

INHOMOGENEITIES AND THEIR EFFECTS ON SINTERING

The structure of starting powder compacts, is never completely homogeneous. The characteristics of the powder and the forming method control the extent of the structural inhomogeneities in the green compact. In general, we can expect various types of structural inhomogeneity such as variations in packing density, a distribution in pore sizes, and a distribution in particle sizes.

If the powder contains impurities, chemical inhomogeneity in the form of variations in composition will also be present. A common feature of such inhomogeneities is that they become exaggerated during sintering, often leading to a reduction of the densification rate and to the development of large pores or crack like voids during sintering.

The green densities of most ceramic compacts are well below even dense packing of equisized spheres. The particles tend to agglomerate, smaller voids exist inside agglomerates and larger porous space existed between the agglomerates. This agglomeration is due to the Van der Waals force of attraction and condensed moisture of particle contacts which tend to be stronger than gravitational forces that pull the particles apart. Therefore during in processing steps such as powder pressing, pressure is applied, which causes the particle agglomerates to rearrange and reduce the inter-agglomerate pore volume. Effects of agglomerates on the densification behavior and microstructural evolution during sintering. It is found that the densification of the sintering system decreases as the volume fraction of agglomerates increases, and more inhomogeneous the compact. Agglomerates with a smaller average coordination number would have more restriction on the densification of sintering bodies.

Differential Densification

Structural inhomogeneities lead to some regions of the powder compact densifying at different rates from other regions, a process referred to as *differential densification*. The regions densifying at different rates interact with each other, and this interaction leads to the development of *transient stresses* during sintering. The stresses are said to be transient when the densification is ^{not} complete or when the sample is cooled to temperatures where no densification takes place, but in many cases, some residual stress may remain after densification.

The development of transient stresses during sintering is analogous to the development of thermal stresses in materials that differ in thermal expansion coefficients. In sintering, the volumetric strain rate takes the place of the thermal strain. Stresses due to differential densification have

INHOMOGENEITIES AND THEIR EFFECTS ON SINTERING

The structure of starting powder compacts, is never completely homogeneous. The characteristics of the powder and the forming method control the extent of the structural inhomogeneities in the green compact. In general, we can expect various types of structural inhomogeneity such as variations in packing density, a distribution in pore sizes, and a distribution in particle sizes.

If the powder contains impurities, chemical inhomogeneity in the form of variations in composition will also be present. A common feature of such inhomogeneities is that they become exaggerated during sintering, often leading to a reduction of the densification rate and to the development of large pores or crack like voids during sintering.

The green densities of most ceramic compacts are well below even dense packing of equisized spheres. The particles tend to agglomerate, smaller voids exist inside agglomerates and larger porous space existed between the agglomerates. This agglomeration is due to the Van der Waals force of attraction and condensed moisture of particle contacts which tend to be stronger than gravitational forces that pull the particles apart. Therefore during in processing steps such as powder pressing, pressure is applied, which causes the particle agglomerates to rearrange and reduce the inter-agglomerate pore volume. Effects of agglomerates on the densification behavior and microstructural evolution during sintering. It is found that the densification of the sintering system decreases as the volume fraction of agglomerates increases, and more inhomogeneous the compact. Agglomerates with a smaller average coordination number would have more restriction on the densification of sintering bodies.

Differential Densification

Structural inhomogeneities lead to some regions of the powder compact densifying at different rates from other regions, a process referred to as *differential densification*. The regions densifying at different rates interact with each other, and this interaction leads to the development of *transient stresses* during sintering. The stresses are said to be transient when the densification is ^{not} complete or when the sample is cooled to temperatures where no densification takes place, but in many cases, some residual stress may remain after densification.

The development of transient stresses during sintering is analogous to the development of thermal stresses in materials that differ in thermal expansion coefficients. In sintering, the volumetric strain rate takes the place of the thermal strain. Stresses due to differential densification have

Sintering
 solid phase sintering
 surface diffusion
 volume diffusion
 vapor phase
 grain boundary
 which all

اندام القياس وتأثيراته على التلبيد
 ترتيب البادور الأولي المكبوس لا يتلك تجانس كلي
 خصائصه او سميات البادور وطريقته تشكيله تصغير على اندازات
 اندام القياس في البنية المكبوسة الرطوبة وبشكل عام يمكن تحديد انواع تدها
 من اسباب البنية الغير متجانسة مثل (تغير كثافة ترتيب الجزيئات - التوزيع الحجمي
 المسافات - التوزيع الحجمي للجزيئات) . اذا احتوى البادور على متواليات اندام
 القياس اللبني في شكل تغير في التركيب الموجود اهلا المميزات العامة لاندام
 القياس تكون شكل مفرط أثناء التلبيد وغالبا تقود الى تقليل معدل التلبيد وتطور
 المسافات الكبيرة او الشقوق أثناء التلبيد .

تأثيرات تصغير البادور على الكثافة الرطوبة : حيث ان الكثافة الرطوبة لمعظم الزاوي
 السيراسي المكبوس تكون جيدة حتى يتم الحصول على مكبوس كثيف وجسيمات
 كروية ارضية كروية متساوية . الجزيئات تميل للتكامل مسافات كبيرة و
 فراغات تشبع بين التكتلات مسببة التكتلات اوامر خطا فانه فالزودة
 التبادي . الرطوبة المتلفة للجزيئات المتلاصقة والتي تميل لأن تكون اقوى من قوة
 التبادي التي تربط الجزيئات لذلك انتشار كبير البادور بمرحلة تشكيله وعند تسليط
 الضغط الذي يسبب تقلص الجزيئات واعادة ترتيبها لتقليل التكتلات الداخلية وفهم
 المسافات . تأثيرات التكتلات على التلبيد وسلوكه في البنية يزول انتشار
 التلبيد حيث انه تلتصق النظام الملبي يقل كلما زاد الكسر الحجمي للتكتلات مع زيادة
 في اندام القياس للمكبوس . التكتلات مع معدل قليل للترتيب تقود الى تحديد او
 تنسيق التلبيد للحجم الملبي .

١٤٠
 تأثير التكتلات على التلبيد .

اختلاف التلبيد : تعريف
 البنية الغير متجانسة تؤدي الى اختلافات في معدلات التلبيد من منطقة الى
 اخرى في الجسم وهذا يسمى اختلاف التلبيد . المتأخر المتخللة في معدلات
 التلبيد تتفاعل مع بعضها وتؤدي الى ظهور الاجهاد العابر او المستقل أثناء
 التلبيد . يسمى الاجهاد مستقل او عابر عندما التلبيد غير كامل - تبريد النموذج الى
 حرارة محدودة فيها التلبيد لكن في بعض الحالات تبقى اجهادات بعد التلبيد . (الاجهاد
 المستقل او العابر يتكون عند التحول من اندام اولية التلبيد الى حالة التلبيد حيث التلبيد
 هو تلة او اندام مسافات واكتظاظ البنية وهدوء اجهادات تقلل بسبب قلة
 المسافات هي الاجهادات المتبقية) .

been analyzed for a model consisting of a spherical inhomogeneity surrounded by a uniform powder matrix.

