

Effect of Pocket Height on Aluminum flow through zero-bearing extrusion dies to produce single solid profile using FEM Simulation

Mohammad Majed Altaieb

Almohannad Makki

Albaath University || Syria

Abstract: Extrusion is known as an industrial forming process for producing long sections with a fixed cross-sectional area and is often used to extrude colored metals, especially aluminum. The aluminum rods (Billets) are heated and pressed through a die to obtain the required profile. The research aims to study the effect of Pocket height when using zero bearing dies by modeling using the INSPIRE EXTRUDE METAL program package for a single rectangular section of 65 mm in length and 1.5 mm in width, and then to conduct experimental verification of the results by designing, manufacturing and testing a real mold in an aluminum extrusion factory that matches one of the molds Studied. As we studied a group of molds that have a Pocket so that the height of the pocket in them changes from zero (a reference flat die) to a height of 20 mm. The feeder design takes into account the homogenization of the flow across the studied section, which narrows in the center and widens at the edges. The measurement of the relative flow velocity at the front of the section was used as an indicator to analyze the results of the analytical experiment. The study showed that a certain height of the feeder of 10 mm must be maintained for the studied section. The FEM results and the practical experience were identical. This shows the importance of the FEM and its effectiveness in shortening the experimental work and that it can, to a large extent, save time and effort to manufacture, test and correct dies.

Keywords: Aluminum Extrusion Dies, Aluminum Flow, Pockets, Bearings, FEM Simulation.

تأثير ارتفاع المغذي على تدفق الألمنيوم عبر قوالب البثق ذات سطح الضبط الصفري لإنتاج مقطع مصمت مفرد بطريقة العناصر المنتهية

محمد ماجد الطالب

المهندس مكي

جامعة البعث || سوريا

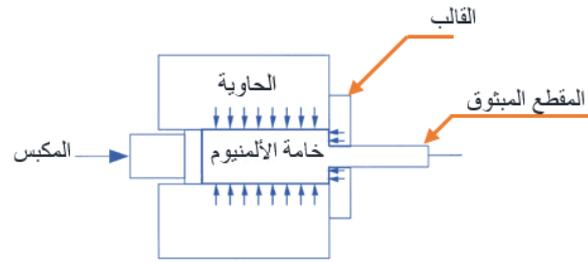
الملخص: تعرف عملية بثق بأنها عملية تشكيل صناعية لإنتاج مقاطع طويلة ذات مساحة مقطع عرضي ثابت وتستخدم غالباً لبثق المعادن الملونة وخاصة معدن الألمنيوم. إذ يتم تسخين قضبان الألمنيوم (الخامة) وتضغط عبر قالب للحصول على المقطع المطلوب. وقد هدف البحث لدراسة تأثير ارتفاع المغذي عند استخدام أسطح ضبط صفري عن طريق النمذجة باستخدام حزمة برنامج INSPIRE EXTRUDE METAL لمقطع مستطيل مفرد طوله 65 مم وعرضه 1.5 مم ومن ثم إجراء التحقق التجريبي من النتائج عبر تصميم وتصنيع واختبار لقالب حقيقي في أحد مصانع بثق الألمنيوم يطابق أحد القوالب المدروسة. إذ درسنا مجموعة من القوالب التي تملك مغذي بحيث يتغير ارتفاع المغذي فيها من الصفر (قالب مسطح مرجعي) وحتى ارتفاع 20 مم. ويراعي تصميم المغذي مجانسة التدفق عبر المقطع المدروس والذي يضيّق من المنتصف ويتوسع عند الحواف. وتم الاعتماد على قياس سرعة التدفق النسبية عند مقدمة المقطع كمؤشر لتحليل نتائج التجربة التحليلية. حيث أظهرت الدراسة انه يجب الحفاظ على ارتفاع معين للمغذي ومقداره 10 مم من أجل

المقطع المدروس. تطابقت النتائج التحليلية والتجريبية العملية وهذا يبين أهمية عملية الدراسة التحليلية وفعاليتها في اختصار العمل التجريبي وأنه يمكن ولحد كبير توفير وقت وجهد تصنيع وتجريب وتصحيح القوالب.

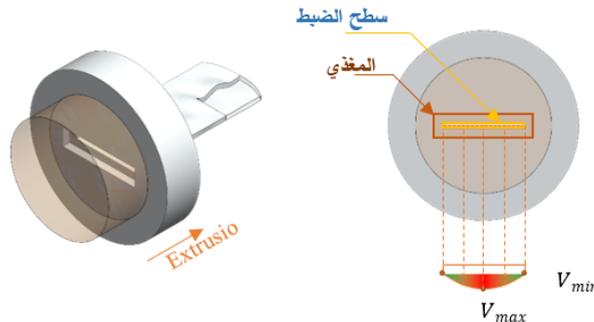
الكلمات المفتاحية: قوالب بثق الألمنيوم، تدفق الألمنيوم، مغذي، سطح الضبط الصفري، المحاكاة بطريقة العناصر المنتهية.

مقدمة

تعريف عملية البثق: هي عملية تشكيل تستخدم عادة لإنتاج مقاطع ألمنيوم ثابتة وطويلة من خامات اسطوانية، الشكل 1. يعتبر قالب البثق والذي يحدد شكل وأبعاد المقطع المبتثق الجزء المركزي في العملية وذلك بسبب أن كلاً من جودة المنتج ونتاجية البثق ومعدل الهدر يعتمد بشكل كبير على أداء القالب. وعند جريان المعدن عبر القالب فإن سرعة المبتثوقة على امتداد مقطعها العرضي تميل للاختلاف وذلك بسبب أن المعدن بعيداً عن المحور المركزي يميل للتدفق ببطء أكثر نتيجة الاحتكاك بين الخامة وجدران الحاوية. يصبح عدم التجانس في سرعة التدفق ذا أهمية عندما يزداد عرض المقطع المبتثوق، الشكل 2. إضافة إلى أن المعدن يميل في المناطق الأثخن في المقطع للتدفق أسرع من المناطق الضيقة. ويضغط المعدن المتدفق بشكل أسرع على المعدن الأبطأ وكنتييجة لذلك فإن المبتثوقة تميل لتلتوي أو تنحرف أو تنحني على طول المقطع المبتثوق عند خروجها من القالب. ويؤدي حدوث ذلك إلى تلف المنتج مؤدياً إلى خسارة بالمعدن والطاقة والقدرة البشرية ووقت الإنتاج ولذلك فإن تحقيق توحيد لسرعة الخروج غاية هامة لتصميم وتصحيح القالب.



