسمى الآلية ألداخلية للتجفيف وعند تحقيقها كاملة، إي بعد فقدان كل مستويات الماء والرطوبة الخاصة اللدونة يمكن اعتبار الجسم تام الجفاف وبصلابة العظم(Bond hard).

يعبر عن مقدار الماء أو بخار الماء المفقود من تركيب الجسم الطيني بمصطلح التدفق الداخلي ويحسب من العلاقة:

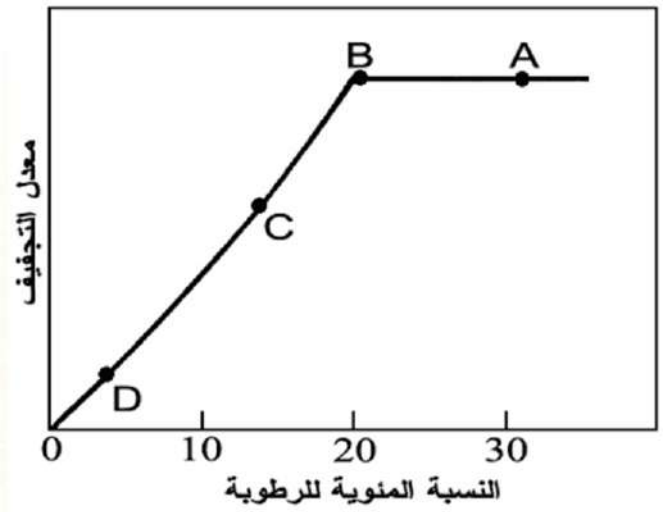
$$\text{المعدل الزمني للتدفق الحجمي} = \text{ثابت} \times \frac{\text{قوة الدفع}}{\text{مقاومة التدفق}}$$

ويعبر عن التدفق بالعلاقة:

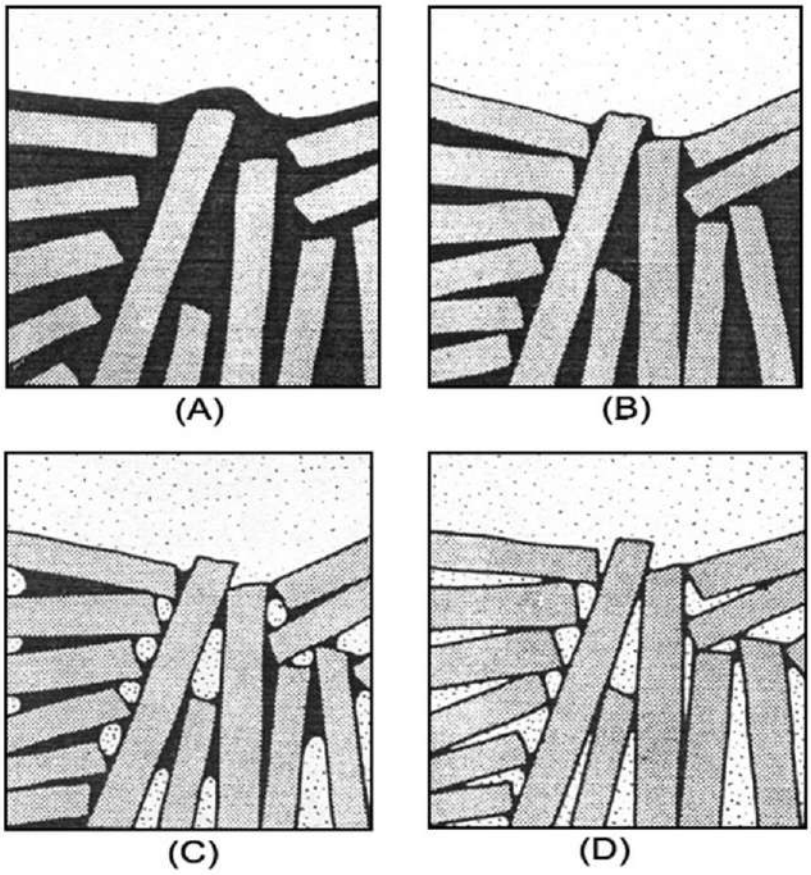
$$\text{التدفق} = \text{ثابت} \times \frac{(\text{تركيز الماء على الوجه الاكثر تبللاً} - \text{تركيز الماء على الوجه الجاف})}{\text{طول مسار التدفق بين الوجهين}} \times \frac{\text{نفاذية الجسم}}{\text{لزوجة الماء}}$$

هذا يعني انه لزيادة معدل تدفق الماء من الجسم فانه يجب أما زيادة نفاذية الجسم وزيادة الفرق بين المستوى الرطوبي وهذا قد يؤدي إلى حدوث كسر في الجسم الخزفي أو من خلال تناقص لزوجة الماء بوساطة زيادة درجة الحرارة.

