التصميم الأنسب لأتمتة الدارة الهيدروليكية لآلة حقن معادن ذات الحجرة الساخنة

مقدمة:

تعتبر آلات حقن المعادن ذات الحجرة الساخنة أو الحجرة الباردة من أهم الآلات الانتاجية في الصناعة، وتشكل العمود الفقري لانتاج أي منتجات لاتتطلب عمليات تشغيل لاحقة ذات تكاليف عالية، فهي تعطينا أنصاف منتجات لاتحتاج إلا لعمليات إنهاء فقط من حيث إزالة الحواف الحادة للمسبوكة أو تلميعها وتنفيذ عمليات الطلاء الغلفاني أو البخ للدهان ثم الشوي إذا تطلب الأمر ذلك.

هذه الآلات تتمتع بقدرات واسعة من حيث قوة الحقن وقوة إغلاق القالب حيث تبدأ من عدة مئات من الكيلوغرامات وتصل إلى عدة مئات من الأطنان. وفي كل هذه الآلات تعتبر عملية توليد هذه القوى اللازمة للتشغيل عملية مفتاحية في تصميم آلات حقن المعادن سواء منها ذات الحجرة الباردة أو الحجرة الساخنة. وفي معظم الأحيان تكون التقنية القادرة على توفير هذه القوى هي تقنية الهيدروليك حيث تتمتع بمزايا تميزها عن غيرها من التقنيات الكهربائية أو الهوائية أو الميكانيكية، فهي تتمتع بأنها تقنية هادئة لاتولد الضجيج المزعج، وهي قادرة على توليد قوى كبيرة لاتستطيع اي تقنية منافسة أخرى أن تؤمنها، ولاتتطلب حيزاً كبيراً بالنسبة لواحدة القدرة، وهي تقنية قابلة للأتمتة والتحكم بكافة بارامتراتها بشكل دقيق وممتاز، وبالتالي فهي تقنية احتلت موقع الصدارة بامتياز بالنسبة لآلات حقن المعادن بمختلف أنواعها. لكن وفي نفس الوقت فان هذه التقنية لها بعض العيوب أهمها تعقيد تصاميمها والدقة العالية اللازمة أثناء التصميم وتكاليفها الباهظة وسرعاتها المنخفضة.

ولعل أكثر العناصر تكلفة في مثل هذه الآلات هي الدارة الهيدروليكية ونظام التحكم بها. فالمطلوب منها تأمين تحريك ميكنزمات الآلة الثقيلة وبالقوة المطلوبة ووفق تسلسل أوامر البرنامج المحدد لهذه الآلة. وهي تجهيزات مكلفة عند التأسيس ومكلفة عند الصيانة، وتتطلب خبرات كبيرة للتعامل معها. ولكن حتى الآن لم يجد المصممون تقنية تنافسها من حيث المزايا التي توفرها وبالتالي فهم مضطرون لغض النظر عن مساوئها مقابل ذلك.

أهمية البحث:

يعتبر هذا البحث من البحوث التطبيقية التي تعنى بتطوير إنتاج الآلات الأوتوماتيكية الصديقة للمشغل والتي تتمتع ببساطة التشغيل ومتابعة تنفيذ الأوامر فيها وتتبع الأخطاء ومعالجتها بالوقت والشكل المناسبين لتحقيق أعلى مردود لهذه الآلات والاسترداد السريع لرأس المال أولاً ورفع سوية المنتجات ثانياً. ويجب أن يكون شعار المنتج للآلات الأوتوماتيكية الهيدروليكية اليوم هو إنتاج الآلة الأوتوماتيكية الهيدروليكية بأبسط تصميم ممكن وبأفضل العناصر المستخدمة وأرخص الأسعار

للعناصر التي تحتويها هذه الآلة، وتجنب تعقيد التصميم من أجل تبسيط أعمال الصيانة وخدمة ما بعد البيع [1].مما سبق نجد أن هدف البحث هو:

هدف البحث:

إنشاء نموذج تطبيقي لدارة هيدروليكية بتحكم منطقي قابل للبرمجة PLC وتحديد البارمترات العملية للدارة للوصول إلى آلة ذات تشغيل مؤتمت غير معقد.

طريقة البحث:

اعتمدنا في هذا البحث على مبدأ تصميم الدارة الهيدروليكية لآلة حقن المعادن ذات حجرة ساخنة أفقية مؤتمتة بالكامل. وهنا لابد من التنويه إلى أن هذا النوع من الآلات يعتبر من أعقد أنواع آلات حقن المعادن على الاطلاق. بسبب تواجد الفرن ضمن الآلة وبالتالي فهو يفرض اتخاذ تدابير وقائية إضافية للسلامة واستخدام عناصر ذات نوعية عالية وبالتالي تزيد من التكاليف التأسيسية للآلة. واستخدام مضخة حقن للمعدن تكون مغمورة في المعدن المصهور مما يفرض اختيار نوعية محددة من المعادن لبناء هذه المضخة لتتحمل ظروف العمل الشاقة التي تتواجد بها هذه المضخة.

تتميز هذه الآلة بالمزايا الرئيسية التالية: هي آلة أوتوماتيكية لحقن المعادن بالحجرة الساخنة الأفقية، وهي آلة صديقة للمشغل بسبب بساطتها وقلة عدد البارامترات التي يتدخل بها المشغل ومرونة نظام التحكم المؤتمت الذي زودناها به. حيث تقوم الآلة بحقن سبيكة معدنية هي الزمك (وهي خليطة من الألمنيوم والتوتياء والنحاس والمغنزيوم) والتي تنصهر بحدود 430 درجة مئوية. وتتمتع بمظهر خارجي لماع وخواص ميكانيكية جيدة تمتاز عن خواص الألمنيوم من حيث القساوة والمتانة وقابلية التشغيل ومقاومتها للصدأ. وانخفاض درجة حرارة انصهارها بحيث يمكن استخدام القوالب المعدنية لتشكيل المنتجات منها والتي تعطي منتجات جيدة المظهر ولاتحتاج إلى عمليات تشغيل لاحقة ومكلفة.

