

А.В. Яшин, Дужак Г.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
yashin2102@yandex.ru*

Напряженно-деформированное состояние алюминиевых деталей при эксплуатационных нагрузках

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) деталей и узлов в процессе эксплуатации позволяет установить ослабленные участки конструкции, заблаговременно предотвратить разрушение и снизить вероятность возникновения аварийной ситуации. В условиях современного машиностроения наиболее перспективно применение специализированного программного обеспечения (CAE программ), позволяющего проводить исследования НДС деталей с требуемой точностью и без существенных временных и материальных затрат.

Одним из лидеров среди универсальных CAE программ является ANSYS. ANSYS включает в себя несколько программных модулей, разработанных сторонними организациями. Среди этих модулей необходимо выделить ANSYS/LS-DYNA. LS-DYNA является многоцелевым универсальным решателем.

ANSYS/LS-DYNA позволяет исследовать нелинейные быстротечные динамические процессы, происходящие в неупругих средах. Данный программный комплекс решает задачу моделирования в явном виде, что эффективно при исследовании кратковременных быстропротекающих процессов контактного взаимодействия тел.

Адекватность моделирования технологических процессов в ANSYS/LS-DYNA установлена в работах [1, 2] на примерах обкатки роликами, алмазного выглаживания, дробеструйной обработки. Основные выходные данные – эквивалентные напряжения. Расхождение опытных и теоретических результатов данных не превышает 5%.

В качестве исследуемого материала выбраны алюминиевые сплавы. Выбор материала обуславливается все более широким применением алюминиевых сплавов в промышленности. Алюминиевые сплавы сочетают в себе такие характеристики как легкость механической обработки, высокие значения пластичности, удовлетворительные прочностные показатели, возможность применения последующей отделочно-упрочняющей обработки с целью повышения качества изделия.

В качестве исследуемой детали выбрана каркасная деталь, испытывающая в процессе эксплуатации высокие динамические нагрузки.

Моделирование осуществлялось в следующей последовательности:

- создана трехмерная модель детали;
- детали присвоены свойства алюминиевого сплава АМг-2, из которого изготавливается деталь;
- создана сетка конечных элементов (рисунок 1);

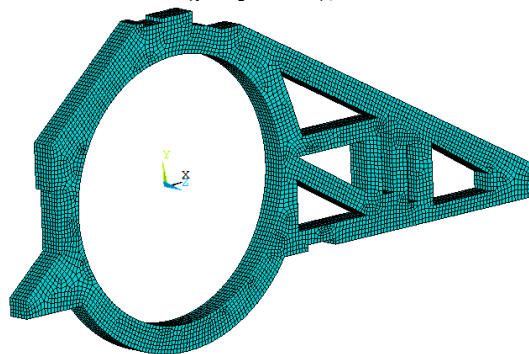


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель исследуемой детали в программном модуле ANSYS/LS-DYNA

- установлены места закрепления детали и приложены эксплуатационные нагрузки;
- установлены требуемые граничные условия: время приложения нагрузки, коэффициент демпфирования, коэффициент искажения и т.д.;
- произведен расчет, получены результаты по эквивалентным напряжениям и перемещениям (рисунок 2).

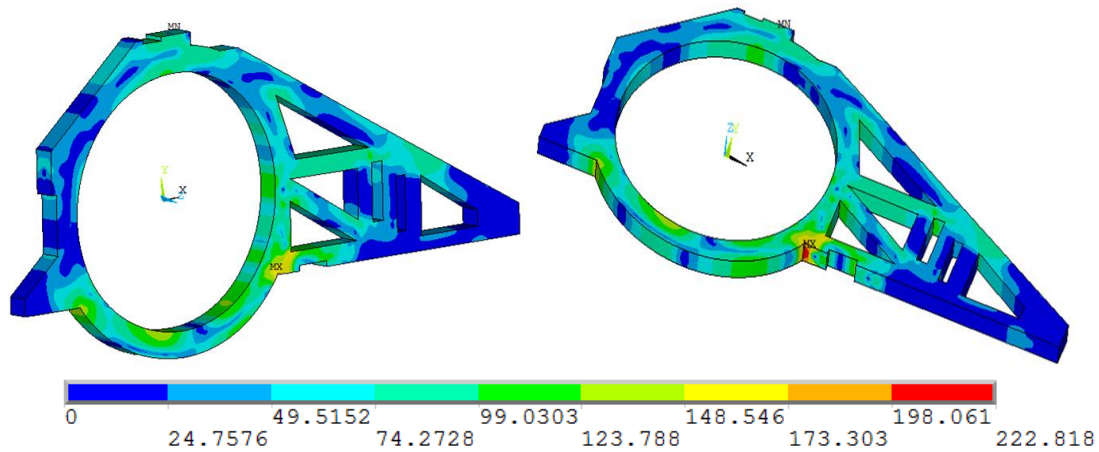


Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние (НДС) детали при эксплуатационных нагрузках (в МПа)

В результате разработки и анализа конечно-элементной модели установлены локальные ослабленные участки. Наиболее нагруженными являются поверхности, расположенные рядом с местами закрепления детали. Глубина несущего слоя при предельных нагрузках для данного типа детали составляет порядка 7 мм.

Литература

1. Костичев, В.Э. Повышение сопротивления усталости коленчатых валов тепловых двигателей: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / Костичев Владислав Эдуардович. - Самара, 2017. - 16 с.
2. Митрофанова, К.С. Конечно-элементное моделирование поверхностного пластического деформирования мультирадиусным роликом [Текст] // Упрочняющие технологии и функциональные покрытия в машиностроении. Сб. тр. II Всероссийской молодежной научно-практической школы. Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. 2016.

Бокарёв Д.В., Аборкин А.В.
*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых*
600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
aborkin@vlsu.ru

Влияние поверхностной модификации углеродных нанотрубок керамическими наночастицами на механические свойства алюмоматричных композитов

Современные транспортная и авиационная промышленность нуждаются в легких и прочных материалах. Одним из наиболее востребованных в данной отрасли материалов является алюминий, который отличается низкой плотностью, высокой коррозионной стойкостью и низкими стоимостными характеристиками, однако лимитирующим фактором его применения в данных отраслях зачастую является сравнительно низкий уровень прочностных характеристик, повышения которых можно добиться введением различных наполнителей, например – углеродных нанотрубок (УНТ). Основным методом получения алюмоматричных композитов является консолидация предварительно полученных шаровым размолом порошковых смесей, однако, промышленному внедрению технологии мешают кластеризация углеродных нанотрубок в матрице, деградация нанотрубок при шаровом размоле и слабое межфазное взаимодействие Al-УНТ. Первые две проблемы решаются подбором оптимального режима получения порошковых нанокомпозитов [1]. Главным же способом улучшения межфазного взаимодействия Al-УНТ является поверхностная модификация нанотрубок с помощью создания различных металлических [2] или керамических [3, 4] слоёв на границе раздела. С позиции повышения жесткости композитов и защиты УНТ от повышенной температуры особенно перспективно получение на поверхности УНТ жестких и жаропрочных карбидных слоёв. Работа посвящена исследованию влияния промежуточных слоёв из различных карбидов на механическую прочность композиционных материалов.

Исходными материалами для получения композиционного порошка являлись гранулы алюминиевого сплава АМг2 со средним диаметром 1-2 мм и углеродные наноструктуры трёх видов: исходные углеродные нанотрубки, углеродные наноструктуры на их основе, покрытые наночастицами TiC, чья структура подробно описана в исследовании [3] и покрытые наночастицами WC углеродные нанотрубки, структура которых подробно описана в исследовании [4]. Доля упрочняющих наноструктур во всех случаях составила 0.1 вес.%. Порошковые нанокомпозиты были получены высокоэнергетическим шаровым размолем с добавлением стеариновой кислоты на планетарной шаровой мельнице PULVERISETTE 6 (Fritsch) при скорости вращения 600 мин⁻¹ на протяжении 6 часов. Полученные порошки затем спрессовывались при температуре 450°C и давлении 350 МПа на гидравлическом прессе. Затем на электроэрозионном станке из образцов были получены образцы для испытаний на сжатие диаметром 6 мм и высотой 10 мм. Более подробно все технологические этапы получения композитных материалов описаны в работе [3]. Полученные образцы испытывались на сжатие на универсальной испытательной машине WDW-100E с соблюдением ГОСТ 25.503-97. Было испытано 3 образца каждого состава.

Морфология наполнителя была изучена с помощью метода растровой электронной микроскопии на микроскопе Zeiss 55 Ultra. Типичные изображения морфологии армирующих наноструктур и результаты расчета объемной доли наполнителя с помощью модели, представленной в исследовании [3], приведены на рис. 1. Исходные углеродные нанотрубки обладали диаметром 70-80 нм. Покрытие из наночастиц TiC диаметром 10-30 нм обладало более гладкой и сплошной морфологией по сравнению с покрытием из наночастиц WC диаметром 10-30 нм, для которого была характерна развитая морфология. Из-за наличия керамических наночастиц на поверхности УНТ объемная доля наполнителя в матричном материале снижается вдвое в случае модификации поверхности УНТ наночастицами TiC и в 4 раза в случае частиц WC.

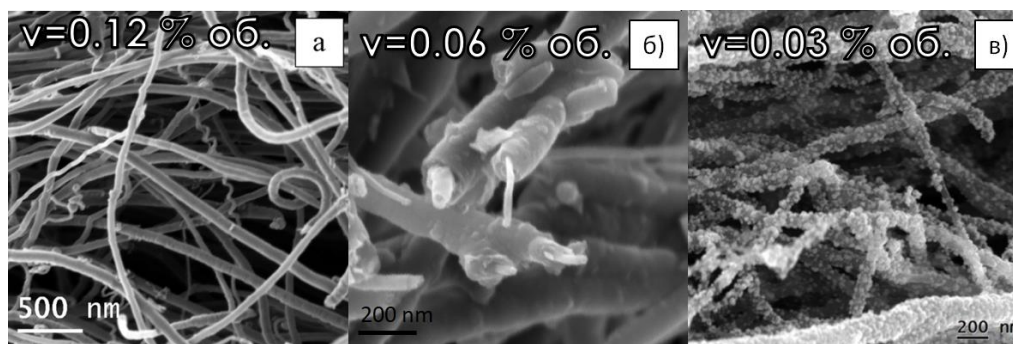


Рис.1. РЭМ-изображения: а) углеродных нанотрубок, б) покрытых частицами TiC УНТ, в) покрытых частицами WC УНТ

Результаты, характеризующие прочностные свойства композиционных материалов, а также данные об эффективности упрочнения в случае использования того или иного наполнителя приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний механических свойств полученных композитов

Состав образца	Предел текучести в условиях сжатия $\sigma_{сж}$, МПа	Эффективность упрочнения R
АМг2 (в состоянии поставки)	150	-
АМг2 (размолотый)	480 ±9.8	-
АМг2+0.1 вес.% УНТ	604 ±9.4	215
АМг2+0.1 вес.% TiC/УНТ	600 ±8.8	417
АМг2+0.1 вес.% WC/УНТ	610 ±15.2	902

Для демонстрации влияния керамических наночастиц на предел текучести в условиях сжатия, используем такую величину, как эффективность упрочнения R [5]: $R = \frac{\sigma_c - \sigma_m}{\sigma_m \cdot v} \cdot 100\%$ (1), где σ_c и σ_m – предел текучести на сжатие композитного и матричного материала, соответственно, v – объемная доля наполнителя.

Результаты испытаний на сжатие показывают, что предел прочности сплава вырос в 3.2 раз с 150 до 480 МПа по сравнению со сплавом в состоянии поставки. Все композиты получили прирост прочности за счет наполнителя, и уровень достигнутых композитами вне зависимости от типа наполнителя примерно одинаков. При этом, эффективность упрочнения TiC/УНТ и WC/УНТ по сравнению с упрочнением обычными УНТ выше в ~2 и 4.2 раза, соответственно. Повышение физико-механических свойств объясняется защитой УНТ от механического воздействия в процессе шарового размолла и на этапе консолидации от образования Al_4C_3 , улучшением межфазного взаимодействия из-за повышения работы адгезии в системах Al-TiC-УНТ и Al-WC-УНТ по сравнению с системой Al-УНТ.

Работы по синтезу и характеристике свойств композиционных материалов проведены при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта 18-79-10227. Аналитический обзор и расчетные исследования выполнены в рамках программы Минобрнауки России «Содействие занятости выпускников 2020 года на научно-исследовательские позиции в образовательные организации высшего образования и научные организации».

Литература

1. L. Lavagna et al., “Functionalization as a way to enhance dispersion of carbon nanotubes in matrices: a review,” Mater. Today Chem., vol. 20, p. 100477, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.MTSCHEM.2021.100477

2. K. Kremlev et al., “The Gas-Phase Synthesis of a New Functional Hybrid Material on the Basis of Multiwalled Carbon Nanotubes Decorated with Faceted Aluminum Nanocrystals,” *Tech. Phys. Lett.*, vol. 44, no. 10, pp. 865–868, Oct. 2018, doi: 10.1134/S1063785018100085.