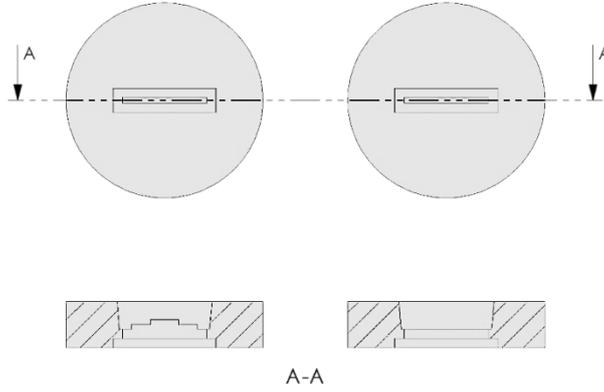
الشكل (1) عملية بثق الألمنيوم



الشكل (2) تختلف سرعة البثق على امتداد المقطع بسبب سهولة تدفق المعدن في المنتصف

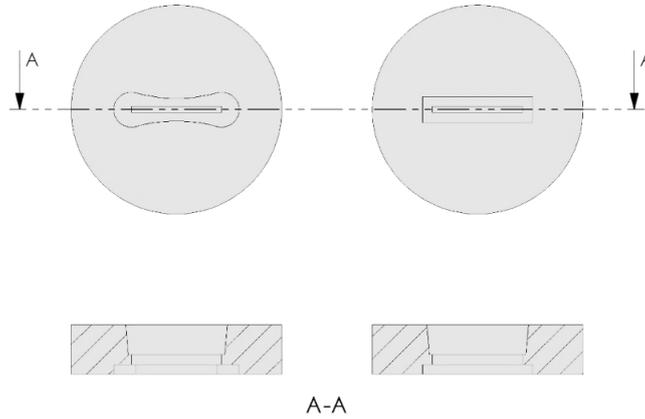
يوجد عدة طرق لتنظيم تدفق المعدن عبر القالب (Lotzenhiser, 1977). يمكن استخدام الاحتكاك مع أسطح الضبط لإعاقة جريان المعدن أو تسهيله. حيث يمكن تخصيص أطوال مختلفة لأسطح الضبط عند مناطق مختلفة في القوالب المسطحة. تقصير طول أسطح الضبط في مواضع معينة يؤدي لزيادة سرعة الجريان وعلى العكس فإن زيادة طول أسطح الضبط في مواضع أخرى من شأنه تقليل سرعة التدفق، الشكل 3. أو بدلا من ذلك يمكن خنق فتحة القالب في المقدمة والذي من شأنه إبطاء جريان المعدن أو إراحة الفتحة القالب من الخلف لتسريع تدفق المعدن. وتعتبر طريقة تغيير أطوال أسطح الضبط طريقة فعالة في الحقيقة لتنظيم جريان المعدن. ومع ذلك

فإن مزيد من الحرارة الناتجة عن الاحتكاك مع أسطح الضبط في منطقة معينة غالباً ما يحد من سرعة البثق المسموحة ويقلل من عمر القالب. إضافة إلى زيادة إمكانية حصول تشوه في سطح الميثوقة ناتج عن التفاعل بين الألمنيوم الساخن وأسطح ضبط القالب. على أي حال فإن المعوقات الفعلية لهذه الطريقة هي صعوبة تصميم وتصنيع هذه القوالب وتصحيحها. وتصبح أكثر صعوبة عندما يعنى القالب بإنتاج مقطع رقيق واسع الجدران بسبب ضيق فتحة القالب وبالتالي صعوبة تصنيع أسطح الضبط.



الشكل (3) يمكن تغيير طول سطح الضبط لمجانسة سرعة البثق على امتداد المقطع

يمكن إضافة مغذي في مقدمة القالب كطريقة أخرى لتنظيم تدفق المعدن، الشكل 4. حيث يصمم المغذي أساساً لتصنيع مقاطع طويلة ومستمرة عن طريق لحام الخامة اللاحقة عرضياً مع الخامة المتبقية في المغذي. وبهذه الطريقة تتم عملية البثق بأسلوب نصف مستمر مؤدية لتخفيض الوقت الضائع وزيادة الإنتاجية. ويمكن أيضاً استخدام المغذي لتنظيم جريان المعدن. كما يصبح أكثر فاعلية عندما يستخدم في قالب متعدد التجايف. خلال جريان المعدن في القوالب ذات المغذي فإنه يشكل مسبقاً في المغذي وتصبح سرعته قابلة للتحكم قبل وصول المعدن إلى أسطح الضبط. يمكن أن يعدل المصمم القالب حجم أو موضع أو حجم المغذي أو أن يعدل في زاوية الدخول للمغذي ليحقق تجانس في سرعة خروج الميثوقة.



