

Студенты гр. 10402129 Жогло А.Г., Смоглей В.Г.  
Научный руководитель – Минько Д.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Проблемы повышения качества, уровня механических и эксплуатационных свойств металлов не теряют своей актуальности, а зачастую приобретают особую значимость, так как изделия, полученные обработкой материалов давлением, используются почти во всех сферах жизни. В связи с этим требуются высокоэффективные методы физического моделирования, чтобы с наибольшей точностью оценить поведение материалов в определённых условиях. На сегодняшний день широко развиваются такие методы физического моделирования, которые позволяют сопоставить полученные результаты лабораторных экспериментов с промышленными условиями.

Метод физического моделирования заключается в теории подобия. Она гласит, что подобные процессы происходят в подобных геометрических и временных условиях, имеют одинаковую физическую природу и описываются одинаковыми по форме и по существу уравнениями [1].

Помимо физического, существуют также математическое и компьютерное моделирование. Первое заключается в построении математической модели, описывающей процесс, а вторая использует компьютерные технологии для визуализации процесса.

Преимущества физического моделирования заключаются в полном воспроизведении процесса, наглядности процесса, возможности регистрации наблюдений без преобразующих устройств, изучении явлений, не поддающихся математическому описанию.

Недостатки физического моделирования в том, что для исследования каждого нового процесса необходимо создавать новую модель. Параметры оригинала часто требуют физической перделки или полной замены модели и сложные объекты дорого изготавливать.

Последний недостаток проявляется, например, для систем с протеканием химических реакций, так как результат их протекания находится в сложной зависимости от геометрических размеров аппаратов и кинетических закономерностей процесса.

Также стоит учесть, что для реализации методов физического моделирования необходимо создавать специальное оборудование. Созданный американской компанией «Dynamic Systems Inc.» (DSI) испытательный комплекс для физического моделирования GLEEBLE является на сегодняшний день самой передовой системой, используемой для изучения металлургических процессов, разработки новых материалов и воспроизведения реальных условий производственных процессов в лабораторных условиях.

Системы Gleeble оснащены высокоскоростными системами нагрева и охлаждения образцов в сочетании с надёжными механическими возможностями с обратной связью и цифровым управлением. Простое в использовании программное обеспечение предназначено для обеспечения удобного интерфейса для подготовки тестовых программ, управления тепловыми и механическими системами и сбора данных.

Системы Gleeble доступны в нескольких моделях, каждая из которых имеет широкий спектр доступных опций и конфигураций. Такая гибкость позволяет адаптировать систему Gleeble к необходимым требованиям при проведении испытаний. Доступные опции включают преобразователи, тензодатчики, контактные и бесконтактные экстензометры, инфракрасные пирометры, системы охлаждения, губки, захваты и вакуумные системы.

Особенности Gleeble включают в себя:

- высокоскоростной прямой нагрев до 10000 °C/c;
- контролируемое охлаждение или ускоренное охлаждение с дополнительным охлаждением (воздух / газ / вода / туман);

- моделирование нескольких видов применения, процессов и материалов;
- возможность испытания в вакууме, под воздействием воздуха или инертного газа;
- удобный и простой в использовании элемент управления и программного обеспечения;
- тихая работа, простота установки и небольшая занимаемая площадь в лаборатории.

Стоит заметить, что аналогичных крупных компаний-производителей в мире нет, и в основном подобное оборудование производят на заказ для решения узких задач физического моделирования.

Система физического моделирования Gleeble 3800-GTC является мощной серийно производимой системой, предлагаемой компанией DSI. Для обеспечения возможности проведения широкого круга исследований система Gleeble 3800-GTC имеет передовые технические характеристики (максимальное усилие сжатия 200 кН, а растяжения – 100 кН) [2].

Комплекс Gleeble System 3800 предназначен для исследования свойств металлов и сплавов и позволяет моделировать большинство металлургических процессов, например, таких как непрерывное литье, обработка в полутвердом состоянии, горячая прокатка, ковка, стыковая сварка, термическая обработка и прочие.

