

УДК 621.74.043.2:
621.74.08

**В.П. Самарай,
В.С. Богушевский,
Р.В. Самарай**
(НТУ «КПИ», г. Киев)

Аннотация

Summary

Система управления торможением пресс-поршня на машине литья под давлением

Предложено и обосновано использование нечеткой логики для контроля, моделирования и регулирования скорости перемещения и торможения пресс-поршня - важнейших факторов автоматизации, обеспечения качества отливок, уменьшения энергопотребления, увеличения производительности и эффективности машин литья под давлением (ЛПД).

Ключевые слова

Нечеткая логика, система управления, литье под давлением.

Проектирование автоматизированной системы ЛПД – сложная техническая и информационная задача, которую можно разделить на две тесно связанные подзадачи – собственно автоматизированная система регулирования процесса ЛПД и проектирование автоматизированного техпроцесса, в котором выделяются этапы:

- анализ номенклатуры отливок (классификация их по конструктивно-технологическим признакам, выбор характерных отливок);
- анализ техпроцесса (требования к отливке и пресс-форме (ПФ) при автоматизации, определение автоматизируемых операций);
- выбор технологического оборудования и средств контроля и автоматизации;
- разработка вариантов и выбор транспортно-технологической схемы обычного или автоматизированного техпроцесса [1].

Качество отливок, изготавливаемых ЛПД, определяется рядом факторов, к которым со стороны оборудования, в первую очередь, относят параметры – *условно постоянные*: диаметры пресс-пары (поршня и заливочного стакана) и *переменные*:

- три скорости пресс-поршня (ПП) в трех фазах прессования;
- температуры: сплава, ПФ и охлаждающей жидкости;
- давления прессования и запириания в трех фазах прессования;
- время кристаллизации отливок;
- режимы и интенсивность смазывания ПФ [1].

Исходная информация для разработки автоматизированного техпроцесса и САУ (САР) ЛПД – это сведения про объекты производства: характеристики отливок и их литниковых систем, а также выбор, необходимых, с тех-

нологической точки зрения, режимов заполнения полостей ПФ (турбулентного, ламинарного или дисперсного). Например, ЛПД тонкостенных пространственных заготовок требует высоких скоростей: прессования, которой определяется малое время заполнения ПФ, расплавом и впуска [2].

Следует отметить, что для расчета и выбора постоянных геометрических параметров литниковой системы и условно постоянных оптимальных режимов заполнения формы есть классические уравнения неразрывности [1] и расхода [3]. При увеличении скорости впуска металла и уменьшении времени заполнения происходит дисперсное заполнение, что приводит к положительному результату – формированию мелкозернистой структуры отливки, уменьшению ее поверхностных дефектов и внутренней пористости, которая выявляется в виде равномерно распределенных и разобщенных пор.

Исследования и расчеты показали, что *главные факторы, определяющие качество отливок по пористости, поверхностным дефектам и внешнему виду, это скорость прессования и температура формы*. Однако, по мере повышения скорости прессования, при резкой остановке ПП в конце заполнения формы возрастает гидроудар, приводящий к выбрызгу металла из формы, искажению конфигурации и размеров отливки, образованию на ней облоя, ухудшению ее качества и условий эксплуатации ПФ и машины ЛПД (МЛПД) и даже в некоторых случаях – к разрыву напорного трубопровода [1].

Технологические параметры можно выбирать расчетом [4] или по номограммам [5]. Необходимое сечение питателя можно даже подобрать экспериментально на МЛПД, с помощью специальной тестовой ПФ [6].

Получение отливок высокого качества возможно только при оптимальных значениях постоянных, условно постоянных и переменных параметров, с одновременным снижением гидроудара в конце заполнения ПФ, для чего используют торможение ПП в конце его перемещения. Для снижения такого влияния МЛПД оснащаются быстродействующими мультипликаторами, специальными механизмами и автоматическими системами, сокращающими не только период воздействия высокого давления, но именно торможение ПП [2, 7].