الشكل (4) يمكن إضافة مغذي بشكل مناسب لموازنة التدفق على امتداد المقطع

يمكن اعتبار القوالب المسطحة ذات المغذيات أسهل من ناحية التصنيع والتصحيح إذا ما قورنت مع القوالب ذات أسطح الضبط المتغيرة. ولذلك فإن هذه الطريقة غالباً ما تكون مرغوبة ومفضلة. ويعتبر في بعض الأحيان تأثير المغذي أضعف من تأثير أسطح الضبط في تنظيم جريان المعدن. وتصبح المغذيات مفيدة خصيصاً عندما تكون الحاجة لتصنيع مقاطع رقيقة واسعة الجدران كما هو الحال في المثال المدروس في هذا البحث. ومع ازدياد الطلب الواضح للمقاطع الرقيقة في سوق مقاطع الألمنيوم أخذت المغذيات موضع مهم في عال القوالب

المصمتة. إضافة إلى أن المغذي يمكن أيضا أن يوسع جريان المعدن في المغذي بدائرة قطرها أكبر من القطر الداخلي للحاوية (Duplancic, 2000). عندما يتم تصميم مغذي مناسب ل قالب ما فإن طول أسطح الضبط يجب أن يبقى ثابت وأقصر ما يمكن. وبمعنى آخر فإنه يتم الغاء التفاوت في طول أسطح الضبط ويكون لل قالب طول موحد لأسطح الضبط، مما يزيد من سرعة البثق المسموح بها وجودة سطح المبتوحة. (Rodriguez and Rodriguez, 1992, 1999). يتم تصميم ارتفاع المغذي في هذه القوالب لغرض دراسة تأثيره على سرعة التدفق عند مخرج القالب. ويقترح استخدام تقنية أسطح الضبط الصفيرية (في الواقع تملك أسطح ضبط قصيرة وثابتة على امتداد المقطع ولكن دورها صفري في مجانسة التدفق) وعندها فإن التحكم بتدفق المعدن يعتمد فقط على تصميم المغذي (Feldcamp, 2005)

على أي حال عندما تصبح المقاطع الرقيقة والواسعة الجدران معقدة هندسيا، عندها ربما يتم اللجوء للجمع بين تصميم المغذي وتغيير أطوال أسطح الضبط. وعليه فإن لتصميم المغذي الدور الأكثر أهمية لإنجاز القالب ونجاح عملية البثق. علما أن القواعد التصميمية لاعتبارات تصميم المغذي غير محررة في مطبوعات بحيث يمكن الاستفادة منها وإنما مقتصرة على الخبرات العملية للمصنعين أو لشركات البثق. وفي مثل هذه الحالات فإن مثل هذه المعلومات ليس موثقة بشكل جيد أو خاضعة لرقابة علمية من قبل مصنعي القوالب المختصين أو من قبل شركات البثق. يعتمد تصميم المغذي على خبرة وحس مصمم القالب نتيجة للشكوك والتضارب بأداء القالب. ولذلك فإن تصميم مغذيات اعتمادا على حلول نظامية مرغوبة بشدة عالية. ولهذا فإن هذه الاطروحة كانت لفهم واستيعاب أحد العوامل المؤثرة في تصميم المغذي.

سمح تطور العمليات الحسابية للحواسيب وتطبيقات النمذجة بدراسة عمليات التشكيل مثل بثق الألمنيوم باستخدام طريقة العناصر المنتهية كطريقة فعالة لاستيعاب وفهم نمطيات تدفق المعدن والتشوهات الحرارية والتفاعل الحاصل بين المعدن المشكل وأجزاء القالب. تستخدم طريقة العناصر المنتهية في تحليل عملية بثق الألمنيوم بشكل واسع كما هو الحال في عمليات التشكيل الأخرى، حيث أن التنوع الواسع لأشكال المنتجات ونوعية موادها تجعل هذا الأسلوب ملائم لإنجاز عملية البثق. حيث تشمل الحزم التجارية الحالية كلا Forge وQForm وInspire Extrude أما الحزم الغير تجارية DieA وPressForm. علاوة على ذلك فإن طلب السوق على المقاطع المعقدة يجعل المحاكاة ثنائية الأبعاد أمرا غير ملائم لدراسة هذه الحالات، وبالتالي فإن الحاجة تكون إلى محاكاة ثلاثية الأبعاد. إضافة إلى ذلك فإن بثق الألمنيوم هو عملية ميكانيكية حرارية وغير ثابتة وترتبط بعوامل كثيرة ومعقدة. هذا التعقيد يجبر الباحثين والمهندسين على الامتناع عن دراسة المشكلة برمتها وعوضاً عن ذلك دراسة مشكلة بسيطة. على سبيل المثال، يتم إجراء الدراسات من أجل قالب مصمت ويتم إهمال الحرارة المنقولة من الألمنيوم إلى القالب والمكبس والحاوية الناتج عن الاحتكاك بينهم. (W.A.Assaad, 2010)

أظهر كلٌّ من Oh و Li قدرات حزمة برنامج DEFORM لمحاكاة العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد لعمليات التشكيل (Chanda et al., 2000; Zhou et al., 2003; Li et al., 2004).

بينما استخدم كلاً من Peng و Flitta و Sheppard برنامج آخر FORGE2 (Peng and Sheppard, 2004) وبرنامج FORGE3 (Flitta and Sheppard, 2002) لمحاكاة عملية بثق الألمنيوم تحت ظروف حرارية متساوية وإظهار الانفعالات الميكانيكية الحرارية التي تحدث أثناء البثق عبر القالب. في حين أن الجهود البحثية لهذه المقالة كانت معنية في الغالب بالميكانيكا الحرارية لعملية البثق.

وقد أجرى Lee تحليلاً باستخدام محاكاة العناصر المنتهية ثلاثية البعد للتحقيق في انحرافات المنتج المبتوق عبر القوالب المسطحة حيث أكد على أهمية تصميم ملائم لأطوال أسطح الضبط لتحقيق جودة المنتج المبتوق (Lee et al., 2002).