3. A. V. Aborkin et al., “Thermal expansion of aluminum matrix composites reinforced by carbon nanotubes with in-situ and ex-situ designed interfaces ceramics layers,” *J. Alloys Compd.*, vol. 872, p. 159593, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.159593.

4. Sivkov D. et al., «Studies of Buried Layers and Interfaces of Tungsten Carbide Coatings on the MWCNT Surface by XPS and NEXAFS Spectroscopy». *Applied Sciences*. 2020; 10(14):4736. doi: 10.3390/app10144736.

5. B. Chen et al., “In Situ Synthesized Al₄C₃ Nanorods with Excellent Strengthening Effect in Aluminum Matrix Composites,” *Adv. Eng. Mater.*, vol. 16, no. 8, pp. 972–975, Aug. 2014, doi: 10.1002/adem.201400232.

Борисова Е.А., Зелинский В.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: apmitr@yandex.ru*

Металлофизические основы изнашивания в контактной паре «сталь-сталь»

Обширную группу представляют технологические машины, у которых основными исполнительными органами (ИО) являются инструменты, выполняющие функции захвата, давления и резания. В эту группу входят машины-автоматы для холодной навивки пружин, у которых ИО являются захватывающие и подающие ролики. В отмеченную группу входят разнообразные гибочные и прокатные машины, у которых ИО являются подающие и формирующие ролики с разнообразной геометрией давящей поверхности. К ней относятся также металлорежущие станки и прессовое оборудование, у которых ИО являются фрезы, резцы, штамповая оснастка.

Обособленность отмеченной группы машин вызвана тем, что их ИО с предметом труда образуют контактную пару «сталь-сталь» с интенсивным пластическим деформированием и сдвигом в локальной зоне. При этом индентором контактной системы является захватывающий, давящий или режущий инструмент из легированной стали, а контртелом – захватываемый или обрабатываемый материал из углеродистой стали.

Общим для контактной пары «сталь-сталь» со сдвигом является неизбежное образование особого вида изнашивания - изнашивание при схватывании (ГОСТ 27674-88). Это наиболее опасный и быстротечный вид изнашивания, сопровождаемый вырывом материала и его переносом с одной поверхности на другую в результате диффузии и адгезии с образованием твердых вторичных структур. Эти процессы особенно активны на фоне пластического сдвига и непрерывного образования дефектов кристаллического строения на химически чистых микроучастках поверхностей. Таким образом, для отмеченной группы технологических машин работоспособность в значительной степени связана с износостойкостью ИО.

Характерно, что для ИО технологических машин, образующих контактную пару «сталь-сталь», происходит непрерывное обновление атомных структур поверхностного слоя решетки контртела в контакте с необновляющимися участками кристаллической решетки индентора. В таких случаях доминирующую роль играет структурная приспособляемость системы [1], как комплекс металлофизических и механических явлений, связанных с преобразованиями на атомно-электронном и микроструктурном уровнях, в основном, в наименее прочной из поверхностей.

Металлофизика в контакте проявляется в результате действия на него энергетического поля от теплового и силового воздействий. В зоне соприкосновения решеток при пластическом сдвиге частично утрачиваются связи между атомами и электронами, свойственными кристаллическому строению тел. Создается неустойчивое структурно-энергетическое состояние, соответствующее псевдокристаллическому строению вещества с наличием элементов аморфизации. В межрешеточном пространстве образуется третье тело, проявляющее себя как открытая термодинамическая система, в которой происходит обмен веществом и энергией по законам термодинамики. В таких условиях включаются механизмы перемещения атомов легирующих химических элементов между решетками, основанные на градиенте химических потенциалов. К ним относятся диффузия и адгезия.

Одновременно в связи со структурно-энергетическим неустойчивым состоянием третьего тела в нем могут проявиться явления самоорганизации, существование которых установлено в триботехнических системах [1]. Суть самоорганизации в контактной паре со сдвигом основана на принципе Ле-Шателье, который состоит в том, что внешнее энергетическое воздействие, выводящее систему из равновесия, стимулирует в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия. Контактная пара, как любая открытая термодинамическая система, перестраивается для защиты от внешнего возмущения. Перестройка состоит в

прохождении преобразовательных процессов на атомно-электронном и микроструктурном уровнях с образованием защитных вторичных структур в поверхностном слое. Очевидно, что более значительная часть преобразований, происходит в решетке менее прочного материала, испытывающего возмущение в наибольшей степени. То есть вторичные структуры образуются в поверхностном слое контртела из углеродистой стали. Защитные функции вторичных структур состоят в ограничении распространения внешнего возмущения внутрь контртела. Поэтому их появление соответствует принципу Ле-Шателье.

Проявление самоорганизации для пары сталь-сталь состоит, прежде всего, в мгновенном упрочнении соприкасающихся участков решетки материала контртела за счет формирования в нем новообразованных вторичных структур с повышенной прочностью

Вклад различных механизмов упрочнения в предположении аддитивности их влияния на примере повышения предела текучести представляют следующей зависимостью [2]

$$\sigma_T = \Delta\sigma_0 + \Delta\sigma_{ТВ.Р} + \Delta\sigma_{д} + \Delta\sigma_{П} + \Delta\sigma_{ДУ} + \Delta\sigma_3,$$

где $\Delta\sigma_0$ – напряжение трения решетки (напряжение Пайерлса-Набарро); $\Delta\sigma_{ТВ.Р}$ – твердорастворное упрочнение; $\Delta\sigma_{д}$ – деформационное упрочнение; $\Delta\sigma_{П}$ – перлитное упрочнение; $\Delta\sigma_{ДУ}$ – упрочнение дисперсионными частицами; $\Delta\sigma_3$ – зернограничное упрочнение.

При контактном сдвиге кристаллических решеток углеродистой и легированной сталей в условиях структурно-энергетической неустойчивости в третьем теле наиболее легко реализуется твердорастворное упрочнение, удельный вклад которого достигает 50%. В связи с малыми размерами областей (до 1 мкм), в которых происходят металлофизические преобразования, длительность последних не превышает 10^{-4} с [3].

Такое упрочнение реализуется в процессе диффузионно-адгезионного переноса и растворения в твердом растворе материала контртела легирующих элементов материала индентора по механизмам вакансионного замещения и внедрения. Твердорастворное упрочнение обусловлено возникновением вокруг атомов легирующих элементов полей упругих искажений решетки. При этом эффективность торможения дислокаций определяется разницей в размерах атома железа и легирующего элемента и, что очень важно, пропорциональна концентрации легирующего элемента в решетке растворителя (материале контртела). Важно отметить, что все легирующие элементы являются сильными карбидообразователями и наиболее активно проявляют это свойство в углеродистых сталях с достаточным содержанием углерода [3].

Таким образом, перенесенные атомы легирующих элементов в решетке контртела вступают в химическое взаимодействие с углеродом, между собой и с атомами железа. Образованные при этом легированный цементит, сложные карбиды и интерметаллиды представляют собой вторичные структуры в виде твердых дисперсных частиц. Повышенная твердость создается благодаря образованию химических связей с повышенной ковалентной компонентой. Вторичные структуры подобного типа при сдвиге разрушают поверхность индентора по механизму абразивного изнашивания.

Литература

1. Иванова В.С., Буше Н.А., Гершман И.С. Структурная приспособляемость при трении как процесс самоорганизации / Трение и износ. – 1997. - Т. 18. - №1. - С. 74-79.
2. Хецберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов: Пер. с англ. / Под ред. И.Л. Бернштейна и С.П. Ефименко. М.: Металлургия. - 1989. - 576 с.
- 3 Машков Ю.К. Трибофизика металлов и полимеров: монография / Ю.К. Машков. – Омск: Изд-во ОмГТУ. - 2013. – 240 с.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23

Критерии оптимизации приработки сложных поверхностей при помощи САП

Применяемые в промышленности и разрабатываемые программы технологической приработки сложных поверхностей деталей обеспечивают приработку деталей в полном соответствии с техническими требованиями. Одновременно с этим, они должны обеспечить возможно большую производительность приработки, для чего необходимо предусматривать возможность оптимизации режимов приработки по критерию скорости приработки (СП). СП сложной поверхности детали измеряется площадью поверхности детали и определяет интенсивность увеличения площади касания поверхности детали при ее приработке некоторым способом. В качестве показателя СП может быть принята средняя скорость приработки

$$W_a = S/t$$

где S — площадь сложной поверхности детали, прирабатываемой за время t .

Другим показателем эффективности процесса приработки служит мгновенная СП, рассчитываемая по формуле

$$W = dS/dt \quad (1)$$

Если $S(t) = at$, то $W_a = W = a$. Выражение для определения СП сложной поверхности для общего случая приработки можно найти, если $S(t)$ изменяется во времени.

Векторное двухпараметрическое уравнение СП детали можно представить в виде

$$\vec{r}_p = \vec{r}_p(U_p; V_p)$$

где U_p и V_p — Гауссовы координаты на прирабатываемой сложной поверхности детали.

Площадь прирабатываемой поверхности детали можно рассчитать по следующей формуле:

$$S_p = \iint_S |dS_p|$$

где dS_p — векторный элемент площади, определяемый из выражения

$$\vec{dS} = \left(\frac{\partial \vec{r}_p}{\partial U_p} \cdot \frac{\partial \vec{r}_p}{\partial V_p} \right) dU_p dV_p$$

Модуль вектора \vec{dS} , определяющий элемент площади сложной поверхности детали,

$$|\vec{dS}| = \left| \frac{\partial \vec{r}_p}{\partial U_p} \cdot \frac{\partial \vec{r}_p}{\partial V_p} \right| dU_p dV_p$$

В общем случае криволинейные координаты U_p и V_p зависят от времени t :

$$U_p = U_p(\omega; t); V_p = V_p(\omega; t) \quad (2)$$

где ω — некоторая новая переменная.

Тогда площадь приработанной сложной поверхности детали можно вычислить по формуле

$$S_p = \iint_S \left| \frac{\partial \vec{r}_p}{\partial U_p} \cdot \frac{\partial \vec{r}_p}{\partial V_p} \right| |D_p| dt d\omega \quad (3)$$

где D_p — якобиан преобразования (2),

$$D_p = \begin{vmatrix} \frac{\partial U_p}{\partial \omega} & \frac{\partial U_p}{\partial t} \\ \frac{\partial V_p}{\partial \omega} & \frac{\partial V_p}{\partial t} \end{vmatrix}$$

Рассматривается область, где знак якобиана D_p сохраняется постоянным.

Подставив выражение (3) в формулу (1), получим зависимость для вычисления мгновенной СП сложной поверхности детали

$$W(t) = \iint_{\omega_1(t)}^{\omega_2(t)} \left| \frac{\overline{dr_p}}{dU_p} \cdot \frac{\overline{dr_p}}{dV_p} \right| |D_p| d\omega \quad (5)$$

где $\omega_2(t)$ и $\omega_1(t)$ — предельные значения переменной ω_1 на координатной линии вида $t = \text{const}$, соответствующие границам прирабатываемого участка сложной поверхности детали.

Зайцев А.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
zaicev.andrei.98@yandex.ru

Применение технологии карбонитрации для обработки зубчатого колеса

Зубчатые колеса используют для передачи крутящего момента в различных отраслях промышленности: от крупногабаритных агрегатов (электротурбин) до небольших бытовых приборов (часов и различных средств измерения).

В процессе эксплуатации зубчатых колес могут возникать различные виды разрушений – поломка, крошение зубьев и т.д., возникающие в процессе действия на них различного рода нагрузок.

Для повышения долговечности работы зубчатого колеса применяют различные виды упрочнения: поверхностное упрочнение токами высокой частоты (ТВЧ), цементация, азотирование, поверхностное пластическое деформирование, карбонитрация. [3]

Технология карбонитрации является одной из прогрессивных видов упрочнения в машиностроении. Данная технология имеет ряд преимуществ (наиболее высокая прочность поверхностного слоя, экологичность). Она представляет собой нагрев готовой детали в расплаве солей на основе цианата и карбоната калия до температуре 540-600 °С и выдержке от 1 до 6 ч. в зависимости от требуемой толщины упрочненного слоя. Результатом данной технологии является образование на поверхности детали упрочненного слоя, состоящего из нескольких зон. Верхний слой представляет собой ϵ -карбонитрид типа $Fe_3(N,C)$. Под ним располагается зона γ - $Fe_4(N,C)$, в ней находится диффузионная зона (гетерофазный слой).

Данную технологию очень часто применяют для повышения прочности и твердости зубьев зубчатых колес.

В данной работе технология карбонитрации применялась для обработки зубчатого колеса, представленного на рисунке 1. Оно изготовлено из стали 40Х. Данное колесо входит в сборочный узел «Привод».



Рис. 1 Зубчатое колесо

При анализе базового технологического процесса изготовления зубчатого колеса установлено, что полученные в процессе термической обработки параметры твердости и усталостной прочности, равные 271 НВ и 459 МПа не удовлетворяют требованиям эксплуатации. Для повышения данных параметров предложено добавить к уже имеющейся термической обработке технологию карбонитрации.

Технология карбонитрации проводилась с использованием специального оборудования. На рис. 2 представлена ванна карбонитрации с расплавом солей на основе цианата и карбоната калия.

