



*Т.Д. Порядина, А.С. Степанов,
С.А. Фролов, В.В. Яхричев
Вологодский государственный университет*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ

В статье рассматриваются механизмы решения задачи конструкторского обеспечения проектирования и производства технологической оснастки для производства деталей подъемно-транспортной машины – козлового крана. Результатом проведенных исследований и разработок является реализация методики применения цифровых инструментов конструкторско-технологического обеспечения проектирования и производства деталей подъемно-транспортного оборудования, выполняемой на базе специализированного прикладного программного обеспечения.

Технологическая оснастка, грузоподъемные машины, козловой кран, эксплуатационные воздействия, конечно-элементная модель, нагрузки, критерий прочности, критерий жесткости, 3D-модель, цифровой макет, конструкторская и технологическая подготовка производства, инженерный анализ.

На современном этапе развития технологий и производства основными инструментами повышения эффективности, конкурентоспособности и даже самого выживания предприятия в рыночных условиях, безусловно, являются цифровые методы и средства ведения бизнеса [1, 2, 3]. И в первую очередь речь идет об использовании современных средств организации конструкторско-технологического обеспечения. Аксиомой становится современная тенденция переноса «тяжести» в выпуске нового продукта на проектный этап, где системы цифрового проектирования и анализа позволяют учесть все нюансы и особенности, связанные с производством и эксплуатацией будущего изделия. Реализация методологии трехмерного моделирования посредством функционала систем цифрового проектирования позволяет выполнить компоновку спроектированного изделия. Инженерный анализ конструкций опирается на технологии математического и имитационного моделирования. Основным методом исследований – верифицированный численный эксперимент с использованием конечно-элементных моделей.

Процесс внедрения и успешного использования упомянутых цифровых инструментов в разных отраслях и видах производства идет неравномерно [4, 5], но только повсеместное применение данных технологий позволит получить качественный результат и добиться уверенного продвижения продукции отечественных предприятий как на внутреннем, так и на внешних рынках.

Вологодский государственный университет на протяжении нескольких лет успешно сотрудничает в рамках национального проекта «Малый бизнес и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы» и Государственной программы «Поддержка и развитие малого и среднего предпринимательства в Вологодской области на 2013–2020 годы» с агентст-

вом развития предпринимательства и инвестиций Вологодской области «Мой бизнес».

Целью одной из работ было разработать решения по обеспечению эффективного производства деталей козлового крана на основе проведения научно-исследовательских и инженерных работ.

Козловой кран представляет собой пролетное строение (мост), установленное на опоры, перемещающееся по рельсам.

Кран состоит из следующих элементов [6]:

- мост, состоящий из пяти сварных частей, собираемых с помощью болтовых соединений на высокопрочных болтах;
- две опоры, каждая из которых состоит из двух стоек;
- платформы опор для передвижения по подкрановому пути;
- тележка, установленная на рельсы моста и способная по нему передвигаться. На тележке закреплены приводные механизмы подъема/спуска крюка с грузом (двигатель, редуктор, барабан, тормоза).

Козловой кран в основном состоит из сварных металлоконструкций, в качестве заготовок для которых используется металлопрокат разного сортамента. Но есть и оригинальные детали, которые необходимо изготавливать на предприятии. В качестве таковых были выбраны крышка, предназначенная для защиты подшипникового узла, и скоба для монтажа кабельных трасс крана. Выбор был обусловлен конструктивными особенностями деталей. Для их получения лучше всего подходит использование штамповочной оснастки, что обеспечивает повышение производительности производства и снижение себестоимости.

Первоначально, с целью проверки работоспособности деталей заданной конструкции, были проведены исследования эксплуатационных воздействий на детали козловых кранов.

Деталь «Крышка» изготовлена из листа стали обычного качества Ст3сп, имеет отбортовку внешней кромки на 10 мм для посадки на корпус обводного колеса, прогиб на глубину 5 мм с отверстием диаметром 51 мм в центральной части. Общий диаметр изделия равен 180 мм, при этом глубина крышки с отгибкой составляет 10 мм, а толщина материала и внутренние радиусыгиба 2 мм.

Данная деталь используется в подвесном блоке грузовой тележки козлового крана. Подвесной блок является устройством для изменения вращательной энергии барабана, на который наматывается трос, в линейное движение крюка с грузом (рис. 1).

