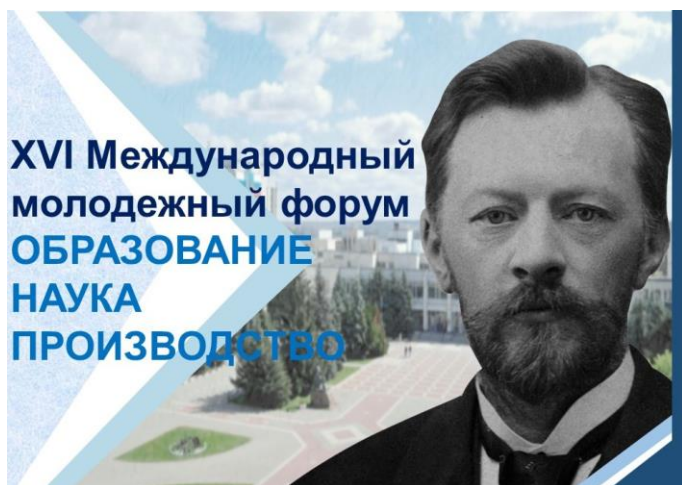


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



Сборник докладов

Часть 7

**Высокоэффективные технологические процессы
машиностроительных производств, технологическая
робототехника.**

Белгород

30-31 октября 2024 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**XVI Международный молодежный форум
«Образование. Наука. Производство»
[Электронный ресурс]:**
М 43 Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – Ч. 7. – 86 с.

ISBN 978-5-361-01390-6

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения XVI Международного молодежного форума «Образование. Наука. Производство». Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01390-6

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2024

*Воронков И.Е., Воротынцев Д.Д., Павлаков А.А.
Научный руководитель: Воронкова М.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Существует много причин, влияющих на срок службы металлических изделий, основными из которых являются: коррозия, эрозия, механический износ трущихся деталей, различные повреждения и т.д. Во многих случаях на поверхности деталей машин наносят различные покрытия, что позволяет увеличить их ресурсы работ [1,2].

Среди методов восстановления изношенных поверхностей деталей наибольшее распространение получили [1]:

1. Наплавка.
2. Ионная обработка.
3. Напыление.

Наплавка – это нанесение слоя расплавленного металла на определённую металлическую поверхность путём плавления присадочного материала теплотой кислородно-ацетиленового пламени, электрической или плазменной дуги. Применяется для восстановления изношенных деталей и создания на поверхности изделия слоя, обладающего повышенной износостойкостью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью и другими свойствами. Толщина наплавленных за один проход слоев может достигать 4...5 мм; возможна многослойная наплавка.

Основными преимуществами технологии наплавки являются:

- возможность нанесения металлического покрытия большой толщины,
- высокая производительность;
- относительная простота и транспортабельность оборудования;
- отсутствие ограничений по размерам наплавленных поверхностей изделий;
- возможность нанесения износостойкого покрытия на основной металл любого состава, что позволяет снизить себестоимость и упростить технологию изготовления деталей.

Недостатками технологии наплавки являются:

- ухудшение свойств наплавленного металла вследствие перехода в него элементов основного металла;

- деформация изделия, вызываемая высокой энергией наплавки;
- ограниченный выбор сочетаний основного и наплавленного металла;

- трудоёмкость наплавки мелких деталей сложной формы.

К методу ионной обработки относят:

1. Ионно-термические методы напыления.
2. Нанесение покрытия с помощью ионного распыления.
3. Нанесение покрытия с помощью плазменных ускорителей.

Ионная технология позволяет получать покрытия сложного химического состава исключительно в вакууме, например, из оксидов, карбидов и нитридов металлов. Такие покрытия образуются в результате плазмохимических реакций, протекающих при добавлении в ионные потоки металла газов (кислорода, ацетилена, азота).

К преимуществам ионной обработки можно отнести:

- возможность наносить различные материалы на поверхности, получать покрытия с высокими физико-механическими свойствами и высокой адгезией с подложкой, однородными химическими и физическими свойствами на больших площадях;
- возможность создавать из простых распыляемых элементов композиционные материалы и многослойные покрытия;
- покрытия можно наносить на окончательно обработанные детали, располагая их в пределах поля допуска;
- дополнительная обработка обычно не требуется;
- высокая износостойкость.

К недостаткам рассматриваемой технологии нанесения покрытий следует отнести высокую стоимость применяемого оборудования и его относительную сложность, низкий к.п.д., а также недостаточную степень ионизации наносимых частиц, что влияет на адгезионные характеристики.

Напыление – образование на поверхности изделия покрытия из нагретых до плавления или близкого к нему состояния частиц распыляемого материала с использованием теплоты сжигания горючей смеси в газовых средах. Применяется для повышения износостойкости, коррозионной стойкости, жаропрочности или для восстановления изношенных деталей. В качестве напыляемого материала используют металлы, сплавы, соединения металлов и другие материалы [2, 3].

Среди преимуществ метода нанесения покрытий напылением следует выделить следующие:

- напылением можно наносить различные покрытия на изделия из самых разнообразных материалов;

- равномерное покрытие можно напылять как на большую площадь, так и на ограниченные участки больших деталей;
- напыление является наиболее эффективным способом в случаях ремонтно-восстановительных работ изношенных деталей;
- оборудование является сравнительно простым и лёгким;
- основа, на которую производится напыление, мало деформируется;
- высокую производительность нанесения покрытия относительно небольшая трудоёмкость.

Недостатки метода нанесения покрытий напылением:

- при нанесении покрытий на небольшие детали процесс напыления является малоэффективным из-за больших потерь напыляемого материала;
- для предварительной подготовки поверхности основы перед напылением широко применяют песко- и дробеструйную обработку, которые загрязняют рабочий участок;
- в процессе напыления частицы напыляемого материала могут разлетаться, а также образоваться различные соединения с воздухом, что вредно для здоровья работающих. Поэтому на участке напыления нужны мощные вентиляционные установки.

Различают термическое и газотермическое напыление.

Термическим методом покрытия наносят в вакуумной технологической камере. Оно заключается в нагреве материала покрытия, образовании парового потока и конденсации его на поверхности обрабатываемого материала. При этом покрытие образуется из атомов, молекул или ионов испаряемого материала.

При газотермическом напылении, распыляемый материал нагревается высокотемпературным потоком на поверхность изделия. Покрытие формируется из расплавленных частиц размером в десятки микрометров. К этим процессам относятся электродуговая металлизация и газопламенное напыление, детонационно-газовый метод нанесения покрытий и плазменное напыление.

Преимуществом способа электродуговой металлизации является высокая производительность процесса и возможность сокращения затрат времени на напыление. Недостатком метода является перегрев и окисление напыляемого материала при малых скоростях подачи распыляемой проволоки. Кроме того, большое количество теплоты, выделяющейся при горении дуги, приводит к значительному выгоранию легирующих элементов, выходящих в напыляемый сплав.

Технология газопламенного напыления довольно проста, а стоимость оборудования и затраты на эксплуатации низкие. В связи с этим этот способ является наиболее распространённым.

Детонационное напыление предназначено в основном для получения твёрдых износостойких покрытий из карбидов, содержащих небольшие количества металлических связующих, различных окислов и их смесей. Такие покрытия обладают высокой плотностью и большой прочностью сцепления с основной. При напылении температура основы остаётся низкой и не превышает 200°C, поэтому основа практически не деформируется и не подвергается другим физическим изменениям. Недостатками детонационного напыления являются значительные шумы, а также высокая стоимость оборудования.

При плазменном напылении материала покрытие в виде порошка или проволоки вводится в плазменную струю, где он интенсивно нагревается и плавится, распыляется и при взаимодействии с поверхностью обрабатываемой детали образует покрытие.

Преимущества метода плазменного напыления можно разделить на две группы. К первой группе преимуществ относят следующие:

- универсальность плазменного метода: никаким другим способом нельзя нанести покрытия из таких различных материалов, как металлы, сплавы, оксиды, карбиды, нитриды, бориды, пластмассы и их различные комбинации. Плазменным напылением можно формировать покрытия из сочетаний металлов, которых трудно добиться другими способами, например, графит-металл, керамика-металл, можно получать многослойные и армированные покрытия и т.д.;

- легкость управления процессом получения покрытия: энергетические характеристики плазмы можно изменить в зависимости от требований технологии в процессе получения покрытия;

- возможность нанесения покрытий на большие и малые поверхности, на изделия сложной формы;

- в процессе напыления покрываемая поверхность нагревается до сравнительно небольших температур, что позволяет сохранить особенности структуры и свойства материала основы.

Ко второй группе преимуществ относят следующие:

- в плазмотронах используются, как правило, газы, не содержащие кислорода, что уменьшает окисление напыляемого материала и материала основы;

- плазменная струя имеет значительно более высокую температуру, чем, например, пламя при газопламенном напылении;

- высокая производительность процесса может;

– плотность напыленного слоя составляет обычно 80...90% от плотности монолитного металла. Если проводится последующая термообработка, плотность напыленного слоя может быть несколько выше.

Недостатком плазменного напыления является изменение свойств исходного материала под влиянием окружающей среды, так как защитные газы лишь частично предохраняют плазму от воздействия окружающей среды. Прочность напыленного материала в 5...10 раз ниже прочности исходного материала. Изменяется фазовый состав, теплопроводность и электрическая проводимость напыляемого материала. В результате газовыделения и кристаллизации частиц в покрытии образуется пористость, уменьшающая контакт покрытия с подложкой.

Таким образом, для выбора оптимального способа нанесения покрытия необходимо учитывать форму и размеры изделий; требования, предъявляемые к точности нанесения покрытия, его эксплуатационным свойствам; затраты на оборудование, наплавочные материалы и газы, на предварительную и окончательную обработку покрытий и другие факторы производственного характера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронкова, М.Н. Упрочнение и восстановление деталей оборудования промышленности строительных материалов плазменным напылением: монография / М.Н. Воронкова. – Белгород: Изд-вр БГТУ, 2009. – 84 с.

2. Зверев, Е.А. Технологический процесс восстановления изношенных деталей машин методами газотермического напыления: учебно-методическое пособие / Е.А. Зверев. — Новосибирск: НГТУ, 2019. – 64 с. – ISBN 978-5-7782-4059-9. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 20.09.2024). – Режим доступа: Электронно-библиотечная система Лань. – Текст: электронный.

3. Михеев, А.Е. Теория и технология упрочнения материалов и нанесения покрытий: учебное пособие / А.Е. Михеев, А.В. Гирн, Д.В. Раводина. – Красноярск: СибГУ им. академика М.Ф. Решетнёва, 2021. – 120 с. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 20.09.2024). – Режим доступа: Электронно-библиотечная система Лань. – Текст: электронный.

Гаврилов Р.В.

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОРЛОВИН В ТРУБНЫХ ЗАГОТОВКАХ. МНОГОПЕРЕХОДНАЯ ШТАМПОВКА

Являясь универсальным изделием, трубы используются в самых разных сферах деятельности человека: в нефтегазовой отрасли, водоснабжении, отоплении и др.

Трубы также являются исходной заготовкой для тройников и коллекторов, которые также широко используются в нефтегазовой промышленности для распределения технологической жидкости, такой как нефть, газ и вода. Коллекторы предназначены либо для объединения нескольких соединений в один канал, либо для разделения одной входной линии на несколько выходов.

Чаще всего для их получения используют процесс отбортовки отверстий, при котором с помощью пластической деформации исходной заготовки образуют борт по контуру отверстия, полученного пробивкой или сверлением.[1] Этим способом получают горловины с небольшой относительной высотой.

Операцию отбортовки горловины на трубных заготовках применяют в кузнечном производстве при изготовлении различных типоразмеров тройников, а также отдельных элементов химнефтеаппаратуры и котлов. Особенность процесса в том, что вырезаемое в трубной заготовке отверстие имеет, как показывают расчеты, овальную форму, что приводит к неравномерности деформации и соответственно к неравномерности толщины стенки на торцевой поверхности отбортованной горловины. Утонение и искривление стенки приводит к снижению надежности и долговечности соединений деталей с отбортованными отверстиями с другими изделиями.[2] С увеличением отношения диаметра отбортованной горловины к диаметру трубной заготовки d/D неравномерность деформации и неравномерность толщины стенки возрастают.[3] Кроме того, при отбортовке уменьшается толщина стенки в торцевой части горловины и при определенных условиях она может выходить за пределы допускаемых значений. На величину утонения стенки при отбортовке влияет высота горловины h_f готового изделия. Для тройников этот размер определяется согласно техническим условиям и

ГОСТам из выражения $h_r = H - D/2$ (Рис. 1), где H – параметр, регламентируемый ГОСТ или ТУ; D – наружный диаметр корпуса тройника.

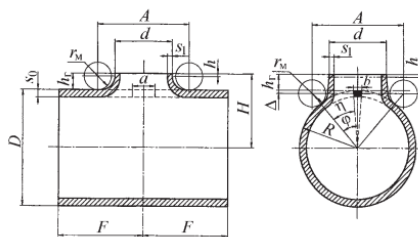


Рис. 1. – Геометрические параметры отбортованной горловины переходного тройника

Для успешного осуществления процесса отбортовки при изготовлении переходных тройников с отношением $d/D > 0.6$ и получения требуемой толщины стенки s_1 в торцевой зоне отбортованной горловины необходимо прежде всего определить и обосновать для конкретных типоразмеров тройников минимально необходимую высоту горловины h_r (Рис. 1). При определении соответствующей высоты горловины h_r переходных тройников следует учитывать толщину стенки s_0 исходной трубной заготовки и радиус r закругления у основания горловины (или радиус r_m закругления протяжной матрицы).

Таким образом, одной из основных проблем при получении горловин является искривление отбортованной стенки и обеспечение равной толщины отбортованной стенки по всей высоте, что обеспечило бы лучшие механические свойства и долговечность соединения отбортованных изделий сваркой, с помощью резьбы и др.

Ранее мы разработали математическую модель вытяжки горловины (ссылка на статью), которая подтверждает натурные опыты по производству тройников. Параметры этой модели:

1. Диаметр трубной заготовки 530 мм, толщина стенки 32 мм
2. Диаметр требуемой горловины 328 мм
3. Минимальная требуемая толщина стенки горловины 18 мм.
4. Минимальная требуемая высота горловины 45 мм.

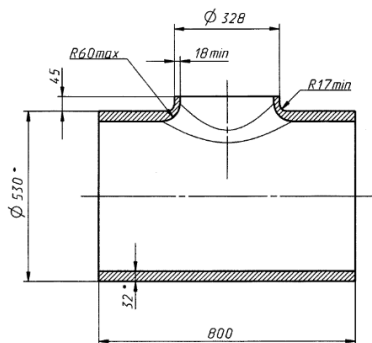


Рис. 2 – Требуемые геометрические параметры тройника, получаемого после вытяжки.

Математическое моделирование производилось в программном комплексе QForm 11.0.1.

Далее, используя данную модель, проведем расчет со следующими параметрами толщины стенки трубной заготовки: 530x25, 530x28, 530x30. Результаты расчета представим в виде таблицы:

Таблица 1. – Результаты расчета математической модели

Заготовка	Толщина стенки горловины, мм
530x25	16,3
530x28	17,4
530x30	18,9

Как видно минимальная требуемая толщина стенки обеспечивается заготовкой 530x30, однако в производстве используется заготовка толщиной 32 мм. Объясняется это погрешностями производственных процессов, вследствие которых запаса по расчетной толщине в 0.9 мм весьма вероятно может не хватить для получения качественного тройника, и он будет забракован.

Исходя из вышеописанных расчетов, для дальнейшего исследования процесса изготовления требуемой горловины будем использовать заготовку 530x28. Эта заготовка не отвечает на данном этапе исследования требуемым параметрам горловины, а также, в случае положительных методик расчетов, данная заготовка обеспечит обозримый экономический эффект.