**If the inhomogeneity (e.g., a hard, dense agglomerate) shrinks more slowly than the surrounding matrix, a hydrostatic back stress is generated in the matrix. This back stress opposes the sintering stress and leads to a reduction in the densification rate of the powder matrix. Differential densification may also lead to the growth of pre-existing flaws in the body.

**For the case of the spherical inhomogeneity that shrinks faster than the powder matrix, a circumferential stress is also set up in the matrix, which can lead to the growth of crack like voids in the body.

**Microstructural flaws can also be produced if the inhomogeneity shrinks faster than the surrounding matrix.

**In this case, the inhomogeneity can shrink away from the matrix, thereby creating a circumferential void and have been observed in some sintered articles produced from heterogeneous powder compacts.

The regions that densify faster exert tensile stresses on the neighboring regions densifying more slowly. If the stresses are larger than, and opposed to, the sintering stress, pores at that location will grow rather than shrink despite the fact that the compact undergoes an overall shrinkage.

Control of Inhomogeneities

It is clear from that differential densification, can have a significant effect on densification and microstructural evolution. To reduce the undesirable effects of differential densification, we must reduce the extent of inhomogeneity present in the green compact through control of the powder quality and the forming method. Important issues in the control of inhomogeneities in the green compact are:

(1) the quantification of the extent of inhomogeneity in a powder compact.

(2) methods for reducing or averting inhomogeneities.

(3) mechanisms for reversing structural inhomogeneities.

The quantification of inhomogeneities may allow us to determine what level of inhomogeneity. However, such quantification is difficult and has only been discussed at a very qualitative level. The inhomogeneity depends on the scale of observation in that the structure appears more uniform as the scale of observation becomes coarser.

من الواضح اختلاف معدلات التكثيف له تأثير ملحوظ على تطور البنية المجهرية لتقليل التأثير القيد منسوب الناتج عن اختلاف معدلات التكثيف يجب التحكم في البنية الملموسة المظهرة في خلال السيطرة على نوعية البادور وحملته التشغيل

قياس عدم القياس يسبح

وذلك صعوبة قياسه اذ نمديه - شيكه تولى فقط الاندماج النجاس من خلال اعتماد على ملاحظة البنية بدني ظهورها متفرقة اعتمادا على قياس الجسيمات المنتشرة -

been analyzed for a model consisting of a spherical inhomogeneity surrounded by a uniform powder matrix.

**If the inhomogeneity (e.g., a hard, dense agglomerate) shrinks more slowly than the surrounding matrix, a hydrostatic back stress is generated in the matrix. This back stress opposes the sintering stress and leads to a reduction in the densification rate of the powder matrix. Differential densification may also lead to the growth of pre-existing flaws in the body.

**For the case of the spherical inhomogeneity that shrinks faster than the powder matrix, a circumferential stress is also set up in the matrix, which can lead to the growth of crack like voids in the body.

**Microstructural flaws can also be produced if the inhomogeneity shrinks faster than the surrounding matrix.

**In this case, the inhomogeneity can shrink away from the matrix, thereby creating a circumferential void and have been observed in some sintered articles produced from heterogeneous powder compacts.

The regions that densify faster exert tensile stresses on the neighboring regions densifying more slowly. If the stresses are larger than, and opposed to, the sintering stress, pores at that location will grow rather than shrink despite the fact that the compact undergoes an overall shrinkage.

Control of Inhomogeneities

It is clear from that differential densification, can have a significant effect on densification and microstructural evolution. To reduce the undesirable effects of differential densification, we must reduce the extent of inhomogeneity present in the green compact through control of the powder quality and the forming method. Important issues in the control of inhomogeneities in the green compact are:

(1) the quantification of the extent of inhomogeneity in a powder compact.

(2) methods for reducing or averting inhomogeneities.

(3) mechanisms for reversing structural inhomogeneities.

The quantification of inhomogeneities may allow us to determine what level of inhomogeneity. However, such quantification is difficult and has only been discussed at a very qualitative level. The inhomogeneity depends on the scale of observation in that the structure appears more uniform as the scale of observation becomes coarser.

من الواضح اختلاف معدلات التكثيف له تأثير ملحوظ على تطور البنية المجهرية لتقليل التأثير القيد منسوب الناتج عن اختلاف معدلات التكثيف يجب التحكم في البنية الملموسة المظهرة في خلال السيطرة على نوعية البادور وحملته التشغيل

قياس عدم القياسية يسبح

وذلك صعوبة قياسه اذ نمديه - شيكه تولى فقط الاندماج النجاس من خلال اعتماد على ملاحظة البنية بدني ظهورها متفرقة اعتمادا على قياس الجسيمات المنتشرة

تقليل عدم التماس في البادور يتحقق بتطبيق أدنى قيمة أثناء مرحلة التجميع اما

بالعقد البادور الثابت او عقد سافر أثناء التجميع . محاولة انتاج مسامات

مستطبة في الحجم وامتدادها الحجم الجيب له فوائد كما في استخدام البادور كبادور
مع توزيع محبوس ضيق. انتشار التجميع تحت (1340°C) يحدث تماس كبير للمكبوسات مع
كثافة كبيرة ودرج عالية معدل تكثيف عالي مقارنة مع المكبوسات الأقل .

تصحيح اندام التماس :-

التركيز على مشكلة عدم التماس على انها موجودة اهدا في البادور المكبوس لذلك يتطلب اجراء
الاختيارات التالية :-

1- اذا كانت طريقة التجميع مناسبة لنسبة اقلية اندام التماس .

2- النتيجة التي تؤدي الى تخلص من اندام التماس بأي طريقة . أكثر انواع اندام التماس الموجود
في البادور المكبوس تكون من التكتلات تؤدي الى تغير في الكثافة والتوزيع للمسامات

الحجم مقارنة مع حجم البادور . واحدة من المميزات الضرورية هي حجم المسامات يجب ان تكون كبيرة

المحاطة بعدد كبير من الحبيبات الاولى والذي يكون عادة مسامات بين التكتلات . المسامات

كبيرة ومن احد المميزات الضرورية الاخرى المسامات الصغيرة مع اهداتيات والهدنة

او قليلة . تظهر هذه المسامات جيد في منطقة التجميع التي يكون فيها تكتلات

(Nc) :- هي قيمة عددية لعدد المسامات سواء كانت قليلة او عالية .

(N < Nc) المسامات تكبر وتنمو والحالة تتحسن حدوث تخلص .

اهم سؤال يطرح لتصحيح عدم التماس أثناء التجميع اذا كان لمسامات كبيرة

بحيث ان ان يفسر اديان والابحار نحو تركيب اربنية متجانسة .

(N < Nc) يحدث تخلص للمسامات الكبيرة وتنتشر بشكل واسع راندام التماس

سوف نتبع اديان . على افتراض حدوث نمو بلوري طبيعي فكل ان يحصل انتشار التجميع

مؤدي الى تقليل (N) . النمو المبالغ فيه او الغير طبيعي للبلورات . يجب تجنبه في هذه الحالة

على الرغم من ذلك تعتبر كل الطاقة المطلوبة لهذه حدوث التجميع . عند ما يكون النمو طبيعي

بحيث ان تقليل قيمة (N) فائدة التجميع تقل بعد دراسة الحبيبات الكبيرة لتوليد

لها تأثير على التجميع . النمو البلوري المتواصل يقلل من قابلية الحصول على كثافة عالية

تامة وذلك لقابلية على تحريك الحبيبات المتولدة للحصول على بنية متجانسة يمكن
السيطرة عليها .