Для решения поставленной проблемы проведен эксперимент, в ходе которого при выбранных режимах технологии карбонитрации (рис.3) произвели упрочнение зубчатого колеса.

На рис. 3 представлены режимы технологии карбонитрации. Согласно данному рисунку первая стадия – подготовка к карбонитрации. Для нее необходимо нагреть деталь и образец до

температуры от 350°C до 400°C, время выдержки при данной температуре составит – 1ч. Далее следует сама технология, в процессе которой требуется поместить зубчатое колесо в ванну, представленную на рис. 2. Ванна уже предварительно нагрета до температуры от 570°C до 590°C. Время выдержки при данной температуре составляет – 2 ч. Завершающим этапом технологии является охлаждение зубчатого колеса при температуре от 350°C до 400°C. Время выдержки при охлаждении – 1 ч.

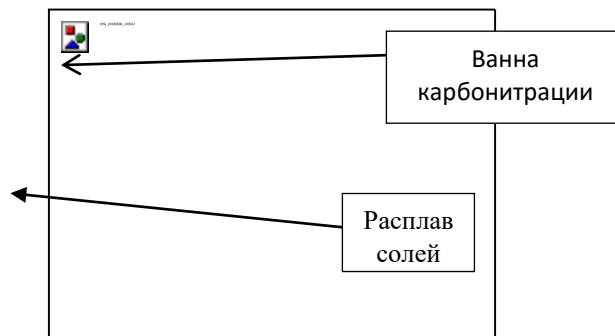


Рис. 2 Ванна карбонитрации с расплавом солей на основе цианата и карбоната калия.

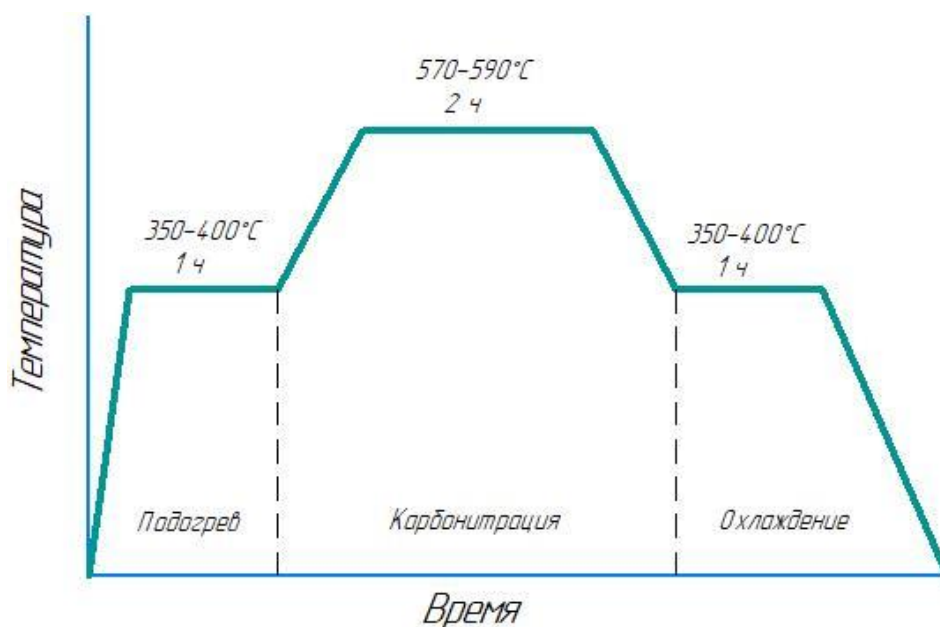


Рис. 3 Режимы технологии карбонитрации.

После карбонитрации проводились испытания зубчатого колеса на усталостную прочность и измерение твердости поверхностного слоя. Испытание на усталостную прочность производилось с использованием машины МУИ-6000, а измерение твердости с использованием твердомера HV-50.

На основании результатов проведенных испытаний можно сделать вывод, что усталостная прочность σ_1 повысилась с 459 МПа до 670 МПа, а твердость увеличилась с 271 HV до 630 HV.

Литература

1. Химико-термическая обработка металлов — карбонитрация. Прокошкин Д. А. М.: «Металлургия», «Машиностроение», 1984. 240 с.
2. Коротков В.А. Исследование процесса карбонитрации. // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2014 № 8
3. Каменичный И. С. Краткий справочник технолога-термиста К.: Оборонгиз, 1963., 286 с.

Каменский М.Н.

*Новомосковский институт РХТУ имени Д.И. Менделеева
301665, Тульская область, г. Новомосковск, ул. Дружбы, 8
MKamensky@yandex.ru*

Разработка конструкции машины для сжатия газов

Для сжатия и перемещения газов на промышленных предприятиях широкое распространение получили поршневые компрессоры.

В этих компрессорах сжатие газа происходит в цилиндре под действием поршня, причем одним из основных параметров, характеризующих работу компрессора, является степень повышения давления.

При проектировании поршневых компрессоров особое внимание уделяется типу расположения рабочих органов: горизонтальные или вертикальные. Первые удобны в обслуживании, а вторые обеспечивают равномерный износ цилиндропоршневой группы.

Разрабатываемая конструкция поршневого компрессора представляет собой горизонтальную четырехступенчатую машину с приводом от электродвигателя.

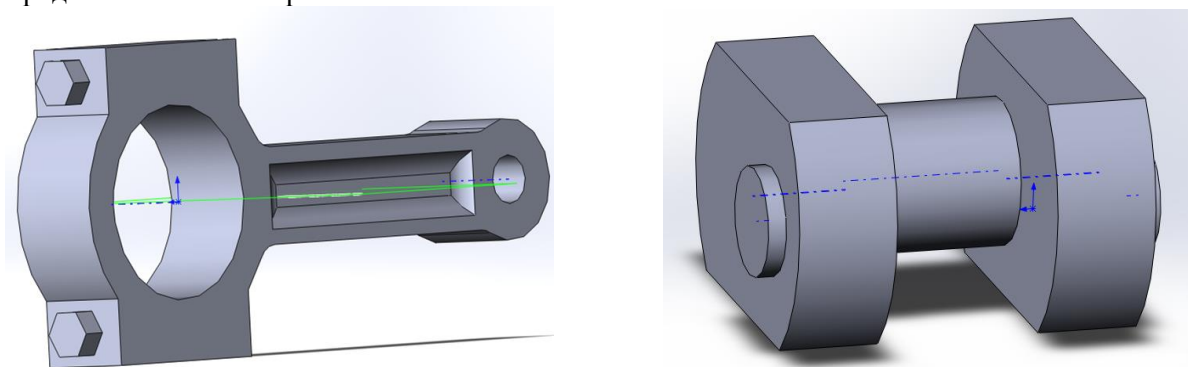
В процессе проектирования очень важное значение уделяется выбору конструкционных материалов основных элементов компрессора, а это наиболее целесообразно производить с использованием современных систем автоматизированного проектирования (САПР).

Компрессор имеет кривошипно-шатунный механизм, цилиндропоршневую группу, систему газораспределения, систему охлаждения и систему смазки.

Дифференциальный поршень включает в себя шток и три поршня первой, второй и третьей ступени. В четвертой ступени компрессора применяется плунжер, так как эта ступень должна работать при высоком давлении. Плунжер, имеющий сравнительно небольшой диаметр, но значительную длину, воспринимает высокое давление газа, действующее на его торец.

В систему охлаждения компрессора входят четыре холодильника, два из которых кожухотрубные второй и третьей ступени установлены в корпусе цилиндра и два змеевиковых четвертой ступени и концевой, которые установлены в рубашке четвертого цилиндра и на выходе из него. Охлаждение осуществляется водой, которая охлаждает стенки цилиндра и сжимаемый воздух.

С использованием САПР были разработаны трехмерные модели основных элементов поршневого компрессора: цилиндра, поршня, крейцкопфа, шатуна, коленчатого вала (рис. 1), а также осуществлялся подбор всасывающих и нагнетательных клапанов, обладающих малым аэродинамическим сопротивлением.



а
б
Рис. 1. Построение: а) шатуна; б) коленчатого вала

В разрабатываемом поршневом компрессоре пять всасывающих и пять нагнетательных клапанов. Клапаны состоят из: седла, пластины, ограничителя, пружины и нажимного винта для регулировки смещения клапана в осевом направлении.

Для выравнивания пульсирующего потока газа и ослабления газовых ударов в компрессоре применяются буферные емкости.

Смазка механизма движения осуществляется шестерёнчатым насосом. Смазка цилиндров осуществляется лубрикатором.

В процессе разработки конструкции многоступенчатого горизонтального поршневого компрессора были проведены прочностные расчеты цилиндропоршневой группы (рис. 2). После сборки деталей компрессора была смоделирована его работа в системе автоматизированного проектирования, при которой проводилась проверка работоспособности и отсутствия ошибок разработки конструкции (рис. 3).

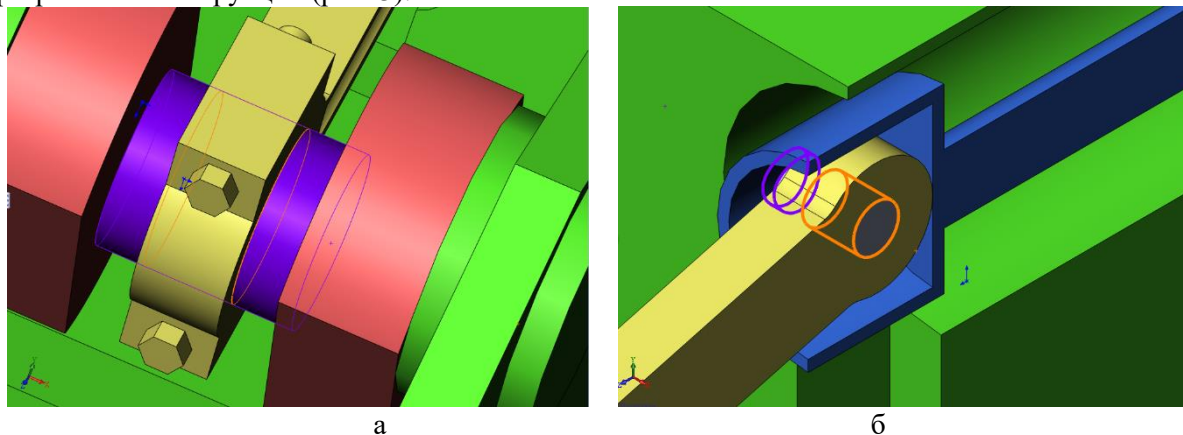


Рис. 2. Процесс сборки: а) коленчатого вала и шатуна; б) шатуна и поршня

При расчете основных параметров поршневого компрессора определялись: степень повышения давления, зависящее от давлений всасывания и нагнетания; число ступеней сжатия, необходимое для ограничения температуры сжимаемого газа. При помощи автоматизированного проектирования представляется возможным подобрать наиболее рациональную схему смазки и охлаждения механизма движения каждой ступени компрессора, а также оценить относительный «мертвый объем» и рассмотреть варианты его сокращения до минимального значения.

В этом компрессоре газ последовательно подается из одного цилиндра в другой, каждый из которых представляет собой ступень сжатия. Объем каждого последующего цилиндра, естественно, меньше предыдущего.

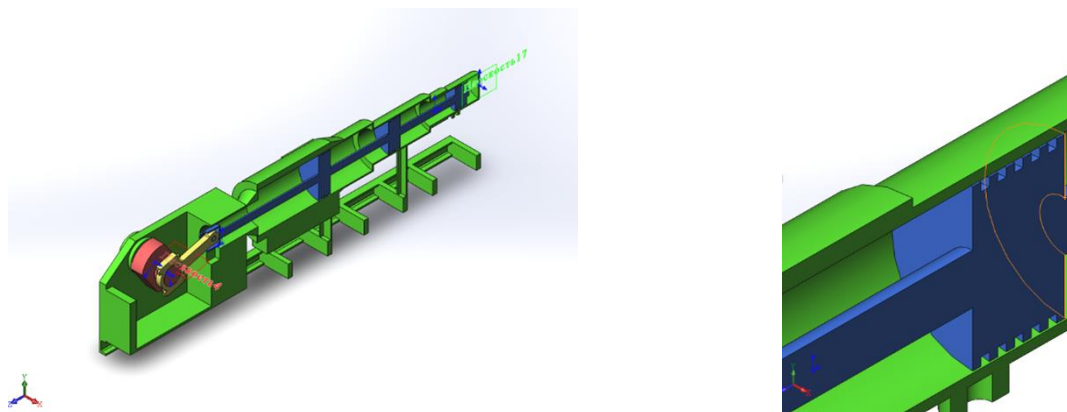


Рис. 3. Процесс моделирования работы поршневого компрессора

По результатам разработки конструкции были получены чертежи многоступенчатого компрессора, позволяющие изготовить данную машину для заданных технологических параметров производства.

Таким образом, применение автоматизированного проектирования позволяет смоделировать работу поршневого компрессора, оперативно вносить изменения в проект при обнаружении ошибок, благодаря чему сокращается время на проектирование.

