

١-المقدمة:

١-١ صناعة بلاط البورسلان وتطورها

صناعة السيراميك التقليدي قديمة واشتهرت الحضارات القديمة كالبابلية والمصرية والصينية بهذه الصناعة وانتقلت صناعته وبشكل خاص البورسلان إلى بقية أجزاء العالم وأوروبا خلال القرون الوسطى من خلال التجار والمبشرين [1-3]. يعرف البورسلان التقليدي على أنه إحدى أنواع السيراميك ويمتاز بشفافيته ونقاوة مواد الأولية ، أما مكوناته الأساسية فهي 50wt% من الكاولين و 25wt% من الفلدسبار و 25wt% من الكوارتز ويعرف بنوعيه: البورسلان الصلب حيث تكون درجة حرارة حرقه تتراوح بين $1370-1410^{\circ}\text{C}$ ومنه تصنع العوازل الكهربائية ، أما البورسلان الطري فيتم حرقه بين $1200-1320^{\circ}\text{C}$ وهذا يعتمد بالأساس على المكونات الأساسية ونسبتها المئوية ومن أنواعه مختلف اللوازم المنزلية [4] وقد تم تطوير نوع جديد من البلاط في السنوات الأخيرة وسمي ببلاط البورسلان وهذا البلاط يختلف عن البلاط التقليدي المزجج من حيث المكونات للمواد الأولية كما يختلف جزئياً في تكنولوجيا التصنيع وهو يشبه إلى حد بعيد مكونات البورسلان التقليدي .

١-٢ عرض المشكلة وأسبابها:

يعاني البلاط المنتج من المسامية المتبقية في البلاط بعد الحرق ولذلك يتم وبشكل مستمر ومن خلال السيطرة النوعية اخذ العينات المنتجة بعد خروجها من الفرن لقياس امتصاصها للماء وامتصاص العينات للماء يعني بطبيعة الحال وجود المسامات وحسب نسبة الامتصاص في البلاط. لذلك يجب ملاءمة هذه المسامات وغلقها بعد عملية الجلي والتلميع أو إنتاج بلاط لا يحتوي على هذه المسامات أي كان نوعها. تقوم هذه المسامات بامتصاص السوائل حينما تلامس هذه السوائل البلاط وتكتسب ألوان هذه السوائل وهذا ما يدعى بظاهرة التلون (Staining) كما ان هذه المسامات تحتزن الأوساخ على سطح البلاط ويصعب بعد ذلك إزالتها فيفقد البلاط جاذبيته ورونقه ولذلك يجب التخلص من هذه المسامات.

٣-١ الحلول العملية المحتملة

١-٣-١ زيادة المساحة السطحية للمكونات من خلال زيادة زمن الطحن

إن زيادة المساحة السطحية للمادة تعني زيادة الطاقة السطحية (Surface energy) لحبيبات المادة وبالتالي زيادة قابلية المادة على التلبد (Sintering) مما يعني تقليل درجة الحرارة اللازمة للتلبد أو الوصول إلى حالة التلبد عند نفس درجة الحرارة ولكن بكثافة أعلى أو بالأحرى بمسامية أقل [5-10] ولكن عملياً فيما يخص العمل الحالي يعني ذلك أولاً زيادة عدد ساعات الطحن في المطاحن (Ball mill capacity 60 Tons) وعلى الأغلب رفع ساعات الطحن من (6-8)hr للشحنة الواحدة إلى ضعف هذه المدة على أقل تقدير مما يعني خفض الطاقة الإنتاجية للمطاحن إلى النصف وهذا يعني خفض الطاقة الإنتاجية للمصنع إلى النصف .

