

تابعية مكونات المساحيق النانوية لأكاسيد الألمنيوم والحديد المتشنتة لدرجة حرارة الشعلة الغازية الطبقية

الدكتور علي محمد سعد*

(تاريخ الإيداع 8 / 5 / 2011. قُبِلَ للنشر في 1 / 11 / 2011)

□ ملخص □

تعتمد التقنية المستخدمة في العمل على تركيب تشنتي لمزيج غازي مستعلق لمسحوق مادة العينة يحترق في وسط مؤكسد للحصول على خلائط ومساحيق جديدة تحتوي على جسيمات عالية التشنت وذلك بطريقتين: الأولى بتقديم المزيج المخلوط مسبقاً مع المؤكسد إلى منطقة الاحتراق. الثانية بمزج العناصر المختلفة في الوقت نفسه مع بدء عملية الاحتراق.

بتحليل نواتج الاحتراق لأكسيد الألمنيوم تبين أن هناك نموذجين بحسب الحجم: الأول الأكثر نعومة ويشكل 10%، والثاني قليل التشنت ويشكل 90% وتزداد حتى 97% بزيادة الأوكسجين بنسبة 3%. أما في حالة احتراق مسحوق الحديد فكان وفقاً لنموذجين بحسب حجم جزيئات مسحوق الحديد: الأول قياس جزيئاته $0.05 \mu m$ وهو عبارة عن الأكسيد التام $Fe_2 O_3$ والآخر قياس جزيئاته $0.8 \mu m$ وهو عبارة عن $Fe_3 O_4$.

الكلمات المفتاحية: شعلة طبقية ثنائية الطور ، مزيج غازي مستعلق ، لهب المزيج المخلوط مسبقاً للهب الانتشاري، تيار ثنائي الطور، مشعل أسطوانى متحد المركز.

* أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Subordinate Components of Nano-powders of Aluminum and Iron Oxides Scattered from the Temperature of the Laminated Gas Flame

Dr. Ali Saad*

(Received 8 / 5 / 2011. Accepted 1 / 11 / 2011)

□ ABSTRACT □

The technique used in this work depends on the scattered installation of a suspension of combination of gas of powder material sample burning in the middle of oxidizer for new alloys and powders containing particles of high scattering. This is done in two ways: first, by providing pre-mixed mixture with the oxidizer to the combustion area; second, by mixing the different elements at the same time with the start of the combustion process. Analysis of combustion products of aluminum oxide shows presence of two forms by size: the first, softer and constitutes 10%; the second, little dispersion, and constitute 90% and increased to 97% oxygen, up by 3%. As for combustion of iron powder, it was done according to two models based on size of particles of iron powder: one, measurement of molecules is $0.05 \mu m$. It is a full oxide $Fe_2 O_3$, and the other is the measurement of fractions $0.8 \mu m$. It is a $Fe_3 O_4$.

Keywords: Stratified two-phase flame, Gas mixture suspension, Mix premixed flame, diffusion flame, Diphasic, Concentric cylindrical burner.

*Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة:

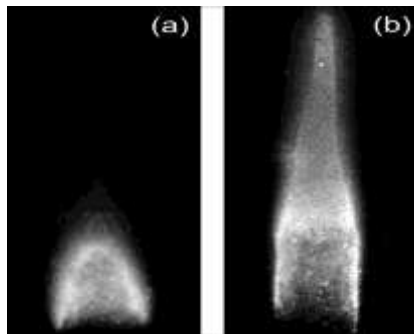
يتطلب تطور التقنيات العلمية للحصول على خلائط جديدة للمواد المختلفة إيجاد تقنية رخيصة التكاليف وذلك للحصول على جسيمات عالية التشتت وعلى مساحيق فائقة النعومة تمتد أبعاد حبيباتها من واحد ميكرومتر إلى مائة ميكرومتر.

تعتمد هذه التقنية على تركيب غازي تشتتي يتكون من مزيج غازي معلق لمسحوق المادة المعتبرة (خليط ميكانيكي للمواد) يحترق في وسط مؤكسد ، تنتظم من أجله الشعلة الطباقية ثنائية الطور. يمكن تمييز نوعين للهب يرتبطان بطريقة إدخال عناصر التفاعل إلى منطقة الاحتراق:

1. **لهب المزيج المخلوط مسبقا** في هذه الحالة يخلط المزيج الغازي للمسحوق المعدني بالمؤكسد (الأكسجين) ويُدخل الخليط الناتج إلى منطقة الاحتراق ويتميز هذا اللهب بانقاد متزايد في الاحتراق الذي ينتشر من المزيج بسرعة ما.

ترتبط آلية انتشار اللهب بإصدار الحرارة الناتجة عن التفاعل الكيميائي وبتوزيعها في منطقة التسخين. إن تشكل مثل هذا اللهب ينجم عنه مشكلة تقنية معقدة في حالة استخدام وقود ذي طاقة كبيرة (من أجل مسحوق الزركونيوم تصل درجة حرارة الاحتراق إلى 3000K).