Одна из первых этот способ применила компания Ube Industries (Япония) [7], которая разработала новый механизм прессования, эксплуатация которого показала, что при $v_{пр} < 2$ м/с удар незначителен. Предложены два варианта торможения ПП [Пат. 53-74567 (Япония)]. В варианте I торможение осуществляется демпфером, за счет выдавливания рабочей жидкости гидросистемы через кольцевой зазор, образующийся между утолщением на штоке ПП и втулкой в крышке цилиндра прессования, которая может перемещаться в осевом направлении с помощью

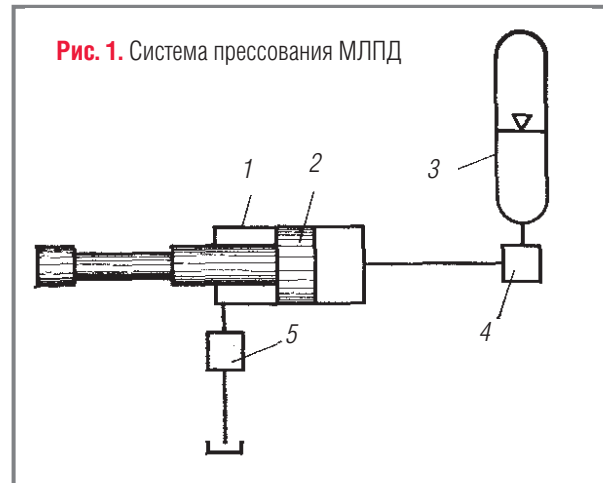


Рис. 1. Система прессования МЛПД

червячной пары. В варианте II торможение происходит по команде от ПП – закрытием гидрораспределителя, уменьшающего площадь проходного сечения сливного трубопровода цилиндра прессования [2].

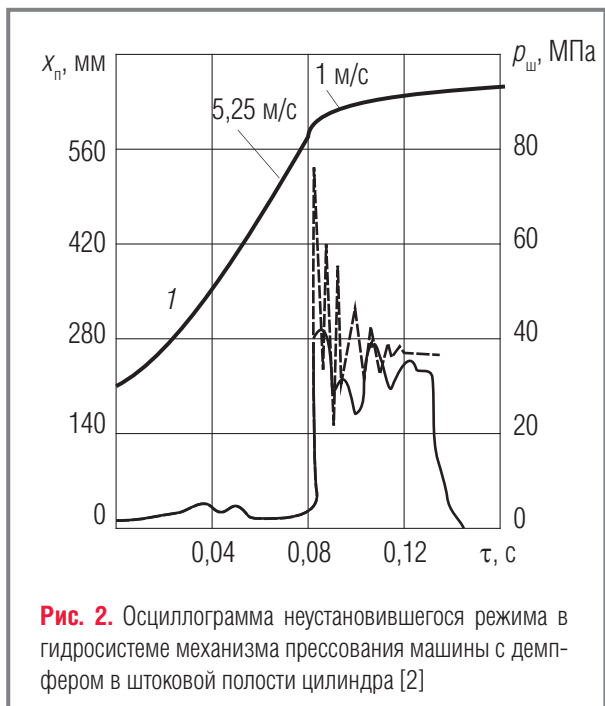
Немаловажное значение имеет технологическая пауза между окончанием заполнения формы и подачей давления продолжительностью 2...5 с. Невыполнение этого условия влечет за собой заливы сплава по разъему, в стыки в посадочные места стержней и зазоры между частями формы, затрудняющие ее разъем, а нередко и препятствующие ему [8].

Таким образом, контроль, регулирование скорости перемещения и торможение ПП – важнейшие факторы автоматизации, обеспечения качества отливок, повышения производительности и эффективности МЛПД. Основным классификационным признаком средств контроля, регулирования и торможения скорости ПП считается *конструкция датчика*, фиксирующего перемещение, скорость или ускорение его движения. Датчики можно разделить на группы:

- *скорости и перемещения* – фотоэлектрические (инфракрасные), индуктивно-частотные и емкостные;
- *перемещения* – угловые потенциометрические, реохордные;
- *скорости* – магнитоэлектрические линейные, угловые, тахогенераторные, электро- и миллисекундные (в том числе, с использованием электросекундомера), ультразвуковой и механический [1].

Для отечественных машин разработаны механизмы прессования с торможением ПП в конце его хода. Так, в МЛПД мод. 71118, предназначенной для изготовления *ступенек эскалатора*, торможение осуществляется демпфером и клапаном, что не позволяет регулировать момент начала торможения ПП и поэтому неприменимо для универсальных машин.

Для исключения этого недостатка созданы механизмы, в которых торможение осуществляется уменьшением



проходного сечения напорной магистрали специальными гидроаппаратами. Принимается расчетная схема (рис. 1), включающая цилиндр прессования 1, внутри которого перемещается ПП 2. Поршневая полость цилиндра соединена трубопроводом с пневмогидравлическим аккумулятором 3, заряженным газом постоянного давления. Сначала ПП 2 движется с постоянной рабочей скоростью прессования v_p , впуская металл в полость формы. В конце его пути срабатывают специальные устройства торможения 4 или 5. Это могут быть демпфер, клапаны, гидрораспределители, которые уменьшают проходное сечение напорного или сливного трубопровода механизма.