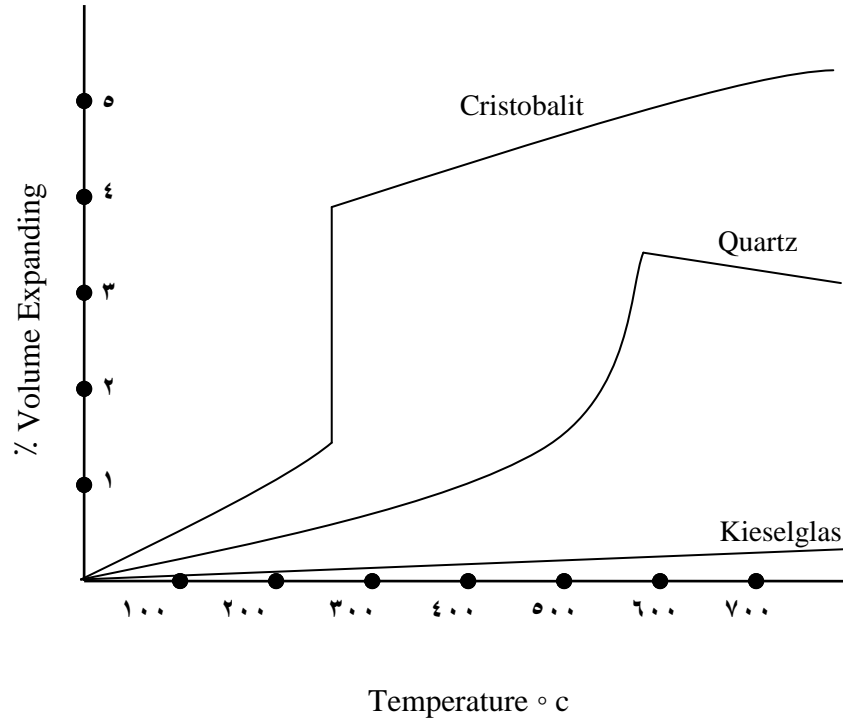
كما إن هنالك مشاكل إنتاجية أخرى مقترنة بهذا الإجراء مثل زيادة نسبة اللزوجة (Viscosity) للعالق (Slurry) وزيادة نسبة الانكماش (Shrinkage) للبلاط وبالتالي يتعين تغيير كافة قوالب المكابس وهذا أيضاً مرتبط بتقليل الطاقة الإنتاجية وزيادة الكلفة لذلك فإن هذا الإجراء مكلف جداً.

١-٣-٢ رفع درجة حرارة الفرن في منطقة الحرق الرئيسية وزيادة وقت مكوث البلاط في الفرن

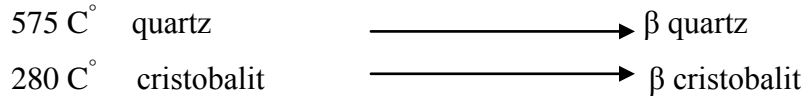
لا يمكن رفع درجة حرارة الفرن في منطقة الحرق الرئيسية كثيراً وذلك لأن الحرارة المستعملة هي عند الحدود القصوى المسموح بها لتشغيل الفرن أما زيادة وقت مكوث البلاط في المنطقة الرئيسية فإن ذلك يعني تخفيض سرعة حركة البلاط داخل الفرن مما سيزيد الفترة الزمنية لمكوث البلاط (Kiln cycle) من (65) دقيقة إلى (110) دقيقة مما يعني خفض إنتاجية المصنع بنسبة 60%.

وتم بالفعل إجراء تجربة رفع درجة حرارة الفرن إلى الدرجة القصوى المسموح بها وهي 1225°C مع زيادة فترة مكوث البلاط لمدة (45) دقيقة إضافية لمعرفة اثر ذلك على المنتج النهائي وعند فحص العينات تبين أن المنتج قد تحسن بالفعل ولكن التحسن الطفيف كان غير كافياً لاعتماده في التخلص نهائياً من المسامية.

١-٣-٣ زيادة نسبة المواد الصهورة (Flux material)



شكل (١):- يبين التحول الطوري للسيليكا والزيادة الحجمية المرتبطة بذلك.



المقصود هنا بالمواد الصهورة هي المواد التي تساعد على التلبد (Sintering) وتشمل كل المواد التي تخفض من درجة تلين الخليط وهي متعددة ولا مجال لذكرها ولكن أهمها من الناحية الاقتصادية والعملية هي الفلدسبار بأنواعه ، الفلدسبار البوتاسي (K₂O feldspar) وفلدسبار الصوديوم (Na₂O feldspar).

غير أن الفلدسبار يحتوي بطبيعته على السليكا الحرة (free silica) وينسب مختلفة وحسب الموقع الذي تم استخراجها منه وطبيعة التركيبة الجيولوجية للمنطقة. والسليكا الحرة تمثل إشكالية كبيرة في التصنيع إذا ما زادت عن النسب المسموح بها وهي لا تتجاوز (0.5%) من نسبة الفلدسبار في الخلطة فإذا ما زادت عن ذلك فإن ذلك يعرض السيراميك وفي حالتنا هنا هو

بلاط البورسلان الى التشقق والتكسر أثناء وجود البلاط في داخل الفرن وذلك نتيجة التحول الطوري (phase transformation) للسليكا وهذا التحول مرتبط بتغيير حجمي للسليكا مما يسبب تكسر البلاط⁽¹¹⁾.

١-٣-٤: غلق المسامات من خلال استعمال الشمع السائل

يتم رش الشمع السائل على سطح البلاط بعد الانتهاء من مرحلة الجلع والتلميع وذلك بعد أن يتم تسخين البلاط الى درجة (80°C) وبعد ذلك يتم ضخ الشمع السائل على هيئة رذاذ على سطح البلاط حيث يقوم هذا الشمع بغلق المسامات الموجودة في البلاط كما يقوم برفع مقدار لمعان البلاط بمقدار جيد مما يزيد في جمالية البلاط .