عند تبخر الماء الفيزيائي من سطح الجسم الخزفي فان معدل التبخر يعتمد على درجة حرارة الهواء وسرعة الهواء والمحتوى المائي والرطوبي للهواء ودرجة حرارة الماء. ولمتابعة معدل التجفيف يرسم بياني بين وزن ألعينة الخزفية ألمجففة مع الزمن كما في الشكل (2-7)، نلاحظ منه أن ألكتلة الطينية الرطبة تبدأ بالتبخر من نقطة A بمعدل ثابت لغاية ألنقطة B وهذا المعدل الثابت للتجفيف يمثل حوالي نصف الماء الفيزيائي السطحي, عند ألنقطة B يبدأ معدل التبخر بالتناقص بسرعة ويصل في النهاية إلى نقطة الأصل، أهمية نقطة B تقع في حصول تغير لوني في الجسم الخزفي الطيني حيث يتحول من اللون الغامق إلى الفاتح, وبعبارة أخرى فان أسفل نقطة B نلاحظ أن الماء السطحي يكون على شكل غشاء ويمثل ماء حر يبدأ بالتناقص أكثر فأكثر إلى داخل المسامات وبالتالي يتناقص معدل التبخر. الشكل (3-7) يوضح مرحلة التجفيف A و B بالإضافة إلى مراحل التغيرات في الانكماش نتيجة التجفيف والمتمثلة بالمراحل C و D .



شكل 7-2: معدل فقدان الماء في عملية التجفيف للاطيان الرطبة.



شكل 7-3: مراحل تجفيف الطين الرطب ويمثل مقطع عرضي للسطح والممثلة بالشكل 7-1.

4-7 العوامل الداخلية ألمؤثرة في آلية التجفيف :

هناك عوامل تؤثر في آلية التجفيف الداخلي منها:

1- طبيعة وتركيب الطين المستخدم في الإنتاج.

2- درجة المسامية المتسببة من حجم حبيبات الطين والمواد غير الطينية كفتات الصخور ومسحوق الطين المحروق (grog) أو الرمل حيث تؤثر على معدل وزمن التجفيف، فالأطيان ذات المسامية الكبيرة تجف بسرعة كونها تتصف بسعة المسافات البينية بين الحبيبات مما يزيد من ألمساحة ألسطحية للتبخر مقارنة بالمسامية الصغيرة.

في المرحلة الأولى للتجفيف يحصل انكماش في حجم الجسم الخزفي نتيجة لتقارب الحبيبات مما يؤدي الى تقليل المساحة السطحية لعملية التبخر، يضاف إلى ذلك أن حبيبات المواد غير الطينية ليس لها ترابط كهروكيميائي مع جزيئات الماء وهذا يسرع ويسهل عملية فقدانها أثناء التجفيف.

5-7 العوامل الخارجية الؤثرة في الية التجفيف:

أبرز العوامل الخارجية المؤثرة في عملية التجفيف هي:

أ- **درجة الحرارة:** يفضل إجراء عملية التجفيف أولا في درجة حرارة ألغرفة التي تتروح مابين 20 إلى 35 درجة مئوية خصوصاً للمنتجات عالية اللدونة، ولتأمين التجفيف السريع في مصانع إنتاج السيراميك تستخدم غرف تجفيف ذات مصادر حرارية وتهوية صناعية منتظمة. يتحقق نقل الحرارة اللازمة لتبخر الرطوبة من القطع الخزفية بثلاث عمليات حرارية هي: الحمل، الإشعاع والتوصيل وتعمل بشكل منفرد أو مجتمعة.

1- **الحمل:** تعتبر من أكثر عمليات نقل الحرارة ألمعتمدة صناعياً وتتم من خلال تسخين الهواء المحيط بالأجسام الخزفية لينتقل إلى داخل الجسم الخزفي كي يسرع عملية التبخر، وتعمل تيارات الحمل هذه باتجاهين، الأول منح الجسم حرارة مباشرة لتسريع عملية التبخر، والثاني تسخين الهواء وتحريكه على شكل تيارات مستمرة كي لاتصل نسبة الرطوبة إلى التوازن بين الهواء والجسم وتتوقف عندها عملية التبخر.