Для возможности получения требуемой горловины из заготовки 530x28 рассмотрим способ многопереходной штамповки горловин, описанный в [3].

Суть способа заключается в применении шаровых пуансонов определенного диаметра для выдавливания выпуклого отростка в заготовке. Принципиальная схема процесса отбортовки горловины диаметром d переходного тройника из трубной заготовки за два перехода с применением шарового пуансона приведена на рис. 3. Предварительно на боковой поверхности трубной заготовки 3 выдавливают шаровым пуансоном 2 диаметром $d_{ш} \approx 0,8d$ с использованием протяжной матрицы 1 выпуклый отросток высотой $h_0 \approx 0,36d_{ш}$. Затем на выпуклой поверхности отростка вырезают отверстие, диаметр которого соответствует расчетному значению. После этого на этой же матрице 1 осуществляют второй переход штамповки – отбортовку горловины тройника конусным пуансоном 4 (см. рис. 3).

За счет применения данной схемы процесса отбортовки горловины переходных тройников уменьшается утонение стенки, а также значительно снижается степень неравномерности толщины стенки в торцевой зоне отбортованной горловины. Достигается это тем, что при выполнении первого перехода штамповки (выдавливания шаровым пуансоном выпуклого отростка) некоторая часть объема металла трубной заготовки увлекается за счет сил трения на шаровом пуансоне из зоны радиусов закругления матрицы в зону горловины. Кроме того, процесс выдавливания шаровым пуансоном сопровождается интенсивным утонением стенки на вершине выпуклого отростка, следовательно, при последующей вырезке в этой зоне отверстия под отбортовку некоторая часть объема металла остается в горловине.

Перед операцией выдавливания выпуклого отростка иногда целесообразно высверливать небольшое отверстие на боковой поверхности трубной заготовки (против центра шарового пуансона). Процесс выдавливания выпуклого отростка шаровым пуансоном протекает в этом случае с более интенсивным утонением стенки на вершине выпуклого отростка, что позволяет оставлять больший объем металла в зоне горловины. А также наличие отверстия на боковой поверхности трубной заготовки создает удобство для фиксирования шарового пуансона в начальный момент процесса штамповки.

Однако в [3] данный способ рассмотрен для изготовления тройников с соотношением $d/D < 0,6$, а пробная партия изготовлена с параметрами $d/D = 89/219 = 0,41$. В нашем же случае предложено применить метод многопереходной штамповки для соотношения $d/D > 0,6$.

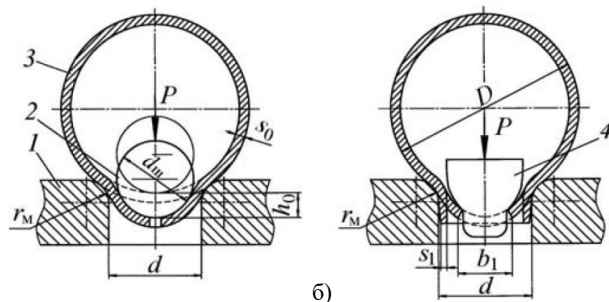


Рис. 3 – Схема процесса отбортовки переходного тройника за два перехода с применением шарового пуансона:

- а) выдавливание на боковой поверхности трубной заготовки выпуклого отrostка шаровым пуансоном;
 б) отбортовка горловины тройника конусным пуансоном

Рассчитаем размеры овального отверстия под отбортовку горловины после предварительного выдавливания на поверхности трубной заготовки выпуклого отrostка шаровым пуансоном. Согласно [3] размеры отверстия определяются из условия равенства развертки участков горловины готового тройника по среднему слою толщины стенки и длине соответствующих участков на поверхности выпуклого отrostка в продольном и поперечном сечениях.

Длина развертки в продольном сечении:

$$L_1^0 = \left(r_m + \frac{s_0}{2} \right) \times \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) + h \quad (1)$$

Длина развертки в поперечном сечении:

$$L_2^0 = \left(r_m + \frac{s_0}{2} \right) \times \left(\frac{\pi}{2} - \beta_2 \right) + h + r_m + \Delta \quad (2)$$

Размер овального отверстия в продольном сечении:

$$a_1 = A - \left[\left(2r_m + s_0 \right) \times \left(\frac{\pi}{2} - \theta + \tan \beta_1 \right) + 2h \right] \cos \beta_1 \quad (3)$$

Размер овального отверстия в поперечном сечении:

$$b_1 = (2r_{\text{ш}} + s_0) \sin \left(\beta_2 - \frac{L_2^0 - n_2}{r_{\text{ш}} + \frac{s_0}{2}} \right) \quad (4)$$

Результаты расчетов представим в виде таблицы:

Таблица 2. – Результаты расчетов размеров овального отверстия под отбортовку горловины

D, мм	d, мм	d/D	s ₀ , мм	s ₁ , мм	d _ш , мм	h ₀ , мм	a ₁ , мм	b ₁ , мм
530	328	0.62	28	18	260	100	270	240

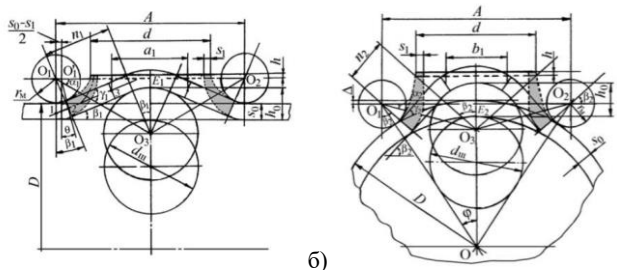


Рис. 4 – Геометрическая схема к расчету размеров овального отверстия под отбортовку горловины переходного тройника на трубной заготовке без выпуклого отростка и с выпуклым отростком: а) продольная плоскость трубной заготовки; б) поперечная плоскость трубной заготовки

Исходные данные для математического моделирования в комплексе QForm:

D и d – наружные диаметры заготовки и горловины

s_0 и s_1 – толщины стенки заготовки и горловины

$d_{ш}$ – диаметр шарового пуансона

h_0 – рабочий ход шарового пуансона

a_1 – размер овального отверстия в продольном сечении заготовки

b_1 – размер овального отверстия в поперечном сечении заготовки

Следующим шагом нашего исследования многопереходной штамповки горловины в трубной заготовке будет являться математическое моделирование данных процессов в программном комплексе QForm 11.0.1. Моделирование, как и сам предполагаемый производственный процесс, будет разбито на два этапа:

1. Выдавливание выпуклого отростка шарообразным пуансоном
2. Выдавливание горловины коническим пуансоном

При этом после первого этапа модель заготовки с выпуклым отростком необходимо реэкспортировать в программный комплекс NX для выполнения овального отверстия, а затем снова в QForm. Сложность будущей задачи заключается в нестандартной геометрической поверхности заготовки после первого перехода, вследствие чего необходимо фрагментарное преобразование поверхности в NX.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Круглов Е. П. Выбор и способы изготовления заготовок для деталей машиностроения. Учебник для студентов машиностроительных специальностей / Е.П. Круглов, Э.Р. Галимов, А.Г. Аблясова, Н.Я.

Галимов, С.Ю. Юрасов, М.М. Ганиев, А.Г. Схиртладзе, Е.А. Рябов – Казань: КНИТУ-КАИ, 2015 – 433с.

2. Калюжный В.Л. Исследование процесса отбортовки круглых отверстий профилированной листовой заготовки / В.Л. Калюжный, А.В. Калюжный, С.А. Пахолко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – №5. – С. 22-25.

3. Лукьянов В.П. Отбортова горловины на трубных заготовках / В.П. Лукьянов, И.И. Маткава, В.А. Бойко, В.А. Елхов, Д.В. Доценко, А.Г. Безкоровайнов // *Заготовительное производство в машиностроении*. – 2009. – №4. – С. 17-22.

4. Юракова Т.Г. Актуальные вопросы обеспечения качества стали как основного материала для производства продукции машиностроения / Т.Г. Юракова, Е.С. Черноситова, К.М. Левицкая // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2017. – №6. – С. 207-212 .

5. Попов Е.А. Технология и автоматизация листовой штамповки: учеб. для вузов / Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин. – Москва: МГТУ, 2000. – 479 с.

6. Гаврилов, Р.В. Процесс изготовления горловин в стальных заготовках. математическое моделирование / Р.В. Гаврилов // *Высокоэффективные технологические процессы машиностроительных производств, технологическая робототехника*. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2024. — С. 7-12.

УДК 621.7.018

Годовикова Д.А.

***Научный руководитель: Чепчуров М.С., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИВОДНЫХ ЗВЁЗДОЧЕК ПОЛУЧАЕМЫХ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКОЙ

Программная обработка позволяет автоматизировать основные процессы механической обработки получения изделий в машиностроении [1]. Технологическая подготовка производства с использованием программного оборудования включает в себя этап подбора оборудования. В результате анализа изделия может выясниться, что не всегда использование механических методов разделения заготовок экономически оправданно [2].

Заготовку на изделие «Звездочка» предложено вырезать из листового проката с помощью лазера.

Процесс лазерной резки происходит следующим образом. Лазерный луч с помощью линзы фокусируется на поверхности металла и нагревает его до температуры плавления. Соосно с лучом через газодинамическое сопло подаётся струя вспомогательного газа, которая служит для удаления продуктов резки. С помощью технологического стола лазерный луч передвигается относительно листа и образует узкий рез. Продукты резки в виде расплавленных частиц металла могут прилипать к нижней поверхности реза, образуя грат. [3]

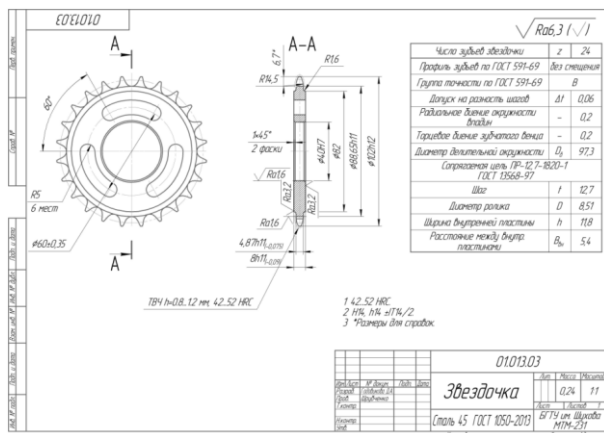
Деталь «Звездочка» представляет собой тело вращения, имеет центральное сквозное отверстие, которое является основной конструкторской базой. Отверстие Ø40H7 служит для посадки на ступицу.

Зубчатая поверхность является рабочей поверхностью, имеет 24 зуба, предназначена для передачи момента. Диаметр до поверхности вершин зубьев составляет Ø102h12. Ширина по основанию зуба равна 4,87h11, радиус закругления зуба в поперечном сечении R14,5 мм. Профиль зуба выполнен с усилением в основании зуба R1,6 мм при переходе от толщины детали к толщине зуба.

Деталь имеет 3 дуговых паза с R5, расположенных на Ø60±0,35 мм, угол раствора 60°. Пазы рабочие, через них происходит крепление к ступице с помощью болтов. Болты устанавливаются с гарантированным зазором, технических требований не предъявляется.

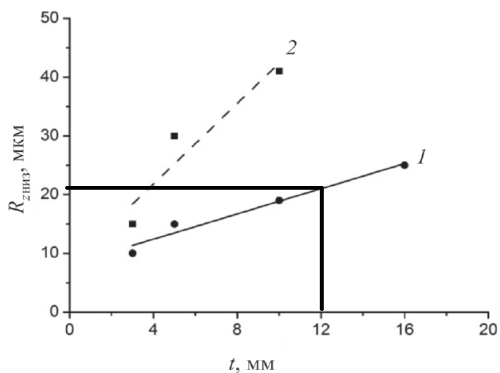
Неуказанные предельные отклонения на размеры равняются ±IT14/2. Шероховатость зубьев и центрального отверстия составляет Ra1,6 мкм (согласно ГОСТ 591 параметр шероховатости поверхности зубьев Ra следует принимать в зависимости от окружной скорости до 8 м/с не более 6,3 мкм, свыше 8 м/с – не более 3,2 мкм). Торцевые поверхности детали с шероховатостью Ra3,2 мкм. Качество поверхности торцов зубьев и дуговых пазов составляет Ra6,3 мкм.

Согласно техническим требованиям поверхность зубьев должна быть закалена на глубину 0,8...1,2 мм до 42...52 HRC.



Материал изделия сталь 45 ГОСТ 1050-2013. Лист толщина 10-12 мм, для последующей обработки на токарном оборудовании.

Станок – газоразрядный CO₂ лазерный станок 8 кВт.



Согласно рис. шероховатость поверхности реза листа 12 мм соответствует 5-4 классу шероховатости ($\geq R_z 20$) [3].

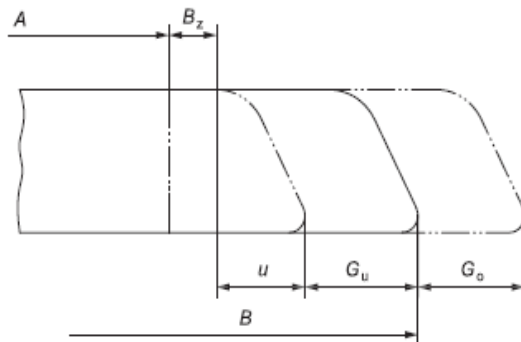


Рис. 3: Размеры реза: A – сборочный размер; B – номинальный размер стороны реза; B_z – припуск на механическую обработку; G_o – верхнее предельное отклонение; G_u – нижнее предельное отклонение; u – допуск перпендикулярности

Для наружных размеров вырезаемой детали с припуском на обработку B_z прибавить допуск перпендикулярности и нижнее предельное отклонение.

B_z для листа 12 мм составит 2 мм.

$$u = 0,05 + 0,003 \cdot a = 0,05 + 0,003 \cdot 12 = 0,086 \text{ мм}$$

Предельные отклонения номинального допуска на размеры от 35 до 125 – $\pm 0,4$. [4]

Полученная таким образом заготовка звёздочки имеет минимальный припуск и может быть подвергнута сразу финишной обработке, например, высокоскоростному фрезерованию после термической обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чепчуров, М.С. Модернизация управления приводом фрезерного станка с ЧПУ при использовании ПК / М. С. Чепчуров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2008. – № 7. – С. 13-15. – EDN KTNFON.

2. Чепчуров, М.С. Оборудование с ЧПУ машиностроительного производства и программная обработка : Учебное пособие / М.С. Чепчуров, Е.М. Жуков. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2015. – 190 с. – EDN ZUYOUV.

3. Голышев, А.А. Стандартизация лазерно-кислородной резки по критерию шероховатости поверхности / А.А. Голышев // Обработка

металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 1(70). – С. 16-21. – DOI 10.17212/1994-6309-2016-1-16-21. – EDN VOTTXN.

4. ГОСТ ИСО 9013-2022. Резка термическая. Классификация резов. Геометрические характеристики изделий и допуски по качеству Thermal cutting — Classification of thermal cuts — Geometrical product specification and quality tolerances : международный стандарт : утверждён и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 июня 2022 г. №549-ст: введен впервые : подготовлен Саморегулируемой организацией Ассоциация «Национальное Агентство Контроля Сварки» (СРО Ассоциация «НАКС») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта ИСО 9013:2017. – Москва: Российский институт стандартизации, 2022 – Текст : непосредственный.

УДК 67.05

Грибеников А.Е., Польшин А.А., Мальцев А.К.
Научный руководитель: Любимый Н.С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОДДЕРЖИВАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ МЕТОДОМ SLM

Метод SLM-печати представляет собой передовую технологию, позволяющую изготавливать сложные металлические компоненты на основе цифровых моделей. Тем не менее, существует множество аспектов, которые следует учитывать перед началом аддитивного производства металлом.