غير ان هذا الإجراء يؤدي الغرض المطلوب منه ويمنع نفاذ المواد الخارجية الى داخل المسامات لفترة زمنية محدودة يفقد البلاط بعدها بأسابيع قليلة هذه الخاصية نتيجة التآكل الميكانيكي واستعمال المنظفات الكيماوية .

١-٣-٥: اضافة مسحوق الزجاج

يتضح مما تقدم إننا بحاجة إلى مادة أولية تمتاز بما يلي:

- يجب أن تمتاز المادة الأولية بالقابلية على خفض درجة تلين الخليط ليتم تطور المسامات في مراحل متقدمة من برنامج التسخين.
- يجب أن تحتوي هذه المادة على مجموع من الاكاسيد (Na_2O, K_2O) المساعدة على التلبد أعلى من المجموع الموجود في الفلدسيار المستخدم.
- يجب أن لا تحتوي هذه المادة على أية نسبة من السليكا الحرة.
- أن تكون هذه المادة سهلة الطحن ولا تسبب في تغيير للزوجية كثيراً ولا تحتوي على نسب عالية من الاكاسيد المسببة في تغير لون الخلطة الأساسية وأهمها هو اوكسيد الحديد والتيتانيوم.

يتضح من ذلك إن أفضل مادة يمكن استخدامها لتقي بهذا الهدف هو مسحوق الزجاج ولذلك تم إضافة مسحوق من بقايا الزجاج المسطح والشفاف (غير ملون) وذلك لان الزجاج لا يحتوي على السليكا الحرة كما انه يحتوي على نسبة

عالية من أكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم وهي كما نعلم مواد صهورة (تساعد على تلبد المكونات بشكل جيد وبدرجات حرارة أقل من المكونات الأصلية).

جدول (١): يبين مكونات الخلطة (SW) والتحليل الكيماوي لهذه المكونات وحساب الخلطة النهائية .

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
AKO ₂	35%	74.36	15.35	2.14	3.61	0.27	0.6	0.31	0.77
B.CLAY	20%	54.54	29.36	0.7	2.5	0.3	0.5	0.95	1.3
U.KAOLIN	20%	48	37.6	0.16	0.17	0.11	0.1	0.03	0.07
K.FELDSPARE	25%	66	18	3	10	0.5	0	0	0.3
AKO ₂ *1		26.03	5.37	0.75	1.26	0.1	0.21	0.11	0.27
B.CLAY*2		10.91	5.9	0.14	0.5	0.06	0.1	0.19	0.26
U.KAOLIN *3		9.6	7.52	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
K.FELDSPARE*4		16.5	4.5	0.75	2.5	0.13	0	0	0.08
TOTAL		63.04	23.3	1.67	4.29	0.31	0.33	0.31	0.62

جدول (٢) : يبين التحليل الكيماوي لمسحوق الزجاج المستخدم

Flat glass (Soda – lime glass):

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
71	1	5	1.6	6	4	-	0.5

٢- الجزء العملي

٢-١: الخلطة SW

تم اخذ عينة من مسحوق المواد المنتجة في المصنع من أحد الساليلوهات وهي الخلطة المسماة (SW) وتم إضافة مسحوق الزجاج وحسب النسب المحددة في الجدول (3) إلى العينات SW1,SW2,SW3,SW4 وينسبة

0.5,1.0,1.96,3.85wt% حيث تركت العينة (SW) بدون إضافة وسيتم معاملتها بنفس الطريقة التي سيتم معاملة العينات التي تم إضافة مسحوق الزجاج لكي تستبعد كل المؤثرات التي قد تنتج نتيجة الطحن والكبس والحرق.....الخ .

وضعت العينات في قارورة المطحنة المخبرية (Planet mill) والمصنوعة من البورسلان مع كريات بقطر (8-10mm) من البورسلان ايضاً، وأضيف إلى كل عينة (200ml) من الماء وتم خلط المواد لمدة (20) دقيقة والهدف من ذلك هو مجانسة مكونات الخلط وطحن ما تبقى من أجزاء الزجاج الخشنة. عند الانتهاء من المجانسة تم نخل المكونات بمنخل (180µm) ووضع المكونات في المجفف الحراري بدرجة (110°C) ليتم التخلص من الماء بعد أن تم تجفيف العينات تم ترطيب العينات مرة ثانية للحصول على نسبة رطوبة مقدارها (4-6wt%) وتم تحبيب العينات من خلال نخلها ثانية بمنخل ذات فتحات (0.5-1.0mm) ومن ثم تم كبس العينات بمكبس هايدروليكي بضغط (250bar) وذلك لتشكيل عينات بأبعاد (100X50X8)mm حيث تم وضع العينات مرة ثانية في فرن التجفيف بدرجة (110°C) ليتم طرد الماء المرتبط فيزيائياً وبعدها تم حرق العينات بالفرن وبدرجة حرارة (1198°C) حيث كان الزمن اللازم لدورة الفرن هي (64) دقيقة بعد خروج العينات من الفرن تم قياس الأبعاد لمعرفة مقدار الانكماش (Shrinkage) الحاصل للعينات ومن ثم تم اختبار العينات لقياس مقاومة الانحناء (Bend strength) بطريقة النقاط الأربع (4-Point) ومن ثم تم إجراء فحص امتصاص الماء وكما موضح في الجدول رقم (٣).