Карпов А.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
krash75@mail.ru

Экспериментальные исследования показателя энергетической эффективности резания при наружном продольном точении

Ранее [1, 2] на основе термодинамических представлений о стружкообразовании нами был сформулирован безразмерный показатель K , позволяющий оценивать энергетическую эффективность рабочего хода режущего инструмента в пределах любого технологического перехода операций обработки резанием. Показатель K был представлен в виде отношения удельной энергоёмкости обрабатываемого материала Δw , Дж/мм³, к удельной работе резания e , Дж/мм³, и характеризует собой энергетический КПД стружкообразования:

$$K = \frac{\Delta w}{e} \quad (1)$$

Теоретические выражения для показателя K были получены для различных распространённых методов обработки резанием: продольного наружного точения и растачивания, поперечного точения и отрезки, цилиндрического и торцового фрезерования, разрезания цилиндрической заготовки дисковой пилой и др.

В течение 2019-21 гг. каф. технологии машиностроения Муромского института (филиала) ВлГУ были проведены экспериментальные исследования зависимости показателя K от управляемых технологических факторов обработки резанием: скорости резания v , величины подачи s , глубины резания t , геометрических параметров режущей части инструмента (γ , ϕ). Цель экспериментальных исследований состояла в подтверждении теоретических выражений и получении эмпирических зависимостей показателя энергетической эффективности резания от перечисленных управляемых факторов.

При продольном наружном точении цилиндрической заготовки ($D = 50$ мм) стали 30 (1030, G10300) ($\sigma_B = 500$ МПа, HB 179, $\psi_B = 0,2$), относящейся к группе ISO-P, удельная энергоёмкость обрабатываемого материала была принята равной удельной работе пластической деформации сдвига и составила $\Delta w = 1,136$ Дж/мм³. В качестве режущих инструментов применялись: резец I (2102-0035 ГОСТ 18878-73) (Т5К10, $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $r_e = 1$ мм) и резец II (2103-0007 ГОСТ 18879-73) (Т15К6, $\phi = 90^\circ$, $\phi_1 = 10^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $r_e = 1$ мм).

Результаты экспериментальных исследований обобщены в рис. 1-3.

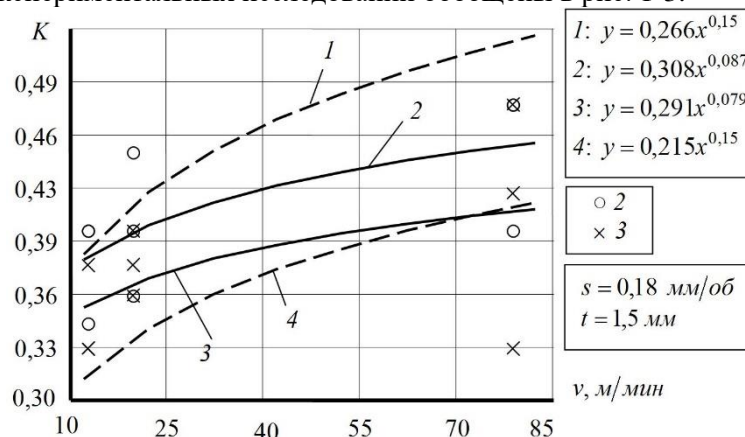


Рис. 1. Зависимости показателя энергетической эффективности наружного продольного точения от скорости резания: 1 – теоретическое уравнение для резца II; 2 – экспериментальные данные и линия тренда для резца II; 3 – экспериментальные данные и линия тренда для резца I; 4 – теоретическое уравнение для резца I

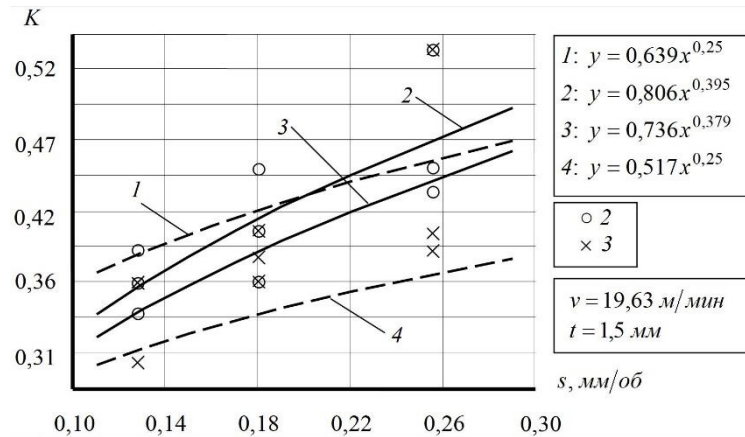


Рис. 2. Зависимости показателя энергетической эффективности наружного продольного точения от величины подачи на оборот: 1 – теоретическое уравнение для резца II; 2 – экспериментальные данные и линия тренда для резца II; 3 – экспериментальные данные и линия тренда для резца I; 4 – теоретическое уравнение для резца I

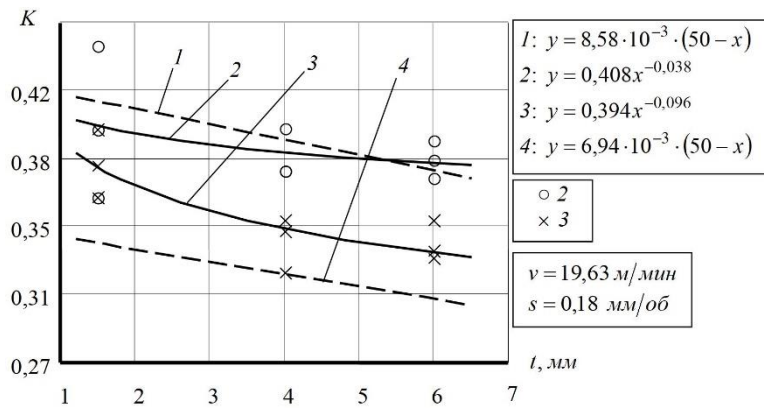


Рис. 3. Зависимости показателя энергетической эффективности наружного продольного точения от глубины резания: 1 – теоретическое уравнение для резца II; 2 – экспериментальные данные и линия тренда для резца II; 3 – экспериментальные данные и линия тренда для резца I; 4 – теоретическое уравнение для резца I

Анализ графиков экспериментальных зависимостей свидетельствует о повышении показателя энергетической эффективности K в среднем на 6-9% при одновременном увеличении главного угла в плане ϕ с 45° до 90° и переднего угла γ с 0° до 10° .

С возрастанием скорости резания v с 12,57 до 78,54 м/мин (в 6,2 раза) показатель K увеличивается в среднем на 18% (рис. 1), продольной подачи s с 0,128 до 0,255 мм/об (в 2 раза) – на 30 % (рис. 2), глубины резания t с 1,5 до 6 мм (в 4 раза) – уменьшается на 9% (рис. 3).

Превалирующее значение для роста показателя K имеет технологический фактор подачи, и с целью снижения энергозатрат следует производить наружное продольное точение с максимально возможными (при заданных условиях обработки) [2] скоростями резания и подачи.

Литература

1. Карпов А.В. Расчёт показателя энергетической эффективности стружкообразования при точении и фрезеровании // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 7 февр. 2020 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020.– С. 141-142.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Карпов А.В. Модель параметрической оптимизации операций обработки резанием по критерию наибольшей энергетической эффективности // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 6-1. – С. 50-55; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38070> (дата обращения: 10.01.2022).

Карпов А.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
krash75@mail.ru

Экспериментальные исследования показателя энергетической эффективности резания при поперечном (торцовом) точении

Ранее [1, 2] на основе термодинамических представлений о стружкообразовании нами был сформулирован безразмерный показатель K , позволяющий оценивать энергетическую эффективность рабочего хода режущего инструмента в пределах любого технологического перехода операций обработки резанием. Показатель K был представлен в виде отношения удельной энергоёмкости обрабатываемого материала Δw , Дж/мм³, к удельной работе резания e , Дж/мм³, и характеризует собой энергетический КПД стружкообразования:

$$K = \frac{\Delta w}{e} \quad (1)$$

Теоретические выражения для показателя K были получены для различных распространённых методов обработки резанием: продольного наружного точения и растачивания, поперечного точения и отрезки, цилиндрического и торцового фрезерования, разрезания цилиндрической заготовки дисковой пилой и др.

Особенностью поперечного точения (подрезки торца, отрезки) цилиндрической заготовки на токарном станке является непостоянство значения мощности резания в течение времени рабочего хода. Закономерное изменение мощности при уменьшении мгновенного диаметра обработки было учтено в теоретических выражениях показателя K путём введения в него коэффициента аппроксимации мощности $k_N = 0,5$ в соответствии с типовой схемой изменения мощности в течение рабочего хода (типовая схема 3) [1].

В течение 2019-21 гг. каф. технологии машиностроения Муромского института (филиала) ВлГУ были проведены экспериментальные исследования зависимости показателя K от управляемых технологических факторов обработки резанием: скорости резания v , величины подачи s , глубины резания t , геометрических параметров режущей части инструмента (γ , φ). Цель экспериментальных исследований состояла в подтверждении теоретических выражений и получении эмпирических зависимостей показателя энергетической эффективности резания от перечисленных управляемых факторов.

Результаты экспериментальных исследований обобщены в рис. 1-3.

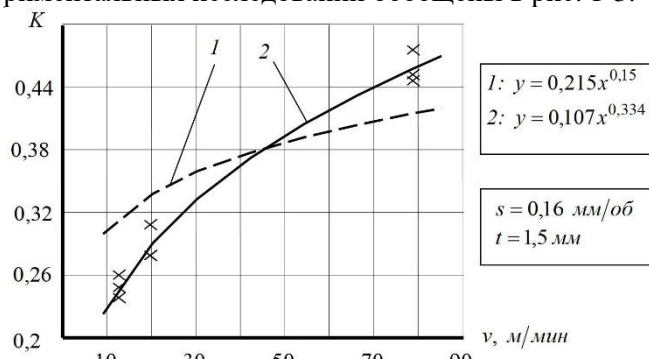


Рис. 1. Зависимости показателя энергетической эффективности поперечного (торцового) точения от скорости резания: 1 – теоретическое уравнение; 2 – экспериментальные данные и линия тренда

При поперечном (торцовом) точении цилиндрической заготовки ($D = 50$ мм) стали 30 (1030, G10300) ($\sigma_B = 500$ МПа, HB 179, $\psi_B = 0,2$), относящейся к группе ISO-P, удельная энергоёмкость обрабатываемого материала была принята равной удельной работе пластической деформации

сдвига и составила $\Delta w = 1,136 \text{ Дж/мм}^3$. В качестве режущего инструмента применялся резец 2102-0035 ГОСТ 18878-73 (Т5К10, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $r_\epsilon = 1 \text{ мм}$).

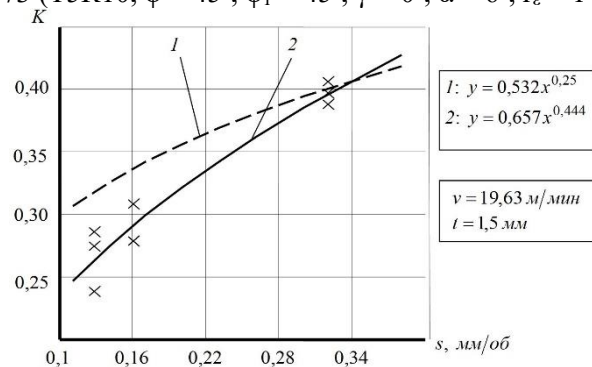


Рис. 2. Зависимости показателя энергетической эффективности поперечного (торцового) точения от величины подачи на оборот: 1 – теоретическое уравнение; 2 – экспериментальные данные и линия тренда

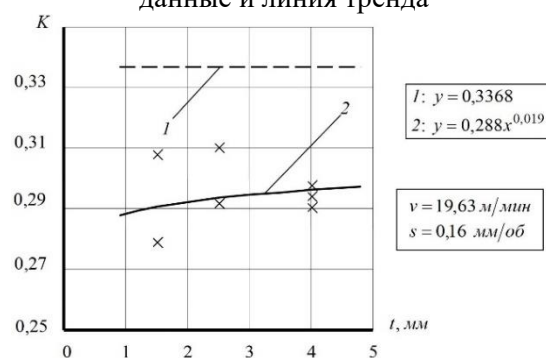


Рис. 3. Зависимости показателя энергетической эффективности поперечного (торцового) точения от глубины резания: 1 – теоретическое уравнение; 2 – экспериментальные данные и линия тренда

Результаты свидетельствует о повышении показателя энергетической эффективности поперечного точения K с ростом скоростей резания и подачи. При возрастании скорости резания v с 12,54 до 78,54 м/мин (в 6,2 раза) показатель K увеличивается в среднем на 84 % (рис. 1), поперечной подачи s с 0,128 до 0,32 мм/об (в 2,5 раза) – на 49 % (рис. 2).

Увеличение глубины резания t с 1,5 до 4 мм приводит к заметному повышению максимального и среднего значений мощности резания N , однако существенного изменения величин удельной работы резания ϵ и показателя энергетической эффективности K не наблюдается (рис. 3). Глубину резания t при составлении оптимизационных алгоритмов рассматривать как исходный (неуправляемый) параметр [2].