وزن المنتج مع نظام التغذية 200 غرام، وبإنتاجية تبلغ 10 قطع / دقيقة. هذه الآلة مؤتمتة بالكامل سواء من حيث عمليات الحقن أو لفظ المنتج الجاهز أو تسخين الفرن العامل على حراق يستخدم وقود المازوت ومقود أوتوماتيكياً من قبل دارة متحكم PID خاص به، أو عمليات إظهار وكشف الأعطال والإنذارات في الآلة مقسمة إلى عدة مستويات من الخطورة. والآلة مزودة بكافة أشكال الحمايات مثل الحماية من انخفاض درجة حرارة الفرن أو من ارتفاع حرارة الفرن، وحماية من ارتفاع حرارة ماء التبريد للقالب (إذا لزم استخدامها لقوالب محددة) وحماية من ارتفاع حرارة زيت دارة الهيدروليك، وحماية من انقطاع أحد خطوط التيار الكهربائي ثلاثي الطور المغذي للمحرك الكهربائي القائد لمضخة الهيدروليك، وحماية من اختلاف قطبية توصيل التيار الكهربائي الثلاثي الطور، وحماية من فتح أحد أبواب الآلة الأمامي أو الخلفي، وحماية من استعصاء المنتج ضمن القالب. وهذه الحمايات كلها ترتبط مع شاشة إظهار الإنذارات المؤلفة من خمسة عشر خانة

معنونة ومضاءة بمصابيح خاصة لكل خانة وتم تلوين الخانات حسب درجة خطورة الإنذار بألوان من ثلاثة مجموعات (الأحمر والأصفر والأخضر) وكتب على كل خانة اسم التحذير المخصصة له.

وقد زودت لوحة التحكم بجهاز تحكم منطقي قابل للبرمجة (PLC) من نوع LG-GLOFA, GM7 ذو 60 I/O مزود بوحدة قدرة خاصة به. وتم ربط هذا المتحكم بشاشة إظهار بياني ذات أربع سطور من نوع DELTA ويمكن استخدامها كوحدة برمجة لبعض البارامترات التي يسمح للمشغل بتعديلها عند اللزوم [7,8].

وقد تمت برمجة هذا المتحكم المنطقي ببرنامج خاص بالآلة يتضمن كافة المهام المطلوبة، بالإضافة إلى إمكانية التعامل مع كافة الإنذارات وإظهارها على الشاشة البيانية وعرضها أيضاً على شاشة العرض المتعددة الخانات التي سبق ذكرها آنفاً. هذه اللوحة تؤمن إمكانية التعامل مع الآلة من قبل مشغل متوسط التأهيل الفني، وبحيث تؤمن حماية كاملة لكافة بارامترات الآلة بشكل عالي الوثوقية. مع ما يتميز به هذا المتحكم المنطقي من إمكانية التعديل على البرنامج دون الحاجة لتعديلات مادية على عناصر لوحة التحكم، وإمكانية البرمجة الفورية على الآلة عن طريق المتحكم نفسه والشاشة المرتبطة معه، أو عن طريق حاسب شخصي محمول باستخدام كبل توصيل خاص، وإمكانية قفل البرنامج حتى نحمي محتوياته من العبث بها ولحفظ البرنامج من النسخ غير المشروع إلا عن طريق كلمة سر معينة يعرفها مصممو البرمجة فقط. إضافة لما سبق فقد تم تزويد الآلة بقبضة تحكم يدوي عن بعد، تحتوي مقبضين ثنائيي الوضعيات للتحكم بحركات أسطوانة فتح وإغلاق القالب والتحكم بحركات أسطوانة حقن المعدن، وهذه القبضة مزودة بكابل تحكم طويل (3 متر) يتيح للمشغل منفرداً معايرة الآلة من الخلف قريباً من القالب وتفيد هذه القبضة بتوفير حركات المشغل غير الضرورية لمراقبة لوحة التحكم من أمام الآلة وتتيح له مرونة الحركة خلف الآلة مع إمكانية الحفاظ على التحكم بالحركات الهامة للمعايرة أثناء تركيب قالب جديد أو للصيانة مثلاً.

لتوفير إمكانات الآلة فقد أتحنا القدرة على برمجة الآلة من قبل المشغل، ووفرنا له القدرة على تعديل برنامج PLC من خلال نوافذ تفتح من شاشة العرض للتحكم بالآلة. حيث تتيح له تعديل عدد الضربات في الدقيقة (عدد الأشواط للحقن لكل منتج) وتعديل زمن تبريد المعدن في القالب. بالإضافة إلى تعديل عداد كمية المنتجات وتصفيره عند بدء كل دورة إنتاج لمنتج جديد. إضافة إلى تعديل زمن تأخير نبضة تحريض صمام المدخرة الهيدروليكية، وتعديل زمن تأخير نبضة تحريض صمام تشغيل مضاعف الضغط الهيدروليكي، وتعديل طول شوط أسطوانة الحقن كتابع للزمن. كما تم استخدام كافة الأسلاك الكهربائية في الآلة ولوحة التحكم من النوع المقاوم للحرارة والمغلفة والمعزولة حسب المواصفات الدولية المعتمدة بهذا الخصوص لضرورات الأمان، مع مجموعة مرابط نظامية معزولة لخطوط التغذية الكهربائية إلى الآلة[4].

إن تصميم الدارة الهيدروليكية وترتيب عناصرها يجب أن يعمل على أن تحقق الآلة الحركات الرئيسية المطلوبة منها، وهي:

- فتح وإغلاق القالب.

- تحريك مكبس الحقن للأسفل والأعلى.

- فتح صمام المدخرة الهيدروليكية وصمام مضاعف الضغط في التوقيت المناسب.

- تشغيل أسطوانة لفظ القطعة المنتجة.

بالإضافة إلى تحقيق الحركات السابقة يجب أن تقوم الدارة برفع الحمل عن المضخة في وضعية اللاحمل للحفاظ على دوران المحرك الكهربائي أثناء فترات الراحة.

وسوف نقوم بشرح آلية عمل كل من الحركات السابقة.