حيث ان 1* هو عبارة عن فلد سبار متحلل ، 2* هو بولكلي، 3* هو كاولين أوكراني، 4* هو فلبسبار بوتاسي.

جدول (٣): يبين نتائج الخلطة SW

	SW0	SW1	SW2	SW3	SW4
Addition of glass in gm.	0	0.5	1.0	2.0	4.0
Addition of glass in wt%	0	0.5	1.0	1.96	3.85
Sw-powder in gm.	100	100	100	100	100
Practical mixing					
Glass in gm	0	2.0	4.0	8.0	16.0
Sw-powder in gm.	400	400	400	400	400
Water in ml.	200	200	200	200	200
Grinding time in min	20	20	20	20	20
*Firing temp. in ⁰ C	1198	1198	1198	1198	1198
Kiln –cycle in min.	64	64	64	64	64
Fired size in mm	91.4x45.5	91.2x45.3	91.1x45.5	91.1x45.5	91.2x45.5
	91.3x45.5	91.4x45.4	91.2x45.4	91.1x45.5	91.1x45.4
	91.4x45.5	91.4x45.3	91.2x45.4	91.3x45.5	91.2x45.4
Bend strength in Mpa	93.5	112.0	89.3	99.5	112.6
	112.4	96.7	99.9	103.3	116.7
	95.6	84.0	117.5	102.0	127.1
Average	100.5	97.6	102.2	101.6	118.8
WA in %	0.46	0	0	0	0
Staining	Big staining	Big staining	Less staining	Very little staining	No staining

*All sample are fired at the same time.

٢-٢: الخلطة PG

وهنا أيضا تم اخذ عينة من مسحوق (SW) وأضيف إليها 15wt% من مسحوق الالومينا ،ومسحوق الالومينا يعتبر من المواد صعبة التبلد (Refractory) بالنسبة إلى مكونات الخلطة (SW) وذلك لجعل مراحل تطور التبلد أكثر وضوحاً ويمكن من خلال ذلك مراقبة تطور المسامات في العينات والحكم على مراحل تبلد المادة لان تطور المسامات مرتبط أساسا بالتبلد ، تم إضافة نفس النسب من مسحوق الزجاج وهي 0.5,1.0,1.98.3.85wt% إلى الخلطة وسميت

(PG) وينفس الطريقة التي تم فيها تهيئة وتحضير العينات في الخلطة السابقة وسميت العينات

PG0,PG1,PG2,PG3,PG4 وكما في الجدول (4).

تم إعداد الخلطة بنفس الطريقة التي أعدت فيها الخلطة السابقة (SW).

جدول (٤) : يبين نتائج الخلطة PG

	PG0	PG1	PG2	PG3	PG
Addition of glass in gm.	0	0.5	1.0	2.0	.0
Addition of glass in %	0	0.5	1.0	1.96	3.85
PG-powder in gm.	100	100	100	100	100
Practical mixing					
Glass in gm	0	2.0	.0	8.0	16.0
SW-powder in gm.	00	00	00	00	00
Water in ml.	200	200	200	200	200
Grinding time in min.	20	20	20	20	20
Firing temp. in °C	1198	1198	1198	1198	1198
Cycle in min	62	62	62	62	62
Fired size in mm	93.9x7.2 9.0x7.3 93.9x7.2	93.6x7.0 93.6x7.0 93.5x6.8	93.3x6.8 93.x6.8 93.3x6.8	92.5x6. 92.5x6. 92,7x6.5	92.5x6. 92,2x6.3 92,2x6.3
Bend strength in Mpa	66.0 69.7 7.0	66.6 69.5 72.7	80.5 78.6 73.2	78. 86.7 79.3	97.8 101.2 101.3
Average	69.9	69.6	77.	81.5	101.3
WAin%	2.2	2.20	2.02	1.75	0
Staining	Big staining	Big staining	Big staining	little staining	Very little staining