في حين نجح Li باستخدام محاكاة عملية البثق برنامج DEFORM 2d بالتحقيق في تأثير المتغيرات الهندسية للمغذي على تدفق المعدن عبر قوالب ثنائية التجويف تحت ظروف حرارية متجانسة. (Li et al., 2003 a, b). نفذ كلاً من Peng و Sheppard محاكاة ثلاثية الأبعاد للعناصر المنتهية مع الأخذ بعين الاعتبار العوامل الحرارية باستخدام برنامج FORGE3 لدراسة تدفق المعدن عبر قوالب ثلاثية التجويف كدراسة تأثير إزاحة المغذي عن محور القالب. (Peng and Sheppard, 2005).

قام Guan وزملاؤه بإجراء محاكاة لمجموعة تصاميم لدراسة إمكانية إنتاج أنبوب من الألمنيوم بفتحات متعددة في والتأكد من نجاح التصميم باستخدام برنامج Inspire Extrude Metal (Guan et al.2012) في محاكاة عملية البثق قام كلاً من Sajja وزملاؤه بإظهار القدرات العالية لبرنامج Inspire extrude Metal في محاكاة عملية البثق باستخدام العناصر المنتهية وامكانياته في إيجاد التصميم الأمثل لتحديد أطول أسطح الضبط.. (Sajja et al.2013) وجميع الدراسات السابقة اتفقت على فاعلية محاكاة العناصر المنتهية في تقليل التجارب العملية المكلفة جداً ووضع أسس للتنبؤ بالتصميم المناسب للقالب عبر تحليل التدفق عبر قوالب البثق. كما درست نجاح عملية البثق سواء بالاعتماد على أسطح الضبط أو على هندسة شكل المغذي في حين أغفلوا جانب تأثير عمق المغذي في استقرار ونجاح عملية البثق.

تكمن فكرة البحث في التغلب على مشكلة وصعوبة تصميم سطح الضبط (Bearing) ، وتكلفته العالية تشغيلياً وزمنياً وتسهيل عملية التصحيح قدر الإمكان والتي قد تستغرق عدة أيام وتعد مكلفة اقتصادياً. تتلخص منهجية البحث بدراسة تدفق الألمنيوم عبر قالب مسطح (لا يملك مغذي) لمقطع مستطيل وحيد له عامل مقطع مرتفع نسبياً (يندرج تحت قائمة المقاطع الضيقة واسعة الجدران).

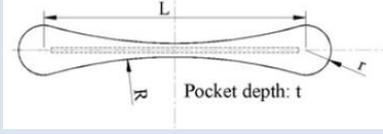
وعليه يهدف البحث إلى دراسة تأثير ارتفاع المغذي في قوالب بثق الألمنيوم مع تثبيت ارتفاع طول أسطح الضبط عن طريق النمذجة بطريقة العناصر المنتهية باستخدام حزمة برنامج INSPIRE EXTRUDE METAL 2019.4 ومن ثم إجراء التحقق التجريبي من النتائج عبر تصميم وتصنيع واختبار لقالب حقيقي في أحد مصانع بثق الألمنيوم. والذي من شأنه تخفيض تكلفة وتصنيع القالب عدا عن الصعوبة البالغة في عملية التصميم التي لا تعد واضحة حتى يومنا هذا؛ حيث إن مجمل الدراسات تلجأ للتحكم في أسطح الضبط وإهمال دراسة المغذي لصعوبة انعكاس تأثيره على انتظام التدفق، وعليه قمنا بالبحث في مجال تأثير المغذي على انتظام التدفق وعلى وجه الخصوص بحثت هذه الأوراق في تأثير ارتفاع المغذي على جملة التدفق للألمنيوم عبر القالب من أجل مقطع محدد.

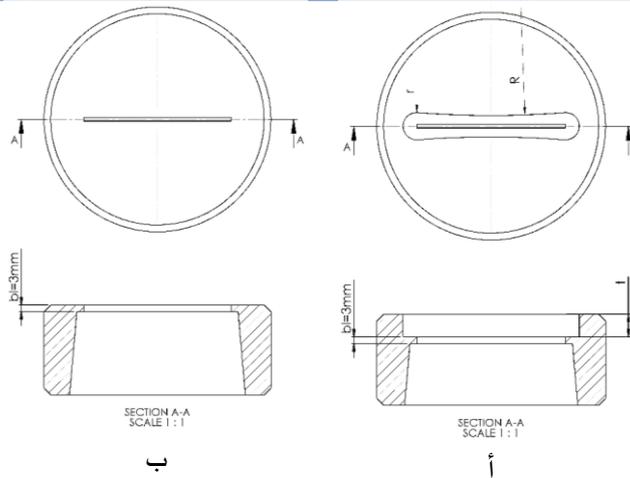
هندسة وتصميم المغذي

تم تصميم مجموعة من القوالب لتصنيع منتج مستطيل بسماكة 1.5mm عرض 65mm وبالتالي تكون نسبة عرض المقطع لسماكته $1.5/65 = 43.34$ ومؤشر تعقيد الشكل أو عامل الشكل للقالب 1.36-1 (ويعرف هذا العامل على أنه نسبة محيط الشكل إلى مساحته $[P/A]$ mm⁻¹)، وهو مؤشر لصعوبة الشكل فكلما كبر الرقم دل على زيادة امتداد المقطع وبالتالي قلة السماكة الأمر الذي يعكس وجود تفاصيل دقيقة وكثيرة للمقطع وتكون ضيقة بنفس الوقت.

تم تصميم عشرة قوالب مختلفة من حيث ارتفاع المغذي الشكل 5-أ. كما قمنا بتصميم قالب مسطح (القالب رقم 0) كقالب مرجعي والذي يظهر بالشكل 5-ب. وحددنا طول أسطح الضبط لجميع هذه القوالب عند طول 3مم وكما حددنا تصميم ثابت لشكل المغذي ليسهل دراسة تأثير تغير ارتفاعه. خصائص هذه القوالب موضحة بالجدول (2)

الجدول 1 الاحتمالات التصميمية المدروسة.

