

Автоматическая настройка коленно-рычажного механизма узла смыкания в соответствии с изменяющимися условиями работы (при установке литейной формы нового типоразмера) обеспечивает максимально возможную скорость и одновременно плавность хода подвижной плиты (рисунки: ENGEL)



## Интеллектуальные спринтеры

**Высокоскоростное литье под давлением.** Гоночные автомобили для гонок в классе «Формула-1» и высокоскоростные литейные машины имеют кое-что общее: для достижения высоких скоростей приходится порой принимать нетрадиционные решения и использовать новые подходы. В частности, для узла смыкания литейных машин серии Speed фирмы Engel были разработаны коленчатые рычаги с новыми геометрическими характеристиками, отличающиеся высокой плавностью движения благодаря равномерному передаточному отношению и автоматической настройке коленно-рычажного механизма в соответствии с конкретными условиями работы.

**Герхард Диммлер,  
Ханнес Бернхард,  
Уве Шорн**

Для обеспечения минимальной продолжительности так называемого сухого цикла (суммы времени смыкания и размыкания литейной формы) наладчик должен оптимизировать регулируемые параметры работы коленно-рычажных машин, используя принцип последовательного приближения. Трудность при этом заключается в нахождении компромиссного решения между желанием максимально уменьшить периоды ускорения и торможения подвижной плиты узла смыкания и необходимостью минимизировать вибрацию литейной машины. Эти действия приходится повторно выполнять при каждом изменении условий работы, так как найденные оптимальные установки являются таковыми только для определенной величины хода подвижной

плиты и зависят от массы литейной формы. Кроме того, оптимальные для одной литейной машины значения параметров работы, как правило, не являются оптимальными для другой. Для достижения высокой производительности при любых производственных условиях необходимы опытные наладчики, хорошо знакомые с реальными возможностями быстроходных машин. Далеко не каждое предприятие располагает подобными высококвалифицированными специалистами, и потому потенциальные возможности быстроходных литейных машин реализуются зачастую не в полной мере.

В целях решения этой проблемы фирма Engel с недавнего времени оснащает свои машины серии Speed интеллектуальной программируемой системой «Active Speed Setup», задачей которой является расчет оптимальных параметров перемещения подвижной плиты. Встроен-

Dimmler G., Bernhard H., Schorn U. Die intelligenten Sprinter. Kunststoffe 98 (2008) 7. S. 50 – 53.

ная система регулирования обеспечивает автоматическое перемещение плиты в соответствии с расчетными оптимальными параметрами. Программа является достаточно простой в использовании и позволяет оператору средней квалификации на практике реализовать заявленные производителем потенциальные возможности оборудования.

### Механические особенности рычажной системы

Задача для команды проектировщиков была сформулирована следующим образом: разработать систему, которая свела бы к минимуму время сухого цикла при смыкании и размыкании литейной формы, не ухудшая плавности работы коленно-рычажного механизма. При этом учитывалась также вибрация рамы литейной машины, колебания которой являются результатом действия сил инерции со стороны перемещающейся подвижной плиты узла смыкания. Интенсивность вибрации рамы зависит от ускорения этой плиты и плавности движения коленчатого рычага. Из-за этого каждая литейная машина имеет свои специфические показатели вибрации. Из основной цели проекта – рассчитать требуемый (идеальный) закон движения при минимальной собственной вибрации машины – вытекала необходимость максимально быстрого смыкания и размыкания литейной формы, причем затрачиваемое на эти технологические переходы время зависит от установленных на литейной машине плит узла смыкания. Число вводимых для выполнения расчета наладочных параметров машины должно было при этом ограничиваться требуемой величиной хода перемещения подвижной плиты и несколькими основными характеристиками литейной формы.

Максимально достижимая скорость работы кинематической системы коленно-рычажного механизма определяется в первую очередь предельными условиями его работы. Фирма Engel в такой степени оптимизировала передаточные отношения в коленно-рычажном механизме, что скорости перемещения ползуна и подвижной плиты в пределах значительной части зоны их движения сохраняли постоянное значение (рис. 1). Таким образом, скорость на динамической стадии движения остается неизменной, что практически предотвращает вибрацию узла смыкания формы.