Максимальное значение мощности резания наблюдалось по окончании врезания резца в заготовку. По мере приближения вершины резца к линии центров мощность снижалась и по окончании стружкообразования становилась равной мощности холостого хода. Таким образом, при экспериментах с торцовым точением нашла своё подтверждение третья типовая схема изменения мощности, выявленная в [1].

Литература

1. Карпов А.В. Расчёт показателя энергетической эффективности стружкообразования при точении и фрезеровании // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 7 февр. 2020 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020.– С. 141-142.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Карпов А.В. Модель параметрической оптимизации операций обработки резанием по критерию наибольшей энергетической эффективности // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 6-1. – С. 50-55; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38070> (дата обращения: 10.01.2022).

Крашенинникова Е.Н.

*Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Владимирской области «Муромский колледж радиоэлектронного приборостроения»
602267, Россия, Владимирская область, г. Муром, ул. Комсомольская, д.55
krash.ab.nik@mail.ru*

Позитивный настрой и командная деятельность как способы повышения работоспособности учащихся

На пути к освоению специальности «Технология машиностроения», казалось бы, нет «ласковых моментов». Тут вам и станки, режущие инструменты, и сами детали - «железки». В современном мире люди, поневоле, как - будто, сами становятся черствее, «железнее». Учитывая это, в воспитательных целях, используя методы обучения хочется зарядить студентов позитивным настроем, создать доброжелательность в их отношениях не только к учебе, будущей работе и жизни в целом. Для достижения поставленной цели, будем использовать инновационный метод обучения «Мозговой штурм» с применением командной деятельности.

Ниже приведен пошаговый план занятия, которое было проведено и дало неплохие результаты.

План занятия по практической работе на дисциплине ОП.10 Программирование для автоматизированного оборудования.

Тема: Расшифровка управляющих программ (УП) для станка с ЧПУ [2].

Цель: Приобрести практические навыки в расшифровке управляющих программ для станков с ЧПУ.

Задачи:

- Проанализировать УП
- Изобразить траекторию инструмента согласно УП
- Определить слово, которое зашифровано с помощью УП
- На примере заданных УП рассмотреть вид УП для гравировальной операции.

Программное обеспечение:

- САПР КОМПАС V19
- САПР Гемма V9.5

Исходные данные:

-Управляющие программы на бумажном носителе с указанием габаритов получаемой «детали».

-Режущий инструмент - концевая фреза Ø 2мм.

Порядок выполнения работы

Всю проделанную работу можно разбить на этапы:

Этап 1. Разделение студентов на команды.

Капитаны команд назначаются преподавателем и формируют свои команды из присутствующих студентов. На данном этапе стоит отметить, что таким образом, студенты негласно и без оскорблений могут узнать «какое место» они занимают в своем коллективе.

Этап 2. Выдача задания преподавателем.

В качестве задания используются УП на бумажном носителе.

Проанализировав текст УП, студенты повторяют значения функций, структуру программы, формат кадра и определяют количество букв в зашифрованном слове. Далее, каждая, еще пока не известная буква у студентов вызывает интерес, и они выбирают себе для расшифровки себе букву.

Этап 4. Графическое изображение траектории движения инструмента.

С помощью САПР КОМПАС вычерчивается на компьютере траектория движения режущего инструмента для каждой буквы зашифрованного слова.

Этап 5. Составление слова.

Из расшифрованных букв студенты согласно УП составляют слово.

Этап 6. Контроль выполнения задания.

Контроль выполняется преподавателем в САПР ГеМма V9.5. Пример результата работы студентов изображен на рисунках 1 и 2.

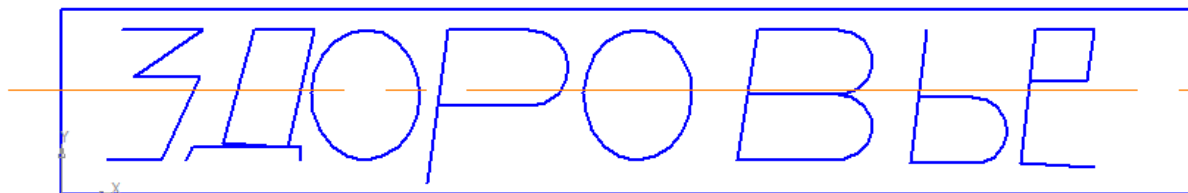


Рис. 1 Слово «ЗДОРОВЬЕ»



Рис. 2 Слово «СЧАСТЬЕ»

Этап 7. Подведение итогов занятия.

Какой же добрый настрой студенты получили по окончании работы! Вместо неких грубых слов, которые порой и проскальзывают на занятиях на этапе предположений слышалось: «счастливый», «доброта», то есть, сами того не подозревая, они заряжались позитивом, добром, хорошим настроением, что актуально в настоящее время.

И по окончании занятия мы пожелали друг другу то, что расшифровали: счастья и здоровья.

Надо отметить, что обе команды справились, и даже после звонка хотели довести работу до конца, хоть и поняли какое слово скрыто.

Учитывая вышесказанное, можно сказать, что использование данного метода в учебном процессе обеспечивает возможность:

- дать студентам более полную, достоверную информацию о процессах обработки в ненавязчивой форме, в форме самопознания;
- студентам узнать оценку своих умений окружающими и тем самым помочь увеличить их потребность в знаниях;
- удовлетворить запросы, желания и интересы студентов;
- наладить эффективную обратную связь;
- повысить мотивацию в учебном процессе;
- воспитывать ответственность за результат своей работы;
- создать позитивный настрой на дальнейшие занятия, а возможно, создать уверенность в себе к будущей работе по специальности.

Представленная методика использована в учебном процессе специальности 15.02.08 «Технология машиностроения» при изучении дисциплины ОП.10 «Программирование для автоматизированного оборудования». Она позволяет сформировать у студентов профессиональные и общие компетенции через освоение следующих знаний и умений:

- методы разработки и внедрения управляющих программ для обработки простых деталей в автоматизированном производстве.
- использовать справочную и исходную документацию при написании управляющих программ рассчитывать траекторию и эквидистанты инструментов, их исходные точки, координаты опорных точек контура детали; выводить УП на программноносители;

– качественная успеваемость по дисциплине ОП.10 «Программирование для автоматизированного оборудования» увеличилась.

Литература

1. Гипенрейтер Ю. Б. Общаться с ребенком, как?/ Ю. Б. Гиппенрейтер; худож. Г. А. Карасева.-М.:АСТ: Астрель,2008.-238,[2]с.:ил.
2. Ермолаев В.В. Программирование для автоматизированного оборудования: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М.: Издательский центр «Академия», 2018. – 272 с.
3. Руководство пользователя КОМПАС-ГРАФИК. Акционерное общество «АСКОН», 2019.
4. FMS-3000. Устройство ЧПУ. Описание языка электроавтоматики. Описание системы параметров ред. 6.3. Руководство по эксплуатации. ООО “Модмаш-Софт” г. Нижний Новгород.
5. Интернет ресурсы: trade@lanbook.ru ; co@libri.ru

Куканова Н.А., Силантьев С.А.

Муromский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: natali-kukanova@mail.ru

Высокоэффективный комбинированный упрочняюще-отделочный деформирующий инструмент для обработки внутренних и наружных цилиндрических и профильных поверхностей

Финишной операцией типового технологического процесса обработки детали является отделочно-упрочняющая обработка методами пластического деформирования: статическим или ударным.

Комбинированный метод упрочнения, сочетающий в себе и статическое, и динамическое воздействие, позволит достичь большей глубины упрочнения.

Схема инструмента для статико-импульсной обработки представлена на рисунке 1.

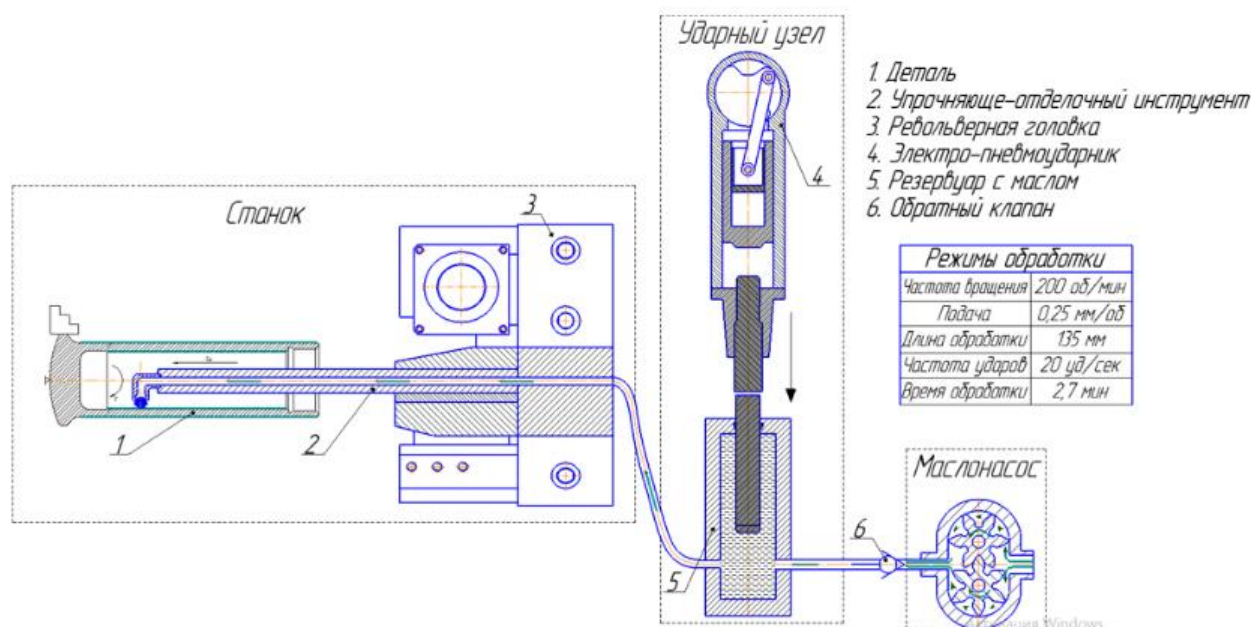


Рис.1. Схема инструмента для статико-импульсной обработки

Деформирующий элемент инструмента – шарик непрерывно статически поджимается к обрабатываемой поверхности давлением жидкости, которое создаёт внешняя маслостанция. Кроме этого, дополнительно вдавливается в обрабатываемую поверхность периодическим импульсным воздействием от ударного устройства – электро-пневмоударника, за счёт чего достигается большая глубина упрочнения.

В процессе упрочнения происходит смятие микронеровностей и образование нового рельефа обрабатываемой поверхности. Упрочнённые детали обладают более высокими эксплуатационными характеристиками и большим сроком службы.

При статико-импульсном упрочнении глубина упрочнения больше, следовательно, выше долговечность обрабатываемой детали и экономия металла на 7-12%.

Использование предлагаемого инструмента не требует модернизации оборудования. Инструмент может использоваться как на станке с ЧПУ, так и на универсальном оборудовании.

Никитина Л.Г.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: nikitina-nlg@yandex.ru*

Привод главного движения станков с ЧПУ

В шлифовальных станках широко используются электрошпиндели, ротор в которых установлен на шпинделе между его опорами. Данная конструкция шпиндельного узла (ШУ) имеет: диапазон регулирования частоты вращения шпинделя 1:5; максимальную частоту вращения до 240000 об/мин; номинальный крутящий момент до 12 Н • м.

Станки многоцелевые в отличие от шлифовальных работают в более широком диапазоне частот вращения 1:100, при высоких крутящих моментах 50...1250 Н • м. Для обеспечения этого диапазона у нас в стране и за рубежом появились новые электромеханические приводы главного движения, получившие название мотор-шпинделей (МШ).

МШ – новый электромеханический узел, предназначенный для токарных, фрезерных, расточных и многоцелевых станков.

Максимальные и номинальные частоты вращения шпинделя МШ намного ниже, а номинальные моменты в основном на порядок – два выше, чем у электрошпинделя. Следует отметить, что в шлифовальных станках можно корректировать положение оси электрошпинделя или положение образующей инструмента в пространстве. В токарных станках положение оси МШ зафиксировано, поэтому тепловые деформации (ТД) оказывают непосредственное влияние на точность обрабатываемой детали.

Первая опытная конструкция МШ для токарного станка с высотой оси вращения шпинделя равной 180 мм спроектирована с независимой аксиальной двухконтурной системой воздушного охлаждения с выходной мощностью 7.5 кВт[1].

В качестве приводного двигателя использован специальный асинхронный двигатель, управляемый от статического преобразователя частоты, ротор которого установлен на шпинделе между его опорами. Такая конструкция повышает надежность привода и упрощает обслуживание привода главного движения.

Конструкция опытного МШ имеет: эффективный теплоотвод от ротора и статора; высокую частоту вращения; широкий диапазон регулирования частоты вращения шпинделя; высокую точность и жесткость шпиндельного узла; максимальный крутящий момент и мощность при резании; низкий уровень шума и вибраций.

Эффективный теплоотвод обеспечивают осевые вентиляторы, встроенные в корпус. Статор двигателя установлен в расточке корпуса, что обеспечивает хороший теплоотвод от него.