محيط المغذي $P=281.9$ (mm), مساحة المغذي $A=255.76$ (mm^2), عامل الشكل $P/A = 1.1$ (mm^{-1}) الشكل		
		
$r=3$ (mm), $R=700$ (mm), $L=30$ (mm)		
رقم القالب	ارتفاع المغذي	حجم المغذي
	t (mm)	V (mm^3)
0	0	0
1	2	511.52
2	4	1023.04
3	6	1534.56
4	8	2046.08
5	10	2557.6
6	12	3069.12
7	14	3580.64
8	16	4092.16
9	18	4603.68
10	20	5115.2



الشكل (5) على اليمين القالب ذو المغذي بارتفاع متغير t(mm)، بينما على اليسار القالب المسطح بلا مغذي بحيث تكون فتحة القالب بمواجهة خامة البثق.

المحاكاة بطريقة العناصر المنتهية:

تم انجاز المحاكاة بطريقة العناصر المنتهية باستخدام حزمة برنامج Inspire Extrude Metal 2019 وتدعم هذه الحزمة عملية تقطيع النموذج (Mesh) بشكل تلقائي. ويستند البرنامج إلى قوانين مصونة الكتلة وكمية الحركة والطاقة. وهو مصمم لمحاكاة التشوه اللدن للمعادن، إذ يمكن أن يقوم بحساب كل من السرعة والضغط ودرجات الحرارة وتتكامل قوانين المصونة مع النماذج الأساسية لتحديد سلوك المواد. وهو مبني على تقنية Lagrangian formulation. تم تطبيق نموذج حراري ثابت على مادة البيليت، والتي تم التعبير عنها Sellars–Tegart hyperbolic sine law.

$$(1) \quad \sigma_f = \frac{1}{\alpha} \sinh^{-1} \left[\left(\frac{Z}{A} \right)^{\frac{1}{n}} \right]$$

σ_f اجهاد التدفق (Pa)، α, A ثوابت متعلقة بدرجة الحرارة، Z معامل Zener–Hollomon

$$(2) \quad z = \varepsilon \exp \left(\frac{Q}{RT} \right)$$

ε معدل الانفعال المؤثر، Q الطاقة الفعالة لإحداث التشوه $J \cdot mol^{-1}$ ، T درجة الحرارة (K) و R ثابت الغاز العام $J \cdot mol^{-1} K^{-1}$

ومن أجل خليطة الألمنيوم AA6063 المستخدمة في هذه الدراسة كمادة خام، تكون قيم العوامل في العلاقات (1) و(2) كالتالي (Flitta and Sheppard, 2002):

$$Q = 141,550 (KJ/mol)$$

$$\alpha = 0.04 (m^2/MN)$$

$$m = 5.385$$

$$A = 5.91 \times 10^9$$

$$R = 8.314 (J/molK)$$

تعطى صيغة معامل الاحتكاك المستخدمة في عمليات الحل بالعلاقة التالية

$$(3) \quad m = \sqrt{3} \frac{\tau}{\sigma}$$

τ إجهاد القص (Pa) و σ إجهاد التدفق المؤثر (Pa)

لا يستخدم أي زيوت تزييق عادة في عملية بثق الألمنيوم، ولذلك تحدث عمليات التصاق شديدة بين الألمنيوم المبتوق وأجزاء القالب ويكون معامل الاحتكاك بين الخامة والحاوية كبير ويساوي 0.90 وهو القيمة ذاتها المعتبرة في عملية المحاكاة. ويستعرض الجدول 2 ظروف عملية البثق في بيئة البرنامج والتي تكون مطابقة اسمياً لظروف عمليات البثق التجريبية.

الجدول (2) بارامترات عملية البثق التحليلية بطريقة العناصر المنتهية

القيمة	البارامتر
181.015	معدل البثق (مساحة مقطع الخامة / مساحة المقطع المبتوق)
AA6063	مادة الخام
H13ذ	مادة القالب
100 (mm)	طول الخامة
150 (mm)	قطر الخامة

القيمة	البارامتر
480 (C)	درجة حرارة التسخين الأولي للخامة
480 (C)	درجة حرارة القالب
480 (C)	درجة حرارة الحاوية
مباشر	نوع عملية البثق
مستقر	أسلوب التحليل
0.9	معامل احتكاك الخامة مع الحاوية
5 (mm/s)	سرعة المكبس

النتائج

تظهر نتائج بثق القالب المرجعي (0) في الشكل 6 ومن الملاحظ تقدم المعدن عند المركز أكثر منه عند

الحواف.



الشكل (6) نتائج محاكاة البثق للقالب (0)

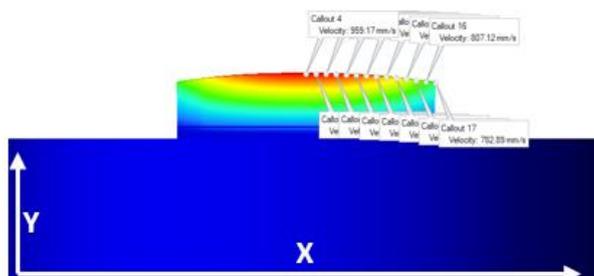
ولتحويل النتائج التحليلية لقيم عددية يمكن اعتمادها في مقارنة ومناقشة النتائج قمنا بأخذ قياس سرعة المعدن على امتداد المقطع عند أنف المبتوقة بخطوات ثابتة وفق المحور x حيث أن عرض المبتوقة 65mm وهذا يعني أن نصف العرض 32.5mm وتم تقسيمها إلى 13 قسم أي طول الخطوة 2.5mm وهذا المبدأ تم اعتماده لجميع نتائج المحاكاة لمجموعة القوالب المصممة. يعرض الشكل 7 توزيع النقاط عند أنف القالب (R0r0)، إذ تكون السرعة عند المركز 959.17mm/s بينما عند الحافة 782.89 mm/s. حيث يمكن حساب السرعة النسبية بسهولة وفقاً للجدول 3. وتعرف السرعة النسبية على أنها سرعة الحواف إلى سرعة المركز مقاسة عند أنف المبتوقة. وعلى هذا النحو فإن السرعة النسبية عندما تساوي 100% عند الحواف فإن جريان المعدن منتظم بين مركز المبتوقة وحوافها.