تقليل عدم التماس في البادور يتحقق بتطبيق أدنى قيمة أثناء مرحلة التجميع اما

بالعقد البادور الثابت او عقد سافر أثناء التجميع . محاولة انتاج مسامات

مستطبة في الحجم وامتدادها الحجم الجيب له فوائد كما في استخدام البادور كبادور
مع توزيع محبب حبيبة. انتشار التجميع تحت (1340°C) يحدث تماس كبير للمسامات مع
كثافة كبيرة ودرج عالية معدل تكثيف عالي مقارنة مع المسامات الأقل .

تصحيح اندام التماس :-

التركيز على مشكلة عدم التماس على انها موجودة اهلا في البادور المكسور لذلك يتطلب اجراء
الاختيارات التالية :-

1- اذا كانت طريقة التجميع مناسبة لنسبة اقلية اندام التماس .

2- النتيجة التي تؤدي الى تخلص من اندام التماس بأي طريقة . أكثر انواع اندام التماس الموجود
في البادور المكسور تكون من التكتلات تؤدي الى تغير في الكثافة والتوزيع للمسامات

الحجم مقارنة مع حجم البادور . واحدة من المميزات الضرورية هي حجم المسامات يجب ان تكون كبيرة

المحاطة بعدد كبير من الحبيبات الاولى والذي يكون عادة مسامات بين التكتلات . المسامات

كبيرة ومن احد المميزات الضرورية الاخرى المسامات الصغيرة مع امدادات والجهة

او قليلة . تظهر هذه المسامات جيد في منطقة التجميع التي يكون فيها تكتلات

(Nc) :- هي قيمة عددية لعدد المسامات سواء كانت قليلة او عالية .

(N < Nc) المسامات تكبر وتنمو والحالة تتحسن حدوث تخلص .

اهم سؤال يطرح لتصحيح عدم التماس أثناء التجميع اذا كان لمسامات كبيرة

بحيث ان ان يفسر اديان والابحار نحو تركيب ارضية ممتلئة .

(N < Nc) يحدث تخلص للمسامات الكبيرة وتنتشر بشكل واسع راندام التماس

سوف نتبع اديان . على افتراض حدوث نمو بلوري طبيعي فكل ان يحصل انتشار التجميع

مؤدي الى تقليل (N) . النمو المبالغ فيه او الغير طبيعي للبلورات . يجب تجنبه في هذه الحالة

على الرغم من ذلك تعتبر كل الطاقة المطلوبة لرفع حدوث التجميع . عند ما يكون النمو طبيعي

بحيث ان تقليل قيمة (N) فائدة التجميع تقل بعد دراسة الحبيبات الكبيرة لتوليد

لها تأثير على التجميع . النمو البلوري المتواصل يقلل من قابلية الحصول على كثافة عالية

تامة وذلك لقابلية على تحريك الحبيبات للحصول على بنية ممتلئة يمكن
السيطرة عليها .

since it leads to a reduction in N . (Abnormal grain growth should still be avoided in this concept.) However, we must also consider the kinetics of achieving the required density.

Whereas grain growth can indeed lead to a reduction in N , the kinetics of densification can be decreased so drastically by the larger grains that no long term benefit for densification is achieved.

Although significant grain growth seriously reduces the ability to attain a high final density, the ability of a *limited* amount of grain growth to homogenize a microstructure has been clearly demonstrated.

A limited amount of precoarsening (i.e., coarsening at temperatures lower than the onset of densification) can also improve the microstructural homogeneity of powder compacts, providing benefits for densification and microstructural control during subsequent sintering.

The overall sintering procedure, consisting of a precoarsening step followed by the sintering step, is referred to as *two-step sintering*.

As an example, Al_2O_3 powder compacts precoarsened for 50 h at 800°C have a more uniform pore size distribution when compared to the green compact.

Enhanced neck formation during precoarsening also produces a stronger compact that is better able to resist differential densification. The combination of a more uniform microstructure and a stronger compact produced by the precoarsening step is responsible for the microstructural refinement in the subsequent sintering step.

Another example where some homogenization of the microstructure has been observed comes from the sintering of compacts formed from mixtures of powders with particles of two different sizes, i.e., powders with a *bimodal* particle size distribution. If each fraction in the mixture is considered to densify in the same way as it would independently of the other, we may expect the densification of the mixture to obey a simple rule of mixtures, in which the densification of the overall system is some weighted average of the densification of the separate powder fractions. For ZrO powder in which the particle size of the coarse fraction was 10 times that of the fine fraction, the densification behavior was indeed found to approximately obey a rule of mixtures. An interesting observation was that grain growth occurred only in the fine powder fraction, thereby allowing the microstructure to become more homogeneous than that of the initial powder compact.

solid phase sintering
surface diffusion
volume diffusion
vapor phase
grain boundary
which all

مثال على الأولوية المكبوسة

مدت فيها المادة التحشية لمدة (50) ساعة في برار (800)

وتحتوي على توزيع حجم متفق للمسام بالمقارنة مع الجسم لا محضر المكبوس

قبل عملية التلييد الشائكة والمرحلة. تعزيز تكوين منطقة الترقيب التار في اعداد التلييد
يتبع بالكلية القوي وهو مقفل لمقاومة اختلاف التماس التركيب بين البنية التي
تجاسر وانتظام ركب قوي يتبع عنه تحشية مناسب للبيئة واكثر ثقله متفاد
والتلييد اللاصق.

البادور الذي يكثر متعدد في الحجم وتوزيعها اذا كان كل كسر حجمي (جزئيات مختلفة الحجم) حسب
تكثيف ينفر الطرية وتنفذ على اعداد تكثيف في موقعها في الخليط هذه الحالة

تتبع قانون الخلط البسيط العادي الذي يظهر في حدوث تكثيف من نظام الذي
يتكون من اعداد مختلفة البادورات منفصلة. مثال على ذلك التركيب الذي

تكون البادور من جسيمات غشنة ذات كسر حجمي ابر عشر مرات من الكسر الحجمي
للجسيمات الناعمة. الجسيمات الناعمة (بادور خليط ناعم + غشنة ابر عشر مرات)

سلوك التكثيف يخضع لقانون الخلط العادي (حدوث تكثيف عالي). وحدث
النمو الجيبي للكسر الحجمي الناعم فقط لان الجسيمات الغشنة تبقى كما هي ولا تتحرك
غير كاشية لحدوث النمو البلوري لذلك تنمو الناعمة فقط وسبب تحشية و
قياس للبيئة اكد من البادور الاول المكبوس.

solid phase sintering
surface diffusion
volume diffusion
vapor phase
grain boundary
which all

مثال على الأولوية المكبوسة

مدت فيها المادة التحشية لمدة (50) ساعة في برار (800)

وتحتوي على توزيع حجم متشعب للمسامات بالمقارنة مع الجسم لا محض المكبوس

قبل عملية التلييد الشائكة والمرحلة. تعزيز تكوين منطقة الترقيب التار في اعداد التلييد
يتبع بالكلية القوي وهو مقفل لمقاومة اختلاف التماس الترتيب بين البنية التي
تجاسر وانتظام ركب قوي يتبع عنه تحشية مناسب للبيئة واكثر ثقله متفاد
والتلييد اللاصق.