Новая коленно-рычажная система узла смыкания используется как в гидравлических литейных машинах серии

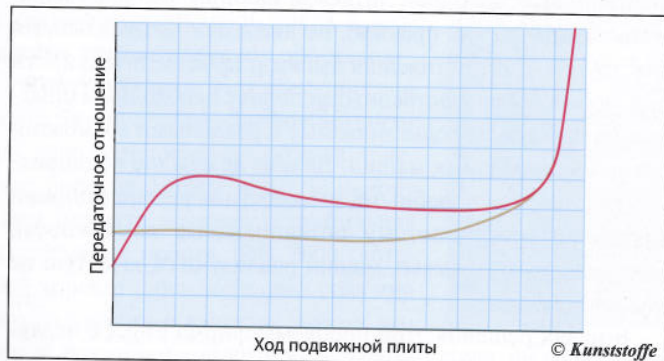


Рис. 1. Характерное изменение передаточного отношения обычного (красная кривая) и оптимизированного (бежевая кривая) коленно-рычажных механизмов при перемещении подвижной плиты

Speed, так и в электроприводных серии E-motion. Достижимые в обоих случаях показатели производительности отражают возможности сочетания кинематических систем и приводных устройств. При использовании гидравлических приводов максимальная скорость движения плиты (до 2 м/с) определяется давлением в гидросистеме (выше 200 атм), характеристиками гидравлических клапанов и максимально допустимой скоростью движения масла в трубопроводах системы (до 30 м/с).

В случае электромеханического приводного устройства максимальная скорость движения плиты зависит от предельных возможностей приводного механизма и прежде всего от предельной окружной скорости шпиндельно-шарового механизма. Отсюда следует, что преимущества гидравлических литейных машин в максимальной степени могут быть реализованы при сравнительно большом ходе подвижной плиты. При малой величине хода их преимущество, заключающееся в более высокой максимальной скорости, не может быть реализовано. По этой причине обусловленная особенностями системы предельная скорость винтового приводного механизма играет второстепенную роль. В свою очередь, машины с сервоэлектрическими приводами устройствами представляют собой наиболее интересную альтернативу гидравлическим в тех случаях, когда для достижения наиболее высоких технико-экономических показателей производства в равной степени важны относительное потребление энергии и производительность оборудования.

### Корректировка резких перемещений

Так же, как и время прохождения круга гоночным автомобилем зависит не только от мощности его двигателя, но и от того, какая мощность может передаваться на дорожное покрытие, максимальная производительность литейной машины определяется не только мощностью приводного устройства. Опять же по аналогии с гонками: большое количество современных рекордных достижений обусловлено использованием инновационных регулирующих систем. Обилие поворотов на гоночных трассах и связанная с этим необходимость частых ускорений и торможений соответствуют в литье под давлением короткому перемещению подвижной плиты, а длинные прямые участки трасс с высокими скоростями движения – более протяженному. И, наконец, как в гонках, так и в литье под давлением автоматизированный расчет оптимального использования мощности системы способен существенно улучшить достигаемые результаты.

Система «Active Speed Setup» основана на использовании математической модели, в которой для вычисления устанавливаемых параметров регулирования приводной системы используются в качестве исходных величин все основные физические факторы влияния, а именно: скорость  $v$  движения подвижной плиты

$$v = dx / dt,$$

ее ускорение  $a$

$$a = dv / dt = d^2 x / dt^2$$

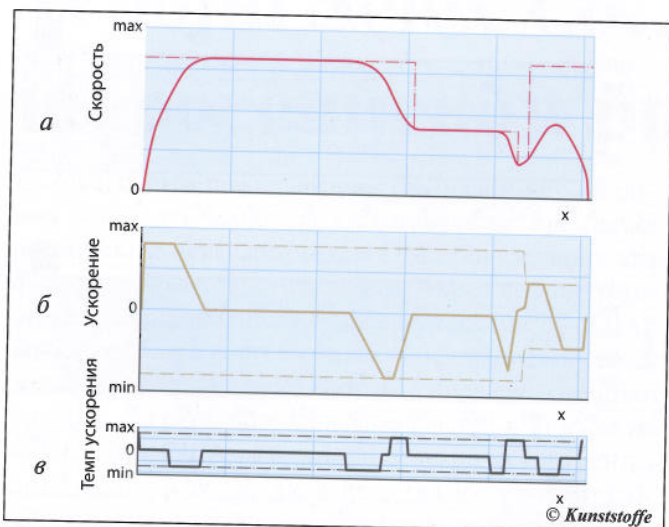


Рис. 2. Характерные изменения скорости (а), ускорения (б) и темпа ускорения (в) движения подвижной плиты узла смыкания в зависимости от ее месторасположения  $x$  на пути движения, которые рассчитываются с учетом допустимых зон их изменения ( $\max$  и  $\min$ ), ограниченных штрихпунктирными линиями (ограничения для ускорения и для темпа ускорения определяются конструкцией машины, а для скорости движения плиты, являющейся основой для расчета ускорения и темпа ускорения, могут задаваться оператором литейной машины)

и так называемый темп ускорения  $j$

$$j = da / dt = d^2v / dt^2 = d^3x / dt^3,$$

где  $x$  – прямолинейная координата месторасположения подвижной плиты в процессе ее перемещения;  $t$  – время.