يساعد الإصدار الكبير للحرارة على الانتشار السريع لجبهة الاحتراق في تيار المزيج الغازي، لذلك فإن سرعة إدخال مزيج الوقود إلى منطقة التفاعل يجب أن تتناسب بدقة مع سرعة الاحتراق وهكذا وبالتحديد يجب أن تستخدم اللهب ذا الوقود المخلوط مسبقا للحصول على مساحيق نانوية قياس حبيباتها أصغر من 100nm. وبالتالي لزيادة كتلة المسحوق النانوي في نواتج الاحتراق يجب زيادة كمية الأكسجين في المزيج حتى 50%. ومن أجل زيادة الأمن التقني في أثناء احتراق مسحوق المادة في المزيج الغازي الغني بالأكسجين ، استخدم تصميم خاص لفوهة الاشتعال لايسمح بانزياح منطقة الاحتراق بالنسبة لمنطقة تجمع الجسيمات المتكاثفة للأكسيد، فمثلا: يستخدم المنفذ المبرد الذي يوجه الحرارة من منطقة التسخين ولا يسمح بانتشار اللهب كما يبين الشكل (1).



الشكل (1) : (a) صورة اللهب المخلوط مسبقا.

(b) صورة اللهب المنتشر.

2. النوع الثاني هو الشعلة الطباقية ثنائية الطور أي اللهب المنتشر، وفي هذه الحالة يتشكل المزيج المستعلق الغازي لمسحوق المادة في وسط حامل ويُضخ إلى منطقة الاحتراق بمعزل عن المؤكسد . تجري عملية الاحتراق في هذه الحالة بنفس الوقت مع عملية مزج العناصر ، التي تعتبر شرطا ضروريا لحدوث التفاعل الكيميائي ، وكالمعتاد سرعة التفاعل الكيميائي تتجاوز سرعة الانتشار، حيث يعتبر تمازج المواد محدودا ولذلك يدعى باللهب المنتشر.

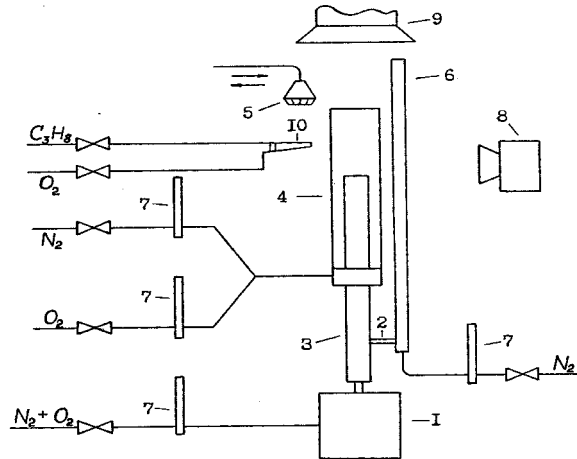
نشير هنا إلى أن اللهب الانتشاري يتّصف بمنطقة احتراق دقيقة وواضحة المعالم تزيد بعدة مرات على منطقة احتراق اللهب الممزوج مسبقاً. تتشكل جبهة اللهب الانتشاري كسطح مغلق و تقسم منطقة التفاعل إلى منطقتين:- منطقة الوقود ومنطقة المؤكسد حيث تلاحظ نواتج الاحتراق والتي تنتشر من جبهة اللهب في كلتا المنطقتين. يستخدم اللهب الانتشاري في أثناء حرق مساحيق المواد للحصول على مساحيق الأوكسيد ذات الحبيبات الخشنة بقياس أكبر من μm 1 . يعتبر المخطط التقني لإنتاج اللهب الانتشاري أكثر بساطة من مخطط إنتاج اللهب الممزوج مسبقاً لأنه في هذه الحالة لا تستطيع جبهة الاحتراق الاختلاط مع تيار المزيج الغازي لكنها تتوضع في منطقة اختلاط العناصر المصممة بحيث تشترك مع منطقة تجمع نواتج الاحتراق .

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا العمل إلى قياس تشتت مكونات جزيئات أوكسيد الألمنيوم والحديد في اللهب بتابعية درجات الحرارة المختلفة، لتأمين هذه المساحيق بقياساتها المختلفة وفق المتطلبات الصناعية المتعددة .

طرائق البحث ومواده:

يجب إيجاد تصميم يؤمن تيار ثنائي الطور مستقر خلال زمن التجربة وإمكانية استمرار القياسات المرجوة بخصوص تركيز الوقود في المزيج الغازي ، وتوفير تركيب جزيئي دقيق بشكل كافٍ لمسحوق الوقود المدروس. إضافة إلى ذلك تأمين إمكانية وصف بنية اللهب من حيث قياس درجة الحرارة وكثافة المركبات الغازية وتوزيع السرعات في كافة أنحاء الحقل المتأثر بالتيار ثنائي الطور. استناداً إلى ما سبق ذكره كان تصميم المحطة التجريبية التي تسمح بالحصول على شعلة طبقية ثنائية الطور انتشارية مستقرة ممزوجة مسبقاً بعد نفاذ الوقود الغازي. تتألف العناصر الأساسية للمحطة كما يبين الشكل (2) من: مشعل أسطواني متحد المركز، وحدة تقديم المسحوق وتذريته، منظومة الضخ 3 و4- مشعل أسطواني متحد المركز . 5- مخلية هواء مع فلتر 6- أنبوية نافثة 7- مقياس تدفق الغاز. 8- كاميرا تصوير 9 - منظومة تهوية 10- مشعل برويان -أوكسجين.