البادور الذي يكثر متعدد في الحجم وتوزيعها اذا كان كل كسر حجمي (هزليات مختلفة الحجم) حسب
تكثيف ينفر الطرية وتنفذ على اعداد تكثيف في موقعها في الخليط هذه الحالة

تتبع قانون الخلط البسيط العادي الذي يظهر في حدوث تكثيف من نظام الذي
يتكون من اعداد مختلفة البادورات منفصلة. مثال على ذلك الترتيب الذي

تكون البادور من جسيمات غشنة ذات كسر حجمي ابر عشر مرات من الكسر الحجمي
للجسيمات الناعمة. الجسيمات الناعمة (بادور خليط ناعم + غشنة ابر عشر مرات)

سلوك التكثيف يخضع لقانون الخلط العادي (حدوث تكثيف عالي). وحدث
النمو الجيبي للكسر الحجمي الناعم فقط لان الجسيمات الغشنة تبقى كما هي ولا تتحرك
غير كاشية لحدوث النمو البلوري لذلك تنمو الناعمة فقط وسبب تحشية و
قياس للبيئة اكد من البادور الاول المكبوس.

تأثير المحلول الجامد على تليد السيراميك -

* المحلول الجامد - هو ذوبان مادتين عند التليد (المصهر) وانهما معها وانما هما عند التبريد .

- استخدام المحلول الجامد سواء كان مضافاً للتليد أو ناتج من عملية التليد بجهاز تأثيرات كبيرة في عملية تصنيع السيراميك بواسطة تليد لكثافة عالية مع السيطرة على الحجم الحبيبي .

المثال الأكثر شيوعاً هو إضافة كميات من (هـ.م) بنسبة (25 %) إلى (Al_2O_3) الألومينا . بجهاز الألومينا بنسبة بلورية متوسطة شفافة مع كثافة نظرية (كثافة تقرب من الكثافة المثالية) . (المحلول الجامد يغير)

1- ناتج من مادتين والمحلول على مادة جديدة بخواص جديدة .
2- يتخذ موقفاً من التركيب الأساسي مزيلاً أماكن الهفوت والعيوب . مع المثال السابق .

* تأثير المحلول الجامد (مهم) - تحسين اضافة المحلول الجامد :-

* اضافة المحلول الجامد تؤثر على الطاقة الكامنة والطاقة الحركية والحرارية في التليد

* اضافة المحلول الجامد يغير من حيوية التركيب الكيميائي الأساسي حيث تغير معامل انتشار لأيونات المنتقلة خلال الشبكة البلورية

(D_L) معامل انتشار الشبكة البلورية .
Lattice

- تأثير انقزال المحلول الجامد :-

انقزال المحلول الجامد يغير البنية والتركيب والسطح البيني وتغير معامل انتشار الحدود البلورية $(D_{G.B.})$ ومعامل انتشار السطح (D_s) ومعامل انتشار الطور البخاري

(D_v) . انقزال المحلول الجامد يغير طاقة السطح الداخلية وكذلك يعمل محفزاً

على تغير طاقة السطح الخارجية $(D_{s.v.})$ وطاقة الحدود البلورية $(D_{G.B.})$ و قابلية حركة الحدود .

* مساوي الانقزال :-

بشكل عام يمكن أن تكون التأثيرات لاضافات المحلول الجامد متفصلة أو غير متفصلة و

تغير العديد من الظواهر .

Coalescence

Grains pulled into contact by a wetting liquid can lead to coarsening by coalescence. Mechanism for coalescence involves contact formation between the grains, neck growth, and migration of the grain boundary. Coalescence can occur by several mechanisms, such as solid state grain boundary migration, liquid-film migration, and . When the dihedral angle is low, the liquid partially penetrates the grain boundary and movement of the boundary will involve initially an increase in the grain boundary energy. For larger dihedral angles, where the liquid penetration of the boundary is significantly reduced, coalescence may become energetically favorable. The process is enhanced when the difference between the particle sizes becomes greater, so the conditions are most favorable for coalescence in the early portion of the solution-precipitation stage.

In systems where no solid-solid contact exists, coalescence may be possible by migration of the liquid film separating the grains. This mechanism has been found to occur in a few metallic systems and is normally referred to as directional grain growth.