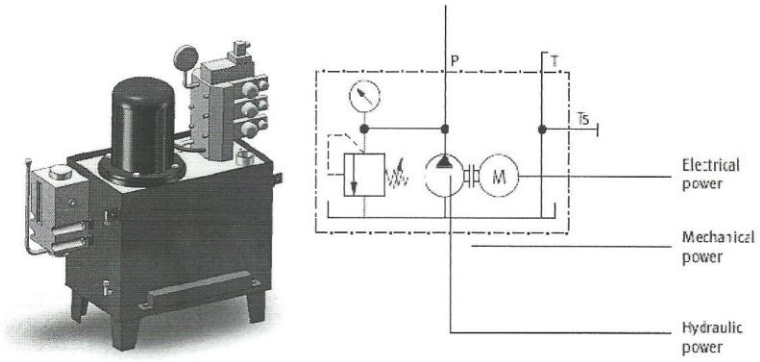
أجزاء الدارة الهيدروليكية:

١ - **وحدة القدرة الهيدروليكية:** وتتألف من مضخة هيدروليكية مسننية غاطسة بغزارة 16 l/min ومقودة بمحرك كهربائي ثلاثي الطور 1440 r.p.m- 5.5 Hp وخزان زيت مع فلاتر على الخط الراجع(5μm) وفلتر رئيسي نظامي(1μm) مع مؤشر لمستوى الزيت في الخزان وفتحة تنفيس للهواء وفتحة تصريف للزيت مع صمام أمان وبرج حامل لقاعدة الصمامات مع صمام تحكم بالضغط لعيار الضغط وساعة إظهار للضغط في الدارة، إضافة إلى مبادل حراري لتبريد الزيت بالماء البارد. ومجموعة خراطيم زيت تقاوم الضغط العالي للدارة ككل.

هذه المجموعة تؤمن ضغط عمل للدارة يساوي 80 بار.

تزود الدارة بالزيت عن طريق مضخة مسننية مقودة بمحرك كهربائي من أجل تأمين الضغط اللازم للزيت، حيث تقوم بسحب الزيت من الخزان الذي يكون مزوداً بشبكة تصفية – فلتر من اجل تنقية الزيت العائد إلى الخزان، يركب على الخط الخارج من المضخة ساعة قياس من أجل قياس الضغط وصمام حماية (أمان) للدارة بحيث إذا زاد ضغط عمل الدارة عن الضغط المطلوب والمعير عليه نابض هذا الصمام فإنه يقوم بتهريب الزيت و إرجاعه للخزان وبذلك يقوم بحماية العناصر في الدارة من ازدياد الضغط.

الشكل (1) يوضح وحدة القدرة الهيدروليكية المؤلفة كما ذكرنا سابقاً من خزان للزيت مع فلتر – محرك كهربائي – مضخة – ساعة لقياس الضغط – صمام أمان.

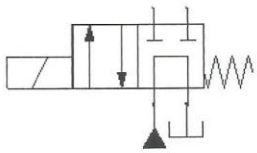


الشكل (1) - وحدة القدرة الهيدروليكية المستخدمة في آلة الحقن ذات الحجرة الساخنة

٢ - صمام رفع الضغط: وهو عبارة عن صمام 4/2 بنبضة كهربائية وعودة نابضية، وقد تم ربطه على التسلسل مع الصمامات الأخرى ويقوم بمهمة تصريف الزيت من الدارة إلى الخزان عندما تكون الآلة في مرحلة الراحة حتى لا يبقى تحميل المضخة بشكل مستمر مما ينقص من عمر عملها بدون فائدة. ويغلق الدارة عند ورود أي أمر لأي عنصر من دارة الهيدروليك ليرتفع الضغط إلى 80 bar في خطوط تغذية الدارة. وهنا لم نستخدم صمام 4/2 من النوع العادي حيث في العادة يكفي أن نغلق أحد مخرجيه ليقوم بدور المتحكم بتزويد الزيت إلى الدارة. حيث لاحظنا من خلال التجارب أن هذا النوع من الصمامات له بنية هندسية داخلية تختلف عن الصمام الذي اخترناه فعليا بسبب أن هذه الهندسة للفراغ الداخلي للصمام لا تسمح له بتمرير كمية كبيرة من الزيت عند عمل الصمام بل تمرر حوالي نصف الكمية التي قام الصمام الذي اخترناه لاحقا بتمريرها وهي حوالي 63 l/min بينما مرر الصمام الكلاسيكي العادي قيمة حوالي 28 l/min. وهذا حسب ما هو موضح في كتالوك الشركة الصانعة للصمام الجديد الذي اخترناه والمفتوح في الحالة العادية [6]. والذي وفر علينا استخدام مضخة أكبر من حيث التدفق وبالتالي اكتفينا بالمحرك الكهربائي الذي اخترناه باستطاعة 5.5 hp، بينما كان يلزمنا محرك أكبر للصمام العادي من النمط الآخر لو تم اختياره مما وفر في استهلاك الطاقة الكهربائية. إذ لو قارنا المضخة الحالية ذات الغزارة (التدفق) 16 l/min بالمضخة الأكبر والتي كانت ستلزمنا حيث تدفقها حوالي 36 l/min والتي ستتطلب محركا كهربائيا باستطاعة حوالي 12 hp على الأقل، وبالتالي سيلزمنا خزان زيت أكبر بمرتين تقريبا من الخزان الحالي، بالإضافة إلى تعديل أقطار خراطيم الهيدروليك لتمرير ضعفي الكميات الحالية من الزيت، لكان في إمكاننا تخيل كم ستكون تكاليف بناء هذه الدارة الجديدة وكم سيكون استهلاك الطاقة الكهربائية في الدارة.