الشكل (2): المخطط الصندوقي للمحطة التجريبية

1- وحدة تقديم المسحوق وتذريته 2- منظومة الضخ 3 و4- مشعل أسطواني متحد المركز .

5- مخلية هواء مع فلتر 6- أنبوية نافثة 7- مقياس تدفق الغاز. 8- كاميرا تصوير 9 - منظومة تهوية 10- مشعل برويان -أوكسجين.

المشعل عبارة عن أنبوية معدنية 3 طولها 0.7m وقطرها الداخلي 0.028m وضعت عمودية تماماً وفي قسمها السفلي ركب معبر مخروطي الشكل بزاوية انفراج صغيرة يصلها بوحدة التغذية بالمسحوق والذي يؤمن تياراً مستمراً من

المزيج الغازي وبشكل منتظم في كافة أنحاء الأنبوبة [1]. توضع مع الأنبوبة السابقة أنبوبة أخرى متمحورة معها و متحركة 4 من زجاج الموليبدنيوم بطول 0.5m وقطر داخلي 0.056m. يضخ الوقود الغازي المتشتمت في الأنبوبة الداخلية، وبواسطة الفراغ المتشكل بين الأنبوبتين الداخلية والخارجية يضخ الغاز المؤكسد. تسمح منظومة مقاييس تدفق الغاز و مفاتيح الغاز الابرية بتغيير ضخ الأوكسجين ضمن المجال 0.03-0.95. تتحدد كمية الحصص المولية للمؤكسد في المزيج بمحلل الغاز ORC وخطأ القياس يقارب 0.5% .

تسمح منظومة الضخ 2 بمعايرة السرعة الحجمية للغاز الحامل (المضخوخ) وبالتالي معايرة السرعة الحجمية لمسحوق المزيج الغازي ، ويتم الضخ بمساعدة أنبوبة نحاسية بقطر داخلي 6mm وضعت وفق محور القسم السفلي للأنبوبة 3 وتوصل بالفوهة الغازية. يستخدم المشعل النموذجي بروبان-أوكسجين 10 من أجل إشعال المزيج الغازي عند خروجه من الأنبوبة 3 .

يعتبر إيجاد تيار ثنائي الطور متجانس مع بارامترات منتظمة من إحدى المشكلات الرئيسة لدى الدراسة التجريبية لاحتراق المزيج الغازي.

تعتمد طريقة إيجاد تيار كهذا على نوع التجربة المنجزة وعلى المجالات المطلوبة لقياس كمية التركيز الكتلي وقياس جزيئات المزيج الغازي وخواص المسحوق نفسه ، وتعتبر طريقة الاستهلاك المنظم للتيار ثنائي الطور من الطرق المعروفة و الأكثر فعالية لتشكيل المزيج الغازي في التجارب التي تتميز بلهب مستقر على مقطع الشعلة.

تقسم الطرق المستمرة بحسب طريقة تشكل المزيج الغازي إلى مجموعتين:

(1) طريقة التغذية بالمسحوق بغاز مستقر وإرسال المسحوق بدفعات في التيار الغازي.

(2) طريقة التشثيت بمساعدة التيار الغازي الجاري (المار) على طبقة المسحوق . هناك وصف تفصيلي للأجهزة

ومميزات العمل ومبادئه وطرقه مبينة في الأبحاث [2-5].

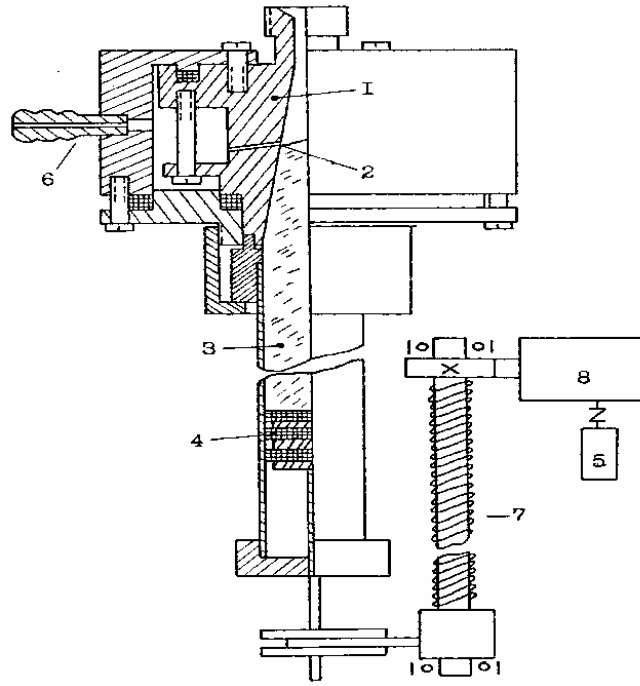
في الحالة الأولى يعطى المسحوق عادة للثذرية بالاهتزاز أو بأي طريقة أخرى . وفي الحالة الثانية تستخدم على الأغلب عملية ضخ المسحوق بالتيار الناشئ عن الطبقة السطحية التي تتفوق لمساعدة اهتزاز جدار الوعاء مع المسحوق أو دوامات الغاز الضعيفة في طبقة المسحوق.