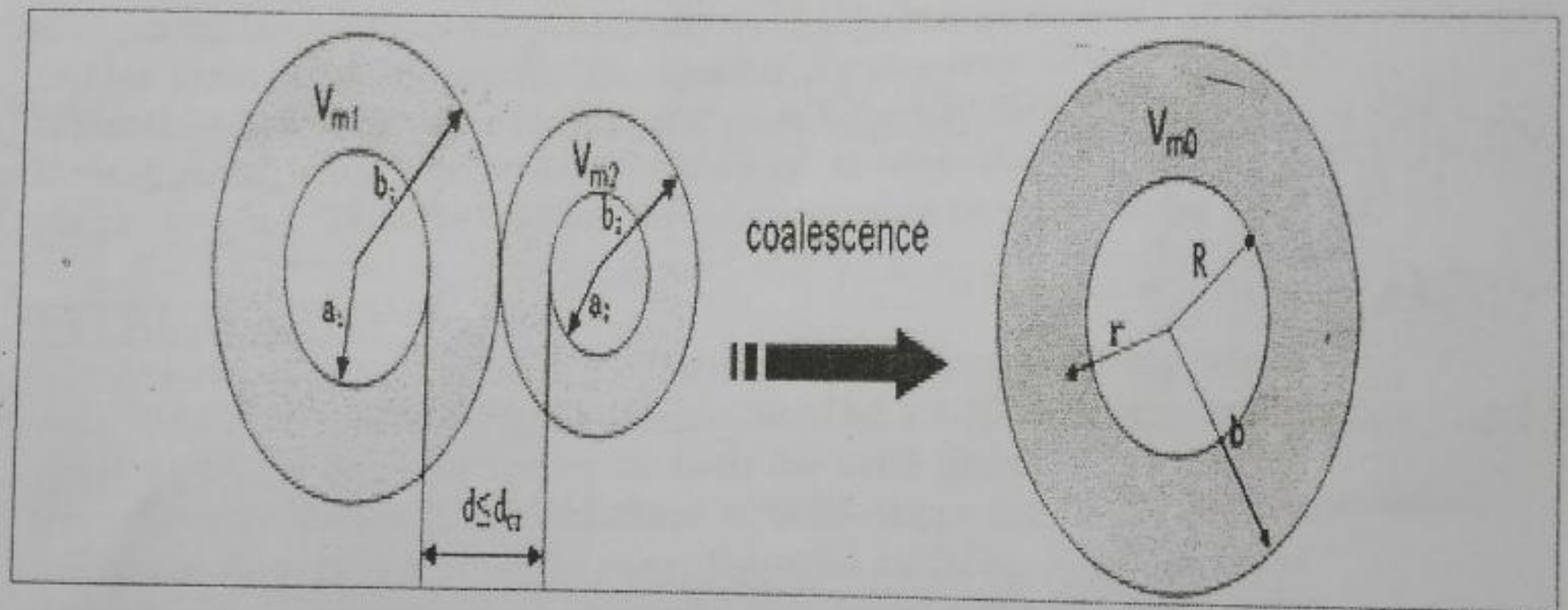


Figure 1: illustrate Coalescence

الاتحاد الحبيبات لتكوين بنية جديدة
بالترتيب - الحبيبات التي تقع مع بعضها بفعل ترطيب السائل في منطقة التماس تؤدي الى حدوث
حشوة للحبيبات والتماسها ميكانيكية الاتحاد تتضمن تماس بين الحبيبات ومحتوى منطقة التماس
الحدود البلورية) الاتحاد يحدث بواسطة عدة ميكانيكيات مثل تداخل الحدود البلورية وهجرة
طبقة رقيقة من السائل وهجرة رقائقها (كلها تسبب ترك خزان في البنية) عندما تكون زاوية
التماس التنسكية بين سطح الحبيبات قليلة السائل يختلف عدد البلورات تحركها وهذه الحركة
تتضمن في البنية زيادة طاعة الحدود البلورية وازالتها وعندما تكون زاوية التماس كبيرة يختلف
السائل الحدود البلورية جيد قليل ويكون الاتحاد 24 هذه العملية تتغير عندما يحدث
فرق بين حجم الحبيبات جيد كبير وتكون الفروق مقبولة للاتحاد في مرحلة مبكرة من التغير
السائل النظام الذي لا يوجد فيه (حبيب - حبيب) يكون التماس فقط للسائل يحدث الاتحاد عن
طريق هجرة الطبقة رقيقة من السائل ويخترق الحبيبات هذه الميكانيكية تحدث في أغلب الأنظمة المعدنية
والتي فيها يحدث هجرة رقائق المعادن وتكون فيها الفوار السائل بسهولة تكون اوامرها غير مقبولة مثل السائل
بالترتيب فيها يحدث هجرة رقائق المعادن وتكون فيها الفوار السائل بسهولة تكون اوامرها غير مقبولة مثل السائل

تأثير المحلول الجامد على تليد السيراميك :-

* المحلول الجامد - هو ذوبان مادتين عند التليد (المصهر) وانهما معها وانما هما عند التبريد .

- استخدام المحلول الجامد سواء كان مضافاً للتليد او ناتج من عملية التليد بجهاز تأثيرات كبيرة في عملية تصنيع السيراميك بواسطة تليد لكثافة عالية مع السيطرة على الحجم الحبيبي .

المثال الأكثر شيوعاً هو إضافة كميات من (هـ.م) بنسبة (25 %) الى (Al_2O_3) الألومينا . بجهاز الألومينا بنسبة بلورية متغيرة شفافة مع كثافة ذرية (كثافة تقريباً من الكثافة المثالية) . (المحلول الجامد يغير :-

1- ناتج من مادتين والمحلول على مادة جديدة بخواص جديدة .

2- يتخذ موقفاً من التركيب الاساسي مزيجاً اما من المصنف والعيوب . مع المثال السابق .

* تأثير المحلول الجامد (مهم) :-

- تحسين اضافة المحلول الجامد :-

* اضافة المحلول الجامد تؤثر على الطاقة الكامنة والطاقة الحركية والحرارية في التليد .

* اضافة المحلول الجامد يغير من حيوية التركيب الكيميائي الاساسي حيث تغير معامل انتشار للأيونات المتحركة خلال الشبكة البلورية

(D_L) معامل انتشار الشبكة البلورية .

Lattice

- تأثير انقزال المحلول الجامد :-

انقزال المحلول الجامد يغير البنية والتركيب والسطح البيني ويغير معامل انتشار الحدود البلورية ($D_{G.B.}$) ومعامل انتشار السطح (D_s) ومعامل انتشار الطور البخاري

(D_v) . انقزال المحلول الجامد يغير طاقة السطح الداخلية وكذلك يعمل حثراً

على تغير طاقة السطح الخارجية ($D_{s.v.}$) وطاقة الحدود البلورية ($D_{G.B.}$) و قابلية حركة الحدود .

* مساوي الانقزال :-

بشكل عام يمكن ان تكون التأثيرات لاضافات المحلول الجامد متفصلة او غير متفصلة و

تغير العديد من الظواهر .

Coalescence

Grains pulled into contact by a wetting liquid can lead to coarsening by coalescence. Mechanism for coalescence involves contact formation between the grains, neck growth, and migration of the grain boundary. Coalescence can occur by several mechanisms, such as solid state grain boundary migration, liquid-film migration, and . When the dihedral angle is low, the liquid partially penetrates the grain boundary and movement of the boundary will involve initially an increase in the grain boundary energy. For larger dihedral angles, where the liquid penetration of the boundary is significantly reduced, coalescence may become energetically favorable. The process is enhanced when the difference between the particle sizes becomes greater, so the conditions are most favorable for coalescence in the early portion of the solution-precipitation stage.

In systems where no solid-solid contact exists, coalescence may be possible by migration of the liquid film separating the grains. This mechanism has been found to occur in a few metallic systems and is normally referred to as directional grain growth.