Деталь «Крышка» выполняет роль пыльника и защиты подшипника от внешнего механического воздействия, что очень важно при их длительной эксплуатации в различных условиях (рис. 2).



Рис. 1. Грузовая тележка

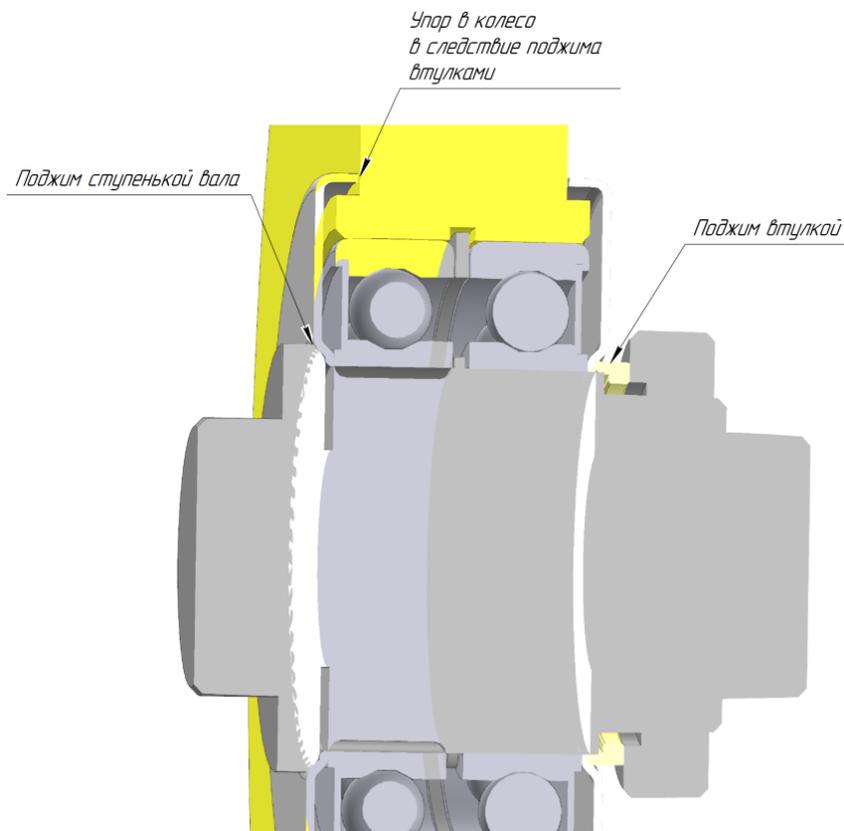


Рис. 2. Применение детали крышка

3D-модель детали «Крышка», созданная для исследования НДС, представлена на рисунке 3. Для проведения расчетов задана нагрузка от поджима крышки втулкой, равная 100 Н.

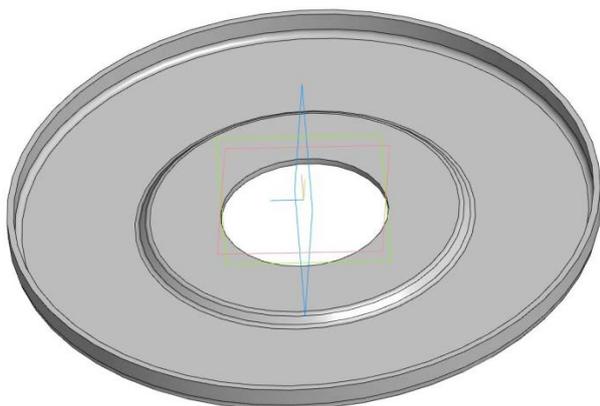


Рис. 3. Модель детали «Крышка»

Максимальное напряжение в детали «Крышка» равняется 6,15 МПа.

Деформация детали «Крышка» при эксплуатационных нагрузках составляет 0,01 мм.

По результатам расчетов можно сделать вывод, что деталь «Крышка» является слабо нагруженной, и ее конструкция может быть изменена с целью снижения стоимости и повышения технологичности.

Как правило, листовая штамповка отличается использованием двух составляющих: пуансона и матрицы. Суть процесса штамповки состоит в том, что обе половины штампа закреплены в прессе, пресс-форма (матрица) закреплена на столе штампа, а пуансон закреплен к поршню-толкателю, между ними располагают заготовку, после чего верхняя часть штампа (пуансон) с заданным усилием начинает давить на заготовку, которая, в свою очередь, под действием давления пуансона, которое существенно превышает предел текучести материала, принимает форму матрицы.