الجدول (3) يظهر قيم السرعة على امتداد عرض المبتوقة والسرعة النسبية لهذه النقاط للقالب (0)

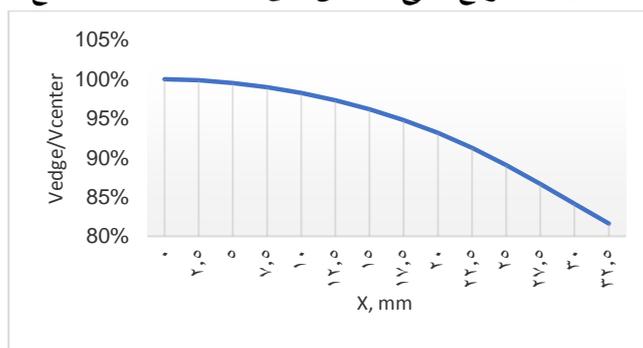
x, mm	V, mm/s	Vedge/Vcenter, %
0	959	100
2.5	958	100
5	954	99
7.5	949	99
10	942	98
12.5	933	97
15	922	96
17.5	909	95
20	893	93

x, mm	V, mm/s	Vedge/Vcenter, %
22.5	875	91
25	854	89
27.5	831	87
30	807	84
32.5	783	82

ولمقارنة نتائج المحاكاة يمكن تحويل القيم في الجدول السابق إلى مخطط كم يظهر في الشكل 8.



الشكل (7) توزيع سرعة التدفق على امتداد نصف المقطع



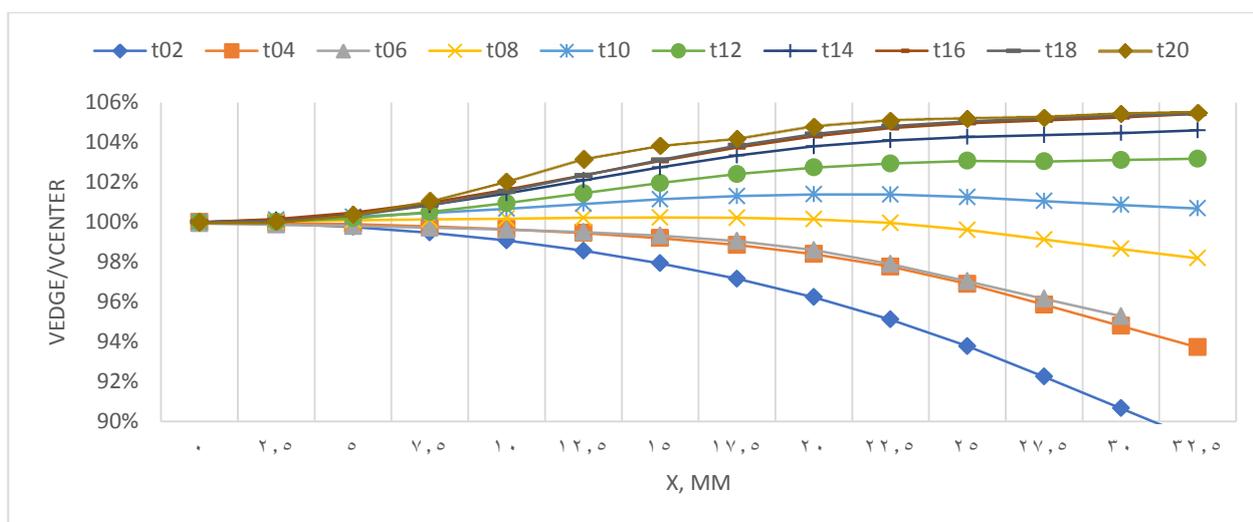
الشكل (8) توزيع السرعة النسبية على امتداد المقطع من المنتصف 100% وحتى الحافة 82%

وعليه يكون مؤشر نجاح تجربة البثق بأن يستقيم المنحني حتى تقترب نهايته من النسبة 100%. وتظهر نتائج عملية البثق عبر القالب (0) عدم ملائته وعليه يجب إضافة مغذي بحيث يجانس التدفق على امتداد المقطع، ومن الواضح أنه يجب زيادة تدفق المعدن عند الحواف أو إبطائه عند المركز لمعالجة تحذب انف الميثوقة. يمكن إضافة مغذي مناسب على امتداد المقطع عريض عند الحواف ومتضيق بشكل متدرج حتى المركز كما يظهر في الشكل 5-أ. يظهر الجدول 4 توزيع السرعة النسبية للقوالب (10-1)، بينما يعرض الشكل 9 هذه النتائج وفق مخطط بياني. يظهر الشكل 10 نتائج المحاكاة لمجموعة القوالب.