Одним из таких аспектов являются поддержки (опорные конструкции), которые являются важным компонентом для успешного производства 3D-печатных деталей.

Поддержки помогают предотвратить деформацию деталей, имеющих сложные конструктивные особенности, такие как выступы, отверстия, мосты. Но есть правила, при которых поддержки являются необязательными: если свес наклоняется под углом менее 45° от вертикали, модель можно печатать без опорных конструкций; если длина моста меньше 5 мм, в поддержках нет необходимости.

В исследовании [1], был разобран материал, описывающий сущность и применение поддержек для технологии селективной (выборочной) лазерной плавки (англ. *Selective Laser Melting*, сокр.

SLM). Там утверждается, что существует три способа применения поддержек:

1) поддержки предоставляют платформу для печати следующего слоя, с целью получения платформы, для секций, которые не прикреплены к подложке;

2) поддержки прикрепляют изделие к подложке, усиливая свойства жесткости и удерживая тонкие элементы на своем месте. Это важно, во избежания внутренних напряжений, из-за высоких температур, приводящих к деформации и искривлению (Рис. 1);

3) решетчатая геометрия поддержек выступают в качестве поглотителя тепла, который принимает на себя тепловую энергию с печатаемого изделия.

Поддержки в технологии печати делятся в основном на: *линейные опоры*, представляющие собой конструкции, состоящие из вертикальных колонн, соединенных с нависающей частью. Однако их демонтаж является довольно сложным процессом; *опоры в форме дерева*, напоминающие ветви и служащие для поддержки выступающих частей компонента. Преимущество этого типа заключается в облегченности демонтажа и отсутствии повреждений самого компонента.



Рис. 1. – Дефект из-за недостаточного теплоотвода

Поддержки для металлических изделий обычно печатаются в виде решетчатой структуры (Рис. 2), чтобы сократить стоимость и время печати. Хотя наличие поддержек является критическим фактором, гарантирующим точную печать изделий, но при значительном количестве поддержек затрудняет их удаление, получая при этом отпечатки, из-за которых возрастает стоимость и время постобработки.



Рис. 2. – Металлическое изделие с использование поддержек

Проведя исследование по [2], указывается, что, в частности, для SLM-печати используются порошковые материалы, такие как: титановые сплавы, кобальт-хромовые сплавы, нержавеющая сталь, алюминий. Так же компании добились значительных результатов в разработке оборудования и программного обеспечения, направленных на устранение необходимости в поддерживающих элементах. Например, Desktop Metal представила решение под названием «Разделяемые опоры», которые можно легко удалить вручную. Эти опоры используют керамический порошок, который служит интерфейсом между деталью и опорной структурой.

Velo3D предложила технологию Intelligent Fusion, позволяющую печатать сложные металлические изделия с акцентом на надежность процесса, что уменьшает количество необходимых опор до пяти раз. Ведущая компания Polti успешно решила задачу безопорной 3D-печати металлом SLM, где конструкции с углом свеса менее 30 градусов могут обходиться без дополнительных поддержек (Рис. 3).

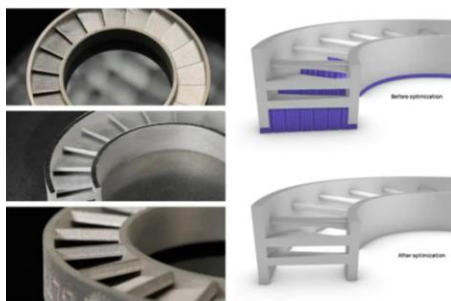


Рис. 3. – Печать дисков для турбин без поддержки

Как видно, индустрия аддитивного производства постоянно разрабатывает новые технологии. SLM-печать даёт огромные преимущества в производительности, расширяя возможности и функциональность изготавливаемых изделий.

Работа выполнена в рамках реализации программы «Приоритет 2030» СК-ППП-70.02-23 от 09.01.2023 г. с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова за счет средств научного проекта № МЛ-5/23 от 07.06.23 г. по теме: «Исследование и разработка конструкции композиционного металлорежущего инструмента с оптимизированной внутренней структурой с целью его изготовления методами аддитивного производства» при содействии Центра трансфера инновационных технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рэдвуд Б., Шофер Ф., Гаррэт Б. 3D-печать. Практическое руководство / пер. с англ. М.А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 220 с.

2. Оценка экономической эффективности технологии изготовления композитных металл-металлополимерных деталей в сравнении с аддитивной и субтрактивной технологиями / Н.С. Любимый, А.А. Польшин, А.А. Тихонов [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 5. – С. 91-105.

3. Шкуро А.Е. Технологии и материалы 3D-печати: учеб. пособие / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 98 с.

4. Зленко М.А. Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП НАМИ» 2015. 220 с.

5. Разработка комплексного решения для 3D-печати стеновых конструкций / С.В. Шаталова, Н. В. Чернышева, В.С. Лесовик [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 10. – С. 8-19.

6. Использование аддитивных технологий для изготовления элементов металлорежущего инструмента / А.А. Польшин, А.Е. Грибеников, А.А. Тихонов, А.К. Мальцев // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 25–26 мая 2023 года / Брянский

государственный технический университет. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2023. – С. 57-61.

УДК 67.05

Грибеников А.Е., Польшин А.А., Тихонов А.А.

Научный руководитель: Любимый Н.С., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И НАСТРОЙКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОДДЕРЖЕК ПРИ SLM ПЕЧАТИ

SLM-печать – это метод аддитивного производства, при котором металлический порошок расплавляется лазерным лучом высокой мощности. В 3D-печати выделяют четыре ключевых типа программного обеспечения, работающих поэтапно:

- 1) Моделирование;
- 2) Слайсинг;
- 3) Калибровка;
- 4) Печать.

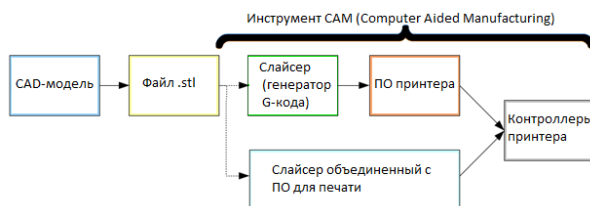


Рис. 1. – Рабочий процесс 3D-печати

Правильное проектирование поддержек помогает не только снизить риск брака, но и повлиять на качество поверхности, поскольку место контакта с опорами после снятия может потребовать дополнительной обработки. Кроме того, использование поддержек влияет на затраты и время печати, поскольку дополнительные ресурсы требуют ресурсов как в самом процессе печати, так и на этапе постобработки. Поэтому перед началом использования аддитивных технологий важно учитывать не только необходимость поддержек, но и оптимизировать их размещение, тип и объем, чтобы добиться максимального качества при минимальных затратах.

Также необходимо оценить и другие факторы, такие как выбор материала, его поведение при печати, усадка, а также особенности использования оборудования. Этот комплексный подход позволяет минимизировать производственные риски и достичь наилучших результатов при аддитивном производстве деталей.

В исследовании [1], был разобран материал, в котором было описано ПО для создания и настройки поддержек. Слайсер, такое ПО которое позволяет разделить обрабатываемую модель на отдельные слои, а затем создать команды для печати каждого слоя модели и последовательности их применения.

На данный момент существует большое количество *слайсеров*, такие как Triangulatica, Cura, VoxelDance и другие.

VoxelDance Additive также предлагает гибкие инструменты для оптимизации поддержек, позволяющие выбирать типы и параметры в зависимости от геометрии и материала, что помогает сократить время печати и повысить стабильность процесса. Программное обеспечение интегрирует функции анализа моделей, такие как автоматическая проверка толщины стенок, контроль за зонами с риском деформации и корректировка деталей, что является основной адаптацией моделей к печати и сильным ошибкам на этапе производства. (Рис. 2).

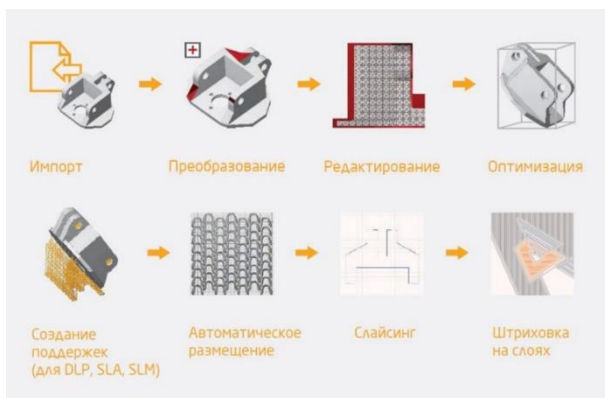


Рис. 2. – Процесс подготовки данных в VoxelDance Additive

Программа предлагает разнообразие типов поддержек для различных технологий печати, включая стержневые, линейные, древовидные, контурные, сетевая и другие (Рис. 3), что способствует улучшению качества печати и сокращению временных затрат на постобработку. Режим «Smart» позволяет создавать пользовательские

скрипты для автоматической генерации поддержек, увеличивая точность и эффективность 3D-печати.

Также существует возможность вручную редактировать поддержки, используя специальные инструменты и шаблоны, что обеспечивает детальный контроль над процессом. Кроме того, доступны настройки, адаптированные под различные 3D-принтеры, материалы и задачи.

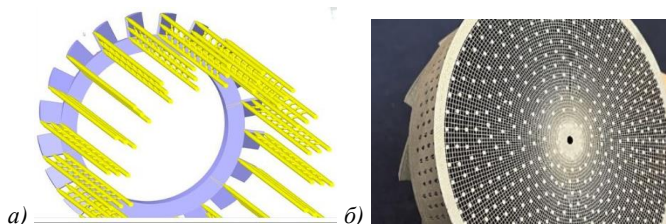


Рис. 3. Технологии печати поддержек в VoxelDance Additive:
а – стержневая поддержка; б – сетевая поддержка

Например, при использовании стержневой поддерживающей структуры можно добавить ее в скрипт поддержек, и ПО определит нижнюю линию профиля детали и добавит поддержку автоматически, что позволит более равномерно передавать тепло на платформу в процессе печати. А добавив в скрипт поддержек клиновидную поддержку, программа сможет автоматически определить нависающие элементы и добавить поддержку, что уменьшит расход материала.

В заключении, индустрия аддитивного производства постоянно разрабатывает новые технологии. Перспективы дальнейшего развития внушают оптимизм – постоянные обновления и расширение возможностей функционала позволяют с уверенностью говорить о ее роли в индустрии 3D-печати в будущем.

Работа выполнена в рамках реализации программы «Приоритет 2030» СК-ПРП-70.02-23 от 09.01.2023 г. с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова за счет средств научного проекта № МЛ-5/23 от 07.06.23 г. по теме: «Исследование и разработка конструкции композиционного металлорежущего инструмента с оптимизированной внутренней структурой с целью его изготовления методами аддитивного производства» при содействии Центра трансфера инновационных технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шкуро А.Е. Технологии и материалы 3D-печати: учеб. пособие / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 98 с.
2. Рэдвуд Б., Шофер Ф., Гаррэт Б. 3D-печать. Практическое руководство / пер. с англ. М.А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 220 с.
3. Оценка экономической эффективности технологии изготовления композитных металл-металлополимерных деталей в сравнении с аддитивной и субтрактивной технологиями / Н.С. Любимый, А.А. Польшин, А.А. Тихонов [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 5. – С. 91-105.
4. Программное обеспечение для аддитивного производства / [Электронный ресурс] // VoxelDance : [сайт]. — URL: <https://voxeldance.com> (дата обращения: 08.10.2024).
5. Разработка комплексного решения для 3D-печати стеновых конструкций / С.В. Шаталова, Н.В. Чернышева, В.С. Лесовик [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 10. – С. 8-19.
6. Зленко М.А. Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП НАМИ» 2015. 220 с.
7. Использование аддитивных технологий для изготовления элементов металлорежущего инструмента / А.А. Польшин, А.Е. Грибеников, А.А. Тихонов, А.К. Мальцев // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 25–26 мая 2023 года / Брянский государственный технический университет. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2023. – С. 57-61.

Дашкевич Е.М., Шатунов М.С.

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ В СУДОСТРОЕНИИ

Современные средства измерения позволяют преобразовать данные в системах управления производством, что способствует автоматизации процессов и снижению человеческих ошибок. Что актуально в условиях массового производства, где важно обеспечить стабильное качество на каждом этапе строительства кораблей.

В создании кораблей и судов содержится ряд различных производственных процессов. В ходе изготовления судов производится большое количество контроля различных физических величин и технологических параметров. Наиболее важными контролируемыми параметрами являются измерения размеров деталей и геометрических величин (более 50%).

Одной из самых перспективных тенденций в судостроении является переход к модульному строительству кораблей и судов. Этот метод подразумевает создание судов из максимально насыщенных сборочных единиц, которые затем преобразуются в стандартные конструктивные и функциональные модули.

Низкая точность изготовления деталей, корпусных конструкций, агрегатов и основных механизмов является главной проблемой, сдерживающей внедрение модульного метода на российских судостроительных верфях. Из этого следует вывод, что для успешного внедрения модульного метода необходимо обеспечить производство более современными средствами измерений, улучшить методику выполнения этих измерений.

В корпусообрабатывающем производстве не производится измерение деталей. Считается, что деталь, обработанная на машине для тепловой резки (МТР) с ЧПУ 1 класса точности, соответствует требованиям чертежа. Важно отметить, что объём выпускаемых стандартных деталей настолько велик, что введение 100% контроля экономически нецелесообразно. Однако полное отсутствие контроля приводит к увеличению разброса размеров деталей.

В корпусо-сварочном производстве контролируют (измеряют) форму конструкций и их положение относительно базовых плоскостей.

Основными базами являются основная плоскость (ОП), диаметральной плоскости (ДП) и мидель-шпангоута (ПМШ). В качестве вспомогательных плоскостей для контроля формы и положения конструкций выбираются плоскости, параллельные основным, - ОП, ДП, ПМШ.

Основные параметры, контролируемые при изготовлении плоских и объёмных секций, включают длину, ширину, высоту и скручивание. На производстве в основном применяют металлические измерительные линейки и рулетки, проверочные плиты, шланговые уровни и нитяные отвесы. Измерения выполняются относительно баз сборочных площадок, что вносит дополнительные погрешности в результаты измерений.

Рассмотрев полученные данные погрешностей и измерений с применением вышеуказанных средств показали, что теодолиты и нивелиры имеют погрешность измерений размеров и отклонений формы и расположения поверхностей, которая составляет 25-40% от допуска на контролируемый параметр. При традиционных измерениях погрешность достигает 50% от допуска. Погрешность измерений отклонений формы обводов и других криволинейных поверхностей может достигать 60%.

В сборочно-стапельном производстве для получения требуемой точности сборочных работ необходимо выполнять измерения отклонений размеров, формы и взаимного расположения поверхностей модулей и сборочных единиц относительно основных баз (ДП, ПМШ, ОП) или контрольных элементов, имитирующих эти базы. Собираемость узлов, конструкций, механизмов и устройств гарантируется, если параметры замыкающего звена плоской или пространственной размерной цепи находятся в пределах допуска.

Таким образом, применяемые средства и методы измерений малоэффективны при измерении параметров плоских и объёмных секций, что не соответствует современным тенденциям развития судостроительных технологий.

Используемая на данный момент система метрологического обеспечения трубообрабатывающего производства включает обслуживание (проверку и ремонт) средств измерений, таких как угломеры, угольники, рулетки и штангенинструмент, с помощью которых производится контроль размеров шаблонов и труб при их гибке, разметке и обрезке.

Структура метрологического обеспечения и управления измерениями должна быть в первую очередь создана для приоритетных направлений: корпусообрабатывающего, корпусо-сварочного,

трубозаготовительного и сборочно-стапельного производств. Сборка корпусов, монтаж трубопроводов, механизмов и специальных систем с минимальным объемом пригоночных работ значительно повысит эффективность судостроительного производства.