بغض النظر عن الاستخدام الواسع للطرق المذكورة أعلاه يلاحظ وجود مجموعة من العيوب الجوهرية المهمة عند إيجاد المزيج الغازي في أثناء دراسة عمليات الاحتراق في الحالات التشثيتية. مثلا : إن تغذية المسحوق بالاهتزاز لا تسمح بالحصول على تيار مستقر من المزيج الغازي ضمن مجال واسع للتركيز الكتلي للوقود، ولا تؤمن انتشار تجمعات الجزيئات الصغيرة (أقل من 15 μ m) في أثناء التغذية، كذلك لا تعمل التغذية بشكل منتظم بسبب التصاق المسحوق الناعم على المغذية، ثم إن التغذية من الطبقة الفائرة تترافق بفرز الجسيمات وفق الحجم وتغير التركيز الكتلي للطور الصلب مع الزمن وهذا يقود إلى صعوبة معايرتها .

يعتبر العيب العام لكل الطرق المذكورة أعلاه هو الاستهلاك الكبير للغاز الحامل، الذي يؤدي لتقليل (لتصغير)

مجال تغير بارامترات المزيج الغازي التي عندها تتشكل شعلة مستقرة بدون استخدام منظومات خاصة .

تمت مراعاة العيوب الملحوظة في المخططات من أجل إيجاد تيار مستقل للمزيج الغازي حيث تم تصميم وحدة تغذية جديدة لرش المسحوق كما في المخطط المبين على الشكل (3). وكذلك أنجز البخاخ على شكل كاس أسطوانية يدخل فيها المسحوق ومكبس متصل بناقل لولبي مع محرك كهربائي للتيار المستمر يؤمن إمكانية الحركة السلسة المنتظمة للمكبس واستقرارها.



الشكل (3): وحدة تغذية وتذرية المسحوق

1-مقطع جانبي لحجرة التذرية 2-فتحة حلقيّة 3-كأس ماء المسحوق 4-مكبس بلباد مضغوط و حلقات بلاستيك فلوري .

5-محرك كهربائي . 6-صمام للتغذية بالغاز . 7-نابض حلزوني . 8-محول سرعة .

المرش عبارة عن حجرة مخروطية قابلة لللفك و التركيب (ضرورية لتكثيف المسحوق) لها فتحة دائرية يقدر قطرها تقريبا بنصف طولها ، سماكتها تقريبا $30\mu\text{m}$ يقدم من خلالها الغاز. تتم عمليتي التجزئة والتذرية باستمرار على النحو التالي: يتحرك المكبس بسرعة ثابتة ويقدم المسحوق إلى الحجرة بشكل منتظم حيث يخرج تيار التشتت بسرعة كبيرة عبر الفتحة الحلقيّة ويحمل من خلال المخروط إلى أنبوبة المشعل. تتم عملية تحطيم تجمعات الجزيئات أو تفكيكها بسبب السرعة العالية للغاز الحامل لدى خروجه من الفتحة الحلقيّة. إن السرعة الكتلية للتغذية بالوقود وبالتالي التركيز الكتلي يتغيران بحسب تغير سرعة حركة المكبس.

يبين اختبار منظومة التغذية والتذرية على مساحيق مختلفة التشتتية أنها تؤمن المسحوق والمزيج الغازي بشكل منتظم ومتساو في كافة مقاطع المشعل وتسمح المنظومة بشكل ملموس بفرز الجزيئات في مجال واسع وفق إعادها (نصف القطر) من مرتبة عشرات النانومتر إلى عشرات الميكرونات. من السهل إعادة إنتاج الكمية اللازمة من التركيز الكتلي للمعدن والمحافظة على استهلاك ثابت للمزيج الغازي مع تركيز كتلي للمسحوق $(50-550)\text{mg/L}$.