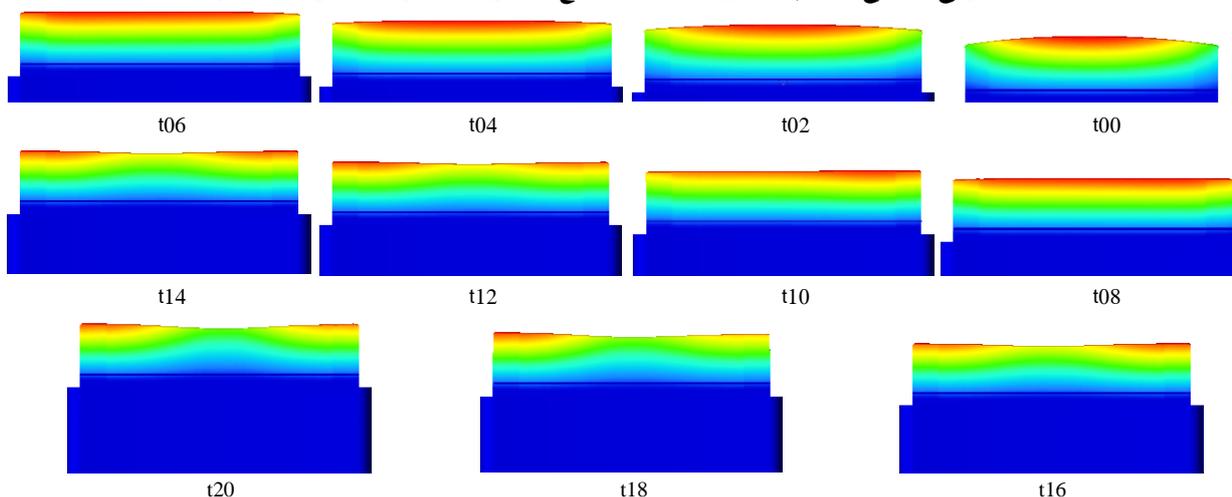
الجدول (4) يظهر قيم السرعة النسبية على امتداد عرض الميثوقة لمجموعة القوالب (10-1)

x, mm	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	
V _{edge} /V _{center} %	t00	100	100	99	99	98	97	96	95	93	91	89	87	84	82
	t02	100	100	100	99	99	99	98	97	96	95	94	92	91	89
	t04	100	100	100	100	100	99	99	99	98	98	97	96	95	94
	t06	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	98	97	96	95
	t08	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98

x, mm	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5
t10	100	100	100	100	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
t12	100	100	100	101	101	101	102	102	103	103	103	103	103	103
t14	100	100	100	101	101	102	103	103	104	104	104	104	104	105
t16	100	100	100	101	102	102	103	104	104	105	105	105	105	105
t18	100	100	100	101	102	102	103	104	104	105	105	105	105	105
t20	100	100	100	101	102	103	104	104	105	105	105	105	105	105



الشكل (9) توزيع السرعة النسبية على امتداد المقطع المبتثق لمجموعة القوالب المدروسة



الشكل 10 الانزياح الحاصل نتيجة محاكاة عملية البثق لمجموعة القوالب المدروسة

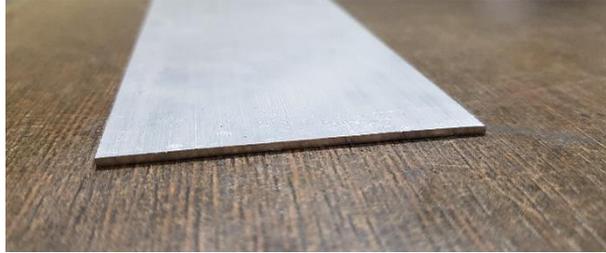
ولتحقق من النتيجة المرجوة من البحث تم تصميم قالب، الشكل 11 بمغذي أبعاده مطابقة للمغذي المعرض في الجدول 1 وبعمق قدره 10(mm) وتظهر نتيجة البثق التجريبي الشكل بعد قص المقطع انتظام بالمقطع وعدم وجود أي تعرج أو انحناء، الشكل 13 وهذا من شأنه عكس نجاح التجربة العملية ومطابقتها للدراسة التحليلية.



الشكل (13) تم تصميم وتنفيذ قالب للتأكد من النتائج التحليلية



الشكل (12) يظهر الشكل عملية سحب المقطع بعد تركيب القالب على آلة البثق



الشكل (13) يظهر انتظام المقطع المبتوق

المناقشة

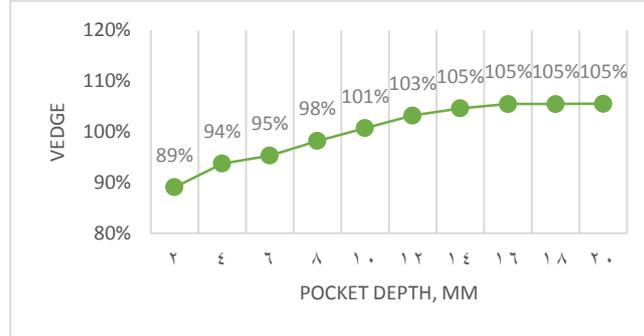
ناقشت هذه الأوراق دراسة تأثير عمق المغذي على تدفق الألمنيوم عبر قوالب البثق ذات السطح الضبط الصفري، حيث أن الدراسات السابقة للقوالب ذات السطح الصفري لم تأخذ هذا العامل بعين الاعتبار، مع أنه يشكل عامل استقرار لعملية البثق.

بناءً على تحليل سرعة الجريان في مجموعة القوالب (1-10) متغيرة العمق 2-20mm تبين بأن المغذي عند عمق معين يساعد في عملية تشكيل مبدئية للخامة وتحويلها من المقطع الدائري إلى مقطع المغذي. يبين الجدول 4 بأن عند عمق 2mm لا يمنع المغذي تأثير تيارات الخامة العابرة خلال فتحة القالب، وتأثيره عند هذه العمق أقرب ما يكون لنتائج عملية البثق عند انعدام المغذي أساساً حيث كانت السرعة النسبية عند الحواف للقالب (0) تساوي 82%.

ومع ازدياد العمق t حتى 10mm نلاحظ انتظام الجريان أكثر (السرعة النسبية للحواف 101%) وهذا يعني أن زيادة العمق حتى حد معين من شأنه إلغاء تأثير تيارات الخامة اللدنة وبمعنى آخر فإن التشكيل الحاصل في منطقة المغذي يشكل فاصل كاف بين الخامة وفتحة القالب.