Для уменьшения температурных деформаций в МШ предусмотрен теплосимметричный корпус. Передняя опора МШ выполнена по схеме «триплекс», задняя – по схеме «дуплекс». Такая конструкция опор и применение прецизионных подшипников позволили получить высокую точность вращения шпинделя и большую жесткость опор. Быстроходность шпинделя обеспечивается его хорошей балансировкой в сборе и применением специального пластичного смазочного материала. Последнее значительно упрощает обслуживание МШ в процессе эксплуатации.

Низкий уровень вибраций в МШ достигнут в результате увеличения рабочего воздушного зазора, уменьшения магнитного насыщения статора, выбора рационального числа пазов статора и ротора.

Промышленный образец прошел стендовые испытания, а также испытания при резании.

Статическую жесткость измеряли с помощью специального динамометра и индикаторной головки. Измерения показали, что жесткость ШУ составляет не менее 250 Н/мкм. При вращении шпинделя от руки измеряли радиальное и торцовое биение опорной поверхности шпинделя и радиальное биение установленной на шпинделе измерительной оправки при ее вылете 50 и 250 мм. Максимальное радиальное биение оправки при вылете 250 мм составило 5 мкм.

Тепловые деформации определяли при работе МШ на холостом ходу при максимальной частоте вращения. Величина ТД измеренная по радиальному биению оправки при работе шпинделя в течение 60 мин составило не более 6 мкм.

При обработке в патроне на станке-стенде стальных деталей Ø120-125 мм были получены стабильные показатели точности и шероховатости обработанной поверхности: отклонение от круглости в пределах 2.1...3.2 мкм; отклонения профиля продольного сечения на длине 70 мм не более 1 мкм; шероховатость Ra = 0.32... 0.63 мкм. При использовании резцов, оснащенных режущей керамикой скорость резания достигала 1500 м/мин.

Использование МШ позволит снизить массу главного привода станка, потери энергии (особенно при высоких частотах вращения), уровень вибраций и шума и, как следствие, повысить точность обработки и улучшить условия труда.

Литература

1. Королев Э.Г., Юденков Н.П., Арапов А.Н. – Мотор-шпиндели для станков с ЧПУ. СТИН, 1986, № 12, с.8-9.

Ушанов Д.Ю., Силантьев С.А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: diman123.ushanov@yandex.ru

Исследование механических характеристик электропневматического генератора механических импульсов

По сравнению с другими способами поверхностного пластического деформирования, статико-импульсная обработка воздействует на поверхностный слой волной деформации, позволяющий широко изменять получаемую структуру упрочненного слоя и его свойства. Существует возможность адаптировать серийно выпускаемого инструмента ударного разрушения, электропневматического отбойного молота. Следовательно, перспективно создания принципиально новой установки для статико-импульсной обработки. Для этой цели подходит выпускаемый отбойный молоток инерскол М-25. Для определения энергетических и механических характеристик собран экспериментальный стенд (рис. 1). Для измерения положения бойка во время ударного цикла применен триангуляционный лазерный датчик РФ 603. Отбойный молоток закреплен таким образом чтобы прямой лазерный луч беспрепятственно отразившись от бойка вернулся на приемную линейку лазерного датчика через волновод с продольным сквозным отверстием. Датчик позволяет непрерывно измерять положения бойка во время работы с частотой 7700 измерений в секунду.

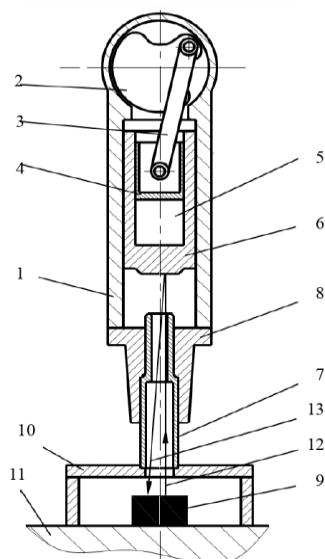


Рисунок 1 - Схема измерения динамических характеристик электрического генератора механических импульсов:

1 - корпус; 2 - кривошипный вал; 3 - шатун; 4 - поршень; 5 - рабочая пневмокамера; 6 - боек;

7 - волновод; 8 - букса; 9 - триангуляционный лазерный датчик; 10 - силовой упор; 11 - станина; 12 - прямой лазерный луч; 13 - отраженный лазерный луч.

Координаты положения бойка передаются на компьютер, по которым строится диаграмма движения бойка.

В результате проведенного эксперимента установлено, что в зоне устойчивой работы энергия ударов генератора механических импульсов составляет от 10 до 25 Дж, при частоте ударов от 15 до 25 уд/сек.

По результатам проведенного опыта разработаны рекомендации по выбору энергетических параметров генератора механических импульсов для достижения требуемых выходных технологических параметров.

Шпаков¹ П.С., Юнаков² Ю.Л., Азаренко² А.А.

¹Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: spsp01@rambler.ru

²Сибирский Федеральный университета.
Институт горного дела геологии и геотехнологий
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

Методика определения расчётных значений прочностных характеристик горных пород вероятностными методами

На основании методов теории вероятностей и математической статистики разработана методика определения расчётных значений прочностных характеристик горных пород, учитывающая их коррелированность, позволяющая уточнить границы доверительного интервала и получить более высокую степень надёжности результатов.

Для оценки устойчивости борта карьера в качестве расчётных данных используют плотность пород γ и показатели сопротивления пород сдвигу (сцепление k и угол внутреннего трения ρ).

Обобщенные или нормативные значения этих показателей обычно устанавливаются на основе статистической обработки результатов лабораторных и натуральных испытаний физико-механических свойств пород.

При решении задач устойчивости откосов в соответствии с «Методическими указаниями...» [1] в нормативные характеристики пород вводится коэффициент запаса n_3

$$k_p = k_n / n_3; \text{tg}\rho_p = \text{tg}\rho_n / n_3. \quad (1)$$

Полученные таким образом значения называются расчётными прочностными характеристиками. Коэффициенты запаса, вводимые в определенные из испытаний показатели, либо в общий коэффициент запаса устойчивости борта, учитывают их изменчивость, ошибки определения, связанные с методикой испытаний, анизотропией материала и прочими факторами. Однако значения этих коэффициентов назначаются на основе практики и не имеют строгого научного обоснования.

Выделить доминирующий фактор, который оказывает максимальное влияние на конечный результат, практически невозможно, поэтому для их оценки используется нормальный закон распределения.

Поэтому использование методов теории вероятностей и математической статистики дает возможность обоснованно и надежнее определить расчётные характеристики прочностных показателей приборного массива.

Интервальная оценка позволяет в качестве расчётных данных принимать характеристики, соответствующие нижней границе доверительного интервала, построенного с заданным уровнем вероятности.

Нормативное значение плотности каждого литологического типа горных пород обычно определяется как среднее (средневзвешенное) по месторождению либо по отдельным его участкам.

Порядок определения нормативных показателей удельного сцепления k и угла внутреннего трения ρ регламентируется межгосударственным стандартом ГОСТ 20522-96 [2], который предполагает наличие линейной зависимости сопротивления породы сдвигу $\tau = f(P)$ от нормального давления. В результате статистической обработки экспериментальных данных определяем математическое ожидание (нормативное значение), дисперсию и среднеквадратическое отклонение сцепления и тангенса угла внутреннего трения пород.

Уравнение наилучшей прямой согласно ГОСТ 20522-96 записывается в

виде

$$\tau = (tg\rho \pm \sigma_{tg\rho}) \cdot P + (k \pm \sigma_k), \quad (2)$$

т.е. погрешность сопротивления сдвигу определяется как

$$\sigma_\tau = \sigma_k + \sigma_{tg\rho} \cdot P. \quad (3)$$

Задаваясь уровнем надежности, строим границы доверительного интервала для величины τ

$$\tau = \bar{\tau} \pm t_p \sigma_\tau / \sqrt{N}, \quad (4)$$

где t_p — коэффициент распределения, определяемый по специальным таблицам в зависимости от доверительной вероятности.

N — общее число определений.

Осью симметрии доверительного интервала служит прямая максимального правдоподобия.

Таким образом, расчетные значения прочностных характеристик по ГОСТ 20522-96 соответствуют нижней границе доверительного интервала с заданным уровнем надежности.

Указанная методика статистической обработки результатов испытаний не учитывает коррелированности показателей $tg\rho$ и k .

Дисперсия сопротивления сдвигу для коррелированных показателей определяется как

$$\sigma_\tau^2 = \sigma_k^2 + \sigma_{tg\rho}^2 \cdot p^2 + 2\eta_{k\bar{tg\rho}} \cdot p \quad (5)$$

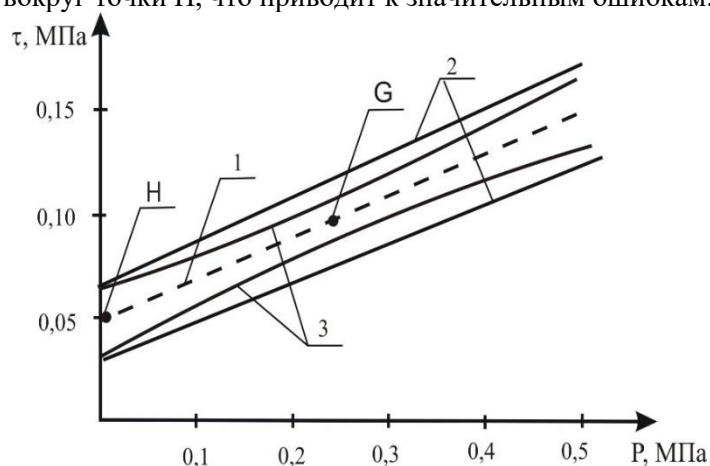
где η - корреляционное отношение, характеризующее степень взаимосвязи параметров k и $tg\rho$.

После подстановки (5) в (4) получим, что границами доверительного интервала служат две ветви гиперболы, осью симметрии для которых служит прямая максимального правдоподобия.

Доверительный интервал будет минимальным при средних значениях давления.

Численный пример обработки результатов испытаний образцов горных пород на сдвиг с построением границ доверительного интервала при $p = 95\%$, приведенный на рис. 1, наглядно демонстрирует все сказанное.

Из анализа графиков следует, что наилучшая прямая «покачивается» вокруг центра тяжести экспериментальных точек (точка G), а из уравнения (2) следовало бы, что наилучшая прямая «покачивалась» бы вокруг точки H, что приводит к значительным ошибкам.



- 1 — прямая максимального правдоподобия;
- 2 — границы доверительного интервала по ГОСТ 20522-96;
- 3 — границы доверительного интервала по предлагаемой методике.

Рис.1. Графики регрессионного анализа.

Таким образом, доверительный интервал, построенный с учетом коррелированности показателей k и $\text{tg}\rho$, имеет значительно меньшую ширину при одной и той же вероятности, поэтому расчетные значения прочностных характеристик пород, определенные по предложенной методике имеют более высокую степень надежности.

Литература

1. ВНИМИ. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. - Л., 1972. – 165 с.
2. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. - М.: Издательство стандартов, 1997.- 23 с.
3. Шпаков П.С., Попов В.Н. Статистическая обработка экспериментальных данных: Учебное пособие.- М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 268 с.

Шпаков¹ П.С., Юнаков² Ю.Л., Азаренко² А.А.

¹*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»*
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: spsp01@rambler.ru

²*Сибирский Федеральный университета.*
Институт горного дела геологии и геотехнологий
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

Оценка устойчивости борта карьера с учетом создания внутреннего отвала

Южный борт карьера (рис.1 сечение 1-1) имеет выпуклый профиль. Борт сложен породами средней крепости и умеренной трещиноватости. Исследования физико-механических свойств пород позволили установить расчетные характеристики прочности пород в массиве карьера в профиле разрезом I-I, II-II, с учетом структурного ослабления и вариаций отклонения средней величины.

Приняты следующие величины сцепления, угла внутреннего трения и плотности

руды – 43.9 т/м², 33.9⁰, 4.3 т/м³;
туфы кислого состава – 42.5 т/м², 30.6⁰, 2.7 т/м³;
туфы кислого состава среднеобломочные - 51,3 т/м², 33.6⁰, 2.6 т/м³;
алевролиты – 14.5 т/м², 26.0⁰, 2.6 т/м³;
липаритовые порфиры – 66.2 т/м², 34.5⁰, 2.7 т/м³;
диабазовые порфиры – 35.9 т/м², 30.0⁰, 2.7 т/м³.

Анализ устойчивости южного борта (плоское решение), проверенный по методике [1] показал, что наиболее напряженный участок в геомеханическом отношении находится между гор.-58м и гор.+178м. Коэффициент запаса нижней части борта составляет $n = 1.14$. Но так как в нижней части борта значительна доля сил бокового распора действительное значение коэффициента запаса устойчивости несколько выше.

Выше горизонта +178м устойчивость борта повышается и с гор.+237м составляет более $n = 1.3$ (нормативного коэффициента запаса устойчивости). В связи с чем имеется техническая возможность разместить на верхних горизонтах временные отвалы при обеспечении коэффициента запаса устойчивости борта более 1.3.