٣- النتائج والمناقشة

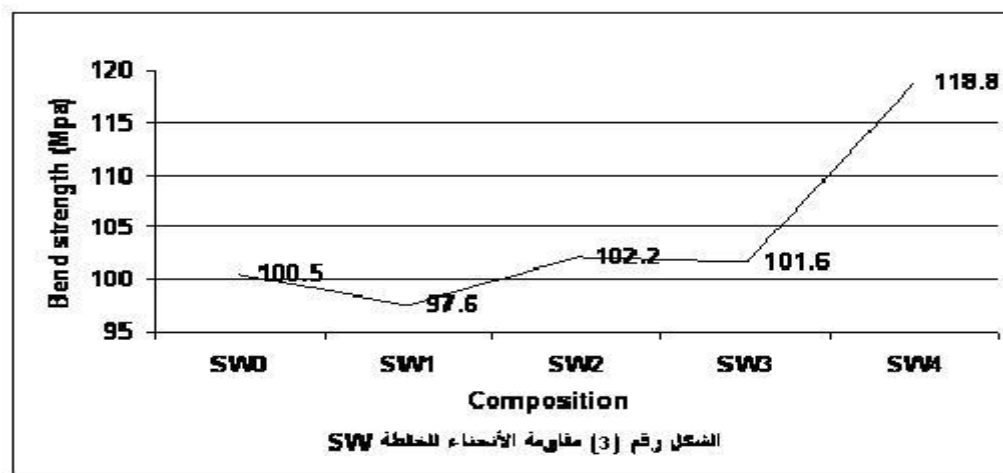
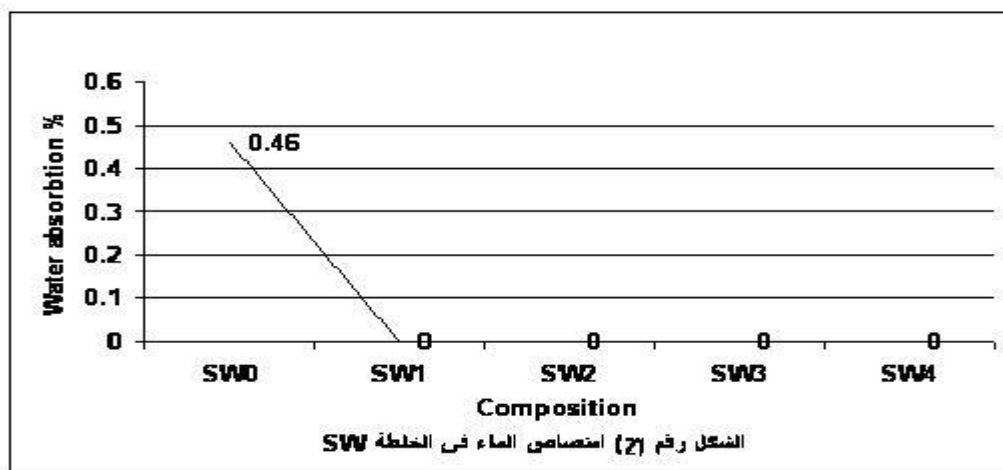
نتائج الخلطة SW

عند النظر إلى النتائج في جدول (٣) للخلطة SW نجد التالي :

الفارق في قياس أبعاد العينات (SW0) حتى (SW) لا يعكس فارق في الانكماش (shrinkage) بشكل واضح

رغم وجود فروقات قليلة بين العينة (SW0) والتي لا تحتوي على مسحوق الزجاج بالمقارنة مع العينة (SW) كما

لأنرى هنا أيضا فارقا في قلة أو زيادة مقاومة الانحناء بين (SW0) مروراً بالعينات (SW1) وحتى (SW3) ذات المحتوى من الزجاج 0.5, 1.0, 1.96 % ولكن بالمقارنة مع العينة (SW) ذات المحتوى 3.8% من مسحوق الزجاج نرى زيادة ملحوظة في مقاومة الانحناء للعينة مما يعني إن تطورا ملحوظاً قد حصل في الكثافة النوعية وذلك من خلال تقليل نسبة المسامات للعينة وهذا يتضح من خلال قياس نسبة امتصاص الماء بين العينة (SW0) و (SW) من 0.7% للعينة الأولى مع 0% للعينة الأخيرة والشكل رقم (2) يوضح ذلك.



(ولكن العينات (SW1) وحتى العينة (SW3) لها نسبة امتصاص ماء مقدارها 0% فكيف نفهم ذلك ؟

يمكن تفسير ذلك بالشكل التالي :

العينة (SW0) لازالت تحتوي على مسامات مفتوحة (open porosity) ومن خلال إضافة مسحوق الزجاج اختفت المسامات المفتوحة في العينات ابتداءً من العينة (SW1) ولم يبق إلا المسامات المغلقة التي بدأت بدورها بالاختفاء شيئاً فشيئاً حتى وصول العينة (SW) حيث اختفت بشكل نهائي.