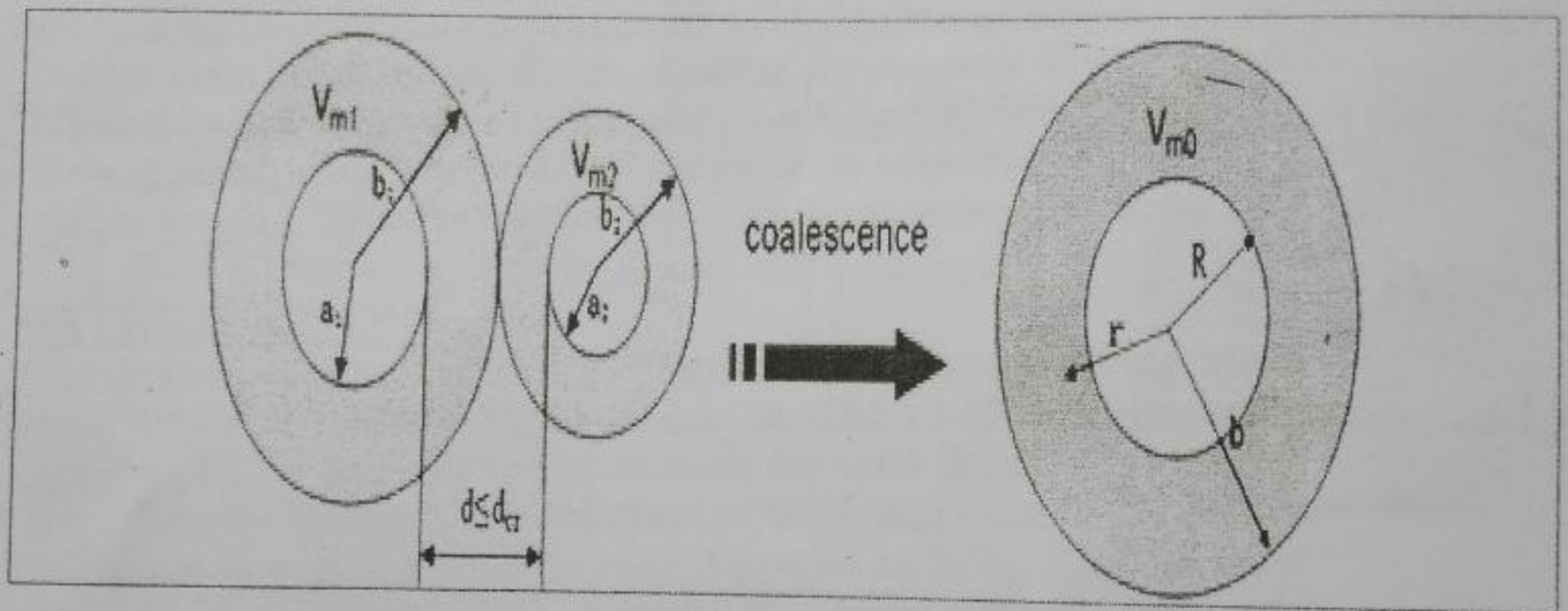


Figure 1: illustrate Coalescence

الاتحاد الحبيبات لتكوين بنية جديدة
 بالتلبيد - الحبيبات التي تتقدم مع بعضها بفعل ترطيب السائل في منطقة التماس تؤدي الى حدوث
 هشوة للحبيبات والتماسها ميكانيكية الاتحاد تتضمن تماس بين الحبيبات ومحتوى منطقة التماس
 الحدود البلورية) الاتحاد يحدث بواسطة عدة ميكانيكيات مثل تسرب الحدود البلورية وحركتها وتكون
 طبقة رقيقة من السائل وحركتها وكلها تسبب ترك خراج في البنية عند ما تكون زاوية
 التماس التصلبية بين سطح الحبيبات تليدة السائل يختلف عدد البلورات وحركتها وهذه الحركة
 تنفذ في البنية زيادة طامة الحدود البلورية وازالتها وعند ما تكون زاوية التماس كبيرة يختلف
 السائل الحدود البلورية شدة قليل ويكون الاتحاد 24 هذه العملية تتغير عند ما يحدث
 فرق بين حجم الحبيبات شدة كبير وتكون الفروق مقبولة للاتحاد في مرحلة مبكرة من اختراق
 السائل النظام الذي لا يوجد فيه (حبيب - حبيب) يكون التماس فقط للسائل يحدث الاتحاد عن
 طريق هجرة الطبقة رقيقة من السائل ويخترق الحبيبات هذه الميكانيكية تحدث في أغلب الأنظمة المعدنية
 وتشبه الى نحو هجرة طبقة رقيقة من السائل المتعادن وتكون فيها الفوار السائل بسهولة تكون اوامرها غير مقبولة مثل السائل
 بالتلبيد فيها يحدث هجرة والحدة لا تسبب نمو عالي

SOLID SOLUTION ADDITIVES AND THE SINTERING OF CERAMICS

The use of *solid solution additives* provides a very effective approach for the fabrication, by sintering, of ceramics with high density and controlled grain size. The most celebrated example is the small additions of MgO (0.25 wt%) to Al_2O_3 produced polycrystalline translucent alumina with theoretical density. The effect of the MgO additive. An additive can influence both the *kinetic* and *thermodynamic* factors in sintering.

An additive can alter the defect chemistry of the host, thereby changing the diffusion coefficient for transport of ions through the lattice D_l . *Segregation* of the additive can alter the structure and composition of surfaces and interfaces, thereby altering the grain boundary diffusion coefficient D_{gb} , the surface diffusion coefficient D_s , and the diffusion coefficient for the vapor phase D_g (i.e., the evaporation/condensation process). Segregation can also alter the interfacial energies, so the additive can also act thermodynamically to change the surface energy γ_{sv} and the grain boundary energy γ_{gb} . Another consequence of segregation, is that the additive can alter the intrinsic grain boundary mobility, $\overline{M\dot{b}}$.

In a general sense, an effective additive is one that alters many phenomena in a favorable way but few phenomena in an unfavorable one.

VITRIFICATION

Vitrification, is the term used to describe liquid-phase sintering where densification is achieved by the viscous flow of a sufficient amount of liquid to fill up the pore spaces between the solid grains. The driving force for vitrification is the reduction of solid-vapor interfacial energy due to the flow of the liquid to cover the solid surfaces. Vitrification is the common firing method for traditional clay-based ceramics, sometimes referred to as silicate systems. The process involves physical and chemical changes (e.g., liquid formation, dissolution, crystallization) as well as shape changes (e.g., shrinkage and deformation).

A viscous silicate glass forms at the firing temperature and flows into the pores under the action of capillary forces also provides some cohesiveness to the system to prevent significant distortion under the force of gravity. On cooling, a dense solid product is produced, with the glass gluing the solid particles together.

SOLID SOLUTION ADDITIVES AND THE SINTERING OF CERAMICS

The use of *solid solution additives* provides a very effective approach for the fabrication, by sintering, of ceramics with high density and controlled grain size. The most celebrated example is the small additions of MgO (0.25 wt%) to Al_2O_3 produced polycrystalline translucent alumina with theoretical density. The effect of the MgO additive. An additive can influence both the *kinetic* and *thermodynamic* factors in sintering.

An additive can alter the defect chemistry of the host, thereby changing the diffusion coefficient for transport of ions through the lattice D_l . *Segregation* of the additive can alter the structure and composition of surfaces and interfaces, thereby altering the grain boundary diffusion coefficient D_{gb} , the surface diffusion coefficient D_s , and the diffusion coefficient for the vapor phase D_g (i.e., the evaporation/condensation process). Segregation can also alter the interfacial energies, so the additive can also act thermodynamically to change the surface energy γ_{sv} and the grain boundary energy γ_{gb} . Another consequence of segregation, is that the additive can alter the intrinsic grain boundary mobility, $\overline{M_b}$.

In a general sense, an effective additive is one that alters many phenomena in a favorable way but few phenomena in an unfavorable one.

VITRIFICATION

Vitrification, is the term used to describe liquid-phase sintering where densification is achieved by the viscous flow of a sufficient amount of liquid to fill up the pore spaces between the solid grains. The driving force for vitrification is the reduction of solid-vapor interfacial energy due to the flow of the liquid to cover the solid surfaces. Vitrification is the common firing method for traditional clay-based ceramics, sometimes referred to as silicate systems. The process involves physical and chemical changes (e.g., liquid formation, dissolution, crystallization) as well as shape changes (e.g., shrinkage and deformation).