Движение ПП должно происходить в два этапа: медленное перемещение в 1-ой фазе (первый регулятор скорости), быстрое — во 2-ой (второй регулятор скорости), с постепенным торможением. Медленное перемещение в 1-ой фазе определяется необходимостью вытеснения воздуха из наполнительного стакана в МЛПД с горизонтальной камерой прессования и для плавного и безударного входа в наполнительный стакан для машин с вертикальной камерой.

На рис. 3 представлен участок пути ПП в конце заполнения формы (2-ой фазы), на котором возможно уменьшение скорости прессования (режим торможения или управляемый впрыск). Эта дополнительная фаза прессования позволяет исключить т. н. *прострелы* при недостаточном усилии запирающей формы, за счет очень точного и эффективного торможения ПП в конце прессования. Этот режим также увеличивает срок службы ПФ. Быстрое перемещение ПП на 2-ом этапе связано с необходимостью приобретения кинетической энергии металлом для запол-

нения полости формы и сваривания потоков металла.

Нижний и верхний пределы изменения скорости ПП на 1-ом этапе определяются необходимостью сохранения заданной температуры расплава до его подхода к питателю и обеспечения максимального вытеснения воздуха фронтом металла из камеры прессования. На 2-ом этапе движения пределы изменения скорости ПП определяются объемом, конфигурацией и временем затвердевания металла. Главная трудность — определить моменты: начала 2-ой фазы и торможения.

Начало 2-ой фазы на МЛПД с горизонтальной камерой зависит от объема заливаемой в наполнительный стакан порции сплава, поскольку изменение этого объема синхронно с изменением хода ПП на 1-ом этапе. Оптимален такой способ включения высокой скорости, при котором используется датчик подхода металла в зону питателей (электроконтактами или термопарами).

Автоматическое регулирование можно осуществить и программируемым задатчиком, по типу разработанного американской фирмой Sanders. Регулятор должен включать следующие элементы системы:

- программируемый задатчик;
- цепь управления скоростью ПП, состоящую из сервоклапана, вентиля расхода жидкости и датчика расхода;
- цепь управления давлением прессования, имеющую те же элементы, а также датчик давления;
- гидроцилиндр механизма прессования.

Для управления и регулирования техпроцессов ЛПД целесообразно использовать новейшие подходы кибернетики и системного анализа: *нечеткие* — логику и регуляторы, для применения которых желательно проанализировать существующие математические модели (ММ).

Для анализов и расчетов динамики заполнения пресс-стакана МЛПД с горизонтальной камерой авторами были предложены [9]: дифференциальная система уравнений массы и количества движения и уравнения в лагранжевых координатах, которые использовали для оптимизации заполнения пресс-стакана, при этом, процесс перемещения ПП разбивали на три фазы: перекрытия заливочного окна, сбора жидкого металла и заполнения формы. Решение уравнения показало, что образуется сначала прямая волна, а затем отраженная, что очень важно для предотвращения захвата большого количества воздуха.

Уравнения, аналогичные задачам газовой динамики, очень удобны для решения задач с движущимся ПП и постоянным объемом среды и могут быть использованы для расчетов динамики торможения. В 1-ой фазе скорость изменялась по линейному закону, во 2-ой — по кубическому, с выходом на постоянную скорость заполнения в 3-ей фазе (рис. 4). Результат