На рис. 1 представлена общая функциональная структура метрологического обеспечения, применимая для любого производства.

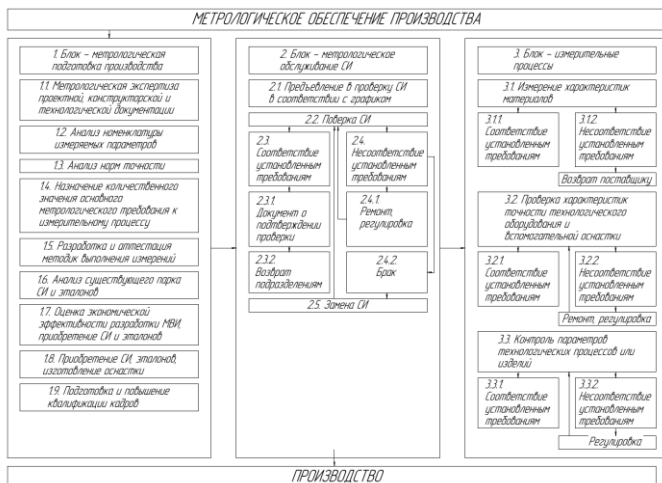


Рис.1 – Схема метрологического обеспечения производства

Главным вектором развития технологии судокорпусостроения заключается в создании конструкций с "чистыми" размерами, то есть без монтажных припусков. Реализацию этой технологии возможно осуществить различными способами.

Первый вариант.

Изготовление деталей, секций, модулей и блоков без изменения текущей системы припусков и действующей технологии. Перед подачей секций на сборку проводятся измерения размеров и отклонений формы частей конструкций. Контуровка монтажных стыков в заданный размер на основе результатов измерений. Снятие припуска. Подача на сборку.

В этом случае выполняется контроль полученных конструкций, но возникает проблема связанная с отсутствием управления технологическим процессом изготовления деталей, секций и блоков. Система метрологического обеспечения выполняет лишь ряд поставленных задач, поэтому часть затрат из стапельно-сборочного производства переносится на корпусо-сварочное. Снижение затрат

достигается только за счет исключения операции пристыковки секций (контуровка и освобождения кранового оборудования, необходимого для выполнения этой операции).

Второй вариант.

Более эффективным является второй вариант, при котором контролируются параметры технологического процесса изготовления корпусных конструкций, начиная с деталей. Система метрологического обеспечения и управления измерениями служит инструментом управления. Поддержание этих параметров в заданных пределах позволит своевременно вносить корректировки в техпроцесс и, таким образом, обеспечить изготовление секций с минимальным объемом пригоночных работ.

При втором варианте особое внимание необходимо обратить на решение задач 1.2.-1.5., 3.2., 3.3.

Требуется провести анализ системы допусков на сварочный зазор стыкуемых секций, модулей и блоков, а также установить стандарты точности изготовления размеров и формы деталей, плоских и объёмных секций, модулей и блоков.

Экспериментальные работы стоит произвести по измерению отклонений размеров и формы плоских и объёмных секций. Исходя из полученных данных можно обнаружить усадочные и общие деформации, возникающие при приварке набора к обшивке из-за допустимых изменений различных факторов (отклонений от номинальных размеров деталей и узлов секций, зазоров под сварку, размеров сварочных швов и т.д.).

Разработать систему припусков для изготовления деталей, секций и блоков. Контролировать погрешность характеристик точности газорезательных машин (ГРМ), проводить периодический контроль и, при необходимости, регулировку. Разработать и аттестовать методики выполнения измерений (МВИ), обеспечивающие требуемую точность измерений размеров и отклонений формы деталей, плоских и объёмных секций, блоков, а также технологического оборудования.

Третий вариант.

Сочетание первых двух вариантов, когда частично (например, при изготовлении листовых деталей) используют второй вариант, а перед сборкой конструкций - первый. Третий вариант можно рассматривать как поэтапный переход от первого ко второму.

Рассмотрев полученные данные, можно сделать следующее заключение. Обеспечение качества продукции, улучшение её характеристик, совершенствование систем контроля и испытаний, а также повышение эффективности производства невозможно без

модернизации структуры метрологического обеспечения и системы управления измерениями на предприятии и в отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаврилюк Л.П., Лмин П.Л., Битный-Шляхто М.В., Красильников А.В. Перспективы развития рынка высокоточных измерений в гражданском судостроении России / Судостроение. №4 – 2018. С.16-20
2. Кононогов С.А., Лысенко В.Г. Научно-технические проблемы метрологического обеспечения изготовления крупногабаритных изделий судостроительного производства / Законодательная и прикладная метрология. – 2009. С.56-61
3. РД 5.ЛКИБ 3320-203-2014 Методические указания по контролю форм основных корпусов оптическими методами, 2014.

УДК 004.896

Дуюн И.А.

Научный руководитель: Рыбак Л.А., д-р техн. наук, проф.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия.*

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В УПРАВЛЕНИИ БПЛА

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) нашли широкое применение в различных сферах: решение задач логистики и мониторинга окружающей среды, спасательные и военные операции. Выполняемые БПЛА задачи становятся все сложнее, а к системе их управления предъявляют все более жесткие требования: адаптация к меняющимся условиям полета и нестабильности внешних факторов, обход динамических препятствий. Для решения этих проблем активно используются алгоритмы искусственного интеллекта, в частности, методы машинного обучения и нейронные сети [1, 2]. Применение методов обучения с подкреплением (RL) и глубоких нейронных сетей (DNN) открывают новые возможности при автономном управлении БПЛА, позволяя им гибко взаимодействовать с окружающей средой.

Современные нейронные сети, такие как рекуррентные и сверточные нейронные сети (RNN и CNN), используются для обработки входных данных с камер и других сенсоров, установленных на борту дронов. Это позволяет решать задачи классификации и детектирования объектов, а также строить траектории движения в реальном времени.

Использование глубоких нейронных сетей позволяет дронам выполнять сложные маневры, избегая препятствий, и корректировать курс полета на основе анализа окружающей обстановки. Например, в некоторых исследованиях успешно применяются RNN для прогнозирования изменения траектории движения БПЛА в условиях динамических возмущений [3, 9].

Помимо обработки визуальных данных, современные нейронные сети могут интегрировать различные типы сенсорной информации, такие как данные лидаров, инерциальных измерительных устройств (IMU) и ультразвуковых датчиков, что позволяет создавать более точные модели окружающей среды. Комбинация данных из нескольких источников сенсорной информации дает возможность применять методы многомодульного обучения, при котором сеть обучается одновременно на данных разных типов. Это имеет особое значение для задач автономной навигации в сложных условиях: при плохой видимости, наличия густой растительности или задымления, отсутствии визуальных ориентиров. Например, использование сверточных сетей в сочетании с рекуррентными позволяет эффективно решать задачи пространственной локализации и построения карт, что является основой для алгоритмов одновременной локализации и картографирования (SLAM) [3, 5]. В результате, дроны могут самостоятельно ориентироваться в ранее неизведанных областях и выполнять задания с высокой точностью даже в сложных условиях. Этот подход также позволяет уменьшить зависимость от внешних систем навигации, таких как GPS, делая управление более автономным и устойчивым к внешним воздействиям.

Обучение с подкреплением (RL) является перспективным подходом, который позволяет системе управления самостоятельно адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды. RL-алгоритмы, такие как DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient) и Q-learning, используются для создания интеллектуальных агентов, способных принимать решения в условиях неопределенности. Примером успешного применения RL является алгоритм конечного наведения, который позволяет дрону достигать заданной точки, корректируя свою траекторию в процессе полета [4, 8].

В рамках многокомпонентного управления RL позволяет реализовать распределение ресурсов между несколькими дронами для выполнения совместных задач, таких как поиск и сопровождение объектов или мониторинг территории. В исследованиях по управлению группами БПЛА на основе RL рассматриваются задачи координации действий, распределения ролей и маршрутизации, что позволяет

повысить эффективность выполнения задач, корректируя траектории дронов при изменяющихся условиях в реальном времени [6, 7].

Еще одним важным направлением в применении обучения с подкреплением (RL) является разработка алгоритмов адаптивного управления и взаимодействия с динамически меняющейся средой. В условиях, когда окружающая обстановка может быстро изменяться, важно, чтобы система управления была способна прогнозировать изменения и адаптировать свою стратегию управления. Современные подходы, такие как методы прогнозирования с временными разностями (TD-алгоритмы), позволяют обучать агентов на основе краткосрочных прогнозов состояния среды, что повышает скорость и точность реакции. Например, использование глубокого Q-обучения с дополнительными нейронными слоями позволяет дронам корректировать свои действия в условиях непредсказуемых препятствий или изменения погодных условий, таких как резкие порывы ветра или осадки [7, 8]. Интеллектуальные алгоритмы управления имеют возможность учитывать такие факторы, как сопротивление воздуха, изменение ветровой нагрузки и других параметров полета, наличие движущихся препятствий, что позволяет улучшать точность выполнения заданий и снижать затраты энергии [1, 13]. В то же время применение RL в сочетании с элементами теории игр, как в случае с алгоритмом MADDPG (Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient), открывает возможности для координации группы дронов, способных самостоятельно принимать коллективные решения на основе оценки текущего состояния всей группы и общей задачи. Такой подход позволяет группе дронов эффективно адаптироваться и изменять распределение ролей, обеспечивая высокую эффективность при выполнении задач, связанных с поиском и сопровождением объектов, картографированием или мониторингом больших территорий [6, 10].

Модели глубокого обучения также активно используются для построения оптимальных маршрутов в задачах с препятствиями. При планировании траектории учитываются данные с лидаров и камер, а также применяются алгоритмы поиска возможных вариантов или методы на основе вероятностных карт. Использование методов глубокого обучения с подкреплением (Deep Reinforcement Learning, DRL) позволяет обучить агента выбирать наиболее эффективные действия, минимизируя время достижения цели и избегая столкновений [8, 10].

Еще одним важным аспектом использования глубокого обучения и методов RL в управлении беспилотными летательными аппаратами является возможность прогнозирования и предотвращения

потенциальных опасностей на основе анализа больших массивов данных. При этом данные для обучения могут быть получены при систематизации предшествующего опыта. В современных системах управления активно применяются рекуррентные нейронные сети (RNN) и их производные, такие как сети с длинной краткосрочной памятью (LSTM), которые способны выявлять скрытые зависимости во временных рядах и прогнозировать будущее поведение системы. Использование таких моделей позволяет, например, заранее выявить потенциально опасные зоны столкновения с другими дронами, транспортными средствами или неподвижными объектами и внести корректировки в траекторию полета для предотвращения аварии, что актуально при движении в густо застроенных районах или в условиях плотного трафика [3, 5, 9, 10].

Применение нейронных сетей в управлении БПЛА позволяет вести разработку полностью автономных систем, способных выполнять сложные задачи без участия оператора: адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды, самостоятельно принимать решения, избегать препятствий и оптимизировать маршрут, координировать действия в группе дронов. Это в свою очередь дает возможность расширить спектр применения беспилотных систем в гражданских и военных задачах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сурмин, В.И. Оптимизация маршрутов и управления траекториями беспилотных летательных аппаратов с помощью алгоритмов искусственного интеллекта / В. И. Сурмин, Е.А. Аникеев // Моделирование информационных систем и технологий: Материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 02 апреля 2024 года. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 448-454. – DOI 10.58168/MoInSyTe2024_448-454. – EDN AUNPFA.

2. Доржиев, А.С. Обучение с подкреплением для беспилотных летательных аппаратов / А.С. Доржиев // Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук : Сборник научных трудов по материалам XXIX международной научной конференции, Санкт-Петербург, 12 июля 2020 года. – Санкт-Петербург : Центр Научных Публикаций Международной Объединенной Академии Наук, 2020. – С. 5-8. – DOI 10.18411/sciencepublic-12-07-2020-02. – EDN YDOYUO.

3. Малинина, Н.В. Управления БПЛА при помощи искусственного интеллекта / Н.В. Малинина // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 32. – С. 1408-1418. – EDN BNVCRL.

4. Костюк, В.И. Обучение с подкреплением в задаче конечного наведения БПЛА / В.И. Костюк, А.А. Плотников // Перспективное научно-техническое развитие: тенденции, проблемы и пути совершенствования: сборник статей международной научной конференции, Санкт-Петербург, 18 апреля 2024 года. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Международный институт перспективных исследований имени Ломоносова», 2024. – С. 15-18. – EDN TZDQIW.

5. Использование машинного обучения в беспроводной связи и сетях / Я.С. Дронин, В.С. Манышев, И.О. Петров [и др.] // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований: Сборник статей X Международной научно-практической конференции, Саратов, 27 марта 2021 года. – Саратов: НОО «Цифровая наука», 2021. – С. 84-95. – EDN OOHFJA.

6. Неретин, Е.С. Разработка математической модели задачи поиска и сопровождения объекта группой беспилотных летательных аппаратов с применением глубокого обучения с подкреплением / Е.С. Неретин, Д.А. Головин, Н.Я. Сухомейло // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия отечественной гражданской авиации, Иркутск, 12–13 октября 2023 года. – Иркутск: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2023. – С. 282-290. – EDN CGSKES.

7. Дудаков, А.С. Метод глубокого обучения с подкреплением в задачах маршрутизации движения мобильных роботов в среде с препятствиями / А.С. Дудаков, Т.Р. Турсунов, Н.Б. Филимонов // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2023. – № 11. – С. 7-13. – DOI 10.26160/2541-8637-2023-11-7-13. – EDN KDIJYO.

8. Наместников, А.М. Применение обучения с подкреплением к задаче моделирования траектории беспилотного летательного аппарата / А.М. Наместников // Автоматизация процессов управления. – 2023. – № 3(73). – С. 34-39. – DOI 10.35752/1991-2927_2023_3_73_34. – EDN ORCTFJ.

9. Кузьмин, О.В. Моделирование движения автономных киберфизических систем при помощи обобщенной пирамиды Паскаля и рекуррентные нейронные сети / О.В. Кузьмин, Б.А. Старков // Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения

(DYSC 2022) : Материалы 4-й Международной конференции, Иркутск, 19–22 сентября 2022 года. – Иркутск: Иркутский государственный университет, 2022. – С. 130-132. – EDN TTXBJM.

10. Вагизов, М.Р. Клиент-серверная архитектура модели системы формирования программных траекторий движения БПЛА / М.Р. Вагизов, С.П. Хабаров, И.Б. Соловьев // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2022. – № 2(42). – С. 22-29. – EDN JEDAYU.

УДК 62-213.32

Звягин И.П.

Научный руководитель: Хуртасенко А.В., канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия*

УЛУЧШЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА МАСЛЯНОГО НАСОСА С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

В современной промышленности проектирование новых изделий производится с помощью цифровых технологий. Одни из самых важных составляющих этого CAD и CAE-системы. Данные программы позволяют создавать модели и цифровые двойники изделий, а также моделировать их поведение при различных условиях эксплуатации. Это позволяет на этапе проектирования выявлять несовершенства в конструкции изделия и применяемых материалах, и изменять всё это до того, как изделие будет изготовлено, что снижает затраты при производстве.

В данной статье мы исследуем на предмет улучшения конструкцию корпуса масляного насоса 01.015 из «Альбома сборочных чертежей для детализирования и чтения» В.А. Леоновой и О.П. Галаниной (издательство «Машиностроение», Москва, 1975г.)

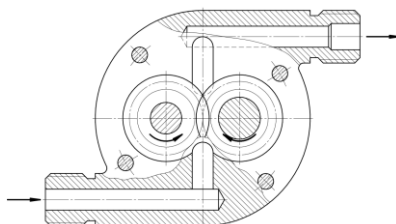


Рис.1 – Схема направления потока жидкости в насосе

Для выполнения расчёта было использовано следующее программное обеспечение:

1) Для 3D-моделирования использована программа КОМПАС-3D v22 компании «Аскон»;

2) Для выполнения прочностного анализа методом конечных элементов был использован модуль APM FEM для КОМПАС-3D компании «АПМ».