На первом этапе с учетом этих факторов вычисляются наиболее благоприятные условия движения коленчатого рычага (рис. 2). Важным ограничительным условием при выполнении этого расчета является максимально допустимый темп ускорения, что исключает чрезмерную собственную вибрацию машины, превышающую способность опор машины воспринимать кинематическую энергию. Тем самым надежно предотвращается наблюдаемое порой «перемещение» высокоскоростных литейных машин.

На втором этапе расчетов с помощью соответствующих принципов регулирования обеспечивается максимально возможное приближение фактического закона движения коленчатого рычага к оптимизированному расчетному закону движения. Стабильность выбранных принципов регулирования позволяет автоматически компенсировать различные базовые настройки машины (например, калибровку клапанов и др.). Таким образом, различия в динамических характеристиках литейных машин не становятся ограничениями для использования математической модели. Наглядным результатом применения системы «Active Speed Setup» может служить постоянная линейная взаимосвязь между величиной хода движения подвижной плиты и временем размыкания литейной формы (рис. 3). Без использования описанных мероприятий минимального времени размыкания можно было бы достичь только в относительно узком диапазоне величин хода перемещения плиты – от 500 до 900 мм, а при меньших значениях хода время размыкания существенно увеличивается (см. рис. 3).

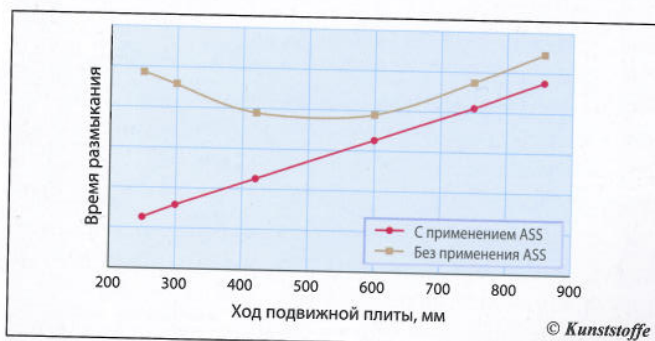


Рис. 3. Характерные зависимости времени размыкания литейной формы от величины хода подвижной плиты, построенные по результатам эксперимента, проведенного на литейной машине модели Speed 500 с применением системы «Active Speed Setup (ASS)» и без нее (для всех других машин серии Speed подобные зависимости имеют аналогичный характер)

### Простота управления

При использовании системы «Active Speed Setup» оператору литейной машины достаточно всего лишь предварительно оценить массу литейной формы и ввести ее значение в поле появляющегося на экране пульта управления шаблона (рис. 4) вместе с желаемыми значениями хода подвижной плиты и ее скорости. Система управления автоматически рассчитывает идеальный закон изменения скорости при условии обеспечения минимальной вибрации литейной машины. Эти операции

могут выполняться как во время работы, так и при пуске машины, когда виртуальный регулятор хода должен находиться в положении «медленно» до тех пор, пока не будут завершены базовые настройки. Для перевода в рабочий режим регулятор скорости переключается в положение «быстро», после чего автоматически корректируется динамика движения рабочих органов. Так как значения скорости подвижной плиты постоянно рассчитываются и измеряются, вывод получающихся в результате расчетов значений продолжительности размыкания и смыкания литейной формы (рис. 5) может осуществляться как на работающей, так и на выключенной литейной машине.

Система «Active Speed Setup» позволяет оптимизировать не только простые линейные циклы, но и протекающие во времени сложные процессы, например, при использовании в форме подвижных формообразующих знаков. Закон движения может содержать несколько стадий ускорения и торможения. И для таких ситуаций предложенная система может автоматически рассчитать оптимальный режим движения.

### Заключение

Новая система «Active Speed Setup» требует для приведения ее в действие ввода только значений хода подвижной плиты узла смыкания и массы литейной формы. Далее