Исходя из горно-технических условий нижний ярус внутреннего отвала рекомендуется формировать с гор.+302м, его нижняя бровка должна располагаться не ближе 20м к верхней бровке гор.+261м.

Высота яруса не должна превышать 50м. В основании яруса следует отсыпать камнеулавливающий вал. Верхний ярус формируется с гор.+340м и должен отстоять от нижнего не менее чем на 25м.

Контрольный расчет устойчивости борта пригруженного внутренним отвалом показал, что наиболее опасная поверхность скольжения проходит по согласно падающим аргиллитам и контакту их с диабазовыми порфирами. Прочность по контакту принята – сцепление – 2т/м², угол внутреннего трения 19⁰. Минимальный коэффициент запаса устойчивости составляет $n = 1.3$. Для контроля правильности принятых решений необходимо проводить инструментальные наблюдения за устойчивостью борта.

Яшков В.А., Климов А.Д.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: Zirjd@mail.ru*

Топологическая оптимизация детали кронштейн

Топологическая оптимизация – это синтез формы и внутренней структуры изделия с оптимальным распределением материала в заданном ограниченном пространстве (пространстве проектирования) с учетом всех расчетных случаев, а также конструкционных и технологических ограничений

В процессе топологической оптимизации детали рисунок 1.

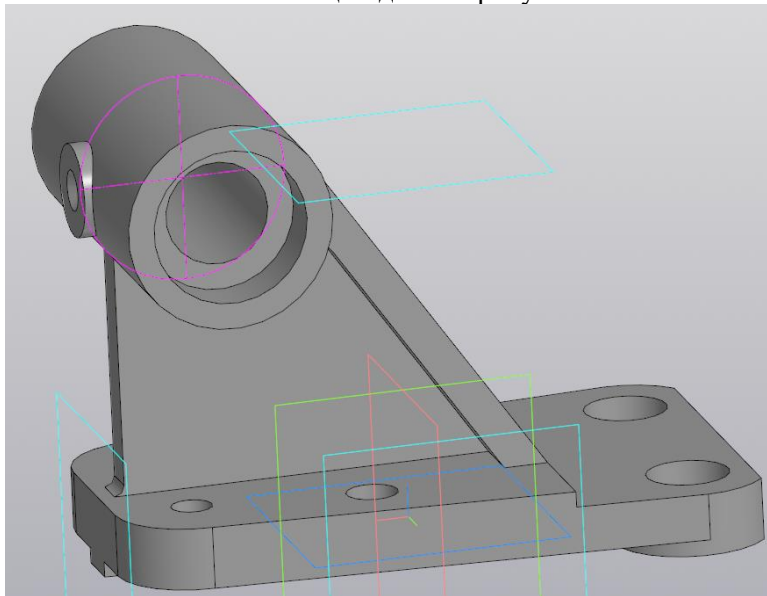


Рисунок 1- исходная конструкция детали

Проведены расчеты при использовании САПР Компас 3D и библиотеки АРМ FEM, были получены следующие результаты :

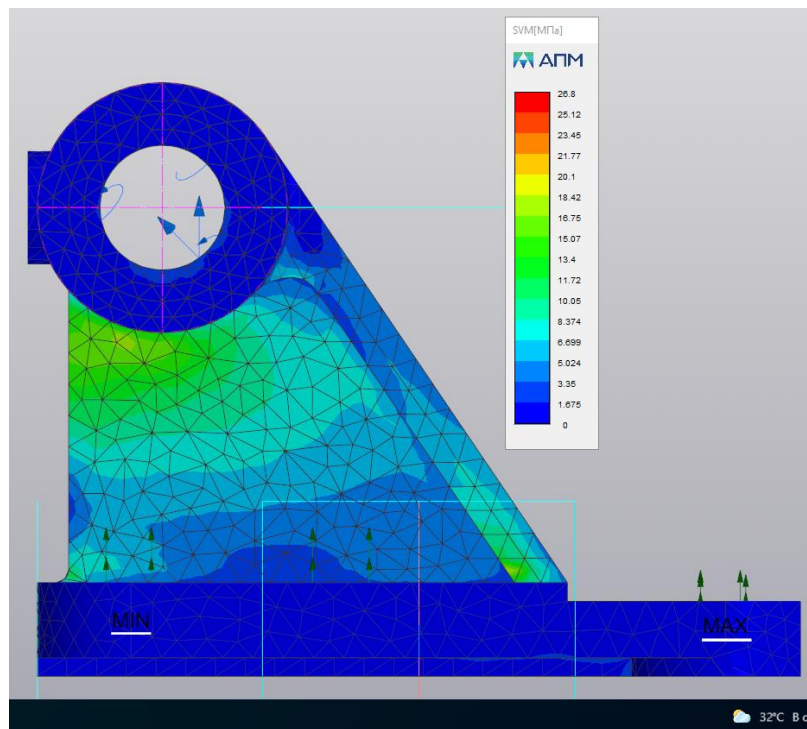


Рисунок 2- Карта результатов статического расчета (напряжения) на недеформированной детали

Максимальные напряжения по результатам расчета составили 28,8 МПа

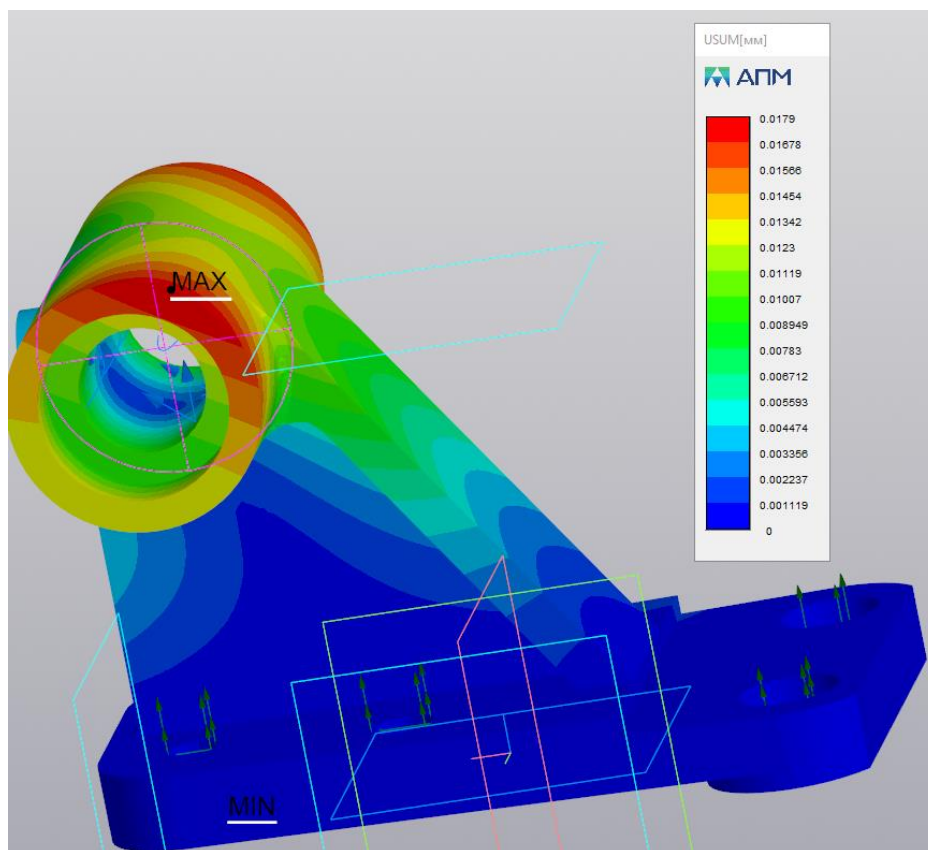


Рисунок 3- Карта результатов статического расчета (перемещения) на недеформированной детали

Максимальные перемещения по результатам расчета составили 0,0179 мм

В ходе изменения ее конструкции рисунок 4, и проведенных ее расчетов были получены следующие результаты:

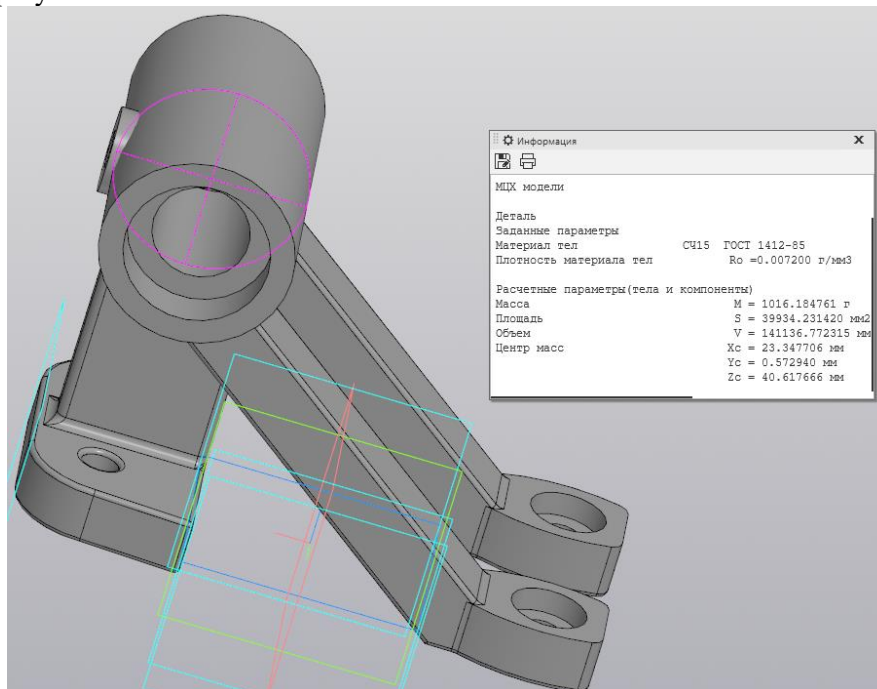


Рисунок 4- Деталь кронштейн после топологической оптимизации

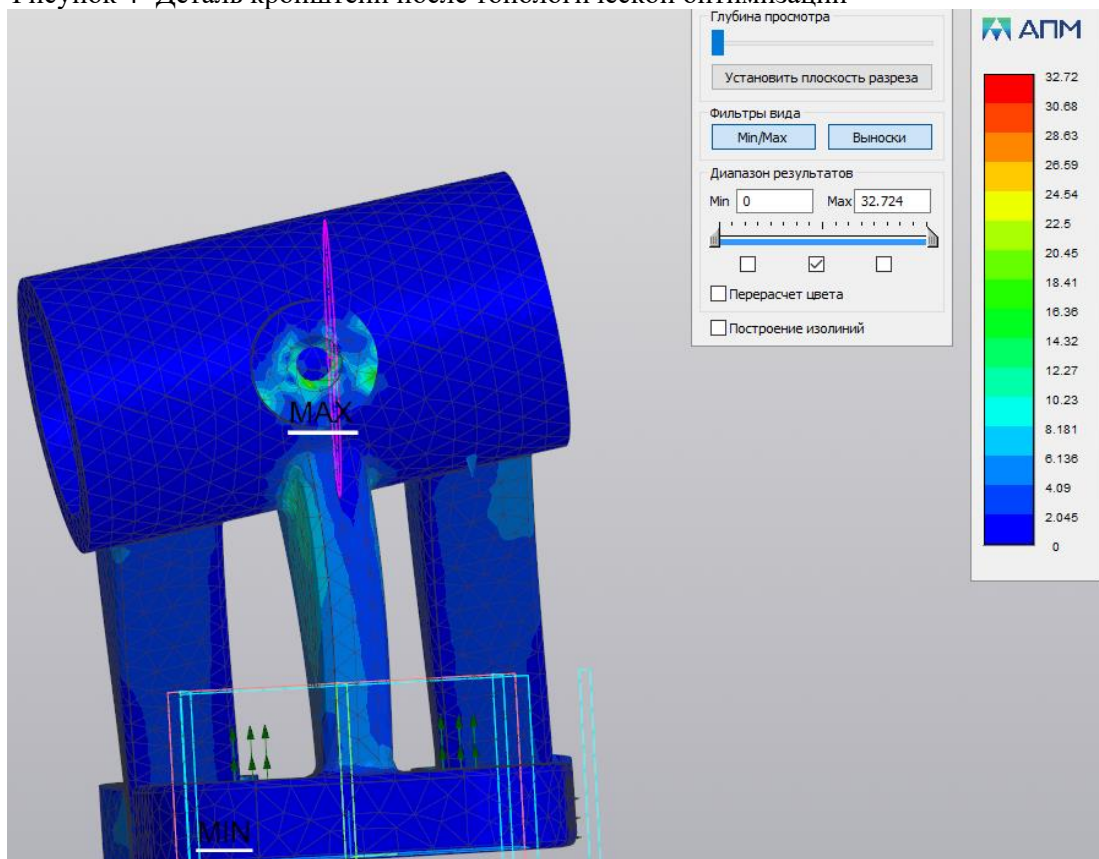


Рисунок 5- Карта результатов статического расчета (напряжения) на деформированной детали