A viscous silicate glass forms at the firing temperature and flows into the pores under the action of capillary forces also provides some cohesiveness to the system to prevent significant distortion under the force of gravity. On cooling, a dense solid product is produced, with the glass gluing the solid particles together.

* التزجيج :- مرادف لم يتحمل لشرح الظهور السائل المتكون بالتبديد يتغير
 التزجيج بواسطة لزومية وجريان كميات كافية من السائل على المسامات
 بين الحبيبات الصلبة. التزجيج هو عملية فرق السيراميك التقليدي الذي
 أساسه سيراميك وفي بعض الأحيان سيراميك نظام السيلكا العملية تتم
 تغيرات قشرية وكيميائية مثل تكون وترسيب طور سائل - تبلور وتغيرات في الحجم
 مثل التقلص والتشوه. التزجيج السيلكا السطوئية يتكون من الحرق في درجات حرارة عالية
 وجريان للهاف في المسامات تحت تأثير قوة الخاصية الشعرية. يجهز التزجيج
 تماسك للنظام لمنع التشوه تحت تأثير الجاذبية. تجهل بالتبريد على جسم كثيف
 دمج مع غراء زجاجي يربط الصلابة مع بعضه.

26
عن

السيطرة على متغيرات التزجيج :-
 كمية السائل المتكونة أثناء الحرق ولزومية السائل يحتاج الى كثافة عالية
 يتم الحصول عليها في وقت مناسب دون تشوه النموذج تحت تأثير الجاذبية. كمية
 السائل المطلوبة لانتاج كثافة كاملة بواسطة التزجيج تقدر على كثافة الكسر
 الناتجة من الحبيبات الصلبة بعد إعادة ترتيب نفسها في نظام البادور واستخدام
 توزيع بحجم حبيبي مناسب بحسن الكثافة مع وجود كميات محدودة من السائل
 المترسب أي ان كمية السائل اللازمة لحدوث التزجيج تتراوح بين (25-35%) من
 حجم البادور في حالة تليد الظهور السائل يجب السيطرة على منع التكون المفاجيء لكميات
 كبيرة من السائل تؤدي الى تكسر الجزء تحت تأثير الجاذبية. يحتاج الى تكييف
 معدلات كافية - تزجيج متكامل بوقت مناسب - ساعات قليلة. معدل التكييف العالي
 الى معدلات التشوه يجب ان تكون قليل للحصول على تشوهات قليلة او معدومة.
 هذه المتطلبات تحتاج الى حرارة عالية - بادور سيكل خليم - والسيطرة على لزومية
 السائل الناتج. لاجراء عملية التليد بالتزجيج يعتمد على ثلاثة متغيرات او عوامل
 هي :- (1) الشد السطحي (2) لزومية السائل (3) نصف قطر المسامات (4) نصف قطر
 ان (5) تناسب مع نصف قطر الحبيبات (6) بالاعتماد على التكييف تحمل
 على العلاقة التالية :-

$$\alpha \propto \frac{s.v.}{r^2}$$
 حيث α كثافة التزجيج
 r لزومية السائل

* التزجيج :- مرادف لم يتحمل لشرح الظهور السائل المتكون بالتبديد يتغير
 التزجيج بواسطة لزومية وجريان كميات كافية من السائل على المسامات
 بين الحبيبات الصلبة. التزجيج هو عملية فرق للبراميك التقليدي الذي
 أساسه سيراميك وفي بعض الأحيان سيراميك نظام السيلكا العملية تتم
 تغيرات قشرية وكيميائية مثل تكون وترسيب طور سائل - تبلور وتغيرات في الحجم
 مثل التقلص والتشوه. التزجيج السيلكا السطوئية يتكون من الحرق في درجات حرارة عالية
 وجريان للهاف في المسامات تحت تأثير قوة الخاصية الشعرية. يجهز التزجيج
 تماسك للنظام لمنع التشوه تحت تأثير الجاذبية. يحمل بالتبريد على جسم كثيف
 ويصلب مع غراء زجاجي يربط الصلابة مع بعضه.

26
عن

السيطرة على متغيرات التزجيج :-
 كمية السائل المتكونة أثناء الحرق ولزوجة السائل يحتاج الى كثافة عالية
 يتم الحصول عليها في وقت مناسب دون تشوه النموذج تحت تأثير الجاذبية. كمية
 السائل المطلوبة لانتاج كثافة كاملة بواسطة التزجيج تقدر على كثافة الكسر
 الناتجة من الحبيبات الصلبة بعد إعادة ترتيب نفسها في نظام البادور واستخدام
 توزيع بحجم حبيبي مناسب بحسن الكثافة مع وجود كميات محدودة من السائل
 المترسب أي ان كمية السائل اللازمة لحدوث التزجيج تتراوح بين (25-35%) من
 حجم البادور في حالة تليد الظور السائل يجب السيطرة على منع التكون المفاجيء لكميات
 كبيرة من السائل تؤدي الى تكسر الجزء تحت تأثير الجاذبية. يحتاج الى تليد
 بمعدلات كافية - تزجيج متكامل بوقت مناسب - ساعات قليلة. معدل التليد العالي
 الى معدلات التشوه يجب ان يكون قليل للحصول على تشوهات قليلة او معدومة.
 هذه المتطلبات تحتاج الى حرارة عالية - بادور سيكل خليم - والسيطرة على لزوجة
 السائل الناتج. لاجراء عملية التليد بالتزجيج يعتمد على ثلاثة متغيرات او عوامل
 هي :- ① الشد السطحي ② لزوجة السائل ③ نصف قطر المسامات (٧) تقدر
 ان (٧) يتناسب مع نصف قطر الجزيئات (٥) بالاعتماد على التليد تحمل
 على العلاقة التالية :-

$$\alpha \propto \frac{s.v.}{r^2}$$
 حيث α لزوجة السائل

* التزجيج :- مرصطاح يستعمل لشرح الأمور السائل المتكونة بالتبديد فيغير
التزجيج بواسطة لزومية وهربانية كميات كائنة من السائل ملأ المسامات
بين الحبيبات الصلبة. التزجيج هو عملية فرق للسيراميك التقليدي الذي
أساسه سيراميك وفي بعض الأحيان يسير إلى نظام السيلكا. العملية تتم
تغيرات فيزيائية وكيميائية مثل تكون وترسيب طور سائل - تبلور وتغيرات في الحجم
مثل التقلص والتشوه. تزجيج السيلكا العشوائية يتكون من الحرق في درجات حرارة عالية
وحبيبات اللامع في المسامات تحت تأثير قوة الخاصية الشعرية. يجهز التزجيج
تاسك للنظام لمنع التشوه تحت تأثير الجاذبية. يحمل بالتبريد على جسم كثيف
وذلك مع غراء زجاجي يربط الصلب مع بعضها.