Выполнили 3D-модель детали Корпус. По условиям «Альбома сборочных чертежей...» материалом для изготовления является БрОЦС5-5-5. Так как материал БрОЦС 5-5-5 недоступен в библиотеке материалов КОМПАС-3D, назначим детали ближайший к нему БрОЦС 4-4-2,5.

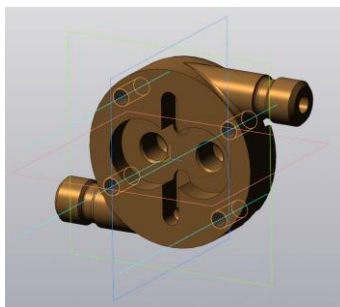


Рис. 2 – 3D-модель корпуса насоса масляного в программе КОМПАС-3D

Закрепление детали осуществили по четырём крепёжным отверстиям и фланцу.

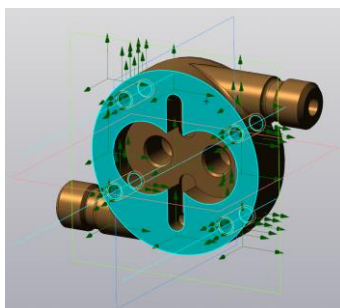


Рис. 3 – Закрепление детали «корпус»

Основное воздействие на деталь оказывает давление жидкости, протекающей, через штуцеры и по внутренней поверхности корпуса. Поэтому к этим поверхностям приложили давление 2,5МПа.

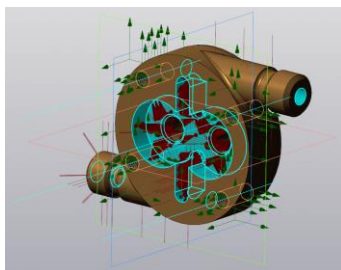


Рис. 4 – Прикладываемое давление

Далее деталь разбили на конечные элементы. Типа элемента: 4-узловые тетраэдры с размером сторон 1мм, коэффициентом разряжения 1,5.

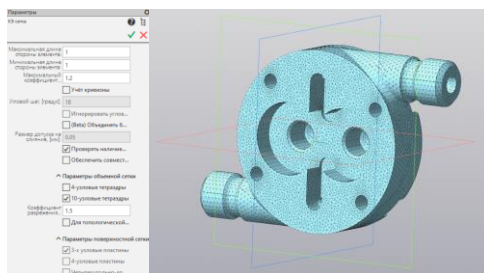


Рис. 5 – Создание сетки

Запустили расчёт и получили следующие значения:

- максимальные напряжения – 16,06 Н/мм²;
- максимальные перемещения – 0,0005166мм.

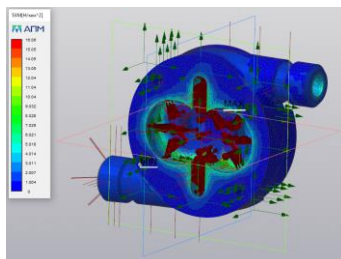


Рис. 6 – Напряжения в детали «корпус» из БрОЦС 4-4-5,2

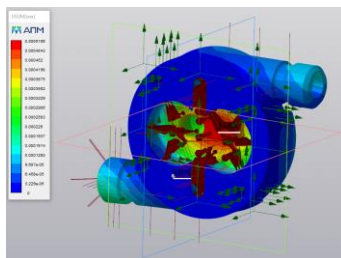


Рис. 7 – Перемещения в детали «корпус» из БрОЦС 5-5-5

Далее исследовали возможность замены материала заготовки. Поменяли материал с БрОЦС 4-4-5,2 на алюминий АК8 и повторили расчёт. Получили следующие значения:

- максимальные напряжения – $17,22 \text{ Н/мм}^2$;
- максимальные перемещения – $0,0008043 \text{ мм}$.

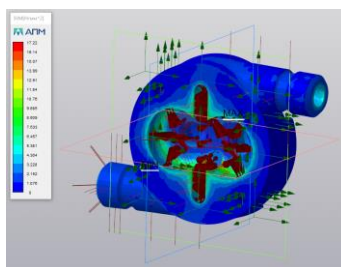


Рис. 8 – Напряжения в детали «корпус» из АК8

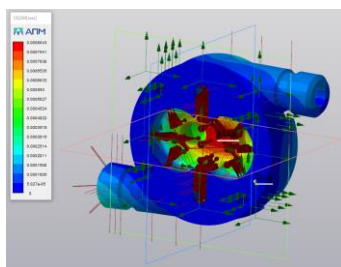


Рис. 9 – Перемещения в детали «корпус» из АК8

Как мы видим, для обоих случаев напряжения, создаваемые давлением жидкости, не имеют больших отличий, а перемещения практически равны нулю. Учитывая то, что алюминий в несколько раз

дешевле меди, можно сделать вывод, что можно заменить материал заготовки, не потеряв необходимых прочностных характеристик при эксплуатации готового изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леонова, В.А. Альбом сборочных чертежей для детализирования и чтения : альбом / В.А. Леонова, О.П. Галанина. – Москва : Машиностроение, 1975. – 102 стр.
2. КОМПАС-3D [сайт]. – Санкт-Петербург, 1996 – URL: <https://ascon.ru> (дата обращения: 13.10.2024). – Текст. Изображение: электронные.
3. Система прочностного анализа APM FEM для КОМПАС-3D [сайт]. – Королёв, 2000 – URL: <https://apm.ru> (дата обращения: 13.10.2024). – Текст. Изображение: электронные.

УДК 621

Катаев В.В., Петухов Е.А., Катаев А.В.

Научный руководитель: Кушнарёва Д.Л., канд. техн. наук, ст. преп.

Российский государственный аграрный университет – МСХА

им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

В настоящее время все компании стараются тратить как можно меньше ресурсов для производства долговечных и высококачественных, при этом используя новейшие методы и качественные материалы. Использование аддитивных технологий является одним из наиболее ярких примеров того, как новые технологии и оборудование могут значительно улучшить классическое производство. Несколько лет назад аддитивное производство называлось технологией будущего, но уже сегодня детали для домов, самолетов и автомобилей изготавливаются с помощью трехмерной печати.

Аддитивная технология – это методика производства материального объекта путем послойного нанесения слоев материала на предыдущие. При этом используется специальное оборудование: 3D-принтеры; и специальное программное обеспечение для получения и преобразования цифровой модели изделия. [1]

Изобретение первого 3D-принтера принадлежит Чарльзу Халлу. Изобретение датируется 1983 годом. Первый принтер работал с помощью SLA технологии или стереолитографии: в качестве материала применялась фотополимерная смола, затвердевающая под воздействием ультрафиолетового излучения. После 1983 года был получен толчок в развитии аддитивной технологии, сейчас разработки и другие технологии печати. Послойное наплавление — самая простая и распространенная технология. Она поддерживается всеми программами для проектирования. [2] По данной технологии материальные объекты деталей строятся по средствам нанесения слоев твердого пластмассового материала на предыдущие. Материал при этом нагревается до точки плавления или выше. Такой метод является самым распространенным не только на специальном производстве, но и в быту, так как не требует больших вложений в оборудование и материалы, а обслуживание и сам процесс печати легки в освоении. Еще одна технология — это селективное лазерное наплавление. Технология подразумевает воздействие лазерного излучения на материал наплавления. При этом материал, нагреваясь, приобретает заданную лазером форму. Материал представляет собой порошкообразную смесь и может быть как металлическим, так и композитным. Главное преимущество такой технологии — получение изделий сложной геометрической формы, что не могут обеспечить традиционные технологии механической обработки.

Аддитивные технологии активно применяются и в машиностроении, при их помощи создаются декоративные элементы, запасные части и даже полноценные автомобили. [3] Первым автомобилем, большинство деталей которого напечатаны на принтере (75%), считается американский автомобиль Strati. Автомобиль был создан в 2014 году в Америке. В качестве силовой установки в этом автомобиле используется электродвигатель. Инженеры из KHP представили автомобиль LSEV, состоящий из пятидесяти семи компонентов-деталей, изготовленных аддитивной технологией. Преимущество автомобиля — низкая стоимость (675 тыс. руб.), но стоит учитывать меньшую прочность машины в целом, что ведет к меньшему периоду её использования, подверженности процессу старения, повышенной травматической опасности для водителя и пассажиров.

Так в чем же преимущества и недостатки аддитивных технологий? Среди главных преимуществ стоит отметить низкую себестоимость полученных изделий, техническую простоту используемого оборудования. Оборудование не требует сложных навыков при его

обслуживании и использовании, что сильно ускоряет и облегчает трудоемкость процесса изготовления. При сложной геометрической форме традиционные технологии могут быть более дорогостоящими в выполнении. Для геометрически сложных деталей применяются обрабатывающие центры (5, 6 осевые фрезерные станки), стоящие от пяти миллионов рублей. Стоимость SLS принтеров начинается от полутора миллиона рублей. Аддитивные технологии отличаются безотходным производством: нет наличия стружки. Сварные швы являются местами опасных сечений в изделиях, их прочность сравнительно низка. 3D-печать позволяет создавать сложные изделия без сварных соединений, то есть не сборочной единицей а одной цельной деталью, что ускоряет процесс получения готового изделия, минуя операцию сварки. Однако на фоне преимуществ, конечно же, существуют и недостатки. Полученные изделия, как правило, уступают по прочности изделиями, полученным традиционными способами обработки. Также аддитивная технологии не применима в массовом производстве в силу отсутствия знаний и примеров такого использования.

Несомненно, производство элементов кузова и запасных частей из порошка или жидкой смолы является очень перспективной технологией, которая способна вывести автомобильную индустрию на новый уровень. Так как подобное производство будет помогать экономить время и ресурсы. Простота и эффективность данной технологии не могут не заинтересовать разработчиков со всего мира, которые постоянно стремятся усовершенствовать своё оборудование. Конечно, как и у любой технологии, у 3-D печати присутствует ряд недостатков, над которыми необходимо работать и работать. [4] Но уже сейчас многие специалисты делают ставки на аддитивные технологии в промышленном производстве, и в будущем, скорее всего, эти недостатки будут исправлены. Благодаря аддитивным технологиям автомобили могут стать экологически более безопасными и намного легче, а значит быстрее и маневреннее. В настоящее время аддитивные технологии широко применяются в нескольких областях: в медицине (протезы и ортезы, макеты органов и тканей), строительстве, авиационной промышленности и, несомненно, в машиностроительной отрасли. Во всех этих случаях минимизируются недостатки, и на первый план выходят преимущества данной технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Катаев, А.В. 3D-печать как высокоэффективный технологический процесс в машиностроении / А.В. Катаев, А.С. Свиридов, А. А. Долгова // Образование. Наука. Производство : Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 13-16. – EDN KGOMRU.
2. Читчян, К.Д. Проектирование объектов в Nanocad / К.Д. Читчян, Д.Л. Кушнарeva // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов : Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (г. Москва, 19–20 декабря 2023 г.), посвященной 100-летию со дня рождения ветерана Великой Отечественной Войны, заслуженного деятеля науки и техники, заслуженного изобретателя РФ, д.т.н., профессора Николая Федоровича Тельнова, Москва, 19–20 декабря 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2024. – С. 144-148. – EDN QDDHYN.
3. Применение технологий 3D-печати и 3D-сканирования при изготовлении и ремонте сельскохозяйственной техники / Ю.В. Катаев, Ю.А. Гончарова, А.С. Свиридов, С.П. Тужилин // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 1(307). – С. 34-38. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-1-34-38. – EDN YLNGXU.
4. Основы теории надежности : Учебник / А.В. Чепурин, О.П. Андреев, Е.Л. Чепурина [и др.]. – Москва : Типография ПМГ, 2023. – 232 с. – ISBN 978-5-605-07401-4. – EDN RQHEFD.

Козлова Е.О.

Научный руководитель: Чепчуров М.С., д-р. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОБРАБОТКА ТОЧНЫХ РАЗМЕРОВ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

При обработке канавок, находящихся под различными углами в управляющей программе, написанной с помощью автоматизированной программы разработки программ для станков с ЧПУ, обход такой канавки производится через точки с координатами X и Z, причем значения обеих координат представляются в виде "X123.456 Z321.654", т.е. с тремя знаками после запятой. С учетом ранее обработанных размеров детали с определенным допуском, а также учетом погрешности выверки детали и наладки инструмента, размер канавки может не попадать в допуск, требуемый чертежом. Корректировка программы в таком случае довольно трудоемка, т.к. в каждом кадре приходится корректировать сразу две координаты, которые должны быть рассчитаны очень точно. Проблема усугубляется при обработке партии детали, порой приходится корректировать программу чуть ли не на каждой детали.

Рассмотрим вариант написания программы без использования автоматизированных программ с удобной системой редактирования. Написание такой программы возможно в большинстве систем ЧПУ, например «Sinumerik», «БАЛТ-СИСТЕМ», «МАЯК», «МЕХАТРОНИКА», «NC-2000».

В данной статье рассмотрим подробнее написание программы в системе «Sinumerik» для чертежа, показанного на рис.1.

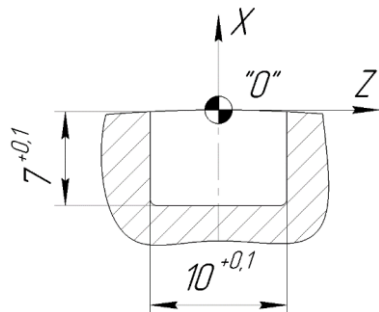


Рис. 2 – Предполагаемый «0» детали.

Для того, чтобы станок обработал канавку по заданной программе, необходимо установить «0» программы как показано на рис. 3. Для этого сместим «0» детали по оси Z на -65 мм. Развернем систему координат на угол -25° . Далее сместим координату по оси X на 100 мм.

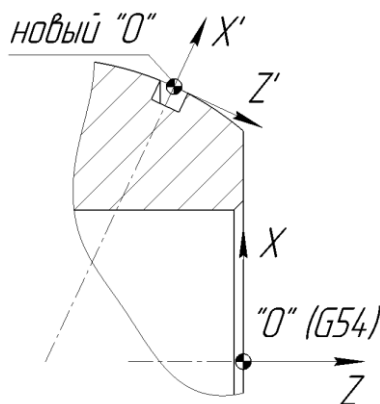


Рис. 3 – Смещение «0» детали.

Начало программы должно быть представлено в виде: [2]
 G18 G90
 TRANS Z-65 ; смещение «0» детали по оси Z
 AROT RPL=25 ; дополнительный разворот активной плоскости обработки
 ATRANS X100 ; дополнительное смещение по оси X.

Таким образом, окончательный код для обработки канавки будет иметь вид:

N5 G18 G54 G90
 N10 T=1 D1
 N15 G0 X150 Z5
 N20 TRANS Z-65
 N25 AROT RPL=25
 N30 ATRANS X100
 N35 S100 M3
 N40 G90 D1 X2 Z5 ; Z - SHIRINA KANAVKI
 N45 G1 X-7 F0.1 ; GLUBINA KANAVKI
 N50 X-5 Z3 F5
 N55 X2
 N60 D2 Z-5 ; Z - SHIRINA KANAVKI
 N66 X-7 F0.1 ; GLUBINA KANAVKI
 N70 X-5 Z-3 F5
 N75 TRANS
 N80 G0 X150 M5
 N85 M30

Для обработки второй канавки необходимо будет изменить в кадре N25 “RPL=25” на “RPL=-25”.

В случае необходимости оператор может корректировать кадры N35 или N55 для установления ширины канавки, и кадры N40 и N60 для достижения требуемой глубины канавки.