2- **الإشعاع:** تعتمد على نقل الاشعة بطول موجي معين كالاشعة تحت الحمراء من مصدر حراري خارجي إلى الأجسام السيراميكية مباشرة لتكتسب درجة حرارة كافية لتبخر الرطوبة، على أن تخضع لنظام سيطرة دقيق كي لا تتسبب في أخطاء وتلف في الإنتاج، وبالامكان اعتبار اسلوب تجفيف الأجسام عند تعريضها إلى أشعة الشمس حاصلاً بتأثير طريقة الإشعاع والحمل معاً.

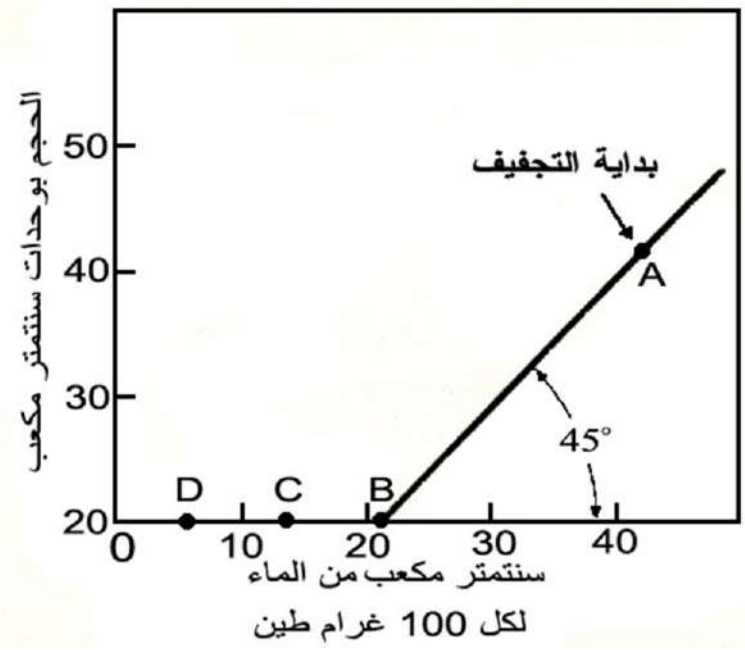
3- **التوصيل:** يقصد بالتوصيل الحراري انتقال بين جزء ذي درجة حرارة مرتفعة إلى جزء ذي درجة حرارة أقل منها، أو من موقع لآخر بتأثير التوصيل وتطبق هذه ألطريقة في بعض مصانع إنتاج الطابوق والأجسام ذات ألمقاومة الحرارية ألمرتفعة وتتم عملية التجفيف بالتوصيل من خلال تسخين أرضية معينة بوساطة غاز حار أو بخار ماء في أنابيب تحت الأرضية فتنتقل الحرارة من تلك الأرضية بالتلامس إلى قواعد الأجسام الخزفية ألموضوعة عليها، وبنفس الوقت يحصل نقل للحرارة بطريقة الحمل أيضاً نتيجة لتسخين الهواء المحيط بالأرضية.

ب- **نسبة الرطوبة وحركة الهواء في الجو المحيط بالجسم:** تؤثر تأثيراً مباشراً على عملية التجفيف حيث ارتفاع نسبة الرطوبة داخل الجسم يقابلها تدني الرطوبة في الهواء المحيط مما يحفز ويزيد عملية التبخر لحين الوصول إلى توازن بالرطوبة عندها تقل أو تتوقف عملية التبخر. وعند إحداث حركة وانتقال في الهواء المحيط فان عملية التجفيف ستستمر وتتواصل، ويلاحظ ببساطة تأثير تلك العوامل مجتمعة في الوقت المستغرق لتجفيف الأجسام الرطبة بالجو

الاعتيادي في فصل الصيف المتميز بالحرارة والجفاف مقارنة مع فصل الشتاء والذي يستغرق وقت أطول.