μ $\frac{26}{\mu}$

السيرة على متغيرات الترتيب :-

كمية السائل المتكونة أثناء الحرق ولزوجة السائل يحتاج الى كثافة عالية
يتم الحصول عليها في وقت مناسب دون نشو الوقود تحت تأثير الجاذبية. كمية
السائل المطلوبة لانتاج كثافة كاملة بواسطة الترجيع تقدر على كثافة الكبريت
الناجمة من الجزيئات الصلبة بعد اعادة ترتيب نفسها في نظام الباور واستخدام
توزيع بحجم حبيبي مناسب يحسن الكثافة مع وجود كميات محدودة من السائل
المترسب اي ان كمية السائل اللازمة لادخال الترجيع تتراوح بين (25-35%) من
حجم الباور في حالة تليد السائل يجب السيطرة على منع التكون المفاجيء لكميات
كبيرة من السائل تؤدي الى تلسر الجزء تحت تأثير الجاذبية. يحتاج الى تكثيف
بمعدلات كافية - ترجيع متكامل بوقت مناسب - ساعات قليلة. معدل التكثيف اعلى
الى معدلات الشو يجب ان تكون قليل للحصول على تسوهات قليلة او معدومة .
هذه المتطلبات تحتاج الى حرارة عالية - باور سبكل خليم - والسيطرة على لزوجة
السائل الناتج . لاجراء عملية التليد بالترجيع يعتمد على ثلاثة متغيرات او عوامل
هي : ① الشد السطحي ② لزوجة السائل ③ نصف قطر المسامات (٧) تقدر
ان (٧) يتناسب مع نصف قطر الجزيئات (a) بالاعتماد على التكثيف فعمل
على العلامة التالية :-
$$s.v. \propto \frac{1}{r^2}$$
 كثافة الترجيع .

على العلامة التالية :-

$\eta \propto \leftarrow$ لزوجة السائل

The Controlling Parameters of Vitrification

The amount of liquid formed at the firing temperature and the viscosity of the liquid must be such that the required density (commonly full density) is achieved within a reasonable time without the sample deforming under the force of gravity.

The amount of liquid required to produce full densification by vitrification depends on the packing density achieved by the solid grains after rearrangement. In systems, the use of a particle size distribution to improve the packing density with the occurrence of a limited amount of solution-precipitation means that the amount of liquid required for vitrification is commonly 25–30 vol%. In liquid-phase sintering, the formation of the liquid must be controlled to prevent sudden formation of a large volume of liquid that will lead to distortion of the body under the force of gravity.

We require a high enough densification rate of the system so that vitrification is completed within a reasonable time (less than a few hours) as well as a high ratio of the densification rate to the deformation rate so that densification is achieved without significant deformation of the article. These requirements determine, to a large extent, the firing temperature and the composition of the powder mixture that control the viscosity of the liquid.

The models for viscous sintering of a glass predict that the densification rate depends on three major variables: the surface tension γ_{sv} of the glass, the viscosity of the glass, and the pore radius r .

Assuming that r is proportional to the particle radius a , then the dependence of the densification rate on these parameters can be written

$$\rho^{\circ} = \frac{\gamma_{sv}}{\eta a}$$

In many silicate systems, the surface tension of the glassy phase does not change significantly with composition and the change in surface tension within the limited range of firing temperatures is also small. On the other hand, the particle size has a significant effect, with the densification rate increasing inversely as the particle size. However, by far the most important variable is the viscosity. The dependence of the viscosity of a glass on temperature is well described by the equation:

$$\eta = \eta^{\circ} \exp\left[\frac{C}{T - T^*}\right]$$

The glass viscosity also changes significantly with composition. The rate of densification can therefore be increased significantly by changing the composition or some combination of these to reduce the viscosity. However, the presence of a large volume of liquid during

The Controlling Parameters of Vitrification

The amount of liquid formed at the firing temperature and the viscosity of the liquid must be such that the required density (commonly full density) is achieved within a reasonable time without the sample deforming under the force of gravity.

The amount of liquid required to produce full densification by vitrification depends on the packing density achieved by the solid grains after rearrangement. In systems, the use of a particle size distribution to improve the packing density with the occurrence of a limited amount of solution-precipitation means that the amount of liquid required for vitrification is commonly 25–30 vol%. In liquid-phase sintering, the formation of the liquid must be controlled to prevent sudden formation of a large volume of liquid that will lead to distortion of the body under the force of gravity.

We require a high enough densification rate of the system so that vitrification is completed within a reasonable time (less than a few hours) as well as a high ratio of the densification rate to the deformation rate so that densification is achieved without significant deformation of the article. These requirements determine, to a large extent, the firing temperature and the composition of the powder mixture that control the viscosity of the liquid.

The models for viscous sintering of a glass predict that the densification rate depends on three major variables: the surface tension γ_{sv} of the glass, the viscosity of the glass, and the pore radius r .

Assuming that r is proportional to the particle radius a , then the dependence of the densification rate on these parameters can be written

$$\rho^{\circ} = \frac{\gamma_{sv}}{\eta a}$$

In many silicate systems, the surface tension of the glassy phase does not change significantly with composition and the change in surface tension within the limited range of firing temperatures is also small. On the other hand, the particle size has a significant effect, with the densification rate increasing inversely as the particle size. However, by far the most important variable is the viscosity. The dependence of the viscosity of a glass on temperature is well described by the equation:

$$\eta = \eta^{\circ} \exp\left[\frac{C}{T - T^*}\right]$$

The glass viscosity also changes significantly with composition. The rate of densification can therefore be increased significantly by changing the composition or some combination of these to reduce the viscosity. However, the presence of a large volume of liquid during

vitrification means that if the viscosity is too low, the sample will deform easily under the force of gravity. Thus the rate of densification relative to the rate of deformation must also be considered. If the ratio of the densification rate to the deformation rate is large, densification without significant deformation will be achieved.

The deformation rate is related to the applied stress and the viscosity by the expression:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\sigma}{\eta}$$

في معظم الأنظمة السيراميكية المتعلقة بالسليكا والشد السطحي للفقرات الزجاجية

لا يتغير بشكل ملحوظ مع التغير بالتركيب والشد السطحي ومع معدلات محدودة من الحرارة ومن ناحية أخرى الحجم* الجسيم له تأثير ملحوظ على معدلات التكتيف التي تزداد بشكل عكسي مع زيادة الحجم الجسيم. من العوامل الأكثر تأثيراً هو تأثير اللزوجة وتحسب بالاعتماد على لزوجة الزجاج وعلى درجات الحرارة بشكل كامل.

* تأثير الشد السطحي

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{C}{T - T_0}\right)$$

للزوجة السائل المصيب للتبلد

273

لزوجة الزجاج تتغير بشكل ملحوظ مع التركيب ومعدل التكتيف يزداد مع تغير التركيب أو بعض المركبات التي تقل اللزوجة. وجود حجم سائل كبير أثناء التزجيج يعني أن اللزوجة جداً قليلة، الجسم يتحول بسهولة تحت تأثير الجاذبية وكذلك معدلات التكتيف نية إلى معدلات التسو تأخذ بنظر الاعتبار. إذا كان معدل التزجيج إلى معدل التسو كبير يحدث تكتيف عالي مع تسو قليل. معدل التسو يرتبط بالاجتهاد و اللزوجة عن طريق المعادلة الآتية

$$\dot{\epsilon} = \frac{\sigma}{\eta}$$

معدل التسو أثناء التزجيج

LeenafabSi