Максимальные напряжения по результатам расчета составили 32,72 МПа

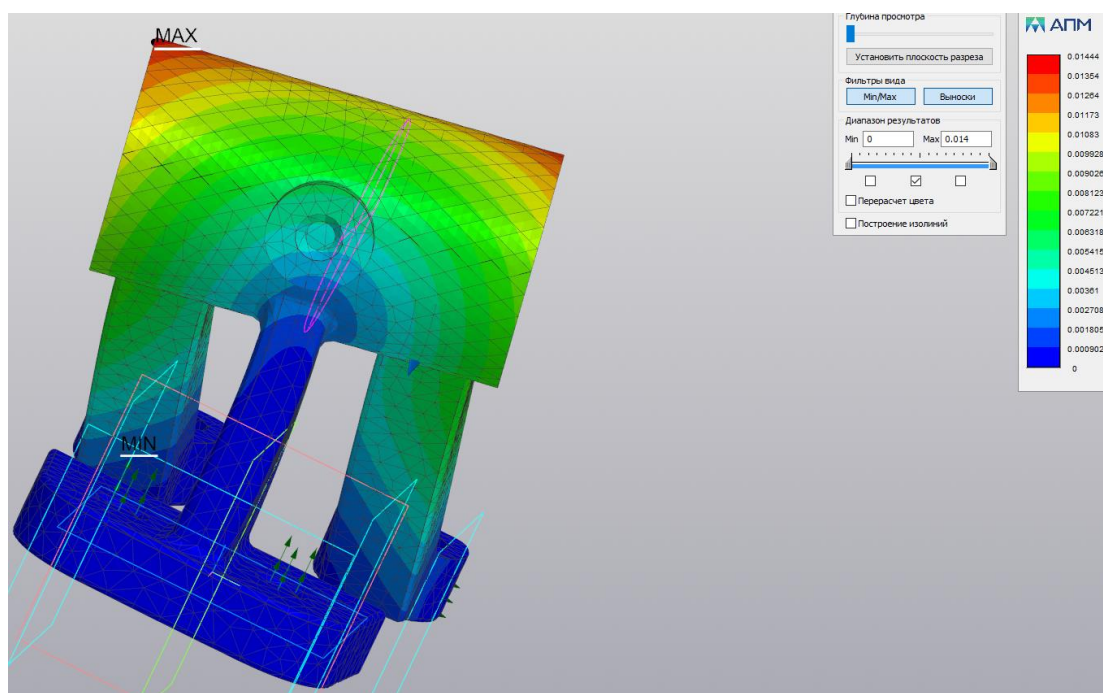


Рисунок 6- Карта результатов статического расчета (перемещения) на деформированной детали 0,0144 мм

Таблица 1 – Сравнение компьютерных расчетов исходной конструкции детали и измененной

	Напряжения МПа	G_{max}	Перемещения l_{max} , мм	Масса, кг
Исходная конструкция детали	28,8		0,0179	2,1
Измененная конструкция детали	32,7		0,144	1,016

В ходе выполнения работы был проведен подробный анализ технологической возможности применения продуктов САПР Компас 3D с библиотекой расчета APM FEM:

- Была выявлена возможность изготовления детали кронштейн при помощи аддитивных технологий, с целью снижения расхода материала и снижение веса изделия за счет топологического изменения конструкции детали без потери ее прочностных характеристик

Расчеты показали, что прочность топологически измененной конструкции на 0,11% больше первоначальной конструкции при снижении массы детали в два раза.

- Разница между исходной деталью и измененной составила в массе - исходной 2,1 кг, масса измененной 1,016 кг.

Литература

1. <https://apm.ru/strength-calculations> 2. <http://www.stroitmeh.ru/m9r/c3.htm>
3. Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер «Технология аддитивного производства» Перевод с английского под ред. д.ф.- м.н., профессора И.В. Шишковского. Техносфера Москва 2016
4. Справочник машиностроителя Том 3, под редакцией члена АН УССР С.В.Серенсен, Издание второе, исправленное и дополненное. Государственное научное- техническое издательство машиностроительной литературы. Москва 1955 г.

Яшков В.А., Яшкова А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: Zirjd@mail.ru*

Перспективы применения аддитивных технологий

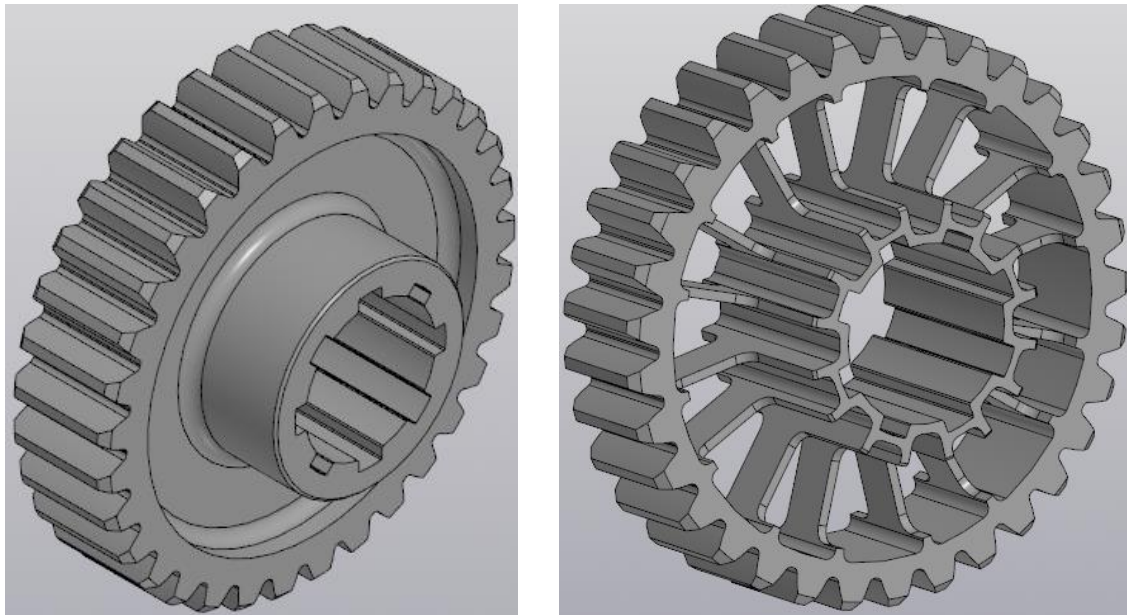
Сегодня использование автомобильного транспорта сталкивается с жесткими требованиями к экологичности и как следствие с расходом топлива. Анализ литературы показывает «Масса автомобиля оказывает значительное влияние на его эксплуатационную экономичность. Современные исследования определяют, что на каждые 100 кг увеличения массы автомобиля расход топлива растет на 0,7 л/100 км.» [1, 2]. Основываясь на данной информации снижение массы коробки скоростей приведет к сокращению расхода топлива и как следствие негативного влияния на окружающую среду.

Рассмотрим возможность снижения массы на примере шестерни, которая служит для передачи крутящего момента во время включения третьей передачи коробки скоростей автомобиля ВАЗ 2110 рис.1.



Рисунок 1. Шестерня АИ.151.37.308.00

Для решения поставленной задачи построим 3d модель реальной шестерни и ее облегченного аналога. Изготовление облегченного аналога возможно только с применением современных аддитивных технологий. Подтверждением возможности использования аналога проведем расчет на прочность построенных моделей методом конечный элементов. 3d модели построим и рассчитаем в системе КОМПАС-3D с помощью приложения АРМ FEM рис. 2.

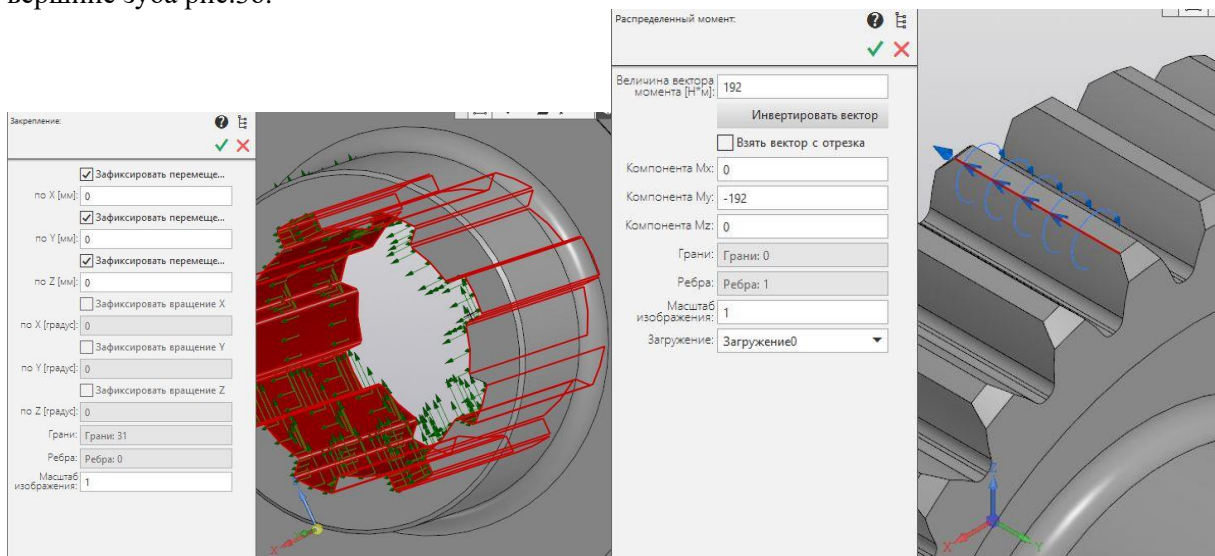


а.

б.

Рисунок 2. 3d модель а) реальной шестерни, б) облегченного аналога

Контакт шестерни с валом осуществляется с помощью шлицевого соединения, которое будем использовать в качестве закрепленной геометрии рис.3а. Максимальный крутящий момент у автомобиля ВА32110 192 Н·м приложим к линии контакта между двух эвольвент на вершине зуба рис.3б.



а.

б.

Рисунок 3. Задание свойств объектов модели а) закрепление, б) задание нагрузки

Анализ возможности использования облегченного аналога шестерни будем проводить по максимальной деформации модели при статическом расчете результат которого представлен на рисунке 4.

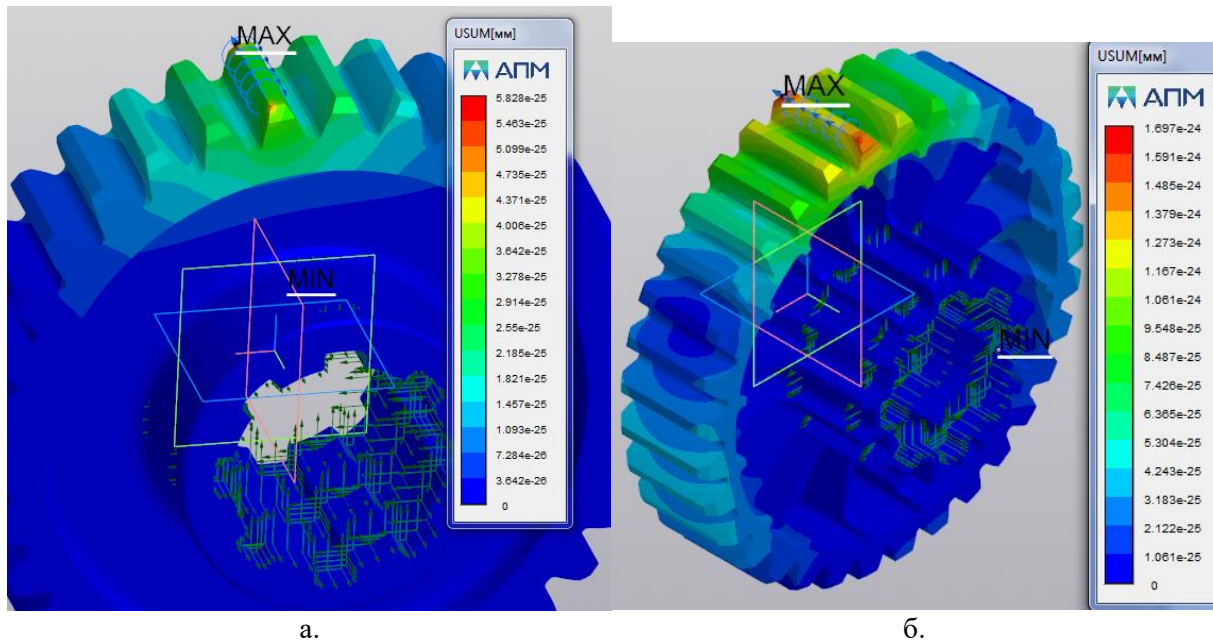


Рисунок 4. Результаты расчета максимальной деформации а) 3d модель реальной шестерни $2 \cdot 10^{-25}$ м, б) 3d модель облегченного аналога $1 \cdot 10^{-25}$ м.

Результаты CAE расчета показывают возможность применения облегченного аналога шестерни. Масса изделия при этом снизилась практически в два раза с 5.07 кг до 2.54 кг.

Литература

1. Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль / Пер. с чешк. В.Б. Иванова; Под ред. А.Р. Бенедиктова. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.:ил.
2. http://icarbio.ru/articles/umenchenie_massy_auto.html