وصلنا هذا الصمام على التسلسل مع الدارة بعد المضخة وعلى مدخل الدارة ليقوم برفع الحمل عن المضخة في حالة التوقف عن العمل بدون إيقاف المحرك الكهربائي عن الدوران وهذا من أجل

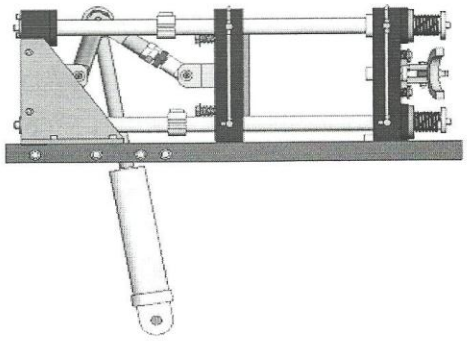
الحفاظ على حرارة الزيت من التسخين الزائد غير المبرر، حيث توقف الآلة أحياناً من أجل عمليات الضبط والمعايرة لطول شوط مكبس الحقن أو مكبس الإغلاق أو تتوقف في مراحل لفظ المنتج، ويبين الشكل (2) رمز هذا الصمام:



الشكل (2) – صمام كهرهيدروليكي أحادي الملف لوضعية اللاحمل في الدارة

حيث الحجرة اليمينية للصمام تقوم بإرجاع الزيت للخزان، بينما الحجرة اليسارية تقوم بتمرير الزيت لعناصر الدارة كافة.

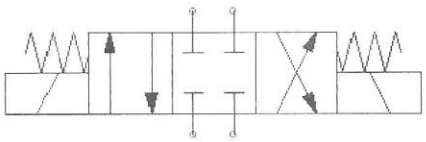
٣ – **دارة فتح وإغلاق القالب:** وتتألف من أسطوانة هيدروليكية ثنائية التأثير يتم التحكم بسرعة مكبسها عن طريق صمامي خنق مع عدم رجوع ولها قفلين هيدروليكيين على المدخل والمخرج لضمان عدم تحركها تحت الضغط العالي بسبب انهيار أحد خطوط التوصيل للزيت أو عند وجود تسريب في خطوط تغذيتها أو داخل الصمام. ونتحكم بشوطي التقدم والتراجع فيها عن طريق مؤقتات زمنية في نظام التحكم المنطقي القابل للبرمجة (PLC).يبين الشكل (3) ميكانيزم فتح وإغلاق القالب بواسطة مكبس ثنائي التأثير:



الشكل (3) – ميكنزم فتح وإغلاق القالب في الآلة

يتم التحكم بحركة هذا المكبس عن طريق صمام4/3 ذو نبضتين كهربائيتين من أجل التحكم بحركة المكبس للأعلى والأسفل. إن المضخة هي التي تؤمن عمل هذا المكبس، الوضعية الوسطى للصمام يتم تحقيقها عند الحالة صفر – حيث لا تكون هناك إشارات كهربائية على ملفات الصمام – وتعمل

النوابض على تحقيقها وبالتالي فإن المكبس سوف يتوقف من أجل الحفاظ على حالة إغلاق القالب، رمز هذا الصمام موضح بالشكل (4):

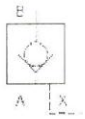


الشكل (4)- صمام 4/3 كهرهيدروليكي ثنائي الملفات لدارة فتح وإغلاق القالب

ركبت على مداخل ومخارج أسطوانة فتح وإغلاق القالب وحدة - صمام خانق وصمام عدم رجوع – من اجل التحكم بسرعة حركة المكبس، بحيث يوصل الخانق على التسلسل مع الأسطوانة وصمام عدم الرجوع على التفرع.

ومن أجل ضمان توقف المكبس بشكل جيد في حالة الوقوف (حيث يكون الصمام 4/3 في الوضعية الوسطى) وتجنب تسرب الضغط في تجاويف الصمام بسبب تآكل المانعات أو جسم الصمام من الداخل، لا بد من استخدام قفل هيدروليكي على كل من مدخل الأسطوانة ومخرجها.

الشكل (5) يوضح رمز القفل الهيدروليكي:



الشكل (5)- رمز القفل الهيدروليكي

يقوم القفل الهيدروليكي بمنع تدفق الزيت القادم من الطرف B إلى الطرف A إلى أن تأتي نبضة X تقوم بإزاحة الكرة ودفعها لتسمح للزيت بالمرور.

تصميم دارة الإغلاق:

يجب أن تكون قوة الإغلاق: C=8000kg ، وضغط عمل الدارة = P=80 bar حيث:

A: مساحة سطح مكبس أسطوانة الإغلاق.

D: قطر أسطوانة الإغلاق.

F: القوة المؤثرة على سطح مكبس أسطوانة الإغلاق.

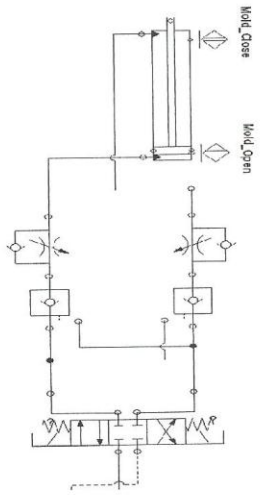
$$F = C \sin 30 = 8000 \text{ X } 0.5 = 4000 \text{ kg} = 40000 \text{ N}$$

$$A=\frac{F}{P}=\frac{40000}{8X10^6}=0.0001=\pi\frac{D^2}{4}$$

D=0.079 m =7.9 cm

ونعتبر أن قطر مكبس أسطوانة الإغلاق هو: D=8 cm

الشكل (6) يوضح الدارة الهيدروليكية من أجل فتح القالب وإغلاقه:



الشكل (6) – دارة فتح وإغلاق القالب

٤ - دارة حقن المعدن:

وتتألف من أسطوانة هيدروليكية ثنائية التأثير نتحكم بسرعتها عن طريق صمامي خنق مع عدم رجوع ومزودة بقفلين هيدروليكيين لضمان ثبات الأسطوانة تحت الضغط العالي وعزل تأثير التسريب في خطوط تغذيتها أو انهيار أحد أنابيب التوصيل، ونتحكم بشوطي التقدم والرجوع فيها عن طريق حساسات بداية ونهاية شوط، وهذه الأسطوانة مقودة بصمام كهرهيدروليكي 4/3 ثنائي الملفات مغلق في وضع الراحة، والدارة مزودة بمؤقت زمني ثاني مهمته تأخير زمن تحريض الصمام 2/2 الكهروهيدروليكي المتحكم بفتح خط المدخرة الهيدروليكية المكبسية المرتبطة مع المضخة عن طريق صمام عدم رجوع وليفتح خط التزويد بالزيت لزيادة الغزارة التي تزيد من سرعة الحقن حيث ترتبط هذه المدخرة أيضا مع أسطوانة آزوت للدعم بضغط 90 bar لتأمين الضغط اللازم للمدخرة من طرف الغاز فيها مع ساعة إظهار لضغط الآزوت، وبعد مضي زمن محدد يتحرض مؤقت زمني ثالث ليحرض صمام 4/2 كهرهيدروليكي أحادي الملف يتحكم

بمضاعف الضغط الهيدروليكي الذي يضاعف من قيمة الضغط عند وصول مكبس أسطوانة الحقن إلى نهاية شوطه مما يضاعف ضغط الحقن من 80 bar إلى 160 bar مما يزيد من جودة المعدن المحقون في القالب ويحسن من نوعية المنتج. هذا المضاعف يرتبط أيضا بساعة إظهار للضغط الموجود في المضاعف.

