

штук, а значит экономия на ее изготовлении с увеличением эффективности защиты составит 419956,74 рублей.

Ракеты являются дорогостоящим оружием, которое нужно производить в больших количествах, поэтому повышение экономичности производства чрезвычайно важно.

#### Список использованных источников

1. Баллистические ракеты подводных лодок России. Избранные статьи / под общ. ред. И. И. Величко. – 2-е изд., доп. Миасс : ГРЦ им. академика В. П. Макеева, 1997. – 334 с. : ил. – Текст : непосредственный.
2. Ефимова О.В. Финансовый анализ: современный инструментарий для принятия экономических решений: учебник / О.В. Ефимова. – Москва: Омега-Л, 2014. – 351 с.
3. Инновационный менеджмент и экономика организаций (предприятий). Практикум. – Москва: Вузовский учебник, 2017. – 240 с.
4. Яркина, Н.Н. Экономика предприятия (организации): учебник / Н.Н. Яркина. – Керчь: ФБГОУ ВО «КГМТУ», 2020. – 445 с.

УДК 621.9

### **Модернизация производства детали «Шатун» методом аддитивных технологий с использованием топологической оптимизации**

Миронюк Софья Валеревна, Сухорукова Светлана Максимовна,  
Худицына Анастасия Павловна, Лобанов Виктор Сергеевич

*Трёхгорный технологический институт – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»  
(ТТИ НИЯУ МИФИ), Трёхгорный*

lasttik@mail.ru, nastay\_huditsina@mail.ru, Seallu@inbox.ru

В данной статье была изучена информация о типовом производстве детали «Шатун» и методах получения заготовок для данного изделия. Также было проведено исследование прочностных характеристик деталей, полученных с помощью аддитивных технологий с использованием метода топологической оптимизации.

*Ключевые слова:* 3D-печать, шатун, технологический процесс, топологическая оптимизация, экономическая эффективность.

## **Modernization of the production of the Connecting rod part by the method of additive technologies using topological optimization**

Mironyuk Sofya Valeryevna, Suhorukova Svetlana Maksimovna,  
Khuditsyna Anastasia Pavlovna

*Tryokhgornyy Technological Institute, the branch of the National Research Nuclear  
University «МЕРФИ», Trekhgornyy*

lasttik@mail.ru, nastay\_huditsina@mail.ru, Seallu@inbox.ru

In this article, information was studied on the typical production of the Connecting rod part and methods for obtaining blanks for this product. A study was also conducted on the strength characteristics of parts obtained using additive technologies using the method of topological optimization.

*Key words:* 3D printing, connecting rod, technological process, topological optimization, economic efficiency.

Шатун (устаревшее название – тяговое дышло) – деталь, соединяющая поршень (посредством поршневого пальца) и шатунную шейку коленчатого вала или движущих колёс паровоза. Его изображение представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Шатун

Шатуны являются ключевыми деталями поршневых двигателей внутреннего сгорания, играя важную роль в передаче энергии от поршня к коленчатому валу. Они подвергаются высоким нагрузкам и вибрациям в процессе работы двигателя,

что требует высокой прочности и надежности материала и конструкции. Однако, существующие методы изготовления шатунов могут иметь определенные недостатки, включая высокую стоимость производства.

Актуальность данной темы заключается в следующих аспектах:

- экономический (Высокие затраты на производство шатунов могут значительно увеличить стоимость производства двигателей, что приводит к повышению цен на автомобили и другую технику. Удешевление производства шатунов позволит снизить общие издержки и сделать продукцию более доступной для потребителей);

- технологический (Шатуны являются одной из ключевых деталей внутреннего сгорания, от них зависит эффективность и надежность работы двигателя. Улучшение процесса изготовления шатунов может повысить качество и долговечность двигателей, что важно для безопасности и устойчивости работы автомобилей);

- экологический (более эффективное производство шатунов может снизить потребление ресурсов и выбросы вредных веществ в окружающую среду, что способствует устойчивому развитию и экологической безопасности производства).

Сегодня, заготовки шатунов получают следующими способами:

- литье (горячее, холодное, песчанное);
- горячая штамповка;
- 3D-печать (сварка порошком, стереолитография);
- ковка (ручная ковка, машиностроительная ковка, гидроударная ковка).

Но, рассмотрим более подробно метод штампования.

Штампование – процесс пластической деформации материала с изменением формы и размеров тела. Чаще всего штамповке подвергаются металлы или пластмассы. Для процесса штамповки используются прессы – устройства, позволяющие деформировать материалы с помощью механического воздействия.

