

# НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОТЛИВОК И ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**В. А. Жаранов**

*Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель И. Б. Одарченко, канд. техн. наук, доц.

Современное машиностроение предъявляет новые требования к качеству деталей. В первую очередь, это элементы машин и механизмов, работающие в тяжелых условиях динамического нагружения. Приоритетом является сокращение веса без потери качества и разработка высокоточных деталей с низким процентом брака и высокой надежностью в период эксплуатации. Пути решения проблем снижения массы деталей, ранее успешно применявшиеся в технике (применение композиционных материалов и дорогостоящих сплавов металлов), во многом исчерпали свой потенциал.

Интуитивный эмпирический подход, когда конечная геометрия изделия формируется на базе аналогии с предыдущими удачными конструкциями и доработки при возникновении проблем в период эксплуатации, может гарантировать прочность отдельной детали. Однако из-за избыточной массы и ограничений на форму в соответствии с преемственностью топологии машины и агрегаты, в которых используются такие детали, уже в начале эксплуатации часто являются морально устаревшими.

Решение указанных проблем можно обеспечить применением в процессе проектирования принципов топологической оптимизации (оптимизация формы конструкции или оптимизация компоновки) по элементам конструкции деталей и узлов. Цель топологической оптимизации состоит в определении лучшего использования материала для исследуемого объекта или конструкции, так, чтобы целевая функция (например, общая жесткость или собственная частота) имела максимальное или минимальное значение при наличии ограничений (таких, как уменьшение объема).

Также геометрия продукта должна быть результатом процесса разработки дизайна, а не отправной точкой. Топологическая оптимизация является одним из спо-

собов «узнать» структурную геометрию, которая была оптимизирована, чтобы удовлетворить заданному набору показателей и ограничений, таких, как минимальный вес или максимальная прочность.

В процессе топологической оптимизации (рис. 1) проводится постановка и решение прочностной задачи методом конечных элементов (МКЭ). Для этого задается контурная геометрическая область конструкции, ее механические свойства, условия закрепления и действующие нагрузки. После решения прочностной задачи начинается непосредственная работа по топологической оптимизации конструкции. Формулируется целевая функция – снижение податливости конструкции, испытывающей один или несколько вариантов нагружения, увеличение собственных частот, ограничение по деформациям и т. д. Для получения решений, действительно близких к оптимальному, необходимо вводить в процесс оптимизации проверку (ограничения) на предельные динамические нагрузки и ресурс, уточняемые на каждом итерационном шаге.

Очевидно, что на этапе топологической оптимизации происходит усложнение конструкции детали. Основной параметр – коэффициент целевой массы. При его уменьшении топология становится более «ажурной», начинает разветвляться, поскольку стремится к безстеночной. Поэтому исходная «простая» технология производства заготовки становится обычно невозможной. Приоритетный способ эффективного изготовления таких деталей – производство отливок.

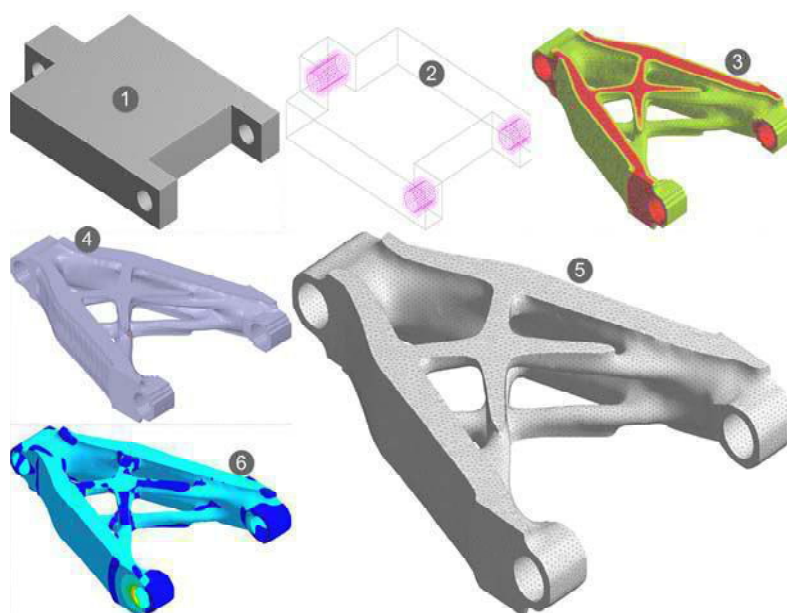


Рис. 1. Последовательность топологической оптимизации детали:

1 – базовая форма (примитив); 2 – ограничения; 3 – сформированная сеточная модель;  
4 – сглаженная геометрия модели; 5 – итоговая форма; 6 – окончательная проверка