للتأكد من ذلك تم اختبار العينات على فحص التلون (staining) بعد أن تم إزالة وجه البلاط من خلال الجلف والتلميع حيث تم اختبارها بأشد الاختبارات قسوة وذلك من خلال استخدام قلم (ماركر) وبعض الألوان المعدنية (pigments) حيث اتضح أن العينات يقل تلونها ابتداءً من العينة (SW0) وحتى العينة (SW3) ويختفي التلون في العينة (SW) نهائياً حيث لاوجود للمسامات المغلقة إلا ما تبقى من المسامات الدقيقة جداً والمتناهية في الصغر (Microporsity) وبنسبة قليلة جداً .

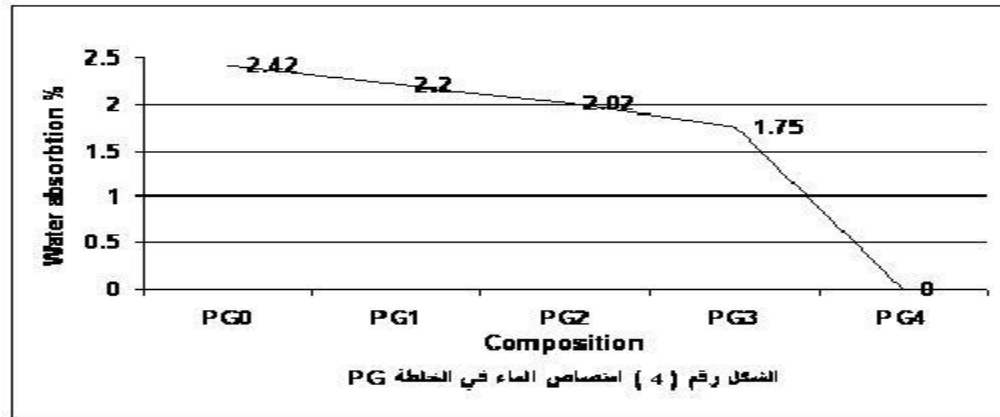
وهكذا فإن إضافة مسحوق الزجاج وبنسبة 3.8wt% إلى الخلطة (SW) كما في العينة (SW) قد قلل

المسامات

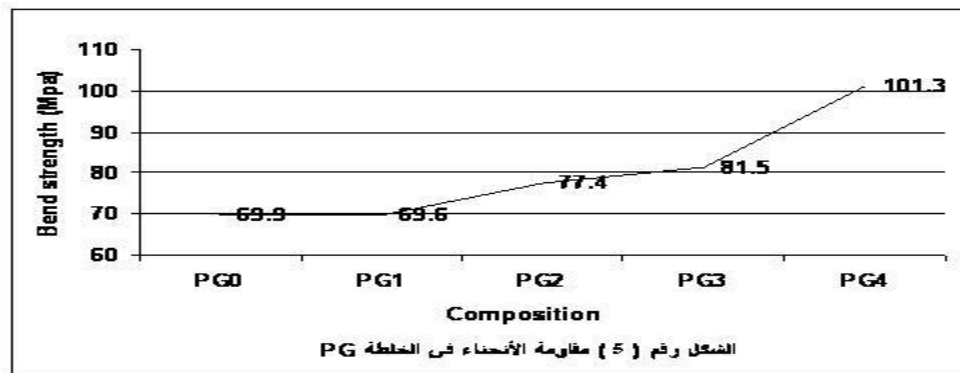
ولكن لماذا يستقبل البلاط الذي لا يحتوي على مسامات مفتوحة حيث امتصاص الماء صفر (WA=0) للألوان والأوساخ . أن قياس نسبة امتصاص الماء بنسبة 0% لايعني بالضرورة عدم وجود مسامات لان جزء كبير من المسامات يكون من النوع المغلق والتي لايمكن التعرف عليها من خلال قياس امتصاص الماء حيث تصبح هذه المسامات المغلقة بعد عملية الجلف والتلميع وإزالة وجه البلاط من اجل الحصول على وجه مستوي تماماً للبلاط إلى جيوب مفتوحة يمكن للمواد والأوساخ الترسب فيها مما يجعل البلاط بعد فترة وجيزة من استعماله إلى مستقبل لهذه الأوساخ مما يفقده الأناقة والجاذبية .

أما فيما يخص الخلطة PG ومن خلال النظر إلى النتائج في الجدول (٤) يتضح إن الانكماش (shrinkage) يبدو أكثر وضوحاً من الخلطة (SW) حيث يلاحظ إن الانكماش يزداد في كل مراحل إضافة مسحوق الزجاج وهذا دليل واضح على زيادة التلبد (Sintering) .