Используя данную программу, значительно сокращается время на ее корректировку, а оператор намного чётче понимает результат обработки, так как оперирует непосредственно указанными в чертеже размерами изделия. [3]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. SIEMENS // SINUMERIK 808D Токарная обработка Часть 2 – 2012г.
2. SIEMENS // SINUMERIK 808D Токарная обработка Часть 3 – 2012г.
3. М.С. Чепчуров, Е.М. Жуков, А.Г. Схиртладзе // Оборудование с ЧПУ машиностроительного производства – Старый Оскол – 2018.
4. М.С. Чепчуров // Модернизация управления приводом фрезерного станка с ЧПУ при использовании ПК – Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2008 - №7 – С. 13-15.

*Колебакин М.М., Смирнова Е.В., Цыркунова С.С.
Научный руководитель: Санин С.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОДУЛЕЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА СОВРЕМЕННЫХ САПР

Большинство современных САПР имеют программные модули, позволяющие выполнять анализ конструкций и процессов на основе метода конечных элементов. Использование этих модулей существенно упрощает и ускоряет работу инженера-конструктора при выполнении расчётов на прочность.

При выборе программного обеспечения, выполняющего анализ прочности методом конечных элементов, для внедрения в производство необходимо решить какой программный инструмент (САПР) из представленных на рынке дает наиболее точную оценку реального производства, минимальную погрешность при решении поставленной задачи и определить, степень достоверности значений, полученных программным методом [1].

Для исследования возможностей САПР по КЭ-анализу были выбраны коммерческие версии САПР Компас-3D, Autodesk Inventor и свободно распространяемая система FreeCAD. В качестве объекта КЭ-анализа была выбрана деталь - «Переходник» (рис.1), предназначенная для передачи крутящего момента или усилия от рукоятки на слесарный инструмент.

Закрепление модели в трехмерном пространстве было выполнено в виде запрета перемещений граней внешнего «квадрата» размерами 38х38 мм. Расчетная нагрузка была приложена парами сил к ребрам внутреннего «квадрата» 30х30 мм передающее усилие от инструмента.

В соответствии с планом исследования, был выполнен анализ объекта при различных параметрах построения трехмерной сетки, а также сравнение полученных результатов с результатами, предоставленными аналогичными по функционалу САПР.

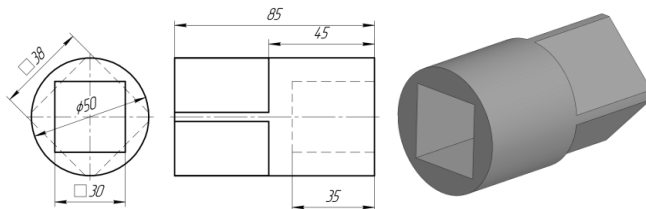


Рис. 1 – Чертеж и 3D модель детали «Переходник»

В ходе работы расчеты, выполненные для каждой из трех рассматриваемых программ, были осуществлены в трех вариантах, с постепенным уменьшением размеров ячеек трехмерной сетки.

При первом приближении для ячеек сетки был задан параметр максимальной длины стороны элемента равный 5 мм (рис. 2).

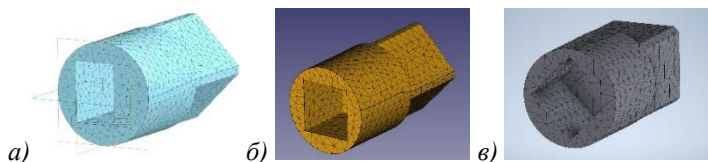


Рис. 2 – Наложение трехмерной сетки на модель в различных САПР: а – Компас-3D; б – FreeCAD; в – Autodesk Inventor

В соответствии с заданным параметрами, максимальные значения эквивалентного напряжения, рассчитанные в программе Компас-3D составили 378 МПа и расположены в районах изменения конструкции переходника. Результаты расчетов в FreeCAD и Autodesk Inventor равны значениям в 260 МПа и 379 МПа соответственно (рис. 3) [2].

При выполнении второй тройки расчетов значение максимальной длины стороны ячейки сетки было уменьшено на треть от исходного и принято равным 3,4 мм. Максимальное значение эквивалентного напряжения было найдено равным 585 МПа, 309 МПа и 485 МПа при выполнении расчетов в исследуемых САПР: Компас-3D, FreeCAD и Autodesk Inventor.

Последний расчет был произведен при значении максимальной длины стороны ячейки трехмерной сетки равном 2,5 мм, что вдвое меньше параметра первого расчета. Максимальное значение напряжения, найденное в Компас-3D – было равным 670 МПа, FreeCAD – 395 МПа, Autodesk Inventor – 628 МПа.

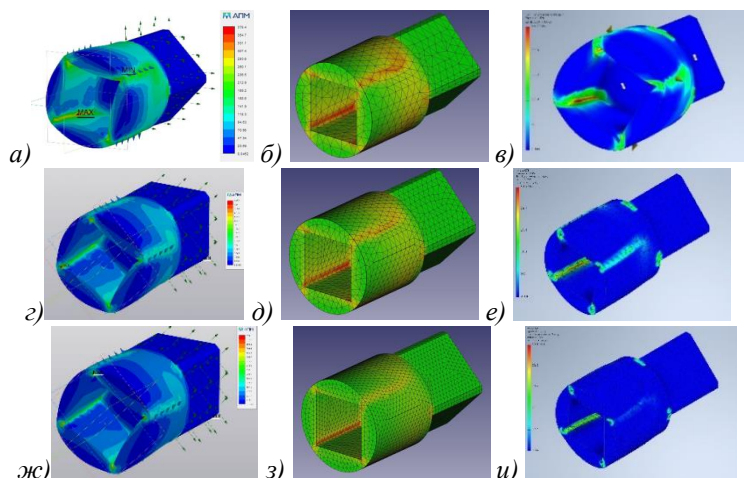


Рис. 3 – Карты результатов напряжений в различных САПР (в скобках указан шаг сетки в мм): а – Компас-3D (5); б – FreeCAD (5); в – Autodesk Inventor (5); г – Компас-3D (3,5); д – FreeCAD (3,5); е – Autodesk Inventor (3,5); ж – Компас-3D (2,5); з – FreeCAD (2,5); и – Autodesk Inventor (2,5)

Исходя из полученных результатов расчетов эквивалентных напряжений для детали «Переходник», выполненных методом конечных элементов можно обратить внимание на тот факт, что при изменении размеров ячейки трехмерной сетки происходило и существенное изменение значения максимального напряжения. Так, при двукратном уменьшении сетки, наложенной в Компас-3D, итоговое значение максимального напряжения увеличилось так же в два раза (рис. 4).

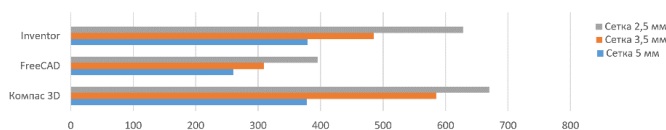


Рис. 4 – Диаграмма сравнения результатов расчетов

В условиях данной компьютерной симуляции силу прикладывали к граням объекта, но при выполнении анализа с использованием модулей расчета, исследование проводится по области, и под найденным значением напряжения мы получаем усредненное решение для области – ячейки сетки, на которые мы разбили модель [3]. Соответственно при размерах ячейки стремящихся к размерам математической точки итоговые значения расчетов будут стремиться к

истинно верным. Но и количество операций, необходимых для выполнения расчета, в свою очередь тоже будет стремиться к бесконечности, тем самым сводя на нет возможность выполнения подобного расчета.

При выявленных расхождениях найденных абсолютных значений, исследовав карты результатов напряжений, можно утверждать, что модуль прочностного расчета САПР способен находить опасные сечения исследуемой модели на основе сравнения напряжений в каждой из ячеек трехмерной сетки модели между собой [4].

В соответствии с полученными результатами можно сделать вывод о допустимости использования модуля прочностного расчета САПР в инженерной отрасли, когда в условиях рассматриваемой ситуации достаточен поиск ответа на поставленную задачу с имеющимся процентом точности выполненного расчета. Возможность автоматизации расчетов на прочность с помощью САПР бесспорно может оптимизировать трудозатраты на этапе проектирования и разработки конструкторской документации, но это не исключает необходимости в практических испытаниях на моменте внедрения в производственный процесс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабичев, С. Инженерный анализ средствами T-FLEX / С. Бабичев // САПР и графика. – 2016. – № 12(242). – С. 36-41.

2. Chepchurov, M.S. Design process of executive elements in stroke mechanisms based on rammer's deformations and stress modeling / M.S. Chepchurov, V.P. Voronenko, A.V. Chirkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : BUILDINTECH BIT 2020. INNOVATIONS AND TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION, Belgorod, 08–09 октября 2020 года. Vol. 945. – Belgorod: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012040.

3. Ахметова, С.С. Системы инженерного анализа методом конечных элементов / С.С. Ахметова, М. Б. Щашанова // Актуальные проблемы современности. – 2021. – № 2(32). – С. 215-218.

4. Гончаров, М.С. Моделирование напряженно-деформированного состояния технологической системы / М.С. Гончаров, А.В. Хуртасенко, И.В. Шрубченко // Техника и технологии машиностроения : Материалы IV международной студенческой научно-практической конференции, Омск, 25–30 марта 2015 года / Редакционная коллегия: Е.Н. Еремин (отв. редактор), Ю.О. Филиппов, А.Г. Анатольев. – Омск: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

УДК 625

Мелентьев Н.А., Грибеников А.Е.

Научный руководитель: Герасимов М.Д., канд. тех. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОЛУЧЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ С КОЭФФИЦИЕНТОМ АСИММЕТРИИ ВЫНУЖДАЮЩЕЙ СИЛЫ $k_{ac} = 3,0$ МЕТОДОМ ПЕРЕБОРА ДАННЫХ

При расчете вибрационных устройств, генерирующих колебания рабочих органов строительных и дорожных машин, требуется найти их параметры для более эффективной и продуктивной работы [1,2]. Наиболее эффективными являются вибрационные колебания с асимметричной вынуждающей силой [3,4,5]. Величина асимметрии, или «не симметрии», вынуждающей силы оценивается коэффициентом асимметрии, k_{ac} , величины вынуждающей силы, $F_{сум}$, действующей в направлении выполнения полезной работы, $F_{пр}$, и в направлении выполнения холостого хода, $F_{хх}$ [1,5]

$$k_{ac} = \left| \frac{F_{пр}}{F_{хх}} \right| \quad (1)$$

где $F_{пр}$ – модуль величины вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения полезной работы, $F_{хх}$ – модуль величины вынуждающей силы, $F_{сум}$, действующей в направлении выполнения холостого хода.

При этом, величина вынуждающей силы, $F_{сум}$, представляет сумму самостоятельных, но взаимосвязанных, колебаний [6,7].

$$F_{сум} = \sum_{i=2}^n F_i \quad (2)$$

где i – число ступеней вибрационного устройства для получения асимметричных колебаний.

В учебном процессе появляется желание найти более быстрый и удобный метод выбора или расчёта параметров каждого вибратора, входящего в вибрационное устройство. В ходе выполнения учебной работы был использован метод, названный нами -метод «Золотой

середины». Предполагается, что данный метод является простым способом для расчета параметров вибраторов, например, в учебной практике.

В качестве примера рассчитаем значения массы дебалансов и радиуса их смещения центра массы трех вибраторов для суммарной вынуждающей силы $F_{\text{сум}} = 10$ кН при частоте колебаний и вращения дебалансных валов: 500, 1000, 1500 об/мин, соответственно.

Метод основан на теории того, что при изменении значений радиусов и масс вибраторов, изменяется и коэффициент асимметрии [8,9,10]. Была поставлена задача, добиться значения коэффициента равного трём, $k_{\text{ас}} = 3,0$. При изменении параметров вибраторов было замечено, что в какой-то определённый момент подбора значений, коэффициент асимметрии переставал расти и начинал убывать. С того момента, предполагалось, что есть «золотая середина» значений, зависящая друг от друга. Особенно сильно было замечено при изменении значений радиуса.

Таким образом, был сформирован метод таким образом:

1. Изменяем значения радиусов вибраторов до тех пор, пока не достигнем эффективного значения коэффициента асимметрии;

№ Вибратора	1	2	3	Коэффициент асимметрии
Масса (кг)	1	1	1	2,376937
Радиус (см)	50	10	0,9	
Нач. фаза (град)	0	0	0	
Скорость (об/мин)	500	1000	1500	
R (м)	0,5	0,1	0,009	
F	0	0	0	
ω (рад/с)	52,33333	104,6667	157	

Рис. 1 – Определение радиусов

2. Изменяем значения масс вибраторов, чтобы подогнать к коэффициенту асимметрии и заодно с этим убедиться, что суммарное колебание равно 10 кН.

№ Вибратора	1	2	3	Коэффициент асимметрии
Масса (кг)	3,64	3,1	8	2,990088
Радиус (см)	50	10	0,9	Сумма
Нач. фаза (град)	0	0	0	10155,39
Скорость (об/мин)	500	1000	1500	
R (м)	0,5	0,1	0,009	
F	0	0	0	
ω (рад/с)	52,33333	104,6667	157	

Рис. 2 – Определение масс и сверка с требуемой силой и коэффициентом асимметрии

Данный метод позволил получить коэффициент асимметрии суммарной вынуждающей силы равный $k_{ac} = 2,99$.

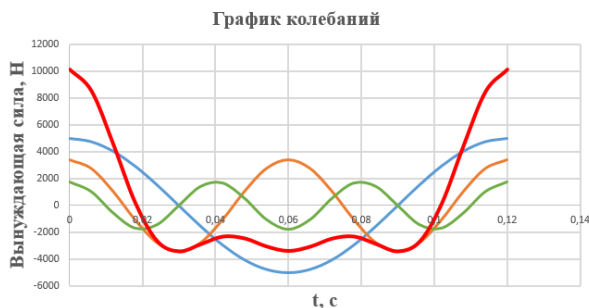


Рис. 3 – График колебаний каждого вибратора и суммы их колебаний:
 синяя линия – колебания первого вибратора; оранжевая линия – колебания второго вибратора; зелёная линия – колебания третьего вибратора;
 красная линия – сумма колебаний всех вибраторов

В этом методе есть один недостаток.

Могут получиться значения, которые математически верны, но с точки зрения механики они доставят значительные неудобства и противоречия при проектировании [11].

Также возможен расчет только до трёх ступеней, потому что дальнейший расчет данным методом вызовет определенные трудности с нахождением масс и радиусов дебалансов.

Наиболее целесообразным методом расчетом виброустановок с асимметричными колебаниями является метод, описанный в патенте под названием «Способ генерирования направленных инерционных асимметричных колебаний рабочего оборудования вибрационных машин», автором которого является Герасимов М. Д. Номер патента – RU 2740282 С1. Этот метод является более удобным для расчета установок с большим числом коэффициента асимметрии.

Суть метода заключается в том, что технический результат достигается, если для вибрационного устройства с асимметричными колебаниями, состоящего из произвольного числа, например - n , ступеней с направленными колебаниями, по крайней мере не менее двух ступеней, устанавливается или задается, максимально возможный коэффициент асимметрии вынуждающей силы, равный: $k_{ac} = n$, а соотношение величин составляющих сил $F_1: F_2: F_3: \dots: F_n$ отдельных ступеней, составляющих суммарную вынуждающую силу,

действующую в направлении выполнения полезной работы $F_{\text{пр.}}$ подчиняется закону [12]:

$$\frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \cdot F_{\text{п.р.}} + \frac{a_{i-1}}{\sum_{i=1}^n a_i} \cdot F_{\text{п.р.}} + \frac{a_{i-2}}{\sum_{i=1}^n a_i} \cdot F_{\text{п.р.}} + \dots + \frac{a_{i-n}}{\sum_{i=1}^n a_i} \cdot F_{\text{п.р.}} = F_{\text{п.р.}} \quad (3)$$

где - n - число ступеней в вибрационном устройстве с асимметричными колебаниями, $n = 2, 3, 4 \dots$; i - порядковый номер ступени, $i = 1, 2, 3 \dots n$; a_i - наибольшее значение порядкового номера ступени при $i = n$; например, при трехступенчатом вибрационном устройстве $a_i=3$, при пятиступенчатом – $a_i = 5$; $a_{i-1}, a_{i-2}, \dots, a_{i-n}$ - убывающие значения порядкового номера ступени; $F_{\text{п.р.}}$ – суммарная вынуждающая сила, Н.