طريقة القياس :

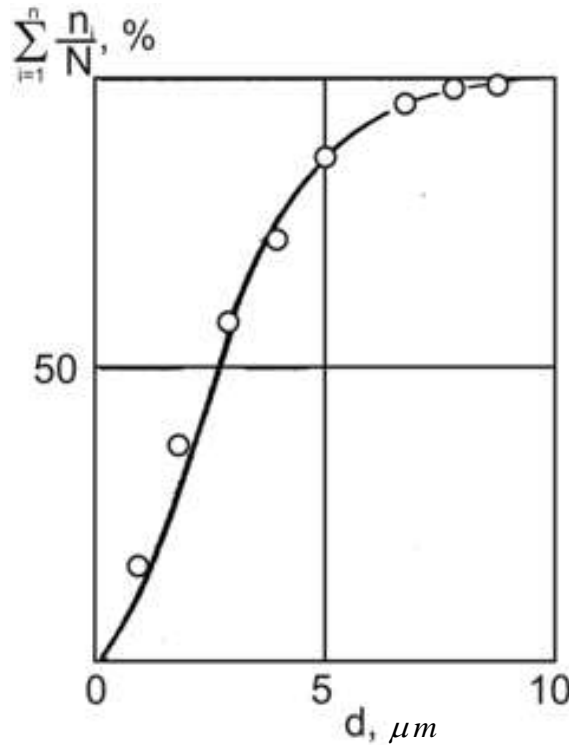
من أجل تحديد المحتويات التشتتية لنواتج الاحتراق أخذنا عينات عن الأسطوانة الزجاجية التي أدخلناها في تيار الوقود المؤكسد على مسافة 10-15 cm عن ذروة المشعل ، وبنسبة التبريد الحراري جرت عملية ترسيب فعالة لجزيئات الأوكسيد على سطح الأسطوانة، يجمع الأوكسيد المترسب عن الأسطوانة الزجاجية ويوضع في أوعية محكمة الإغلاق، حيث تحفظ العينات حتى يتم تحليلها ، أنجز التحليل التشتتية لنواتج احتراق باستخدام المجهر الضوئي الإلكتروني (التكبير الأعظمي $80000 \times$). حددت درجة حرارة جزيئات الرماد في الشعلة بطريقة التحليل الطيفي المتعدد باستخدام معادلة فين من أجل الجسر الضوئي الطيفي Γ_λ . من أجل ذلك رسمنا الخط البياني

$\ln(\Gamma_\lambda \cdot \lambda^5)$ بتابعية مقلوب طول الموجة $1/\lambda$. في مجال الطول العكسي للأمواج ، حيث إن هذا المنحني يمثل خطأ مستقيماً، اعتبر مبدأ القياس مجهولاً الأمر الذي سمح بتحديد درجة الحرارة الحقيقية $T = 1740 \pm 50 K$ من ظل زاوية ميل المستقيم .

طبقت من أجل تحديد تركيز الجزيئات المتكاثفة طريقة تبديد الإشعاع التي ينحصر جوهرها في أن الامتداد المحدد تجريبياً للمناطق الإشعاعية من التوزع القطري للتيارات الضوئية المعبر عنها بالوحدات المطلقة والمعالجة بواسطة التحويل ، حددت القيم المطلقة للجسر الضوئي الطيفي بطريقة مقارنة التيارات الضوئية باستخدام لمبة شريطية من الويليفرام CU 10-300 كمنبع للمقارنة وتمت الدراسة في المجال الطيفي 400-1100 nm. قيست درجة حرارة شعلة الطور الغازي بطريقة تحويلها إلى خطوط طيفية بحسب المنهجية القياسية [6].

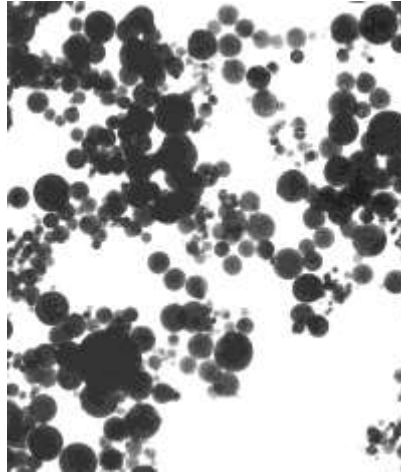
النتائج والمناقشة:

أجريت التجارب باستخدام مسحوق الألمنيوم الصناعي كوقود تشتتي. التوزع التكاملي للجزيئات وفق قياساتها مبين على الشكل (4) .

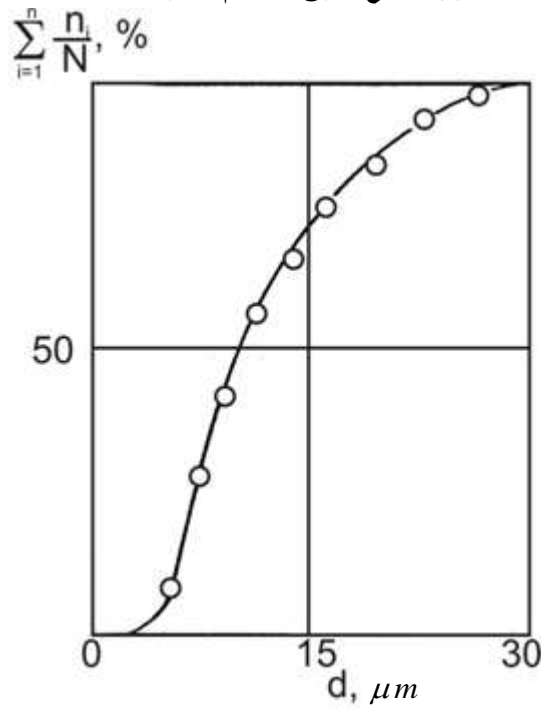


الشكل (4): التوزع التكاملي لجزيئات الألمنيوم وفق قياساتها.