غير أن مقاومة الثني (Bend strength) للخلطة تبدأ بالتغير ابتداءً من العينة (PG2) ويزداد بشكل تدريجي حتى الخلطة (PG) حيث تزداد مقاومة الانحناء مقارنة بالعينة (PG0) بنسبة 30% مرتفعة من 70Mpa للعينة بدون إضافة مسحوق الزجاج الى 101 Mpa في العينة (PG) والمضاف إليها 3.85wt% من مسحوق الزجاج غير ان



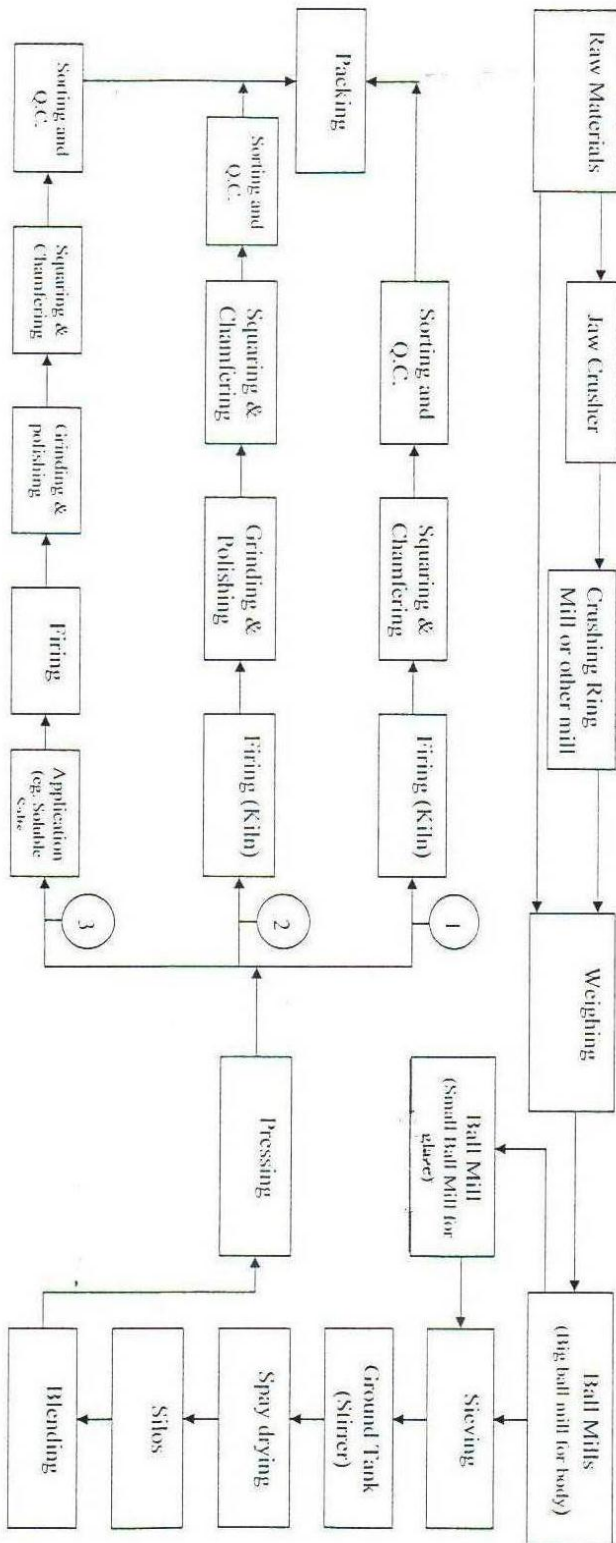
مقاومة الانحناء لعينات الخلطة (PG) اقل مقارنة بالخلطة (SW) وهذا يرجع بالتأكيد إلى وجود المسامات الكثيرة ، أي إلى عدم تلبد عينات الخلطة (PG) ،ولو قارنا مراحل تطور التلبد للخلطة (PG) لوجدنا إن العينة (PG) تطابق ربما العينة (SW1) وهذا يعني إننا ما زلنا في المراحل الأولى لتلبد العينة حيث بدأت بالتحول من المسامات المفتوحة إلى المسامات المغلقة ، ولو رفعنا درجة الحرارة أكثر أو أضفنا مسحوق الزجاج بنسبة اكبر لوصلنا في نهاية الأمر إلى التلبد الكلي للعينة ، وهذا يعني التخلص بشكل أساسي من المسامات المغلقة وصولاً إلى الكثافة النظرية للمادة وهذا يعني بالضرورة ارتفاع مقاومة الانحناء إلى قيم أعلى من قيم (PG) وبالتالي التخلص من ظاهرة التلون في البلاط .



