

**Ключевые слова:**

автоматизация, виртуальная модель, MES-системы, литейный цех, современное машиностроение

СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Станислав ТКАЧЕНКО, Вадим ЕМЕЛЬЯНОВ, Константин МАРТЫНОВ

Предложена концепция будущего проектирования литейных цехов на базе последовательности действий: анализ деталей номенклатуры цеха на предмет эксплуатационных и потребительских характеристик, создание виртуальной модели производства, выбор технологии и оборудования.

Современное машиностроение все активнее осваивает виртуальное пространство и технологии. Компьютерное моделирование становится неотъемлемой частью любого успешного проекта. В литейном производстве применение САЕ-программ в части разработки технологии – это уже стандарт.

А. А. Бречко выпустил книгу «Литейные системы и их моделирование» еще в 1975 году, тогда он опередил свое время. И сегодня, спустя более двух десятилетий, идеи, заложенные автором, воплощаются в жизнь.

В настоящее время литейное производство России требует глубокой модернизации, в то же время использование новейших технологий и оборудования в условиях постиндустриального производства не гарантирует успешного функционирования литейного цеха.

Неспособность одной из компаний обеспечить качество и приемлемую себестоимость отливок привело к потере такого заказчика, как ПАО «Силовые машины». Локализация производства автокомпонентов буксует на месте. И таких примеров много. Литейное производство сегодня – это прежде всего бизнес, любой проект замыкается на получении максимальной прибыли.

Необходимо отметить, что литейное производство в составе машиностроительного комплекса и самостоятельный литейный цех – это не одно и то же. Объединение различных производств в рамках одной компании нивелирует убыточность отдельного подразделения. В то же время общая тенденция к модернизации зачастую приводит к закупке разрекламированного оборудования без учета перспективы развития производства и задач реконструкции. В итоге, себестоимость литья на крупном предприятии растет, а расходы покрывает механическая обработка.

Стремление повысить рентабельность приводит к закрытию или отделению литейного производства. Получив самостоятельность, литейка старается получить максимально выгодные заказы. Уже не редки случаи, когда дорогостоящие ответственные отливки пытаются изготовить в цехах рядового литья. Результатом становится упущенное время и финансовые потери.

Для обоих случаев характерно общее противоречие. Литейное производство стремится получить современную технологию и роботизированное высокопроизводительное оборудование, при этом продолжая жить по советским законам гарантированного заказа и отсутствия конкуренции. В то же время экономик предприятия вынуждена функционировать по законам капиталистической реальности с возможностью банкротства.

Такое противоречие приводит к невозможности конкурировать даже с литейной промышленностью развивающихся стран. Если исключить государственные инвестиции, которые компенсируют любые ошибки в организации производства, то один из вариантов решения проблемы – это использование виртуальных технологий.

Степень риска в заготовительной отрасли весьма значительна, и здесь возможность смоделировать ситуацию в виртуальной среде приобретает решающее значение. Особенность литейного производства – многостадийный передел. В первую очередь это касается литья в разовые формы: промежуточные операции изготовления форм требуют запасов материалов, работа «с колес» чревата срывом сроков, развитой инфраструктуры рынка формовочных материалов пока нет. Каждый элемент литейной формы увеличивает вероятность брака в конечном изделии – отливке. Чем длиннее технологическая цепочка, тем более воз-

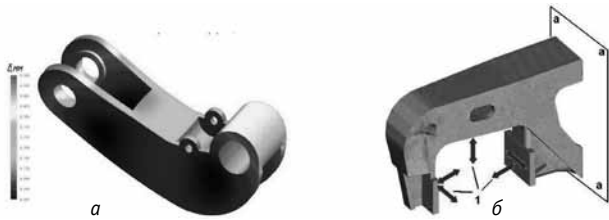


Рис. 1. Работа SAE-программы: *а* – динамический анализ условий эксплуатации детали в программе Teamcenter фирмы Siemens, *б* – анализ живучести литой боковой рамы тележки грузового вагона в программном комплексе Nastran фирмы Siemens

растает вероятность получить изделие, не соответствующее требованиям как по потребительским свойствам, так и по себестоимости.