Комплекс Gleeble 3800-GTC выполнен по модульной схеме, что позволяет максимально гибко менять его конфигурацию в зависимости от условий исследования. К основному силовому блоку для выполнения различных поставленных задач подсоединяются модули для выполнения деформации сжатием или растяжением, для кручения, для ударной деформации и для многоосевой деформации [2].

Каждый из модулей имеет свою рабочую камеру, которая соединена с вакуумной системой, обеспечивающей разрежение не менее  $1 \cdot 10^{-4}$  мм. рт. ст. Испытания можно проводить при более низком вакууме, в среде защитного газа или на воздухе.

Кроме того, конструкция Комплекса является достаточно «открытой» и допускает использование различных дополнительных устройств в процессе обработки материалов давлением.

Для реализации различных схем деформирования в комплексе предусмотрено использование до четырех сменных модулей. Все они имеют одинаковые принципы работы и отличаются лишь исполнительным механизмом (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид комплекса с мобильными блоками

Нагрев образцов производится прямым пропусканием электрического тока, что ограничивает возможность работы с диэлектриками. Система управления температурой обеспечивает изменение температуры при нагреве со скоростью  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$  не более  $(5\div 6)\text{ }^{\circ}\text{C}$  и поддержание заданной температуры испытания с точностью  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При работе можно применять образцы различной конфигурации (рисунок 2). Конкретная конфигурация образца определяется целью эксперимента. Компанией DSI разработаны методики проведения большинства применяемых тестов и выработаны рекомендации по конфигурации образцов [2].



Рисунок 2 – Образцы для испытаний на комплексе Gleeble

Охлаждение образцов в процессе проведения экспериментов производится различными способами:

- за счет теплоотвода в водоохлаждаемые медные или стальные захваты;
- за счет обдува воздухом или инертным газом;
- за счет обтекания водой снаружи, внутри образцов или одновременно снаружи и внутри.

Максимальная скорость охлаждения, достигнутая при испытаниях комплекса на образцах толщиной 6 мм, составляет  $8,500\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . При охлаждении образцов воздухом или водой вакуумная система отключается от рабочей камеры [2].

Испытания можно проводить при температурах от комнатной вплоть до температуры плавления, причем для исследований жидко-твердого состояния предусмотрено использование специальных кварцевых трубок. Максимальное усилие при растяжении составляет 100 кН, при сжатии – 200 кН, при проведении ударных испытаний – 200 кН. Максимальные скорости деформации до  $200\text{ с}^{-1}$  достигаются при испытаниях на образцах при использовании модуля для ударных испытаний, для которого скорость движения рабочей траверсы составляет 2,5 м/с. Таким образом, скорости деформации на Gleeble 3800 перекрывают весь диапазон скоростных режимов деформации самых современных станков горячей прокатки.

Для сохранения площади контакта рабочего инструмента с обрабатываемым металлом разработана специальная оснастка для осадки плоского образца. Эти испытания позволяют избежать образования шейки или бочки, которые характерно для растяжения или сжатия. Также можно моделировать процессы сварки, литья, термообработки т.д.

В настоящее время системами физического моделирования Gleeble оснащены многие технические университеты и передовые промышленные предприятия во всем мире. Имеются они также в нескольких технических университетах России, однако в Беларуси они отсутствуют. Приобретение такого оборудования существенно повысило бы научный потенциал БНТУ, оно явилось бы востребованным инструментом проведения научных исследований и

хоздоговорных работ всеми выпускающими кафедрами и лабораториями механико-технологического факультета.

#### **Список использованных источников**

1. Иванов, И.Е. Методы подобия физических процессов: учеб. пособие / И.Е. Иванов, В.Е. Ерещенко. – М.: МАДИ, 2015 – 144 с.
2. Gleeble 380-GTC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gleeble.com/products/gleeble-systems/gleeble-3800.html>. – Дата доступа: 14.04.2021.