تبين في أثناء احتراق جزيئات الألمنيوم في اللهب الطبقي ثنائي الطور الانتشاري المستقر بتحليل نواتج الاحتراق أنه يتشكل في أثناء الاحتراق جزيئات كروية من أكسيد الألمنيوم تتوزع وفق الحجم إلى نموذجين. إن صورة نواتج الاحتراق مبينة على الشكل (5). النموذج الأول يشكل تقريباً 10% من الكتلة الكلية للعينّة يمكن تقسيمه إلى ثلاثة أجزاء : 88% - منها تشكل تجمعات الجزيئات الأكثر نعومة والاحتمال الأكبر لقياساتها $\sim 12.7 \mu m$ ؛ 10% - أكثرها كرات ألمنيوم الاحتمال الأكبر لقياساتها $\sim 6.2 \mu m$ ؛ 2% - جزيئات ألمنيوم تحترق تماماً الاحتمال الأكبر لقياساتها $\sim 8.7 \mu m$. التوزع التكاملي لجزيئات الألمنيوم للنموذج الأول مبين على الشكل (6).

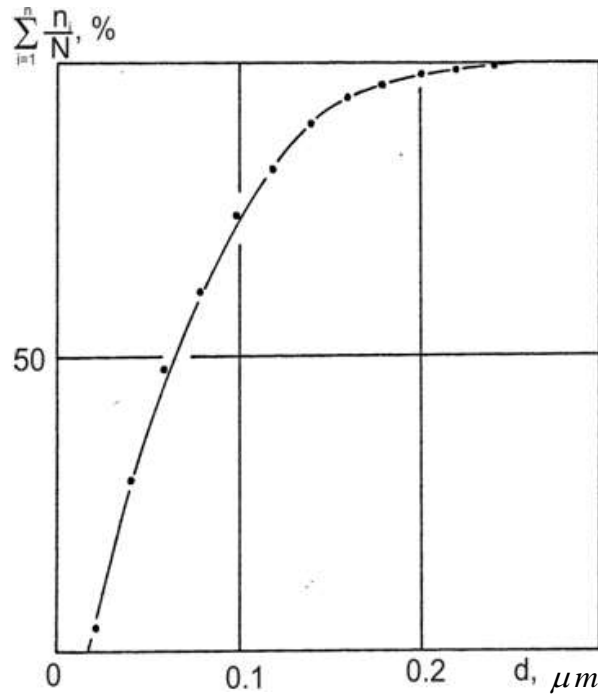


الشكل (5): نواتج احتراق الألمنيوم بتكبير 32700 X



الشكل (6): التوزيع التكاملي لجزيئات النموذج الأول وفق قياساتها

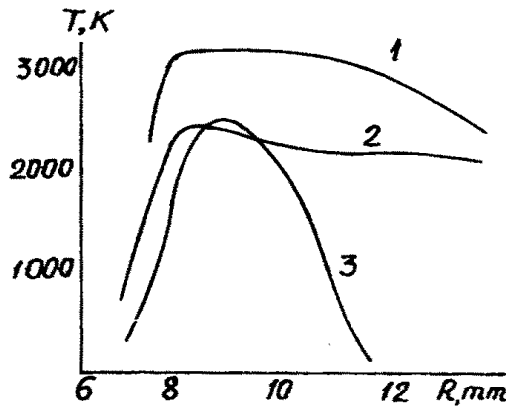
النموذج الثاني: عبارة عن أكسيد الألمنيوم فوق ألتشتتي وبشكل ~ 90% من الكتلة الكلية للعينة. التوزيع التكاملي للجسيمات وفق قياساتها من أجل النموذج الثاني مبينة على الشكل (7).