Горячая объёмная штамповка (ГОШ) – это вид обработки металлов давлением, при которой формообразование поковки из нагретой до ковочной температуры заготовки осуществляют с помощью специального инструмента – штампа. Течение металла ограничивается поверхностями полостей (а также выступов), изготовленных в отдельных частях штампа, так что в конечный момент штамповки они образуют единую замкнутую полость (ручей) по конфигурации поковки. Применение объёмной штамповки оправдано при серийном и массовом производстве. При использовании этого способа значительно повышается производительность труда, снижаются отходы металла, обеспечиваются высокие точность формы изделия и качество поверхности. Но штамповкой затруднительно получать детали сложной конфигурации.

Для правильного выбора нового метода изготовления шатунов необходимо изучить требования к точности изготовления и эксплуатации. Во время работы двигателя внутреннего сгорания шатун испытывает большие нагрузки от давления газов и сил инерции.

Во избежание ситуаций, показанных на рисунке 2, рассмотрим, какие характеристики необходимо получить при проектировании для требуемой надежности и долговечности изделия в работе:

- достаточную прочность под действием приложенных постоянных нагрузок и периодических перегрузок, которые меняются в зависимости от режимов работы двигателя;

- требуемую жесткость или сопротивление упругим деформациям для предотвращения недопустимых искажений геометрии изделия, которые нарушают стабильную работу подшипников шатуна;

- постоянство размеров или сопротивление остаточным деформациям несущих элементов и прогнозируемый износ опорных поверхностей в течение всего срока службы детали;

- полную изолированность разъемных неподвижных частей, что не позволит влиять фрикционно-коррозионным повреждениям на стыковых поверхностях на стабильную работу изделия.



Рисунок 2 – Результат использования некачественных изделий

В данной работе мы рассмотрим инновационный метод 3д печати и сравним его с уже используемым повсеместно методом штамповки, чтобы выявить оптимальный способ изготовления шатунов.

Проанализировав информацию с открытых источников, мы произвели сравнение двух методов получения заготовок, результат которого представлен на рисунке 3.

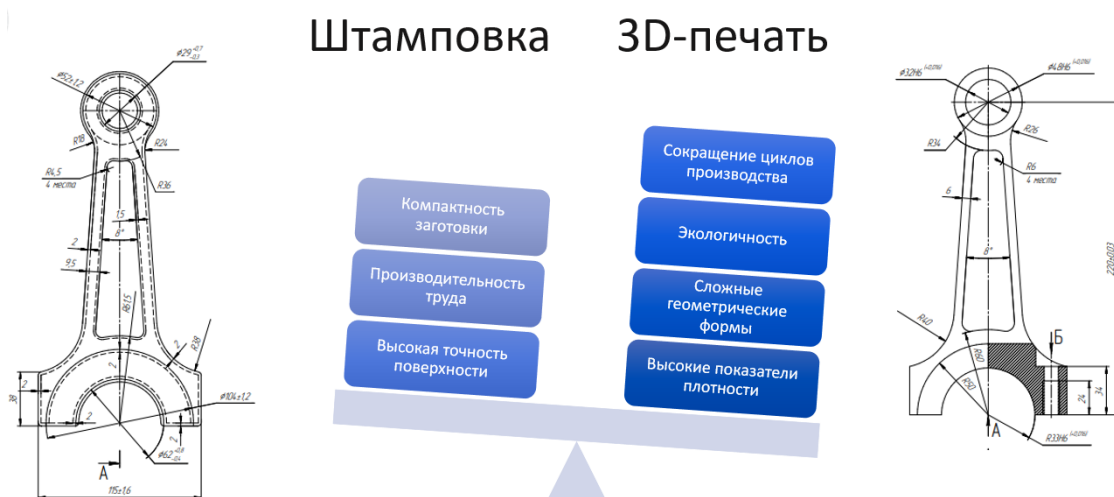


Рисунок 3 – Сравнение методов получения заготовок

Далее, рассчитав экономическую часть производства мы пришли к следующему результату, представленному на рисунке 4.

	Штамповка	Послойный синтез
Масса заготовки $m$ , кг	5,17	3,08
Стоимость заготовки $C_{заг}$ , руб	288,89	18000
Коэффициент использования материала КИМ	0,55	0,81
Экономическим эффект $Э_{руб}$ , руб/год	202220	452066
Экономия материала $Э_m$ , кг/год	11360	81760

Рисунок 4 – Экономика производства

Экономический расчет показал, что несмотря на экономию материала и его коэффициент использования, специфика послойного синтеза не позволяет удешевить производство.

Но отказываться от этого метода изготовления детали мы не хотим, поэтому было принято решение модернизировать производство.

Топологическая оптимизация (пример ее применения показан на рисунке 5) – это оптимизация распределения материала в проектной области при воздействии на нее заданных нагрузок и использовании ограничений различного рода: геометрических, прочностных, жесткостных и др.



Рисунок 5 – Пример применения топологической оптимизации

К сожалению, отечественные производители деталей не пользуются данным методом, поэтому нами были разработаны 3D модели шатунов в программе КОМПАС3D и произведен КАЕ-анализ в программе Солид воркс, показанный на рисунке 6. На слайде представлены масса получаемых изделий и анализ напряжений в этих исполнениях, что позволяет оценить прочностные характеристики и выбрать наиболее оптимальное решение с точки зрения прочности и изготовления.