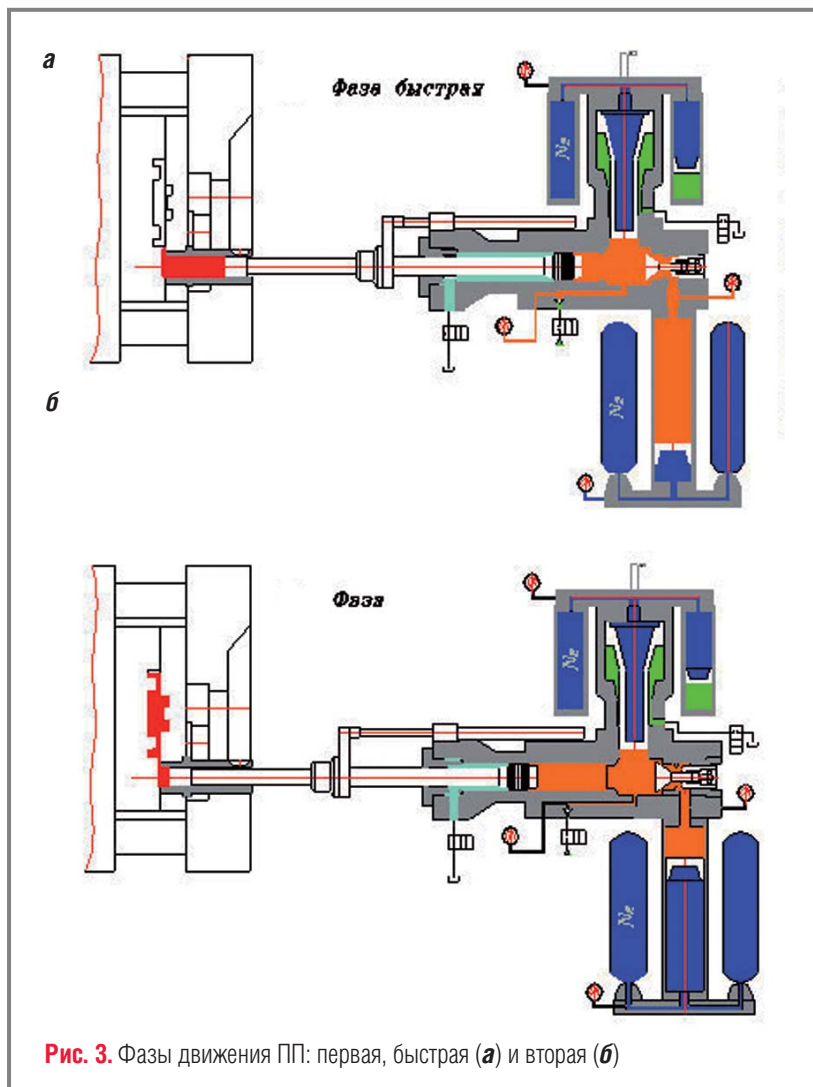


Рис. 3. Фазы движения ПП: первая, быстрая (а) и вторая (б)

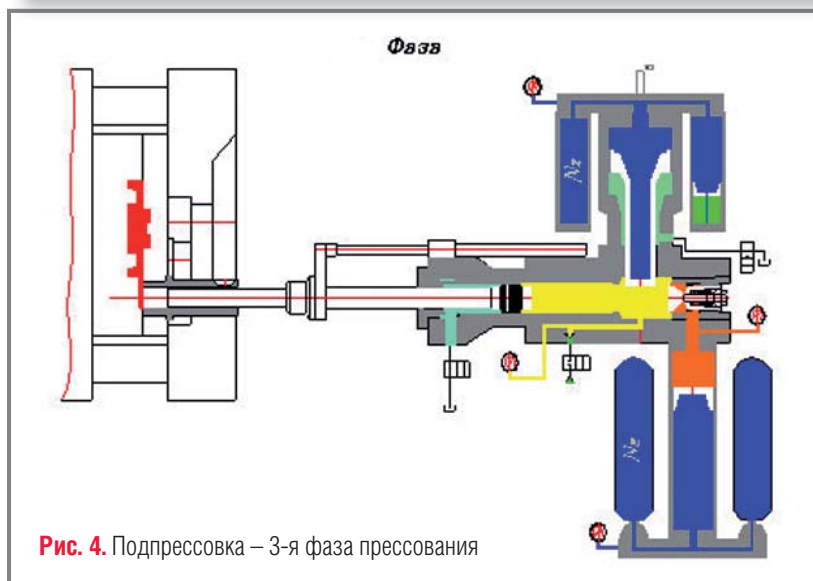


Рис. 4. Подпрессовка – 3-я фаза прессования

моделирования именно с такими зависимостями в трех фазах показал, что ПП перемещается без об-

разования воздушного мешка, что надо учитывать для процессов его торможения.

Для расчетов динамики торможения ПП предложена [2] система дифференциальных уравнений, содержащая уравнения движения ПП и жидкости в трубопроводе. После преобразований эта система уравнений имеет вид удобный для ее решения на ЭВМ.

Для решения подобных задач задаются начальные условия, например, давления рабочей жидкости в поршневой и штоковой полостях цилиндра прессования всегда положительны. На основании разработанного алгоритма расчета динамики торможения ПП теми же авторами была составлена программа для ЭВМ, и по ней рассчитано давление в штоковой полости цилиндра прессования $p_{ш}$ МЛДП мод. 711А10 (штриховая линия, см. рис. 2). Сравнение аналитических и практических результатов показало, что методика расчета обеспечивает приемлемую для технических целей точность.