الشكل (7): التوزيع التكاملي لجزيئات النموذج الثاني وفق قياساتها

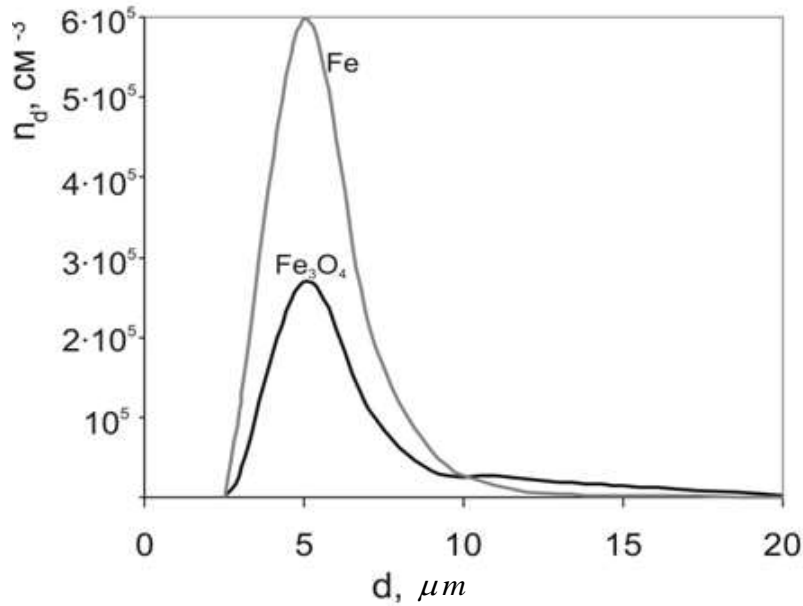
توزع درجة الحرارة على جبهة الشعلة الطبقيّة ثنائية الطور الانتشارية مبينة على الشكل (8). في المرحلة الثانية من التجربة كان قد أضيف إلى جزيئات الغاز الحامل و الألمنيوم 3% أوكسجين، بحيث جعلت الشعلة مخلوطة مسبقاً بشكل جزئي، أدى ذلك إلى زيادة درجة حرارة الطور التشتتي تقريباً بحدود 110 K وذلك لم يغير من التركيب التشتتي لنواتج الاحتراق، إلا أنه ازدادت نسبة كتلة النموذج الثاني حتى 97% . بهذا الشكل يمكن أن نستنتج أن زيادة درجة حرارة الشعلة يؤدي إلى تزايد محتوى نواتج الاحتراق من الجزيئات القليلة التشتت.

بما أن درجة الحرارة العالية للشعلة المخلوطة مسبقاً خطرة جداً بسبب إمكانية انتقال اللهب من منطقة التفاعل إلى منطقة تحضير الخليط، أجريت التجارب اللاحقة باستخدام مسحوق الحديد، الذي يجعل درجة الحرارة أقل للشعلة [7].



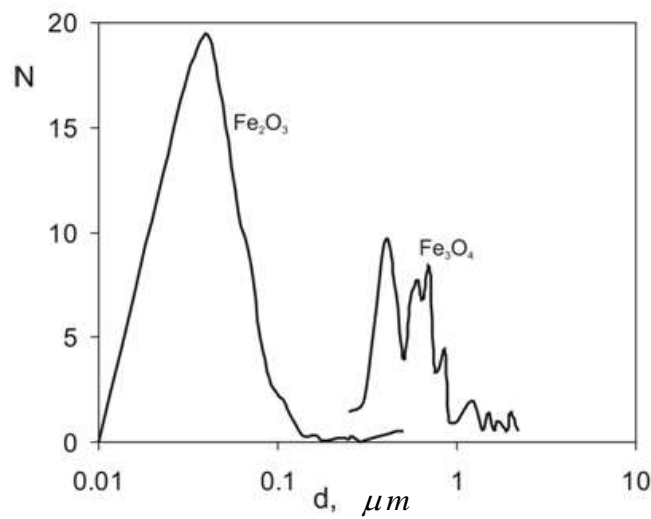
الشكل (8): توزع درجة الحرارة على جبهة اللهب
1. طور التكايف؛ 2 . درجة حرارة الغاز؛ 3 . تركيز أكسيد الألمنيوم

أدى احتراق مسحوق الحديد في اللهب الانتشاري لتشكيل نواتج الاحتراق التي تبين محتوياتها التشتتية على الشكل (9).



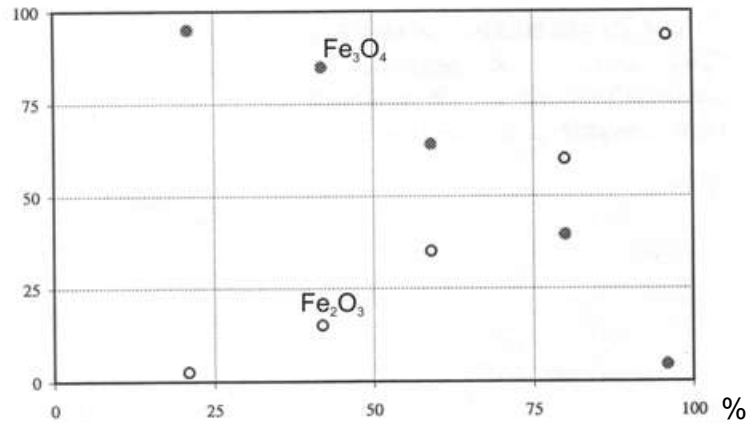
الشكل (9): منحنى توزيع مسحوق الحديد لنواتج الاحتراق في اللهب الانتشاري.

في هذه الحالة تحترق جزيئات الحديد بشكل غير متجانس أي يتم التأكسد على سطح الجزيئات لذلك الحجم الوسطي لجزيئات مسحوق الحديد في نواتج الاحتراق أكبر منها قبل الاحتراق. أما احتراق مسحوق الحديد في اللهب المخلوط مسبقاً حيث تشكل كتلة الأوكسجين 75% أدى إلى تشكل نموذجين لتوزيع جزيئات أكسيد الحديد، أحدهما القياس الوسطي لجزيئاته $\sim 0.05 \mu m$ هو عبارة عن أكسيد تام Fe_2O_3 ، والثاني القياس الوسطي لجزيئاته $\sim 0.8 \mu m$ هو عبارة عن Fe_3O_4 . منحنيات التوزيع النموذجي لنواتج الاحتراق مبينة على الشكل (10).