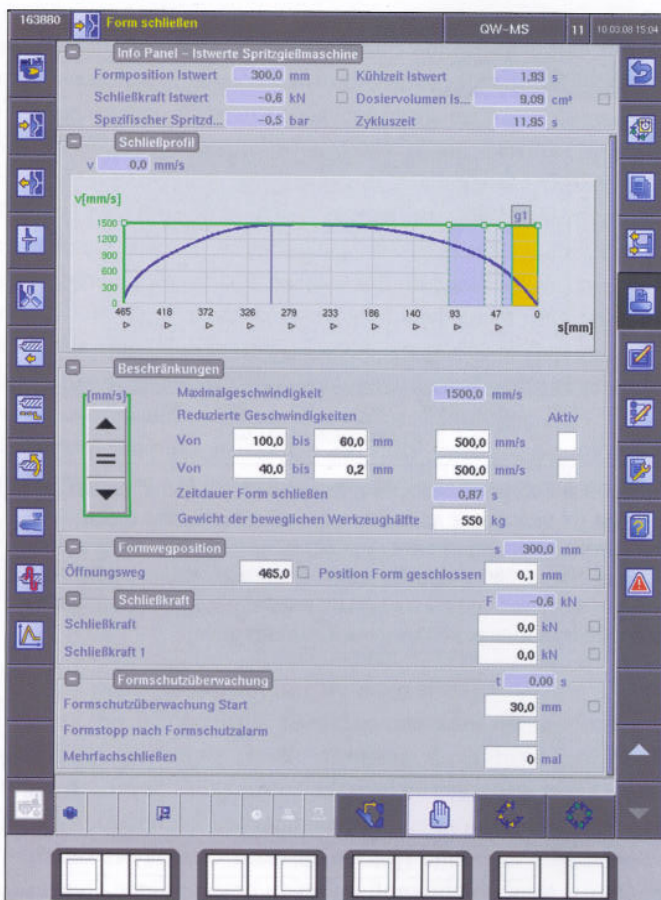


Рис. 4. Инициирование системы Setup осуществляется путем ввода небольшого числа параметров на мониторе пульта управления машины

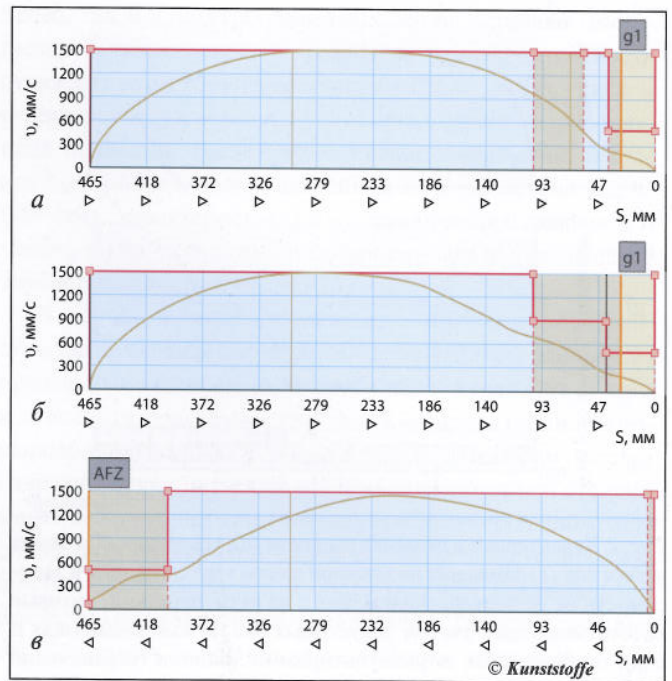


Рис. 5. Изменение скорости движения  $v$  подвижной плиты узла смыкания (кривые бежевого цвета) в зависимости от величины ее хода  $s$  на этапах смыкания (а, б) и размыкания (в) литейной формы (красные линии ограничивают допустимые предельные значения скорости)

система управления литейной машиной автоматически рассчитывает оптимальный закон движения. Тем самым эта система существенно уменьшает затраты времени на проведение любой переналадки оборудования. Обеспечиваемое ею снижение собственных колебаний литейной машины и связанное с этим уменьшение нагрузок на машину и литейную форму способствуют в процессе эксплуатации существенному уменьшению затрат на обслуживание оборудования.

Как уже было отмечено выше, высокоскоростная машина сама по себе еще не гарантирует достижение оптимальных результатов: она должна использоваться целенаправленно и умело. Система «Active Speed Setup» обеспечивает возможность гибкого применения машины. Даже малоквалифицированный наладчик может благодаря этому в полной мере использовать потенциальные возможности литейной машины, т. е. добиться максимальной производительности при минимальных энергозатратах.

Перевод А. П. Сергеевкова

### Intelligent Sprinters

Dimmler G., Bernhard H., Schorn U.

HIGH-PERFORMANCE INJECTION MOLDING. Formula 1 racing cars and fast-cycling injection molding machines have one thing in common: tuning them for high speed may require unconventional solutions and new ways of thinking – like the toggle geometry developed for Engel's Speed-series machines. It features smooth movements thanks to a virtually constant stroke/velocity ratio and automatic operating point setting.