Из численного анализа конструкций механизмов прессования средних и крупных машин определены необходимые коэффициенты и параметры торможения на сливной магистрали и показано, что параметры работы механизма необходимо определять при соотношении конечной v_f и начальной v_p установившихся скоростей ПП, равном $v_f/v_p = 0.5$.

На рис. 5 – кривые изменения максимального относительного давления в штоковой полости цилиндра прессования x_{4max} , возникающего в момент торможения ПП, в зависимости от наиболее важного коэффициента A_c , учитывающего сжимаемый объем жидкости в сливной магистрали гидросистемы (кривые 1 и 2). Были рассчитаны значения x_{4max} при других комбинациях коэффициентов, все расчетные значения находились между кривыми 1 и 2 [2].

Обычно механизмы прессования с торможением на сливной магистрали проектируют таким образом, чтобы x_{4max} не превышало более, чем на

20...30% статическое давление $p_a F_n / F_{ш}$, создаваемое аккумулятором, для чего необходимо правильно подобрать сжимаемый объем жидкости в сливной магистрали, так как все остальные параметры гидросистемы механизма практически не изменяются. Эти данные позволяют получить приближенную формулу для определения действительного пути перемещения ПП.

Предложенные в [2] уравнения позволяют построить нечеткую ММ управления работой ПП, после чего ее можно использовать для управления узлом машины в автоматическом режиме с помощью ЭВМ, промышленных компьютеров, контроллеров и микроконтроллеров, а также внедрить в эту систему нечеткие регуляторы (НР), чтобы улучшить качество и эффективность системы регулирования, более точно регулировать скорость, момент начала и продолжительность торможения ПП, можно применять стандартную (классическую) схему системы управления с НР. После проведения всех расчетов и сравнений определяется скорость, момент начала и продолжительность торможения ПП. Таким образом, торможение ПП необходимо начать в момент достижения равенства критерия соответствующему выражению.

Все предложенные расчеты можно использовать при математическом моделировании и нечетком регулировании процессов работы МЛПД, и как следствие, для управления этими процессами. Построив ММ с использованием нечетких правил и выражений, мы получим систему, которая работает в режиме реального времени и может с большой точностью управлять производственным процессом автоматизированного комплекса ЛПД.

Выводы

- Регулируемое ослабление гидроудара торможением ПП в конце его перемещения позволяет существенно уменьшить брак отливок, что повышает качество продукции и эффективность ее производства.
- Можно заранее рассчитать путь торможения, и тем самым правильно настроить момент включения торможения ПП, что важно при эксплуатации МЛПД.
- Введение в систему нечетких регуляторов повышает качество регулирования процесса получения отливок и уменьшает энергопотребление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беккер М.Б., Заславский М.Л., Игнатенко Ю.Ф. и др. Литье под давлением. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Ноговицин Б.Ф., Востриков А.А. Торможение пресс-поршня машин литья под давлением // Литейное



Рис. 5. Характерные кривые изменения максимального относительного давления в штоковой полости цилиндра прессования X_{4max} , возникающего в момент торможения ПП [2]

производство. – 1986. – №8. – С. 25–26.

3. Белопухов А.К. Технологические режимы литья под давлением. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.

4. Лукьянов А.М., Белов В.М., Харитонов А.В. Выбор скорости впуска и скорости прессования при литье под давлением алюминиевых сплавов // Литейное производство. – 1977. – №1. – С. 21–23.

5. Прохоров И.И. Номограммы для расчета режимов литья под давлением // Литейное производство. – 1976. – №5. – С. 23–24.

6. Красилов Ю.И., Курицин Ю.И., Косинов А.И. Форма с регулируемым сечением питателя для литья под давлением // Литейное производство. – 1976. – №12. – С. 34.

7. Shimizu Kazushige. Low-impact shot system J / Die Casting Engineering. – 1976. – №1. – Pp. 22-24, 26-29.

8. Бедель В.К. Что препятствует широкому промышленному применению литья под низким давлением? // Литейное производство. – 1987. – №12. – С. 16–19.

9. Крейцер А.А., Хазанов М.В. Заполнение прессканала машин литья под давлением с горизонтальной камерой прессования // Литейное производство. – 1987. – №7. – С. 26–28.

Сведения об авторах

Самарай В.П. – канд. техн. наук, доцент Национального технического университета Украины (НТУ «КПИ», г. Киев). E-mail: oxugen@i.ua

Богушевский В.С. – д-р техн. наук, проф., там же.

Самарай Р.В. – аспирант, там же.