Для выполнения учебных заданий и повседневных расчетов метод «Золотой середины» подходит, достаточно быстрый и интуитивно понятный, но имеет свои изъяны в виде несовместимости результатов математических с механической точкой зрения. А метод, представленный в патенте лучше всего подойдет для более профессионального расчета вибромашин, чтобы допускать меньшее количество ошибок, так как в жизни меньшее количество ошибок при расчетах создает большую безопасность при использовании машин, а также их большую надежность и производительность при соответствии математических вычислений с законами механики и кинематики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gerasimov M.D., Glagolev S.N., Gerasimov D.M., Mkrtychev O.V. Determination of The Driving Force's Asymmetry Factor and The Vibrostand's Work's Analysis // International Journal of Applied Engineering Research, 2015. Т. 10. №24. С. 45392-45398.

2. Глаголев С.Н., Герасимов М.Д. Теоретические и технические резервы повышения эффективности работы вибрационных машин // Региональная научно-технической конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. Сборник докладов. Белгород. 2017. С. 79 – 85.

3. Герасимов М.Д. Стратегические резервы повышения качества подготовки студентов. Современные образовательные технологии. Опыт, реализация, перспективы: сб. ст. по материалам III Междунар. заочно-практ. конф., 24-25 дек. 2015 г./ Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 52–59.

4. Gerasimov M.D., Mkrtichev O.V., Glagolev S.N., Gerasimov D.M., Latyishev S.S. Method of Determination of Vibrating Screens Oscillation's Amplitude in a Characteristic Point for Plane Motion // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. T. 11, № 20, С. 12295-12301.

5. Мелентьев А.Б., Тарунин Е.Л. Эффекты асимметричных колебаний в конвекции. Пермский гос. Нац-ный иссл-кий ун-т, Пермь. Вычислительная механика сплошных сред. – 2012. – Т. 5, № 3. – С. 284-291.

6. Яцун С.Ф., Локтионова О.Г., Черепанов А.А., Рублев С.Б. Виброробот для вертикального движения по металлической шероховатой поверхности. Современные технологии в промышленности и строительстве. С. 651-655

7. ПМ RU 101 683. Транспортное устройство для движения по вертикальным металлическим поверхностям. Заявка: 2010140051/11, 29.09.2010. Опубл.: 27.01.2011 Бюл. № 3. Авторы: Яцун С. Ф., Мищенко В. Я., Черепанов А. А.

8. Ермоленко В.Н., Костин В.А., Костин Д.В., Сапронов Ю.И. Оптимизация полигармонического импульса. Вестник ЮУрГУ. №27. (286), Серия «Математическое моделирование и программирование», вып. 13. 2012. С. 35-44

9. RU 2350806 C1, F16N (2006/01). Зубчатый инъекционный самобалансный механизм. Заявка 2007140665/11, 01.11.2007. Опубл. 27.03.2009, Бюл. №9. Авторы: Ермоленко В.Н. и др. П/обл.: Ермоленко В.Н., Нестеренко П.Н., Насонов И.В.

10. US 7,804,211 B2. Vibration Generator. Sep. 28, 2010. Kleibl Albrecht, Heichel Christian. (DE). Prior. US 2009/0243410 A1. Oct. 1, 2009.

11. Герасимов М.Д. Вибрационные устройства с асимметричными колебаниями: монография: 2 ч. / М. Д. Герасимов, С.Н. Глаголев, Н.С. Любимый, С. С. Латышев – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023 - Ч. 1. – 144 с.

12. Патент РФ. RU 2740282 C1. Способ генерирования направленных инерционных асимметричных колебаний рабочего оборудования вибрационных машин. Заявка: 2020121504, 05.08.2020. Опубликовано: 12.01.2021 Бюл. № 2. Автор: Герасимов М.Д. Патентообладатель: ФОУ ВО "БГТУ им. В.Г. Шухова" (RU).

*Московкин Д.Н.**Научный руководитель: Хуртасенко А.В., канд. техн. наук, доц.**Белгородский государственный технологический университет**им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБНЫХ ОТВОДОВ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ ФОРМОВКИ

В современном мире ни один дом, крупное или мелкое предприятие не могут обойтись без систем коммуникации, в частности, газо- и водоснабжения. Передача энергоресурсов потребителю происходит посредством трубопроводов и сложных совокупных систем, суммарное количество которых в пределах одного предприятия будет больше, чем в нескольких домах. «Гибкость» системы обеспечивается путем использования соединительных элементов: отводов, тройников, переходов, фланцев, соединительных муфт. Особый интерес вызывает процесс изготовления таких элементов, в именно - горячая формовка.

Трубные отводы широко используются при строительстве трубопроводов и в технологических процессах. Изменяя направление трубопроводов, они позволяют соединять трубы под разными углами, что важно для оптимизации расположения систем и управления потоками жидкостей или газов.

Гамбургский процесс – метод производства отводов путем горячей формовки. Изготовленные таким способом, трубные колена имеют практически одинаковую толщину стенки. Производственный процесс состоит из гибочной оправки и подающего устройства, которое надвигает отрезки труб на оправку.

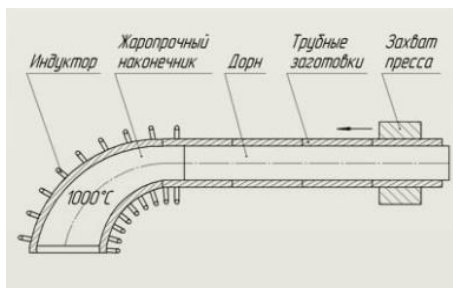


Рис.1 – Оборудование для производства трубных отводов

Этот метод горячей формовки основывается на 2 физических явлениях: индукционном нагреве и пластической деформации. Труба, подаваемая при помощи прессы на оправку, проходит через замкнутое переменное магнитное поле индуктора, в котором и происходит индукционный нагрев. Нагретый до высокой температуры металл более податлив деформации, что позволяет трубе, проходя по изогнутой оправке, принимать нужную форму отвода.

Равностенность изогнутой трубы обеспечивается тем, что протягиваемая труба-заготовка претерпевает одновременно ряд пластических деформаций, основными из которых являются крутой изгиб трубы и растяжение по диаметру, а также наличие калибровочного пояска на оборудовании. С внутренней стороны изгиба сердечника температуры нагрева изгибаемой трубы являются более высокими, чем с внешней стороны, что делает металл трубы-заготовки в этом месте более пластичным и обеспечивает одностороннее растяжение ее по диаметру.

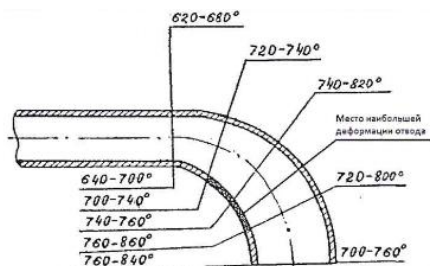


Рис.2 – Температурные режимы участков формовки

Более подробно рассмотрим процесс деформации заготовки в ходе ее формовки. Особое внимание нужно уделить разметке испытуемой заготовки, которая поможет впоследствии "точно" проанализировать перетекание материала. Заготовка поделена на квадраты при помощи температура стойкой краски. После окончания формовки можно сразу заметить, как изменилась геометрия разметки.



Рис.3 – Экспериментальная заготовка

Для анализа выберем 3 участка смежных ячеек, идущих по кругу, и пронумеруем их, взяв начальной ячейкой ту, которая находится с внутренней стороны отвода, на изгибе. Следует обратить внимание на то, что ячейки потеряли форму квадрата, и теперь выглядят подобно трапеции или прямоугольнику, что подтверждается проведенными измерениями сторон. Согласно известным формулам, произведем последовательно вычисление площади каждой ячейки. Толщина стенки заготовки равномерна на всем ее участке, и равна 4мм, поэтому вычислением объема можем пренебречь и для анализа взять только значения площади. В ПО MS Excel сформируем сводную таблицу, куда запишем полученные значения, а также выведем динамику изменения разметки и площади ячеек.

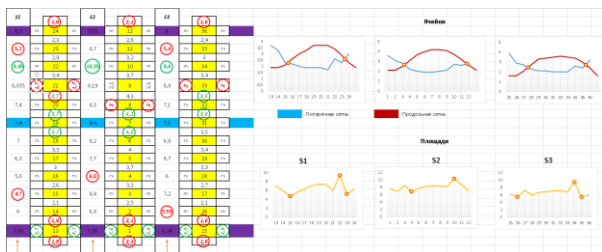


Рис.4 – Анализ полученных результатов

Измеренные значения представлены в виде "развертки": цифры в желтых ячейках дублируют номер ячейки на самом отводе, а значения вокруг них – длины сторон. В столбцах S1-S3 произведем вычисление площадей ячеек, а также выведем графики их изменения. Дополнительно построим графики изменения длины продольных сторон ячеек, идущих вдоль оси отвода, и поперечных сторон, идущих перпендикулярно его оси. Наибольшие и наименьшие значения

выделим, соответственно, зеленым и красным цветом.

Можно заметить, что изменение длин сторон подобно синусоиде, при этом продольные стороны увеличиваются и уменьшаются более плавно, в сравнении с поперечными. В двух критических точках, ближе к внутренней стороне отвода, наблюдается равенство сторон, что говорит о минимальной деформации в этих участках. На внешнем радиусе отвода зафиксированы максимальные значения продольных сторон ячеек, следовательно, растяжение материала здесь будет максимальным. С внутренней стороны отвода ситуация обратная, что свидетельствует о максимальном сжатии материала.

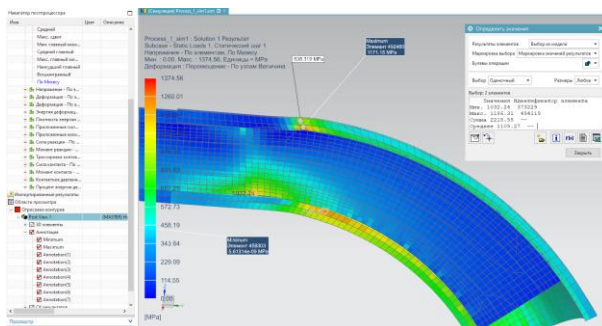


Рис.5 – 3D модель протекания деформации

Анализируя динамику изменения площадей, можно сделать вывод о том, что площади ячеек и их объем изменяются аналогично друг другу на каждом участке, а максимальные и минимальные значения находятся в тех же областях отвода. Это свидетельствует о равномерности распределения объема материала на протяжении всей длины отвода в его продольном направлении, на что так же указывает 3D модель, позволяющая отследить участки с равномерным течением деформации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дикманн У, Хомберг В. «Оптимизация конструкции оснастки для горячей гибки трубных колен» / Нюрберг, 2017 – 9 с.
2. Крайллич Д., Ловаш Й., Тамаш П. «Математическое моделирование процесса протяжки труб» / Кафедра механической технологии Будапештского Политехнического Университета / 1987 – 270с.

3. Воронкова М.Н., Хуртасенко А.В. «Автоматизированная конструкторско-технологическая подготовка в машиностроении» / Белгород, 2021 – 124с.

УДК 621.86

Пиотровский Д.А.

Научный руководитель: Модин Н.В., канд. техн. наук

Череповецкий государственный университет, г. Череповец, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХОВ

В настоящее время без грузоподъемных транспортно-технологических кранов не может обойтись ни одно современное промышленное предприятие. Начиная от малых цехов и заканчивая крупными металлургическими, химическими и др. предприятиями. В каждом из них используются грузоподъемные транспортно-технологические машины. При функционировании и развитии таких производств зачастую возникает вопрос о недостаточной производительности грузоподъемных транспортно-технологических машин. Неправильный подбор количества машин и механизмов, а также их характеристик зачастую может привести к снижению производительности предприятий и уменьшению их рентабельности.

Одной из причин недостаточной производительности кранов или их чрезмерно интенсивной работы, приводящей к частым выходам из строя, могут являться недочеты, допущенные при проектировании цехов: недостаточное количество кранов и передаточных устройств, нерациональный выбор их технических характеристик (грузоподъемность, скорости рабочих движений, подходы крюков кранов и т.д.), а также их нерациональная расстановка.

Сложность оценки интенсивности работы грузоподъемного оборудования обусловлена неточностью исходных данных на этапе проектирования: объёмы и номенклатура производства могут меняться с учетом ситуации на рынках, количество основных и вспомогательных операций может измениться при изменении номенклатуры выпускаемой продукции и совершенствовании технологии производства.

Требуемое количество кранов, перемещающих штучные грузы, определяется по формуле, [1]:

$$n = \frac{(\sum b_i \cdot t_i) \cdot k}{1440 \cdot K_0}, \quad (1)$$

где t_i – средняя длительность операции, мин; b_i – среднесуточное количество операций; k – коэффициент неравномерности ($k \geq 1$); K_0 – коэффициент использования крана по времени ($K_0 \leq 1$).

Формула позволяет получить предварительную оценку необходимого количества кранов. Более точный расчет выполняется с учетом особенностей технологии производства и объемно-планировочных решений проектируемых цехов, например, с использованием циклограмм и контактных графиков, определяющих условия согласованной работы технологических агрегатов и кранов [2].

Для обоснования количества циклов работы кранов с учетом особенностей компоновки цеха, и различных производственных ситуаций целесообразно использование имитационного моделирования. Имитационные модели позволяют моделировать сложные системы и процессы, которые трудно описать аналитически. Это особенно полезно для систем с высокой степенью неопределенности и многовариантности, таких как производственные линии, логистические сети и транспортные системы. Имитационные модели обеспечивают возможность безопасного проведения виртуальных экспериментов без затрат на реальные ресурсы и без риска нанесения ущерба реальной системе. Это особенно актуально в случаях проектирования новых и капитальных ремонтов существующих металлургических производств.

Структура имитационной модели включает в себя элементы и компоненты, которые позволяют точно воспроизвести поведение реальной системы в виртуальной среде. Имитационные модели позволяют анализировать различные сценарии работы производственной системы, более обоснованно выявлять распределение загрузки между кранами.

По результатам анализа грузопотоков и оценки характера и количества циклов уточняется требуемое количество кранов, производится окончательная расстановка кранов и передаточных тележек, секционирование главных троллеев, размещение ремонтных зон кранов, определяются требуемые скорости рабочих движений и группы режима работы кранов.

Рекомендуемые группы режима работы кранов приведены в ГОСТ 34017-2016 «Краны грузоподъемные. Классификация режимов работы», ГОСТ 33171-2014 «Краны грузоподъемные. Краны

металлургические и специальные» и в [3]. Для металлургических кранов и отдельных специальных кранов металлургического производства минимальные группы режима работы указаны в ФНП «Правила безопасности процессов получения или применения металлов».

Проверка соответствия группы режима работы крана условиям проектируемого производства выполняется согласно ГОСТ 34017-2016 и ИСО 4301/1-86, [3]. Группа режима работы крана зависит от класса использования и класса нагружения. Класс нагружения крана определяется величиной коэффициента спектрального распределения перемещаемых краном грузов K_p , определяемого по формуле:

$$K_p = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_i}{C_T} \times \left(\frac{P_i}{P_{max}} \right)^m \right] , \quad (2)$$

где C_i – среднее число рабочих циклов с частным уровнем массы груза P_i ; C_T – суммарное расчетное число циклов работы крана за расчетный срок службы; P_{max} – масса наибольшего груза, поднимаемого краном; n – число уровней частных масс груза; $m=3$.