При этом основные нагрузки принимают на себя плита основания штампа, матрица и пуансон, поэтому следует изготавливать их из сталей, упрочненных термически, или сталей с высоким содержанием углерода (Сталь 45, Сталь 50, Сталь 40X). Так как пуансон является отчасти режущим инструментом, а именно прорубает отверстие в крышке, то он должен иметь не только запас по прочности, но и стойкость по контуру прорубания. Поэтому для пуансона разумно будет выбрать инструментальную сталь У10 с последующим улучшением до HRC 52...54 методом поверхностной закалки. Для матрицы, так как действует она при схожих условиях, можно выбрать аналогичные материал и метод улучшения.

Для того чтобы убедиться в правильности выбранных в ходе конструирования решений, примененных конструктивных элементов, назначенных материалов предлагается исследовать в качестве примера нижнюю половину штампа с применением большей, нежели рабочая, нагрузки. Модель представлена на рисунке 4.

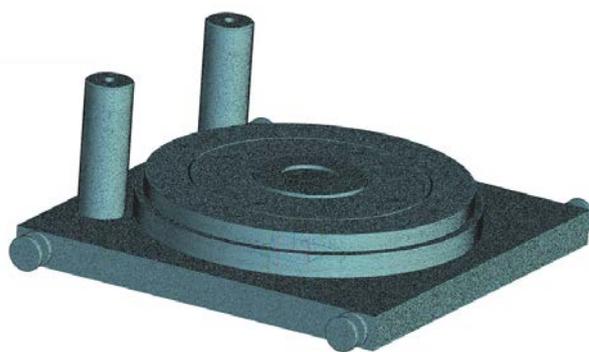


Рис. 4. Сетка конечных элементов нижней части штампа

В ходе исследований была применена нагрузка 100 кН, что превышает расчетную нагрузку для продавливания материала заготовки при осуществлении штамповки изделия. Перемещения составляют менее 100 мкм, что никак не повлияет на точность изготовления крышки, и напряжение составляет 5,41 МПа, что меньше чем предел текучести материала Сталь У10, а значит, материалы и конструкция прессы выбраны верно.

Технологическая оснастка штампа принципиально состоит из двух половин – верхней и нижней. Верхняя часть представлена на рисунке 5.

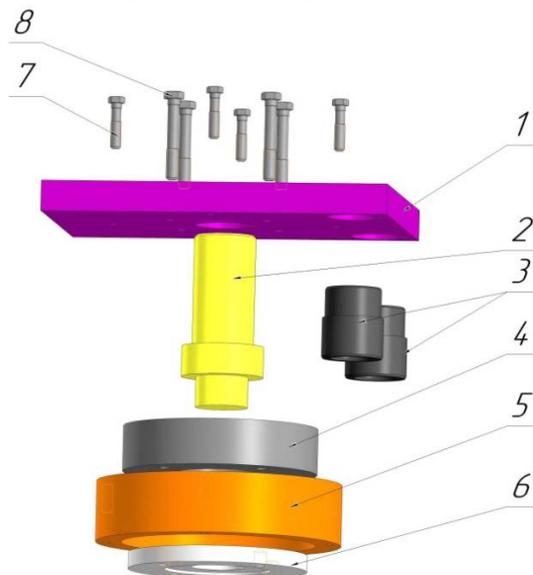


Рис. 5. Разнесенная сборка верхней части штампа
1 – плита; 2 – пуансон; 3 – втулка; 4 – буфер; 5 – кольцо;
6 – диск; 7, 8 – крепежные болты

Диск (позиция № 6) обеспечивает свободный проход пуансона сквозь себя для прорубания отверстия в заготовке и, заодно, когда ступенька пуансона касается пластины, обеспечивает прогиб в центральной части.

Нижняя часть штампа показана на рисунке 6. Матрица разработана таким образом, чтобы обеспечить прорубание центрального отверстия и при этом создать условия для достижения необходимых радиусовгиба и отбортовки. Сама же матрица спроектирована так, чтобы обеспечить заданную чертежом форму детали «Крышка». На рисунке 7 представлена 3D-модель штампа.

Отверстия в нижней части штампа необходимы для того, чтобы была возможность расширить функционал штампа.