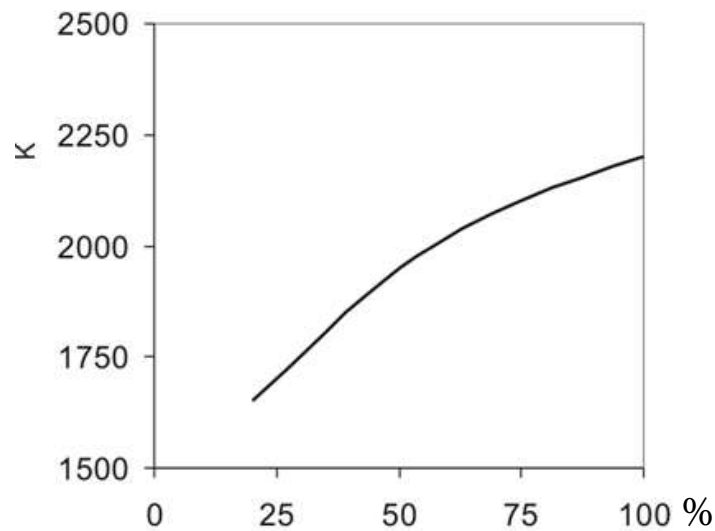


الشكل (10): منحنى توزيع نواتج احتراق مسحوق الحديد في اللهب المخلوط مسبقاً.

تغير كمية الأوكسجين في اللهب المخلوط مسبقا يؤدي إلى تغير درجة حرارة الشعلة وإعادة توزيع الكمية النسبية فيما بين النماذج التشتتية. الشكل (11). يبين محتوى الجسيمات الدقيقة التشتتية Fe_2O_3 و الجسيمات الكبيرة التشتتية Fe_3O_4 بتابعية استهلاك الأوكسجين.



الشكل(11): تابعية كمية الأكسيد التشتتي الناعم Fe_2O_3 وكمية الأكسيد التشتتي الخشن Fe_3O_4 لكمية الأوكسجين.



الشكل.12. تابعية درجة حرارة الطور المتكاثف لتركيز الأوكسجين

تغير درجة الحرارة بتابعية تغير كمية الأوكسجين مبينة على الشكل السابق وعليه فإن تزايد كمية الأوكسجين في اللهب المخلوط مسبقا يؤدي إلى زيادة درجة حرارة جزيئات الأكسيد التشتتية الناعمة و مضاعفة كميتها في نواتج الاحتراق .

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- زيادة درجة حرارة الشعلة يؤدي إلى زيادة محتوى نواتج الاحتراق من الجزيئات القليلة التشتت.
 - 2- زيادة الأوكسجين بنسبة 3% يؤدي إلى زيادة كمية الجزيئات قليلة التشتت.
 - 3- تحترق جزيئات الحديد بشكل غير متجانس مما يؤدي إلى تشكل نواتج احتراق ذات جزيئات أكبر منها قبل الاحتراق في اللهب الانتشاري.
 - 4- تزايد كمية الأوكسجين في حالة احتراق الحديد يؤدي إلى زيادة درجة حرارة جزيئات الأوكسيد التشتتية الناعمة ومضاعفة كميتها.
- بناء على النتائج التي توصلنا إليها يمكن إجراء الدراسة على مزيد من المساحيق المختلفة والحصول على مساحيق أكثر تشتتاً حسب الحاجات الصناعية المختلفة.

المراجع:

- [1] KHITRIN L.N. M.: MSU, 1957- *Physics of Combustion and explosion*, p. 442.
- [2] SHEVCHUK V.G., GOROSHIN S.V., AGEEV N.D. 1980, *The speed of flame propagation in gas suspensions of particles, Magnesium*, Physics of Combustion and explosion, V.16, No.1, p. 57-63.
- [3] CASSEL H.M. 1964, *Some fundamental aspects of dust flame*. US Dept. of the Interior Bureau and Mines. Report of Investigations..No.6551.P.1-51.
- [4] NEDIN V.V., NEIKOV O.D., ALEKSEEV A.G., KRIVTSOV V.A., KIEV: Naukova Dumka, 1971, p.118.
- [5] CASSEL G.M., DAS GUPTA A.K., GURUSWAMY C. 1953. *Factors, affecting the spread of flames in a cloud of dust, Burning Questions*. M.: Foreign. Literature.,- p.264-273.
- [6] VISHNYAKOV V. I., DRAGAN G. S., FLORKO A.V., JETP – 2008, *The Formation of Negatively Charged Particles in Thermo emission Plasmas* // V. 106, No. 1. – P. 182-186.
- [7] J. DOROSHENKO, N. POLETAEV and VISHNYAKOV V., 2009 – Iron dust cloud combustion plasma // Phys. Plasmas, - V.16, 094504.