

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Л. Л. Шатило, Е. Г. Прахоцкий

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. Б. Одарченко

Развитие энергетического комплекса Республики Беларусь и нефтехимической отрасли требуют увеличения добычи углеводородного сырья, что, в свою очередь, требует вложений в бурение разведочных и добывающих скважин. Нефтепромысловое оборудование в подавляющем большинстве в Республике Беларусь не производится и требует значительных валютных затрат. В ГГТУ им. П. О. Сухого ведутся исследования по разработке импортозамещающих технологий как для производства изделий для нефтегазового комплекса, так и восстановления и повышения их износостойкости.

Одно из таких направлений – разработка технологии получения высокотехнологичных изделий, получаемых методом литья. Технология отрабатывается на деталях для рабочего органа турбобура ТВ1-240 со следующими характеристиками: наружный диаметр – 240 мм; диаметр применяемых долот – 269,9–393,7; длина – 8,2 м; масса турбобура – 1760 кг; количество ступеней турбины – 132; расход – 50–65 л/с; частота вращения на холостом ходу – 901–1081 об/мин; частота вращения в рабочем режиме – 450–540 об/мин; момент силы в тормозном режиме – 3,22–4,63 кН·м; перепад давления на турбобуре – 3,5–5 МПа; максимальная мощность – 76–131 кВт.

Литые заготовки для деталей рабочей пары «статор» и «ротор» турбобура (рис. 1) изготавливаются из конструкционной легированной стали марки 40ХЛ, поскольку данные детали работают в условиях интенсивного абразивного износа в агрессивной кислой среде. Все поверхности детали, за исключением поверхностей лопаток турбин, получают механической обработкой литых поверхностей.

Для оценки работоспособности спроектированной 3D-модели и соответствия предполагаемых технических характеристик заводским производился численный расчет на тормозном режиме при следующих граничных условиях:

- рабочая жидкость – вода;
- расход жидкости – 50 л/с;
- противодействие – атмосферное.

Рассчитывалась одна ступень турбобура.

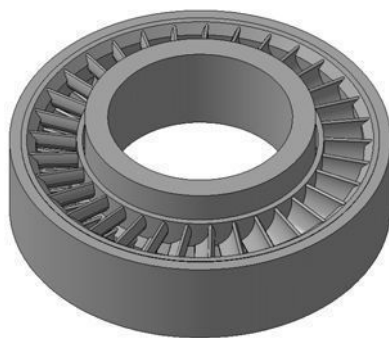


Рис. 1. 3D-модель ступени турбобура

В результате компьютерного моделирования получены следующие результаты. Перепад давления на 1-й ступени составляет 41526 Па. Известно, что перепад давления пропорционален количеству ступеней. Следовательно, перепад давления на всем турбобуре: $\Delta p = 41526 \cdot 132 = 5,5$ МПа. Момент, развиваемый одной лопаткой, $M_1 = 1,5$ Н · м. Момент, развиваемый на валу турбобура одной секцией, равен моменту, развиваемому одной лопаткой, умноженному на количество лопаток: $M_c = 1,5 \cdot 33 = 49,5$ Н · м. Чтобы вычислить момент на валу турбобура в собранной секции, нужно умножить на количество секций: $M = 49,5 \cdot 132 = 6,5$ кН · м.

Из полученных результатов видно, что погрешности вычислений перепада давления и развиваемого вращающего момента в сравнении с заводскими характеристиками для такого типа расчетов являются весьма приемлемыми, а полученная геометрия позволит выделить плоскости разъема полуформ.

Конструкция зоны лопаток характеризуется сложной конфигурацией тела отливки и криволинейными контурами лопасти. Минимальная толщина литых стенок турбины составляет от 2 до 3 мм в узких сечениях. На фоне этого, при переходах в цилиндрические части тела отливки, имеются утолщения в теле, которые являются термическими узлами, предопределяющими высокую вероятность образования усадочных дефектов, что крайне недопустимо. Поэтому для изготовления исследуемой отливки применяется дорогостоящая, ресурсо- и энергоемкая технология литья в керамические формы по выплавляемым моделям.

В студенческой научно-исследовательской лаборатории (СНИЛ) ГГТУ им. П. О. Сухова ведутся исследования по апробированию альтернативной технологии производства данного типа изделия с возможностью замены литья по выплавляемым моделям на более технологичный и рентабельный способ. В качестве альтернативой предложена технология формовки с применением химически твердеющих смесей с параллельным принудительным вакуумированием полости формы. Данные смеси обеспечивают сочетание высокой прочности и хорошей газопроводящей способности литейной формы, возможность обеспечения размерной точности и чистоты поверхности отливки. Вакуумирование полости формы обеспечивает качественное заполнение узких сечений, а также снижает вероятность образования газовых дефектов. Для данных технологических условий была разработана конструкция литниково-питающей системы и спроектирована технологическая оснастка. Проведено компьютерное моделирование условий и режимов заливки.

При разработке конструкции литниково-питающей системы и проектировании технологической оснастки назначена сложная плоскость разъема, проходящая по зоне полостей между лопатками статора и ротора турбобура, формирующая зубчатую поверхность схождения полуформ.

