

Белов А. Р., Корнеева Е.К.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время одним из ключевых аспектов в области производства конструкционных изделий является обеспечение высокого качества с помощью проведения различной термической и химико-термической обработки материала, играющие очень важную роль в обеспечении технологических и эксплуатационных свойств для деталей.

Визуализация влияния необходимых процессов ТО и ХТО на свойства материалов возможна с помощью использования различных программных продуктов. К данной группе относятся такие программные продукты как: QForm Heat Treatment, Simufact Forming, ThermoSim,

QForm Heat Treatment – программное обеспечение для моделирования процессов ТО и ХТО, функции которого заключаются в прогнозировании фазового состава, эксплуатационных свойств заготовки после ТО и ХТО, а также остаточных напряжений и деформаций.

В программе отсутствуют специальные ограничения на характер изменения температуры на каждом этапе процесса термической обработки, а также на последовательность и длительность этих этапов. Присутствует возможность моделирования таких процессов как: обработка на твердый раствор, закалка (в том числе ступенчатая, прерывистая, спрейерная, изотермическая с самоотпуском, с подстуживанием), отпуска и старения (в том числе многостадийных) [1].

Возможности:

- моделирование не только прямых, но и обратных фазовых превращений с учетом тепловыделения и изменения объема;
- задание исходных данных для расчета (свойства фаз, кинетика фазовых превращений, скрытая теплота и т.п.);
- расчет ТО сплавов как имеющих, так и не имеющих полиморфных превращений;
- прогнозирование фазового состава, эксплуатационных свойств заготовки, остаточных напряжений и деформаций как в процессе, так и после ТО;
- имеется полный набор необходимых для расчета свойств материала для низколегированных и углеродистых сталей [2].

На рисунке 1 представлены результаты, полученные в приложении QForm Heat Treatment.

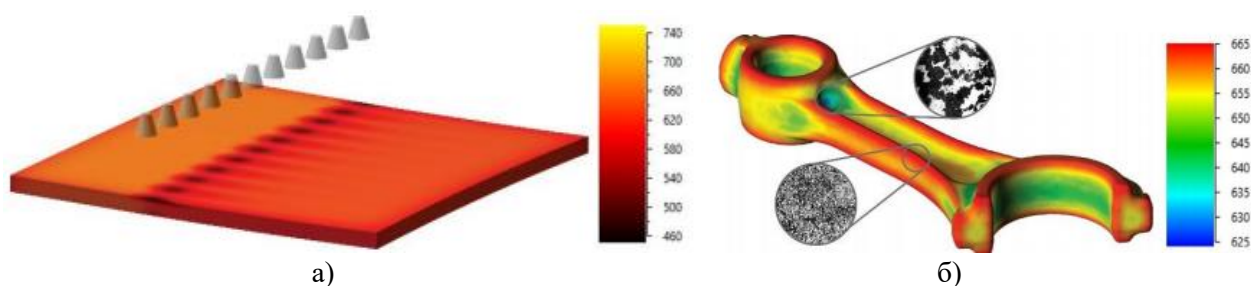


Рисунок 1 – Результаты, полученные в приложении QForm Heat Treatment: а) поле распределения температур при спрейерной закалке; б) поле твердости по Виккерсу после закалки шатуна

Программное обеспечение Simufact Forming Heat Treatment применяется для моделирования процессов ТО, включая фазовые превращения и прогнозирование получаемых свойств материалов [3]. В данном приложении моделирование ведется на основе применения программных продуктов компании MSC Software, занимающих лидирующие позиции на рынке, функции которых заключаются в конечно-элементарном решении нелинейных задач

(система комплексного анализа Marc) и конечно-объемном решении (система анализа процессов ударного характера Dytran). Оба пакета регулярно обновляются, что позволяет Simufact получать новые возможности с последующими версиями.

Simufact Forming дает возможность выполнять моделировать не только отдельные стадии различных процессов, но также и полноценную технологическую цепочку, проходя путь от заготовки до готового изделия. За счет этого, данное ПО нашло широкое применение во многих отраслях промышленности

Возможности:

моделирование процессов химико-термической обработки (цементации);

- моделирование индукционного нагрева;
- анализ ползучести (поддерживается графическим интерфейсом);
- моделирование жестких тел, учитывая теплопроводность при их нагружении;
- определение размера зерна (присутствует библиотека для вычислений);
- моделирование реальной кинематики оборудования любой сложности и типа.