6-7 انكماش التجفيف :

لتقدير التغيرات الحاصلة على حجم الجسم الخزفي بسبب التجفيف برسم بياني بين الوزن والحجم كما في الشكل (7-4) حيث نلاحظ أن التجفيف يبدأ من نقطة A ويتناقص الحجم بانتظام لغاية النقطة B بعدها لايحصل تغير في الحجم وكذلك فان امتداد الخط AB يصل الى نقطة الاصل وبزاوية 45°. المنطقة المحصورة بين A وB يتم بها فقدان الماء من الطبقات بين الحبيبات الى أن يحصل تلامس وتقارب بين الحبيبات ويحصل أنغلاق عند الوصول الى نقطةB. أما الفترة من B الى C فان الحجم لايتغير حيث يتم فقدان الماء من المسامات فقط.



الشكل 7-4: منحني انكماش التجفيف للاطيان الرطبة.

ويمكن حساب النسبة المئوية للانكماش بالطول من العلاقة :

$$\text{الانكماش الطولي} = \frac{\text{طول الجسم وهو رطب} - \text{طول الجسم وهو جاف}}{\text{طول الجسم وهو رطب}} \times 100\ \%$$

اما الانكماش في الحجم فيحسب من العلاقة:

$$\text{الانكماش الحجمي} = \frac{\text{حجم الجسم وهو رطب} - \text{حجم الجسم وهو جاف}}{\text{حجم الجسم وهو رطب}} \times 100\ \%$$

ومن عدة تجارب لوحظ ان الانكماش في الحجم اكبر من الانكماش في الطول بمقدار ثلاث مرات تقريباً.

7-7 الأخطاء ألمحتملة أثناء التجفيف :

الأخطاء التي تحصل في مرحلة التجفيف تنشأ ما بين مرحلة اللدونة وصلابة العظم، مما يتسبب عنها خسائر فنية وصناعية متعددة تنحصر أغلبها في ظهور تسطحات وتشققات ظاهرية أو داخلية دقيقة أو تشوه في هيئة الأشكال. اغلب هذه الأخطاء يسببها التباين في معدل الانكماش بين أجزاء الجسم الواحد وبالامكان تجاوز ذلك بالسيطرة المتوازنة على المعدل الزمني لكمية الماء والرطوبة المتبخرة من كافة أجزاء الجسم بالتساوي. ويمكن إيجاز أسباب تباين الانكماش في الأبعاد بما يلي :

1- عدم انتظام اتجاهات جسيمات الطين داخلياً عند التشكيل (عدم تجانس الكثافة) بسبب ضعف عملية المزج والعجن مما يؤدي أحياناً غلى اختلاف في مقدار الانكماش بين الاتجاهات المتناظرة.

2- توزيع متفاوت لكمية الرطوبة في أجزاء الجسم ذاته لاختلاف السمك بين الأجزاء العلوية والسفلية أو القواعد.

3- تعريض الجسم إلى معدل تجفيف سريع يؤدي إلى عدم انتظام معدل فقدان الرطوبة من أجزاءه المختلفة كالسطح الخارجي والداخلي، أو الأجزاء ألمغلقة والمفتوحة، العلوية والسفلية، وأحياناً تعريض أجزاء من الجسم إلى مسرب هوائي أو مصدر ضوئي إشعاعي في أكثر من الأجزاء الأخرى وغالباً ما قد يحصل مع الأشكال ألمرتفعة الطويلة.

4- وجود مقاومة ميكانيكية للانكماش في أجزاء من الجسم بسبب التصاق قاعدة الجسم مع الارضية وبالذات الأجسام الثقيلة، أو الأشكال ألمسطحة.

الأسئلة

1- كيف تفسر تحطم المنتجات الخزفية المجففة بمعدل تجفيف سريع.

2- ناقش كيف تؤثر لزوجة الماء أو البخار المتدفق من الجسم الخزفي أثناء عملية التجفيف على المعدل الزمني للتدفق.

3- هل يحصل تغير في التركيب الكيمياوي للأطيان أثناء عمليات التجفيف؟

4- ما هو تأثير إضافة المواد الغير طينية على نجاح عملية التجفيف وسرعة التجفيف.

5- أحسب النسبة المئوية للانكماش الطولي والحجمي لعينة اسطوانية أبعادها قبل وبعد التجفيف كما يلي:
2- قبل التجفيف (القطر 5 cm ، الارتفاع 10 cm).
3- بعد التجفيف (القطر 4.5 cm ، الارتفاع 9 cm).