ويرافق زيادة عمق المغذي تغيير طفيف في السرعة النسبية للحواف حتى قيمة 105% لنلاحظ ثبات هذه القيمة من أجل القوالب الأربعة الأخيرة حيث تراوحت قيمة t بين 14-20mm، الشكل 14. وكنتيجة فإن التقليل من عمق المغذي وحجمه يوسع الاختلاف بسرعة التدفق بين مركز القالب وحوافه. وبمعنى آخر يجب أن يملك المغذي

حد أدنى للارتفاع بحيث يشكل منطقة تشكيل أولية قادرة على الغاء التأثير المباشر للخامة على فتحة القالب، وأن أي زيادة لعمق المغذي لا تملك تأثير يذكر وتعد هدر في الوقت وتشغيل القالب ويتطلب سماكة زائدة لبلاطة القالب.



الشكل (14) يظهر الشكل مخطط العلاقة بين عمق المغذي والسرعة النسبية عند الحواف

الخلاصة

تم تصميم سلسلة من القوالب ذات المغذيات وقالب مرجعي بلا مغذي وجميعها ذات سطح ضبط صفري (ارتفاع سطح الضبط = 3mm) لإنتاج مقطع المنيوم بسيط، وأنجزت الدراسة باستخدام المحاكاة بطريقة العناصر المنتهية باستخدام حزمة برنامج Inspire Extrude Metal مع افتراض ظروف للمحاكاة مطابقة لظروف العمل التجريبي. تظهر النتائج بأنه يمكن إضافة المغذي مع الغاء دور أسطح الضبط من أجل مجانسة التدفق للقوالب المصممة البسيطة مع مراعاة أن تكون لهذه المغذيات ارتفاع محدد من شأنه صنع منطقة تشكيل مسبقة كافية للفصل بين الخامة وفتحة القالب، وتم اثبات في حدود هذه الدراسة بأنه أي زيادة في ارتفاع المغذي ليس لها أي تأثير على عملية البثق وإنما تؤدي لهدر في الوقت والجهد والتكلفة. تم التحقق من النتائج تجريبياً وأظهرت تطابق مع الدراسة التحليلية. عززت هذه الدراسة أهمية الاعتماد على المغذي ومدى فاعليته في إنجاز عملية البثق بمعزل عن تأثير أسطح الضبط عبر دراسة واثبات تأثير ارتفاع المغذي في عملية البثق.

قائمة المراجع

- Chanda, T., Zhou, J., Duszczak, J., 2000. A comparative study on iso-speed extrusion and isothermal extrusion of 6061 Al alloy using 3D FEM simulation. J. Mater. Process. Technol. 114, 145–153.
- Duplancic, I., 2000. Case studies on control of metal flow in pre-chamber dies. In: Proceedings of the Seventh International Extrusion Technology Seminar, vol. II, Aluminium Association and Aluminium Extruder's Council, Wauconda, Illinois, pp. 177–186.
- Feldcamp, E.G., 2005. Extrusion die. United States Patent Application Publication 2005/0029705 A1.
- Flitta, I., Sheppard, T., 2002. Simulation of bridge die extrusion using the finite element method. Mater. Sci. Technol. 18, 987–994.
- Guan, Yanjin. Zhang, Cunsheng. Zhao1, Guoqun. Sun, Xuemei. Li, Peng. Design of a Multihole Porthole Die for Aluminum Tube Extrusion. 27: 147–153, 2012.
- Inspire Extrude Metal User's Manual, November 2016, Altair Engineering, Inc., Troy, MI, 2020.
- Lee, G.A., Kwak, D.Y., Kim, S.Y., Im, Y.T., 2002. Analysis and design of flat-die hot extrusion process 1: three-dimensional finite element analysis. Int. J. Mech. Sci. 44, 915–934.

- Li, L., Zhou, J., Duszczyk, J., 2004. Prediction of temperature evolution during the extrusion of 7075 aluminium alloy at various ram speeds by means of 3D FEM simulation. J. Mater. Process. Technol. 145, 360–370.
- Li, Q., Smith, C.J., Harris, C., Jolly, M.R., 2003a. Finite element investigations upon the influence of pocket die designs on metal flow in aluminium extrusion: part I effect of pocket angle and volume on metal flow. J. Mater. Process. Technol. 135, 189–196.
- Lotzenhiser, C., 1977. Die layout and design. In: Proceedings of the Second International Aluminium Extrusion Seminar, vol. II, Aluminium Association and Aluminium Extruder's Council, Wauconda, Illinois, pp. 57–63.
- Peng, Z., Sheppard, T., 2004. A study on material flow in isothermal extrusion by FEM simulation. Model. Simul. Mater. Sci. Eng. 12, 745–763.
- Peng, Z., Sheppard, T., 2005. Effect of die pockets on multi-hole die extrusion. Mater. Sci. Tech. A 407, 89–97.
- Rodriguez, A., Rodriguez, P., 1992. System to calculate chambers and feeds to obtain a minimum single bearing. In: Proceedings of the Fifth International Aluminium Extrusion Technology Seminar, vol. I, Aluminium Association and Aluminium Extruder's Council, Wauconda, Illinois, pp. 283–290.
- Rodriguez, P., Rodriguez, A., 1999. Process and system of calculation for construction of dies for extrusion of solid aluminium profiles. United States Patent 5870922.
- Sajjaa, U., Mayavarama, R., Seclib, S., Niranjanc, 2013, Optimization of bearing lengths in aluminum extrusion dies, 12, 276 – 281.
- Wissam Ali Assaad, 2010, Aluminum Extrusion with a Deformable Die, MC4.05221.
- Zhou, J., Li, L., Duszczyk, J., 2003. 3D FEM simulation of the whole cycle of aluminium extrusion throughout the transient state and the steady state using the updated Lagrangian approach. J. Mater. Process. Technol. 134, 383–397.