На рисунке 2 показан индукционный нагрев детали, смоделированный в данном программном продукте.

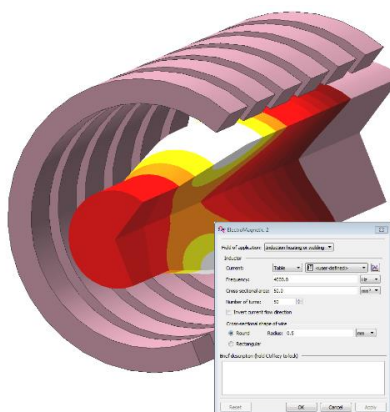


Рисунок 2 – Моделирование индукционного нагрева детали, полученное в приложении Simufact Forming

ThermoSim – программное обеспечение, позволяющее на основании заданных значений твердости и фазовой структуры изделия определять оптимальные параметры закалки для их получения.

Возможности:

- моделирование распределения температуры, деформаций и напряжений;
- моделирование получения фазовой структуры и твердости;
- расчет теплофизических свойств, принимая во внимание релаксацию напряжений и влияние фазового состава;
- прогнозирование образования трещин.

В процессе моделирования в роли исходных данных выступают: трехмерная геометрия детали, теплофизические свойства материала, диаграмма фазовых превращений и параметры режима закалки.

Ключевое влияние на точность получаемых результатов, оказывают свойства материала детали. Для моделирования процессов фазовых переходов в программном комплексе применяются два различных подхода. Первый подход основан на использовании изотермических диаграмм (ИТД). Наличие точной ИТД для стали является необходимым условием такого расчета. Учитывая тот факт, что часто отсутствует справочная информация о ИТД для требуемой стали, в программном комплексе реализован второй подход, основанный на использовании

специально обученных нейронных сетей, позволяющих прогнозировать распределение структурных составляющих и их твердости в объеме детали по результатам температурной истории закалки [4].

В данном программном комплексе, с помощью нового вычислительного ядра, способного оперировать конечно-элементными моделями с сотнями тысяч степеней свободы, и наличия моделей, позволяющих прогнозировать процессы фазовых превращений и напряженно-деформированное состояние, а также улучшенные средства анализа результатов расчета позволяют применять ThermoSim для исследования и оптимизации технологических процессов индукционной термообработки.

На рисунке 3 представлено моделирование в программном комплексе ThermoSim.

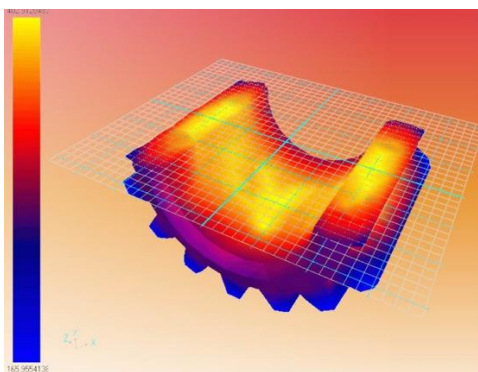


Рисунок 3 – Моделирование в программном комплексе ThermoSim теплофизических и динамических процессов при ТО

Применение специализированных программных пакетов значительно ускоряет процесс моделирования термообработки деталей, позволяет сократить количества брака на производстве, повысить качество выпускаемых изделий и сократить производственные затраты. Также расширенные базы данных позволяют экспериментировать с различными материалами, а при отсутствии какого-либо из материалов, интерфейс программ позволяет пополнить базы данных путем ввода характеристик необходимого материала.

Литература

1. Компания «Информационные технологии САПР» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://itsapr.com>. – Дата доступа: 12.03.2023.
2. QForm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://qform3d.ru> – Дата доступа: 21.02.2023.
3. Методы и системы ИПИ-технологий / Е. И. Яблочников [и др.] – СПб : Университет ИТМО, 2017. – 64 с.
4. Лемзиков, А.В. Программный комплекс «ThermoSim 2» для моделирования процессов индукционной закалки / А.В. Лемзиков, Д.Г. Иванов; под ред. П.С. Гурченко // сб. трудов Международной научно-технической конференции «Теория и практика энергосберегающих процессов в машиностроении». 19-21 ноября 2008 г. – Минск: ОСПИ., 2008. – С. 175-179.