Высокий риск получения брака порождает определенные ограничения в части принятия решений, прежде всего это боязнь внести изменения в технологический процесс. Возникает желание работать с отработанной номенклатурой, и, как результат, инертность производства. В то же время, постиндустриальное производство – это сжатые сроки, малые партии и постоянно растущие потребительские свойства. Выходом из ситуации могут стать только нестандартные (креативные) решения.

Нестандартные решения плохо поддаются оценке с точки зрения последствий для производства. Кроме того, вышеназванные особенности литейной отрасли исключают саму возможность принятия «смелых» решений. Если объект виртуальный, то ограничения ослабевают и, что немаловажно, расширяется поле возможного маневра. В первую очередь это касается свойств заготовки.

Современные SAE-программы позволяют с достаточной точностью прогнозировать ресурс детали, при этом могут быть заложены соответствующие дефекты структуры (рис. 1).

Например, профессиональное металлорежущее и деревообрабатывающее оборудование из стран Юго-Восточной Азии имеет существенные дефекты чугунного и стального литья, но это не сказывается на его эксплуатационных характеристиках. В то же время себестоимость такого оборудования в разы ниже, чем промышленного.

Противоположный случай: концерн Toyota с его разрекламированной системой организации производства «канбан» [1, 2]. Сборочный конвейер завода функционирует практически без резервов комплектующих. Фактически, по мнению экспертов, Toyota перекладывает запасы на мощности постав-

щиков и готова платить соответствующую цену за качество и сроки поставок.

Подход, построенный по принципу выполнить заказ и получить прибыль, опираясь только на опыт и интуицию, является, по сути, «игрой в рулетку». Гарантия успеха это только выход вперед, хотя бы по одному из трех направлений конкурентоспособности: себестоимость, сроки, потребительские свойства. Оценить возможности действующего, а тем более проектируемого производства без привлечения моделирующих программ весьма затруднительно. Зная поле допустимых дефектов в заготовке и модель производства, можно точнее подобрать технологию и оборудование.

При модернизации действующего производства и проектировании новых мощностей перспективной выглядит схема, когда вначале идет анализ деталей номенклатуры цеха на предмет эксплуатационных и потребительских характеристик (рис. 1), затем создается виртуальная модель производства (рис. 2). Только после этого выбирается технология и оборудование для выполнения производственной программы. В этом случае любой креативный проект можно оценить как по степени собственной «провальности», так и по воздействию на существующее производство.

Такой подход стал возможен с появлением на рынке предложений по 4D-моделированию. В этих программных продуктах, помимо твердотельной модели осуществляется функциональная привязка элементов. По сути, это первый шаг к полноценной виртуальной модели производства. Наличие такой модели, в пирамиде управления на основе сетевого решения открывает возможность работы литейного цеха в условиях постоянно меняющегося спроса и номенклатуры.

Современные PLM-системы позволяют симулировать не только работу оборудования, но и деятельность персонала, вплоть до влияния усталости и удобства инструмента (рис. 3).

Прорыв в этом направлении осуществила компания Siemens [4]. Пакет Technomatix Plant Simulation позволяет моделировать технологические процессы, связанные с большим объемом ручного труда. Такая задача характерна для цехов крупного литья, участков ЛВМ и др. То, что раньше решал диспетчер цеха, сегодня способен сделать ПК. Причем моделирование возможно как в условиях действующего производства (MES-системы), так и на этапе проектирования.