Практическое развитие литейной технологии связано с решением двух инженерно-технических задач: заливки расплава в литейную форму и его затвердевания в форме. Расчет предусматривает адекватное решение компоновки сложной литейной технологии. Изменяя один параметр процесса, благодаря его взаимодействию с другими параметрами, можно воспроизводить комплексное воздействие этих изменений на процесс и влиять на качество отливки. Накоплен большой опыт решения так называемых «прямых» задач или задач анализа литейной технологии. Системы автома-

тизированного проектирования помогают технологу понять, что произойдет с отливкой при определенных условиях ее изготовления. Это открывает перспективу оптимизации литейного процесса вручную, а также возможность решения проблем качества и достижения экономических целей одновременно.

Технологу также требуется на основе заданного уровня качества и себестоимости отливки определить условия ее изготовления или ее конфигурацию. Необходимо решить не прямую, а обратную задачу, т. е. задачу синтеза. Обратная задача может быть сформулирована как задача параметрической оптимизации, с заданием целевой функции и параметров оптимизации (рис. 2).

Таким образом, для реализации новых возможностей пакетов прикладных программ требуется решить не одну задачу оптимизации, а несколько взаимосвязанных задач, которые представляют собой сложный конгломерат целей. По нашему мнению, с точки зрения реализации технологий литья при топологической оптимизации наиболее сложной проблемой является значительное повышение требований к качеству микроструктуры и отсутствию дефектов в отливках. Даже небольшое снижение прочностных характеристик в элементе оптимизированной конструкции может привести к полному разрушению детали.

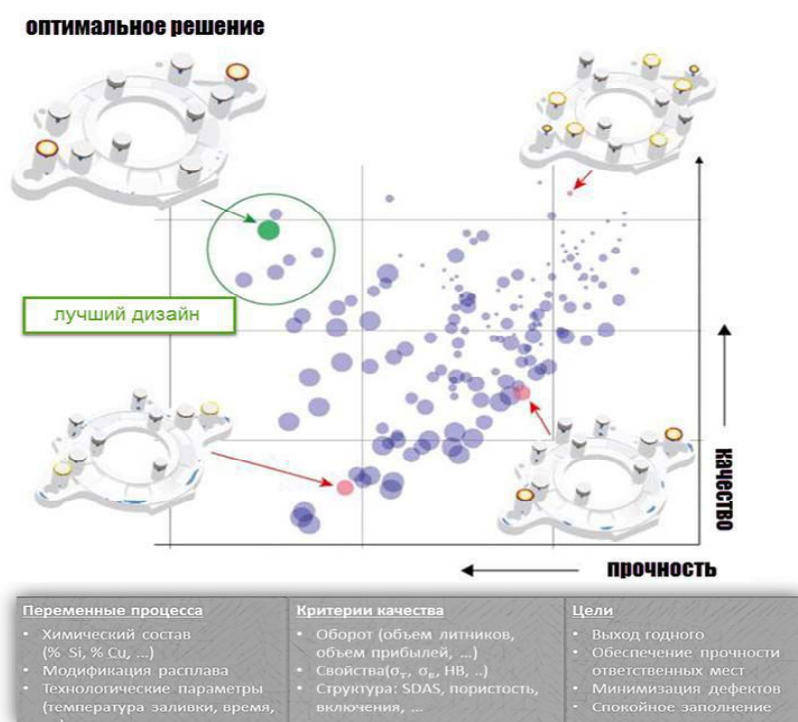


Рис. 2. Параметрическая оптимизация технологии литья в поле выходных параметров моделей

Новая методология автоматической оптимизации не заменяет практический опыт литейщика и его теоретические знания. Чтобы удовлетворить техническим и экономическим ограничениям своего производства и требованиям, предъявляемым к отливке, литейщик нуждается в конкретизации того, какой параметр он может изменять и в какой степени, чтобы достичь своих целей. Эти цели можно количественно оценить, связав их с соответствующими критериями качества.

В отличие от реальных испытаний автоматическая оптимизация с использованием средств моделирования обеспечивает большую гибкость процесса подготовки литья. Она позволяет инженерам модифицировать несколько параметров, например, конструкцию отливки и компоновку элементов литейного процесса, одновременно и независимо друг от друга. Автоматическая оптимизация предоставляет удобную, быструю и надежную количественную оценку критерия качества. Сравнительная оценка результатов автоматической оптимизации позволяет установить связь между параметрами процесса и критерием качества.

В рамках продолжения исследований по данной тематике предполагается осуществить формирование научно-обоснованных методик применения комплексного подхода к проектированию и рациональных алгоритмов верификации технологических решений на производстве.