قبل البدء بشرح الدارة الهيدروليكية لعملية الحقن ومكوناتها، سنذكر المتطلبات الواجب توافرها في الضغط اللازم لعملية الحقن:

١ – **سرعة حقن عالية**: المادة المحقونة يجب أن تملأ بسرعة عالية من أجل ضمان ملء جيد لفجوة القالب، لأن سبيكة الزمك سريعة التجمد مما قد يسبب تشوهات في بنية المسبوكة إذا لم تملأ فجوة القالب بسرعة قبل تجمدها.

٢ – **قوة الحقن الكبيرة**: وذلك من أجل تكثيف البنية الداخلية البلورية للمادة المحقونة، لمنع تشكل الفجوات.

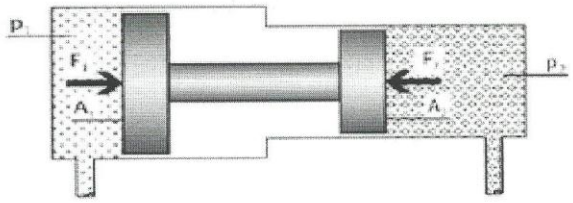
٣ – **سرعة الحقن المتغيرة**: وذلك من أجل تفادي رش المعدن إذا بدأت عملية الحقن بسرعة عالية واصطدم المعدن المصهور بجدران القالب الباردة نسبياً، والسماح للهواء الموجود بالخروج. فلذلك يقترب المكبس بسرعة منخفضة نسبياً ولمسافة محددة ويتابع بعدها التقدم بسرعة وضغط مرتفعين.

انطلاقاً من المتطلبات السابقة لضغط الحقن فإن عملية حقن سبيكة الزمك إلى جوف القالب سوف تتم على ثلاثة مراحل:

١ – المرحلة الأولى: يتحرك مكبس الحقن بسرعة بطيئة نسبياً حيث تكون المضخة هي التي تؤمن حركة المكبس في هذه المرحلة وعن طريق صمام 4/3 كهرهيدروليكي ذو ملفين كهربائيين، وذلك من أجل تلافي اندفاع المعدن بسرعة وتأمين خروج الهواء من تجويف القالب.

٢- المرحلة الثانية: في هذه المرحلة تزداد سرعة مكبس الحقن والضغط من أجل تأمين إملاء جيد للقالب ويتم الحصول على الضغط الكبير عن طريق مدخرة هيدروليكية مكبسية (Accumulator) يتم التحكم بخروج الزيت المضغوط منها عن طريق صمام 4/3 بملفين كهربائيين، ويركب صمام عدم رجوع عند مخرج المدخرة لكي يمنع الزيت من الوصول إلى عناصر الدارة الأخرى ويوجهه نحو أسطوانة الحقن فقط.

٣- المرحلة الثالثة: عندما يقطع مكبس أسطوانة الحقن حوالي 90 % من شوطه، تأتي إشارة للملف الكهربائي اليميني لصمام المدخرة الهيدروليكية بحيث يقطع تدفق الزيت القادم منها، وبنفس الوقت تأتي إشارة لملف صمام مضاعف الضغط (booster) بحيث يسمح بتدفق الزيت عبر الصمام ليقوم بمضاعفة ضغط الزيت القادم بحيث يعطي ضغطاً مضاعفاً على الأسطوانة ليعمل على تكثيف البنية المادية للمسبوكة أو ما يسمى بعملية الصك للمعدن داخل تجويف القالب. ويوضح الشكل (7) مبدأ عمل مضخم الضغط:



الشكل (7)- مبدأ عمل مضخم الضغط

حيث يدخل الزيت إلى الحجرة اليسارية لمضخم الضغط حيث المكبس ذو المساحةA2 بضغط P2

ويخرج من الحجرة اليمينية له ذات مساحة المكبسA1 وبضغط P1 كمية مقابلة من الزيت، فإذا كانت A1=2A2 فسوف تكون العلاقة بين الضغوط P1= 2 P2 .[2] .

تصميم دارة الحقن:

المطلوب قوة حقن : F=4000kg= 4000 x g = 40000 N

ضغط عمل الدارة : P=160 bar

A:مساحة سطح مكبس أسطوانة الحقن

F:القوة المؤثرة على سطح مكبس أسطوانة الحقن

$$A = \frac{F}{P} = \frac{40000}{16 x 10^6} = 0.0025 = \pi \frac{D^2}{4}$$

D = 0.056 m = 5.6 cm

نعتبر أن قطر مكبس أسطوانة الحقن: D=6 cm

بعد أن يحقن المعدن ضمن القالب يبقى صمام مكبس فتح وإغلاق القالب في الوضعية الوسطى وذلك مدة زمنية كافية بحيث يكون المعدن المصهور قد تجمد. وعندها تأتي إشارة كهربائية لملف صمام هذه الأسطوانة فيتفعل ويحرك قلب الصمام ليمرر الزيت في الحجرة السفلى للأسطوانة وتقوم بعملية فتح القالب لتبدأ بعدها عملية لفظ المنتج.