Предварительный анализ производственного цикла (он начинается с долгосрочного планирования, затем идет формирование оперативного плана и все заканчивается моделированием работы конечного оборудования и персонала) позво-



Рис. 2. Виртуальная модель цеха стального и чугунного литья мощностью 5 000 т/г (формовочно-заливочный участок)

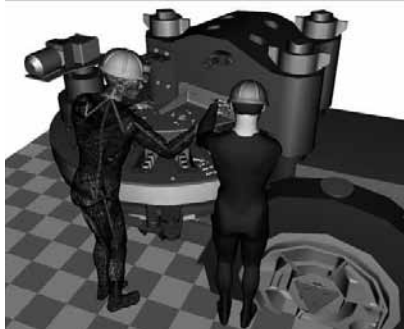


Рис. 3. Визуализация работы персонала в приложении Teamcenter-PLM фирмы Siemens

ляет свести к минимуму ошибку в расчете рентабельности. Кроме того, для действующего цеха комплексное моделирование определит сектор, в котором следует искать заказы, – те заказы, что могут быть выполнены с получением прибыли и минимальным риском повышения накладных расходов.

Безусловно, применение PLM-среды в условиях существующего сегодня производства сталкивается с отсутствием элементарных систем планирования и автоматизации технологического оборудования, но элементы моделирования дают возможность оценить влияние и направление требующейся модернизации. Здесь уместно сравнение с программами моделирования литейной технологии (Полигон, LVMflow и т.д.). Пакет не дает подсказок, но показывает ошибки.

Относительно вновь создаваемого производства можно предположить, что виртуальная модель будущего цеха должна служить основой проектных работ в «натуре». Подушкой безопасности в отношении неизбежных ошибок моделирования служит система многоуровневого планирования: от пакетов класса ERP до диспетчеризации конечного оборудования MES. Основные преимущества такой иерархической структуры – ограниченные права доступа к проекту и обратная связь с производством через локальную сеть. Таким образом, виртуальное производство в виде пирамиды управления инициирует производственный процесс. В случае отклонения происходит оперативный пересмотр графика работы оборудования и персонала. Гибкость подобной системы очевидна, в рыночных условиях постоянного спроса появляется возможность

за основу принимать не технологический цикл, а рассматривать в целом бизнес-процесс [3].

В идеальном случае функционирование литейного цеха следует рассматривать как бизнес-проект под конкретный сектор рынка. В процессе подготовки производства может быть совершенно не очевидно, что определенная номенклатура окажется убыточной. Попытки решить проблему рентабельности заказа человеческим фактором требуют значительного опыта и таланта, коим современные молодые кадры не обладают. Виртуальная модель производства может показать, как скажется новый заказ на выполнении действующей программы, и оценить степень риска по выходу годного.

Различного рода симуляторы становятся нормой современной жизни. В силу специфики литейного производства, обусловленной многократным технологическим переделом, IT-технологии приходят сюда с большим опозданием. Заготовительная отрасль требует больших капиталовложений и здесь проверка на наличие системных ошибок имеет огромное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Залыгин А. Р.** MES-системы с точки зрения организации производства // *Металлообрабатывающее оборудование*. 2008. № 12.
2. **Фролов Е. Б., Загидулин Р. Р.** MES-системы, как они есть, или эволюция систем планирования производства // *Металлообрабатывающее оборудование*. 2008. № 10.
3. www.sysdynamics.ru
4. www.calsvstu.ru

ТКАЧЕНКО Станислав Степанович – доктор технических наук, профессор, президент Ассоциации литейщиков Санкт-Петербурга и Ленинградской области (ЛенАЛ)

ЕМЕЛЬЯНОВ Вадим Олегович – кандидат технических наук, заместитель руководителя филиала Российской академии художеств «Творческая мастерская «Литейный Двор» по научно-экспериментальным и научно-исследовательским работам

МАРТЫНОВ Константин Викторович – кандидат технических наук, заместитель руководителя филиала Российской академии художеств «Творческая мастерская «Литейный Двор» по научно-экспериментальным и научно-исследовательским работам