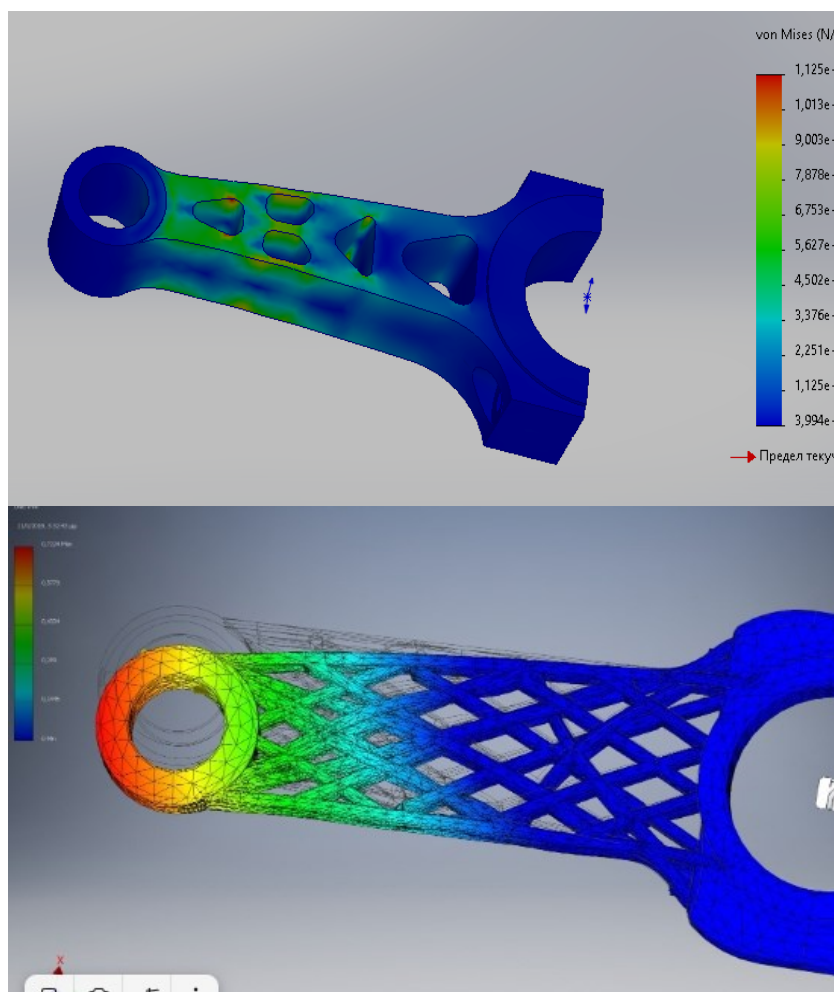


Рисунок 6 – КАЕ-анализ полученных моделей

Для каждого из вариантов изготовления был произведен экономический расчет и его результаты сведены в таблицу. Как понятно из сравнительной таблицы, показанной на рисунке 7, оптимальным и конкурентоспособными в условиях производства стал второй вариант исполнения.

Наименование	Сумма, руб		
	1-ый вариант	2-ой вариант	Традиционный метод
<b>Затраты материала на ед</b>	15900	13740	288,89
<b>Экономия материала в год</b>	20264000	22652000	568000
<b>Заработная плата рабочего</b>	60000	60000	110000
<b>Амортизационные расходы</b>	17300000 20017206 шлифовальный станок	17300000 20017206 шлифовальный станок	100000 штамп 20017206 шлифовальный станок 17584000 фрезерный станок
<b>Накладные расходы</b>	17290 респираторы на каждый день в течении года 169540,8 электроэнергия	17290 респираторы на каждый день в течении года 169540,8 электроэнергия	СИЗы 16600 на одного рабочего 337658,6 электроэнергия
<b>Итого:</b>	37579936,8	37577776,8	39633752,6

Рисунок 7 – Сравнительная таблица

Как итог, мы видим, что второе исполнение шатуна с применением метода топологической оптимизации является самым выгодным в поставленных условиях.

Список использованных источников:

1. ГОСТ 7505-89 — стандарт на стальные штампованные поковки;
2. ГОСТ 1050 – Металлопродукция из нелегированных конструкционных и специальных сталей;
3. ГОСТ 28378-89. Материалы конструкционные порошковые на основе железа. Марки.
4. ГОСТ Р 53813-2010 Двигатели автомобильные. Шатуны. Технические требования и методы испытаний
5. Д.Е. Горьков. 3-D печать с нуля;
6. С.В. Карпушкин, С.В. Карпов, А.О. Глебов. Применение методов топологической оптимизации для решения задач проектирования элементов промышленных объектов.