تصميم دارة اللفظ:

قوة اللفظ:

F=0.25 X C = 0.25 X 8000 = 2000 Kg =20000 N

حيث : ضغط عمل الدارة : P=80 bar

A:مساحة سطح مكبس أسطوانة اللفظ

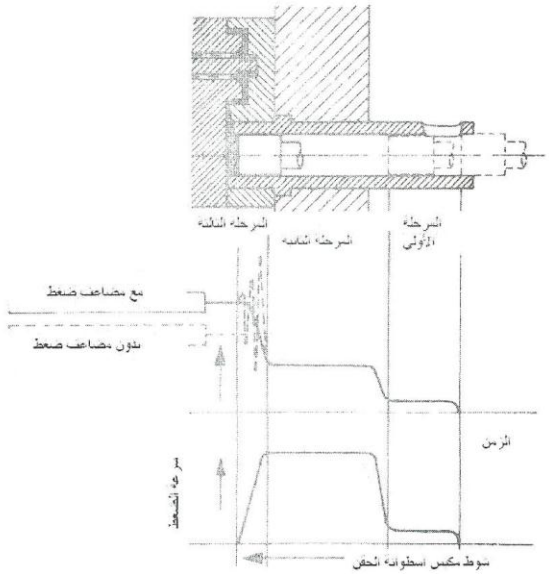
F:القوة المؤثرة على سطح مكبس أسطوانة اللفظ

$$A=\frac{F}{P}=\frac{20000}{8\,x\,10^{6}}=0.0025=\pi\frac{D^{2}}{4}$$

D=0.056 m =5.6 cm

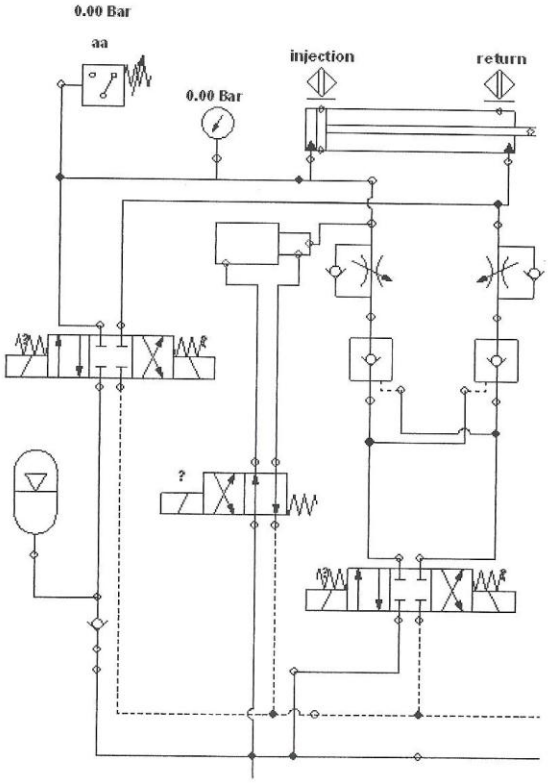
نعتبر أن قطر مكبس أسطوانة اللفظ: D=6 cm

يبين الشكل (8) العلاقة بين تقدم المكبس - شوط المكبس - وازدياد الضغط في كل من مراحل عملية الحقن الثلاثة:



الشكل (8) - مخطط يبين تغيرات الضغط خلال مراحل الحقن الثلاثة في آلات الحقن

المخطط الهيدروليكي الذي يعبر عن عملية الحقن موضح في الشكل (9):



الشكل (9) - الجزء من الدارة الهيدروليكية المتعلق بعملية الحقن-

٥ - **دارة لفظ المنتج:** وتتألف من أسطوانة هيدروليكية أحادية التأثير مقادة من صمام 2/2 كهرهيدروليكي أحادي الملف يتحرض من إشارة قادمة من المتحكم المنطقي القابل للبرمجة PLC بعد مرور زمن محدد مسبقا من قبل المشغل من خلال شاشة التحكم.

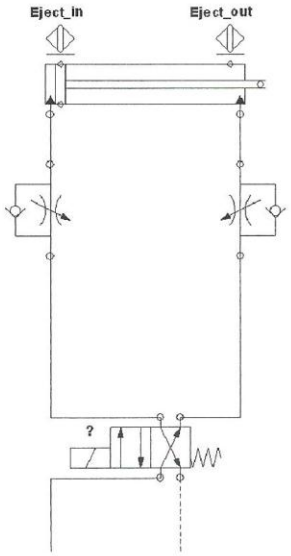
وإذا لم يتحرض حساس الخلية الكهرضوئية الموجودة على مخرج المنتج الجاهز من الآلة ينتظر المؤقت مدة ٢ ثانية ثم يعيد تحريض الصمام الكهروهيدروليكي السابق، فإذا لم يخرج المنتج خلال ثانيتين أيضا يعطي المتحكم PLC أمر التوقف للآلة وتشغيل الإنذار الصوتي والضوئي الأحمر لمنع

متابعة الدورة وإعطاب القالب بسبب استعصاء المنتج بداخله فيما إذا كررت الآلة عملية الحقن قبل إخراج المنتج السابق[3] .

تتم عملية لفظ المنتج بواسطة أسطوانة ثنائية التأثير يتم التحكم بها عن طريق صمام 4/2 بنبضة كهربائية وعودة نابضية لأننا لا نحتاج إلى أن يتوقف المكبس قبل نهاية الشوط . حيث تتم عملية نزع المسبوكة وعودة اللافظ وانتظار دورة إنتاجية جديدة.

ويتم تركيب عناصر التحكم بالسرعة على مدخل ومخرج الأسطوانة – صمام خانق وصمام عدم رجوع – وهنا لا نحتاج لعنصر قفل هيدروليكي.

دارة لفظ المنتج الهيدروليكية موضحة بالشكل (10):



الشكل(10)- الجزء من الدارة الهيدروليكية المتعلق بعملية لفظ المنتج

إن تسلسل عمليات ومراحل الحقن السابقة، أي عملية فتح وإغلاق صمامات التحكم في عناصر الدارة الهيدروليكية يتم التحكم بها عن طريق جهاز التحكم المنطقي القابل للبرمجة - PLC حيث تتم كتابة البرنامج المناسب والصحيح لعملية الحقن ومن ثم تحميل البرنامج من الحاسب الشخصي إلى جهاز التحكم PLC الذي يقوم بعملية القيادة الكاملة لآلة الحقن.