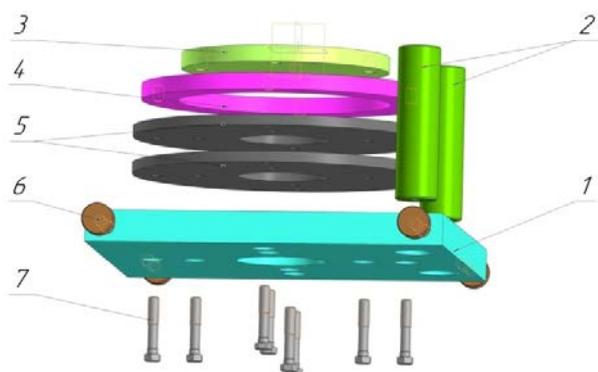


Рис. 6. Разнесенная сборка нижней части штампа
1 – плита; 2 – втулки; 3 – буфер; 4 – кольцо;
5 – диски; 6 – оси; 7 – крепежные болты

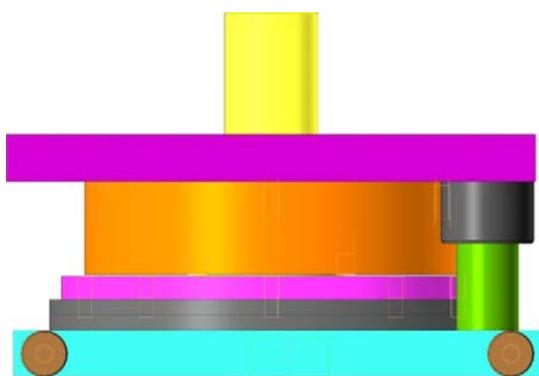


Рис. 7. Общий вид штампа

В результате проведенных проектных работ, по результатам исследований и построенных трехмерных моделей сборочных единиц и деталей была разработана конструкторская документация.

На рисунке 8 представлена фотография изготовленного штампа.



Рис. 8. Фото изготовленного штампа и изделия «Крышка»

В результате проведенных исследований и работ была создана методика применения цифровых инструментов проектирования технологической оснастки. Проектирование и разработка конструкции велось на основе получаемых при изучении поведения конструкции проектируемого изделия данных, а также данных о надежности крышки, для изготовления которой будет использован проектируемый штамп.

На этапе изготовления и эксплуатации спроектированной оснастки подтвердились все заложенные параметры изделия, а также надежность и работоспособность штампа. В результате применения цифровых инструментов проектирования удалось снизить затраты на производство и исключить ошибки в конструкторско-технологической подготовке производства.

Литература

1. Digital design and technological innovation in the small machine building sector / V. F. Bulavin, T. G. Bulavina, V. V. Yahrchev [et al] // Materials Science and Engineering: IOP Conference Series. – 2020. – Vol. 939, Issue. – P. 012016.
2. Digital support of production small business preparation in engineering / V. F. Bulavin, T. G. Bulavina, C. A. Stepanov, A. A. Frolov, V. V. Yahrchev [et al] // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1399, Issue. – P. 033045.
3. Булавин, В. Ф. Политика цифровых технологий на малых машиностроительных предприятиях / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, А. С. Степанов. – doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-35-45 // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2019. – № 9. – С. 35–45.
4. Булавин, В. Ф. Валидация CAD-продуктов в малых предприятиях машиностроительного сектора / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2017. – № 5 (325). – С. 64–72.
5. Булавин, В. Ф. Цифровые технологии в малом бизнесе машиностроительной отрасли / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев // САПР и графика. – 2018. – № 6. – С. 52–55.
6. Гохберг, М. М. Справочник по кранам. В 2 томах. Том 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин [и др.]; под общей редакцией М. М. Гохберга. – Москва : Машиностроение, 1988. – 559 с.

T.D. Poryadina, A.S. Stepanov, S.A. Frolov, V.V. Yakhrichev
Vologda State University

**EFFICIENCY OF DIGITAL TOOLS FOR DESIGNING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT
FOR MANUFACTURING CRANES UNITS AND PARTS**

The article discusses the design support for the design and production of technological equipment for manufacturing the parts of a hoisting-and-transport machine – a gantry crane. The result of the study is a methodology for the use of digital tools for design and technological support for the design and production of lifting and transport equipment, carried out on the basis of the specialized applied software.

Technological equipment, hoisting machines, gantry crane, operational influences, finite element model, loads, strength criterion, stiffness criterion, 3D-model, digital layout, design and technological preparation of production, engineering analysis.