С помощью специализированных программных продуктов, позволяющих моделировать условия заполнения и кристаллизации литейной формы с выявлением возможностей и условий образования литейных дефектов (рис. 2), установлена предрасположенность технологии к образованию дефектов усадочного характера (раковины и пористость).

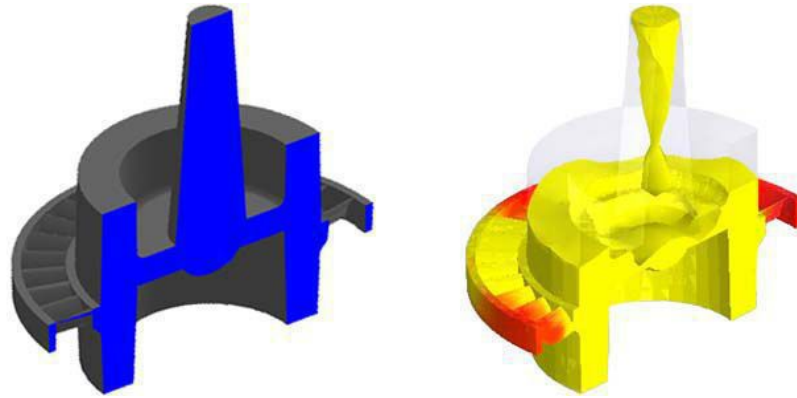


Рис. 2. Оптимальная конструкция литниково-питающей системы и результаты моделирования для отливки «Ротор»

Такое положение обусловлено обозначенной сложностью конструкции отливки, а также низкой жидкотекучестью и значительной усадкой сплава 40ХЛ.

В результате проведения оптимизации была спроектирована конструкция литейных моделей, позволяющая получать формы, обеспечивающие формирование качественной отливки. При этом для отливки «Ротор» (рис. 2) была применена литниково-питающая система с внутренним, по отношению к телу отливки, стояком и щелевым дисковым питателем. Для отливки «Статор» аналогичное расположение литниково-питающей системы не обеспечивало получение качественной литой заготовки, в связи с чем в конструкции модели были использованы прибыли, запитывающие зону образования усадочных дефектов.

Разработанная САD-конструкция литейных моделей использовалась для их последующего изготовления методом 3D-печати. При этом в качестве материала использовался поликарбонатный пластик, обладающий высокой жесткостью и прочностью в сочетании с очень высокой стойкостью к ударным воздействиям, в том числе при повышенной и пониженной температуре. Имеет высокий коэффициент трения. В отличие от большинства термопластов поликарбонат может подвергаться большим пластическим деформациям без растрескивания или разрушения, что является преимуществом для его применения в области 3D-печати модельной оснастки.

Характеристики поликарбоната

Свойства материала	Значения
Предел прочности на разрыв	68 МПа
Удлинение при растяжении	4,8 %
Напряжение при изгибе	104 МПа
Диапазон температур длительной эксплуатации	от 100 до 115–130 °С
Выдержка кратковременного разогрева	до 153 °С

Для печати использовался 3D-принтер Pharaoh[®] XD30 с рабочей зоной печати $300 \times 300 \times 300$ мм. В качестве материала для экструдерного выращивания моделей использовалась поликарбонатная нить диаметром 1,75 мм. Для компенсации термической усадки пластика применялась опция нагрева рабочей платформы до $120 \text{ }^\circ\text{C}$ и рабочая температура печати – $230 \text{ }^\circ\text{C}$. Обеспечение требуемой точности размеров моделей осуществлялось подбором диаметра сопла и шагом печати – 0,20 мм. Все эти параметры обеспечивали размерную и геометрическую точность с учетом усадки материала.

Метод 3D-печати был выбран, поскольку профиль лопастей достаточно сложно получить традиционными методами механической обработки металлических и полимерных заготовок, а также из-за трудо- и энергоемкости изготовления моделей и значительного расхода материала.

В настоящее время в СНИЛ ГГТУ им. П. О. Сухого ведутся работы по созданию литейной формы для последующей заливки и исследования качества полученной отливки.

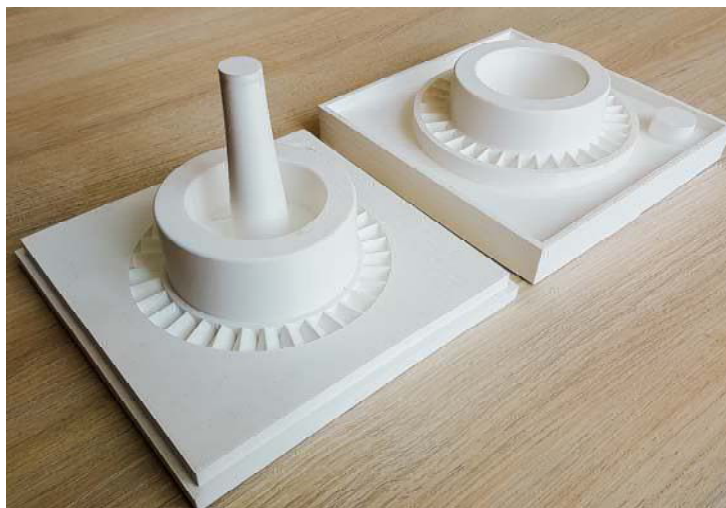


Рис. 3. Готовые литейные модели для отливки