حساب حجم الزيت اللازم في الدارة الهيدروليكية للآلة:

١ـحجم الزيت في الأسطوانات:

- حجم أسطوانة الإغلاق:

$$V1=\pi\frac{D^2-d^2}{4}L1=\pi\frac{8^2-2{,}2^2}{4}20 = 929{,}3\ cm^3=0{,}93L$$

- حجم أسطوانة الحقن:

$$V2=\pi\frac{D^2-d^2}{4}L2=\pi\frac{6^2-2{,}2^2}{4}20 = 489{,}5\ cm^3=0{,}5L$$

- حجم أسطوانة اللفظ:

$$V3=\pi\frac{D^2-d^2}{4}L3=\pi\frac{6^2-1{,}2^2}{4}5 = 135{,}7\ cm^3=0{,}14L$$

٢ـ حجم الزيت في الأنابيب:

- حجم الزيت في الأنابيب من الخزان حتى أسطوانة الإغلاق: بفرض أن الطول = 4m والقطر = $\frac{1}{2}$ إنش

$$V4=\pi\frac{D^2}{4}L4=\pi\frac{(0{,}5x2{,}54)^2}{4}400 = 506{,}7\ cm^3=0{,}5L$$

- حجم الزيت في الأنابيب من الخزان حتى أسطوانة الحقن: بفرض أن الطول = 6m والقطر = $\frac{1}{2}$ إنش

$$V5=\pi\frac{D^2}{4}L5=\pi\frac{(0{,}5x2{,}54)^2}{4}600 = 760{,}06\ cm^3=0{,}76L$$

- حجم الزيت في الأنابيب من الخزان حتى أسطوانة اللفظ: بفرض أن الطول = 6m والقطر = $\frac{1}{2}$ إنش

$$V6=\pi\frac{D^2}{4}L6=\pi\frac{(0{,}5x2{,}54)^2}{4}600 = 760{,}06\ cm^3=0{,}76L$$

- حجم الزيت في الأنابيب من المدخرة للخزان: بفرض أن الطول = 4m والقطر = $\frac{1}{2}$ إنش

$$V7=\pi\frac{D^2}{4}L7=\pi\frac{(0{,}5x2{,}54)^2}{4}400 = 506{,}707\ cm^3=0{,}506L$$

- حجم الزيت في الأنابيب من مضاعف الضغط للخزان: بفرض أن الطول = 4m والقطر = $\frac{3}{4}$ إنش

$$V8=\pi\frac{D^2}{4}L8=\pi\frac{(0{,}75x2{,}54)^2}{4}400 = 1140{,}091\ cm^3=1{,}14L$$

فإن حجم الزيت في الدارة عندما امتلاء الأسطوانات والخراطيم بالزيت يكون:

0,93+0,5+0,14+0,5+0,76+0,76+0,506 + 1,14= 5,24L

طبعاً أطوال الأنابيب محسوبة بشكل مضاعف من حيث الطول لتغطي أنبوب التغذية وأنبوب الزيت الراجع.

حساب التدفق المطلوب للمضخة:

أثناء الحركة وفي كل عملية حقن لمنتج واحد يحدث مايلي:

- تتحرك أسطوانة فتح وإغلاق القالب بحجم يساوي V1= 0,93L

- وتتحرك أسطوانة الحقن بحجم يساوي V2= 0,5L

- وتتحرك أسطوانة اللفظ بحجم يساوي V3=0,14L

- وتتم تعبئة المدخرة بحجم يساوي *V9=5 L* لمرة واحدة ثم يستهلك مايساوي مجموع حجوم الأسطوانات أي *1.57 l*

- وتتم تعبئة المضاعف بحجم يساوي *V10=3 L* لمرة واحدة ثم يستهلك مايساوي مجموع حجوم الأسطوانات أي *1.57 l*

الحجم النظري للمضخة:

V11=1.57+1.57+0,14+0,5+0,93 = 4.71 L

حجم خزان الزيت:

يجب أن يحتوي الخزان على كمية من الزيت تكفي لعمل المضخة لمدة خمس دقائق مستمرة:

V12 = 5 x V11 = 23.55 L

حجم الزيت اللازم للدارة الهيدروليكية:

هو عبارة عن حجم الخزان بالإضافة إلى حجم شبكة الأنابيب الهيدروليكية مضافا" إليه حجم فراغات الأسطوانات في وضعية الراحة.

V13 = V12+5,24 = 28.79 L

وقد تم تزويد الآلة بخزان للزين يحتوي على 130 ليتر من زيت الهيدروليك H-10 مما يوفر للزيت إمكانية التبريد الذاتي وفي أغلب الأحيان لن يلزم استخدام المبادل الحراري لتبريد الزيت إلا في ظروف عمل شاقة كالعمل صيفاً بحرارة جو مرتفعة وعمل مستمر بثلاث ورديات عمل وحقن مشغولات كبيرة الحجم نسبياً.

الاستطاعة اللازمة للمضخة = $\frac{\text{الاستطاعة}}{\text{المردود الكلي}}$

$$N=\frac{1}{\eta}X\frac{P.Qp}{600}=\frac{1}{0,9}X\frac{80x4.71}{600}=0.69\ KW$$

من الجدول رقم (2) وبما أن المضخة المستخدمة هنا هي مضخة مسننة *precision gear* فإن مردودها يكون[5] :

$$\eta=90\% \qquad \eta V=95\%$$

الجدول رقم (2) : مردود المضخات الهيدروليكية

نوع المضخة	المردود الحجمي η_v %	المردود الكلي η_t %
مكبسية		
1-Plunger in line	≤ 99	95 %
2-radial	95	90 %
3-axial	95	90 %
مسننة precision gear	95	90 %
مضخات ريشية vane	90	80 %

فإذا كان الخرج الفعلي للمضخة QP و الخرج النظري للمضخة Qt يكون:

المردود الحجمي:

$$\eta v=\frac{Qp}{Qt}$$

$$Qt=Dp\ .\ np$$

حيث: $np=1440\ rpm$ Dp ، - والإزاحة$[l/rev]$

$$Dp=\frac{Qp}{np.\eta v}=\frac{4.71}{1440x0,95}=0,0034\ l/rev=3.4\ cm^3/rev$$

وتكون المضخة المسننية اللازمة هي[5] : من نوع $OPL\ 011$ وتتمتع بالمواصفات التالية:

تدفق المضخةعند سرعة $n=1500\ r.p.m$

هو $=5.32\ l/min$

وحسب الطريقة المذكورة فإن:

تدفق المضخة عند سرعة $n=1440\ r.p.m$

هو

$$\frac{1440x5.32}{1500} = 5.1\ \ l/min$$

سرعة المضخة الأعظمية = $4000\ r.p.m$

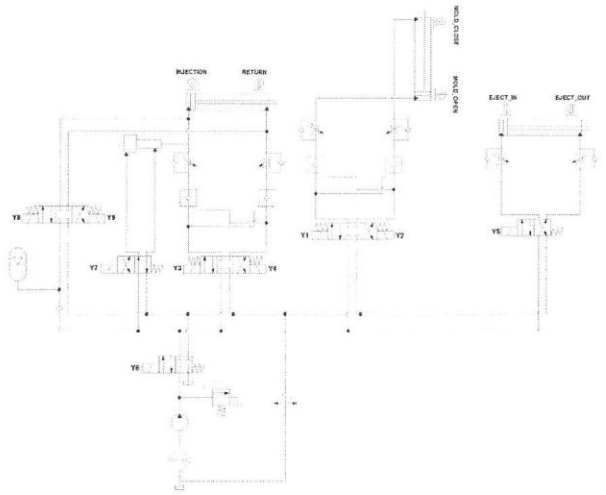
سرعة المضخة الأصغرية = $500\ r.p.m$

الضغط الأعظمي = $280\ bar$

الإزاحة النظرية = $3.81\ cm^3/\ rev$

وقد تم اختيار المضخة المسننية المتوفرة في السوق المحلية بتدفق 16 l/min وضغط 80 bar ويقودها محرك كهربائي استطاعته 5.5 hp (4.1 kW) وهي تحقق المطلوب كحد أدنى .

ونوضح في الشكل (11) مخطط الدارة الكهرهيدروليكية باستخدام نظام التحكم المنطقي القابل للبرمجة PLC كعنصر تحكم بالدارة.



الشكل(11) – مخطط الدارة الكهرهيدروليكية مع PLC لآلة حقن المعادن ذات الحجرة الساخنة.

النتائج والمناقشة:

أخيراً يمكننا أن نلخص أهم النقاط التصميمية المساعدة في الحصول على آلة أوتوماتيكية صديقة للمشغل ذات دارة قيادة كهرهيدروليكية اقتصادية. والتي من أهمها:

- إن التدقيق في الخصائص الهندسية للصمامات الهيدروليكية يمكن أن يوفر علينا الكثير من التكاليف المادية والهدر في الطاقة الكهربائية المصروفة على مضخات هيدروليكية ذات قياس أكبر كان بالامكان الاستغناء عنها بالتدقيق المتأني لخصائص العناصر المنتقاة لتركيب الدارة الهيدروليكية اللازمة. ناهيك عن التقليل الملموس في أبعاد الدارة والآلة ككل.

- إن تصميم لوحة التحكم الجيد يمكن أن يسهل عمل المشغل بشكل كبير ويجعل العمل على هذه الآلة محبباً إلى نفس المشغل بسبب بساطتها.

- تأمين طرق التحكم المتعدد المواضع أيضاً يمكن أن يحسن من مزايا الآلة المصممة ويجعلها قريبة من مواصفات الآلة الصديقة للمشغل. وجعل لوحة التحكم قابلة للحركة يسهل كثيراً على المشغل من عناء التحري المستمر عن البارامترات بطرق غير مريحة، خاصة أثناء الصيانة أو تركيب القالب، حيث تكون حركات المشغل محدودة بسبب ضرورة التركيز في نقطة العمل.

- النموذج المقدم للآلة مصمم بشكل يراعي معايير الحس الجمالي ومريح في التشغيل مما يوفر الراحة النفسية للمشغل الذي يتواجد لساعات طويلة إلى جانب هذه الآلة.

المراجع العلمية :

١- بني المرجة د. محمود بهاء الدين ، غنمة م. محمد فتحي ، ١٩٩٨ – التحكم الآلي والأتمتة الانتاجية. ط ١ ، جامعة دمشق ، سورية ، ٧٤٦ صفحة .
٢- بني المرجة د. محمود بهاء الدين ، ٢٠٠٦ – كتالوك آلة حقن المعادن ذات الحجرة الساخنة الأفقية . ط١ ، المؤلف، سورية ، ٢٠٠ صفحة .
٣- بني المرجة د. محمود بهاء الدين ، العابد م. ريما ، ٢٠٠٧ - أنظمة التحكم المنطقي القابلة للبرمجة (PLC) – كتاب التمارين . ط١ ، المؤلفين ، سورية ، ٢٠٨ صفحات.
٤- بني المرجة د. محمود بهاء الدين ، نصور م. ريم ، ٢٠٠٧ - أنظمة التحكم المنطقي القابلة للبرمجة (PLC) – كتاب النظري ، المؤلفين، سورية ، ١٦٢ صفحة.
٥- الناطور د. ابراهيم ، ٢٠٠٠ – المضخات وصمامات التحكم الهيدروليكية (تصميم وتحكم – تحليل وتشخيص الأعطال وصيانتها). ط١ ، دار الايمان، سورية، ٢٣١ صفحة.
٦- كتالوك شركة : HYSTAR ® System™. Hyking Corp.©2002 - بالانكليزية.
٧- بني المرجة د. محمود بهاء الدين، الشياح د. عبد الرحمن – أتمتة آلات الحقن ذات الحجرة الساخنة لخلائط المعادن سهلة الإنصهار- مجلة جامعة البعث ، مجلد ٣٢ للعام ٢٠١٠

8- LG Programmable Logic Controller GLOFA-GM,Instruction &Programming 2002-04, LG-Industrial systems. Seuol 150-721, Korea.

9- GMWIN for Windows [GLOFA-GM series], 2002- 04.Instruction & Programming .LG-Industrial systems. Seuol 150-721 . Korea.