٤ - الاستنتاجات والتوصيات :

- ١- بإضافة مسحوق الزجاج بنسبة 3.85wt% إلى الخلطة البورسلان الأصلية (SW) (وضمن مراحل الانتاج الموضحة بالشكل رقم (٦)) تم التوصل إلى بلاط خالي من المسامية ومن خلال ذلك تم التخلص نهائياً من مشكلة التلون في بلاط البورسلان .
- ٢- يمكن استخدام مسحوق الزجاج وبنسبة محددة في أنواع عديدة من السيراميك التقليدي وبعض أنواع السيراميك الهندسي باستثناء التي يتم استخدامها في درجات الحرارة العالية (800°C) وبشكل خاص السيراميك العازل والمقاوم للحرارة العالية (Refractory) وحسب كل منتج من أجل تلبد (Sintering) السيراميك بشكل جيد وفي درجات حرارة أقل من المعتاد.
- ٣- يمكن إعادة تدوير الزجاج بأنواعه الشفاف والملون ، المسطح منه والمجوف وحسب طبيعة المنتج ، وإدخاله كمادة أولية زهيدة الثمن ومتوفرة في كل مكان ، وبذلك نسهم مساهمة فاعلة وأكيدة في حماية البيئة.
- ٤- إن إضافة مسحوق الزجاج يقلل من الكلف الإنتاجية لأنواع من السيراميك وذلك لإحلاله جزئياً محل بعض المواد الأولية غير المتوفرة محلياً أو غالية الثمن .

PROCESSING PROCEDURE FOR PORCELAIN



1. porcelain with raw & matt surface (without grinding).
2. Normal porcelain. Glossy surface.
3. Porcelain with application like soluble glaze.

الشكل (6): يوضح مراحل تصنيع البورسلان بألوانه.

٥ - المصادر

1. W. Gebauer, Kunstkeramik, VEB,Fachbuch verlag-Leibzig,1980 .
2. H. Jebsen- Marwedel, Glas in kultur und Technik ,Verlag Aumann \ selb,1991
3. J. Riederer, Archacologie und chemie – Einblicke in die vergangenheit, Staatliche museem-Belin. ISBN 3-88609-212-3(1993).
4. W. Matthes, Keramische Glasuren, DVG,Darmstadt,1985, Verlagsgesell shaft, Rudolf Mueller GmbH, ISBN 3-81-2969-6
5. J. Kadoori ALRobayie,H. Hausner, (Mechanical properties of SiC- TiC and SiC-TiB₂ composites), Journal of Research- Technical university of Berlin, march (1993), 18-21.
6. J. kadoori, M.Woydt, K.H.Habig, H.Hausner., (Werkstoffentwicklung von Ingenier keramik nach tribologischen Gesichtspunkten),CFi\Ber.DKG 67(1990) No., 123-130 .
7. H . Yaparlar , H. Hausner, (Densification of Alumina drived from Aluminum hydroxide precipitated with -Al₂O₃ Seeds), Ceramic powder science (1989),25-252.
8. V.Arndt., H. Hausner ,(Compaction Behoviuour of ZrO₂ (Y₂O₃)\ powder), proc.2nd .Int . conf. on ceramic powder processing science (1989) 555-560.
9. H.Hausner, (Reaction sintering of ceramies), Encycl .Mat. and Eng. 090-092,Bergamon press(1986).
10. A.Roosen,H.Hausner, (Bedeutung der porenradien verteilung fuer das sinter verhalten keramischer from koerper), Keram. Zeitschrift 39(1987) 79-8.
11. A.Petzold, Anorganisch- nichtmetallische werkstoffe,VES Dentsche verlag \Leibzig. 1985.

كلمة شكر

الشكر والتقدير الى كل من ساهم في دعم هذا العمل :

- شركة العبار لصناعة الزجاج منطقة القوز الصناعية دبي للمساهمة في تقديم أطنان من بقايا الزجاج مجاناً.
- شركة الاسمنت الوطنية \ منطقة القوز الصناعية،السيد محمد الغرير- مدير عام الشركة،المهندس بابكر حمدالنيل عوض امدير الإنتاج . للمساهمة في التحاليل الكيماوية للمواد.

- جامعة العين الإمارات العربية المتحدة، قسم هندسة المواد الدكتور المهندس احمد حمام، لسماحهم في استخدام المجهر الالكتروني SEM

ملاحظة:

العمل تم انجازه في العام ٢٠٠٠ أثناء عمل المؤلف في شركة الخليج لصناعة بلاط البورسلان المنطقة الصناعية اجبل علي ادبي من العام ١٩٩٧-٢٠٠٢ كمدير للإنتاج والتطوير.