Класс использования определяется величиной суммарного числа циклов работы крана за расчетный срок его службы, C_T .

Алгоритм определения группы режима работы может быть сформирован на основе традиционного выбора по классу использования и классу нагружения. Более эффективный алгоритм можно построить с использованием характеристического числа, широко используемого при оценке технического состояния действующих кранов [4].

Согласно работам [4], [5]:

- произведение класса использования на коэффициент нагружения называется характеристическим числом;
- произведение максимального числа циклов для данного класса использования на максимальный коэффициент нагружения для данного класса нагружения, называется нормативным характеристическим числом.

Характеристическое число характеризует выработку ресурса крана за заданное число циклов с заданными нагрузками.

В таблице приведены группы режима работы и соответствующие им диапазоны изменения характеристических чисел: для каждого сочетания класса использования и класса нагружения определены

произведения соответственно минимальных и максимальных значений коэффициента нагружения и числа циклов нагружения.

Расчетное характеристическое число, равное произведению расчетного числа циклов на расчетный коэффициент нагружения, не позволяет однозначно определить группу режима работы, т.к. диапазоны характеристических чисел, соответствующих смежным группам режима работы, пересекаются. Алгоритм определения группы режима работы целесообразно строить на использовании нормативного характеристического числа.

Исходными данными для расчёта является перечень перемещаемых краном грузов с указанием их масс и числа циклов по их перемещению в единицу времени, сформированная на основании проработки сценариев работы производственной системы.

Таблица 1 – Группы режима работы по ИСО 4301/1-86 и соответствующие им значения характеристического числа

Q2	Q1	Класс нагружения	Класс использования и соответствующее ему число циклов нагружения									
			Kp									
			U0	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
св. 0,125 до 0,25	св. 0 до 0,125		св. 0 до $16 \cdot 10^3$	св. $16 \cdot 10^3$ до $32 \cdot 10^3$	св. $32 \cdot 10^3$ до $63 \cdot 10^3$	св. $63 \cdot 10^3$ до $125 \cdot 10^3$	св. $125 \cdot 10^3$ до $250 \cdot 10^3$	св. $250 \cdot 10^3$ до $500 \cdot 10^3$	св. $500 \cdot 10^3$ до $1000 \cdot 10^3$	св. $1000 \cdot 10^3$ до $2000 \cdot 10^3$	св. $2000 \cdot 10^3$ до $4000 \cdot 10^3$	св. $4000 \cdot 10^3$
A1 (2000...8000)					A1 (0...7875)	A2 (0...15625)	A3 (0...31250)	A4 (0...62500)	A5 (0...125000)	A6 (0...250000)	A7 (0...500000)	
A2 (4000...15750)												
A3 (7875...31250)												
A4 (15625...62500)												
A5 (31250...125·10 ³)												
A6 (62500...250·10 ³)												
A7 (125·10 ³ ...500·10 ³)												
A8 (250·10 ³ ...1·10 ⁶)												
											A8 (0...∞)	

Q4	Q3
св. 0,5 до 1	св. 0,25 до 0,5
A2 (0...16000)	A1 (0...8000)
A3 (8000...32000)	A2 (4000...16000)
A4 (16000...63000)	A3 (8000...31500)
A5 (31500...125000)	A4 (15750...62500)
A6 (62500...250·10 ³)	A5 (31250...125000)
A7 (125·10 ³ ...500·10 ³)	A6 (62500...250·10 ³)
A8 (250·10 ³ ...1·10 ⁶)	A7 (125·10 ³ ...500·10 ³)
	A8 (250·10 ³ ...1·10 ⁶)

Укрупнённый алгоритм включает следующие этапы:

- расчёт числа циклов работы крана за срок службы C_T , определение класса использования и максимального числа циклов для класса использования C_T^{max} ;
- расчёт коэффициента спектрального распределения перемещаемых грузов, определение класса нагружения и максимального значения K_p для класса нагружения K_p^{max} ;
- расчёт нормативного характеристического числа $N_T^{норм} = C_T^{max} \cdot K_p^{max}$ и определение группы режима работы;
- определение расчётного характеристического числа $N_T = C_T \cdot K_p$.

Если расчётное характеристическое число близко к нормативному, существует риск, что при увеличении интенсивности работы кран отработает расчётный ресурс (по циклам нагружения) раньше календарного срока службы и срока окупаемости. В этом случае следует повторно проанализировать условия нагружения крана и, при подтверждении результатов, увеличить его группу режима работы.

Анализ условий нагружения грузоподъёмных кранов на стадии проектирования производственных цехов (в том числе с использованием технологии имитационного моделирования) создаёт условия для выбора оптимальной конструкции кранов, обеспечения их безопасной эксплуатации при обслуживании технологического процесса и исключить необоснованные затраты на стадии строительства цехов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Якушев А.М. Проектирование сталеплавильных и доменных цехов. - Москва: Металлургия, 1984 – 216 с.
2. Авдеев В.А., Друзян В.М., Кудрин Б.И. Основы проектирования металлургических заводов: Справочник. – М: Интермет Инжиниринг, 2002. – 464 с.
3. Проектирование и расчёт транспортно-технологических грузоподъёмных кранов для обслуживания предприятий металлургической промышленности: Справочное руководство/И.И. Абрамович, Н.В. Модин, Е.М. Певзнер. – М.: ВНИИПТМАШ, 2007 – 123 с.
4. Развитие методологии экспертных обследований грузоподъёмных кранов / Котельников В.С., Анисимов В.С., Зарецкий А.А., Короткий А.А. Безопасность труда в промышленности, №4, 2001г.
5. Назначение и применение регистраторов параметров эксплуатации кранов / Зарецкий А.А., Котельников В.С. и др. Безопасность труда в промышленности, №1, 2001г.

УДК 621.9

Севастьянов И.В., Бражник В.С., Ашихмин Э.А.
Научный руководитель: Анциферов С.И., канд. техн. наук., доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ГИБРИДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Гибридное производство представляет собой совокупность технологий, которые объединяют в себе различные методы изготовления изделий с целью преодоления их индивидуальных ограничений. История возникновения гибридного производства началась с развитием субтрактивных технологий, которые используются для удаления материала и создания желаемых форм, часто посредством фрезерования или токарной обработки. Объединение токарных и фрезерных операций позволило создать один из первых гибридных станков, которые соединяли в себе различные технологии. Появление аддитивных технологий дало новый импульс к развитию гибридного производства [1]. Вследствие этого возник новый метод производства, сочетающий в себе аддитивные и субтрактивные технологии. На рисунке 1 представлена классификация гибридных производственных технологий.



Рис. 1 – Классификация гибридных производственных технологий.

Как видно из рисунка 1 процессы последовательного гибридного производства подразделяются на две группы: те, которые соединяют в себе традиционные пути производства и процессы, которые объединяют этапы аддитивного производства и механической обработки в последовательность, предназначенную для производства деталей, которые невозможно получить с использованием данных процессов по отдельности [2]. Это позволяет обеспечить требуемую геометрическую, размерную и поверхностную чистоту участков.

Металлогибридное аддитивное производство синергически сочетает в себе аддитивные и субтрактивные технологии, чтобы сохранить их преимущества и отфильтровать ограничения, как показано на рисунке 2. Металлогибридное аддитивное производство реализует конечный объект в два этапа:

1. Построение его почти чистой формы в горизонтальных слоях;
2. Механическая обработка почти чистой формы до конечных размеров.



Рис. 2 – Гибридное производство (ГП): интеграция аддитивного (АП) и субтрактивного производства (СП).

В настоящее время, в связи с разработкой новых материалов с

лучшими механическими свойствами и меньшим удельным весом машиностроительная промышленность все чаще сталкивается с проблемой обработки этих материалов. В таких случаях гибридная технология является одним из решений данной проблемы. Применение гибридного производства позволяет уменьшить трудоемкость, энергозатраты, а также увеличить качество конечного продукта. Так, например, использование субтрактивных технологий с процессами формования обеспечивает более высокое качество поверхности готового продукта, а использование аддитивно-субтрактивного производства уменьшает стоимость изготовления и дает возможность работать с более сложной геометрией [3].

В авиакосмической промышленности с появлением аддитивного производства возникла возможность изготавливать более легкие и функциональные компоненты с применением генеративного дизайна, который ранее было трудно использовать ввиду того, что изделия имели сложные формы. Однако большим недостатком использования одних лишь аддитивных технологий является их невысокая точность, качество поверхности и прочность изделия по сравнению с традиционными методами. Объединение аддитивных и субтрактивных технологий позволяет преодолеть этот недостаток (Рис. 3).

Аналогично авиакосмической промышленности аддитивное производство нашло свое применение в медицине и позволило изготавливать протезы, имплантаты, ткани и органы человека. Однако ряд ограничений, в которые входит сложность моделей, и недостаточная точность их изготовления не дает возможности применения аддитивных технологий в полной мере. Появление же гибридного аддитивно-субтрактивного производства позволяет увеличить качество изготавливаемых изделий и преодолеть эти ограничения [4].



Рис. 3 – Реактивный двигатель, изготовленный с применением металлгибридного аддитивного производства.

Подводя итоги гибридные производственные технологии представляют собой трансформирующую силу в современном производстве. Они открывают новые горизонты для повышения качества и эффективности производства [5]. С активным развитием технологий можно ожидать, что гибридное производство продолжит исследоваться с целью преодоления трудностей его внедрения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rabalo, M. Hybrid additive and subtractive manufacturing: evolution of the concept and last trends in research and industry / M.A. Rabalo, A. Garcia-Dominguez, E.M. Rubio, M.M. Marin, B. de Agustina // *Procedia CIRP*. — 2023. — Vol. 118. — P. 741-746.
2. Sebbe, N.P.V. Hybrid Manufacturing Processes Used in the Production of Complex Parts: A Comprehensive Review / N.P.V. Sebbe, F. Fernandes, V.F.C. Sousa, F.J.G. Silva // *Metals - Open Access Metallurgy Journal*. — 2022. — Vol. 12. — P. 1874.
3. Lauwers, B. Productivity Improvement Through the Application of Hybrid Processes / B. Lauwers, F. Klocke, A. Klink, E. Tekkaya, R. Neugebauer, D. McIntosh // *Advances in Production Technology. Lecture Notes in Production Engineering*. Springer, Cham. — 2015. — P. 101-116.
4. Балякин А.В. Обзор гибридного аддитивного производства металлических деталей / А.В. Балякин, М.А. Олейник, Е.П. Злобин, Д.Л. Скуратов // *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. — 2022. — №2. — С. 48-64.
5. Архипова, Н.А. Методы механической обработки : учебное пособие для студентов специальностей 151001 - Технология машиностроения, 151003 - Инструментальные системы машиностроительных производств, 200503 - Стандартизация и сертификация / Н.А. Архипова, Т.А. Дуюн, А.В. Гринек ; Н.А. Архипова, Т.А. Дуюн, А.В. Гринек ; Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В.Г. Шухова. – Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т им. В.Г. Шухова, 2009. – 183 с. – EDN QNCWIX.

*Севастьянов И.В., Карачевцева А.В., Сычев Е.А.
 Научный руководитель: Анциферов С.И. канд. техн. наук, доц.
 Белгородский государственный технологический университет
 им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ТЕХНОЛОГИИ ГИБРИДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В современной промышленности различные технологии производства широко используются для изготовления продукции во многих промышленных секторах. Изготовление продукции выполняется посредством обработки на станках с ЧПУ, с помощью аддитивного производства или таких операций как формование, сварка и резка. Однако такие производственные операции имеют свои технологические ограничения, из-за которых они не всегда осуществимы для производства различных компонентов с точки зрения геометрии, размеров, прочности и т.д.

Исходя из этого гибридное производство можно рассматривать как одно из решений для данных проблем, так как оно является комбинацией двух или более производственных технологий. Целью разработки этих гибридных технологий является усиление их преимуществ и одновременная минимизация их недостатков [1].

Технологии гибридного производства в настоящее время можно классифицировать по различным критериям. Наиболее часто их разделяют по типу сочетаемых технологий. В данной классификации выделяют гибридные и субгибридные технологии (рис. 1). Под субгибридными понимаются технологии к которым относятся одни технологические процессы, например, (токарно-фрезерный станок).

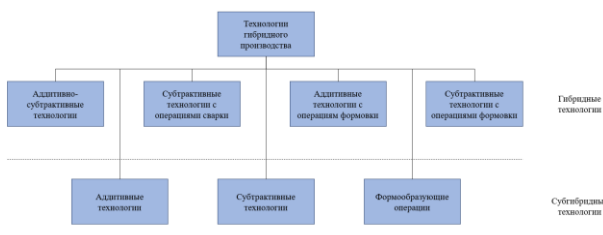


Рис. 1 – Классификация технологий гибридного производства

Аддитивно-субтрактивные технологии на сегодняшний день являются одними из самых популярных благодаря своей

универсальности, эффективности и способности решать сложные производственные задачи. С помощью аддитивных технологий происходит создание форм, близких к конечной, непосредственно с моделей САПР, а субтрактивные обеспечивают необходимую точность и чистоту поверхности.

В основном данный метод использует два способа осаждения, а именно лазерная наплавка и дуговая сварка. Также различают разные материалы, используемые в процессе, преимущественно порошок и проволоку [2]. Данная технология сохраняет плюсы аддитивного производства (короткое время цикла, полная автоматизация и сложные формы) и устраняет минусы (низкая точность, плохое качество поверхности) за счет применения субтрактивных технологий. Однако эта гибридная технология в настоящее время подходит только для мелкосерийного производства индивидуальных изделий, а не для массового производства.

В производстве применяются технологические процессы изготовления изделий при помощи гибридной производственной технологии лазерного осаждения металла с операциями обработки фрезерованием. Изготовление изделия происходит путем сплавления частиц порошка, подаваемого в фокальную область лазера с последующим его затвердеванием (Рис. 2), после чего следует обработка фрезерованием и процесс повторяется до тех пор, пока все слои не будут нанесены (Рис. 3) [3].

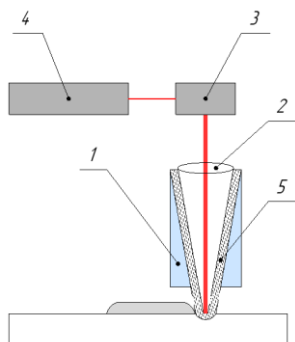


Рис. 2 – Лазерное осаждение металла.

Субтрактивные технологии и операции сварки, объединяют в себе технологические процессы удаления материала и соединения. Эта технология менее распространена, по сравнению с аддитивно-субтрактивной. В субтрактивных технологиях с операциями сварки

обработка изделий повышает возможности сварочных работ, обеспечивая высокий уровень отделки поверхности. Однако суммарные ошибки, вероятно, будут увеличиваться в течении всей операции.

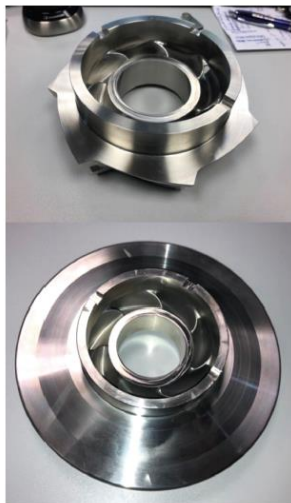


Рис. 3 – Рабочее колесо, изготовленное процессом лазерного осаждения металлов с механической обработкой.

Сочетание аддитивных технологий с операциями формовки находятся на начальной стадии развития и объединяют в себе технологии послойного нанесения материала и электроэрозионную обработку, резку, формовку и т.д. Однако при лазерной наплавке и электроэрозионной обработке более длительное время процесса может приводить к снижению производительности, что ограничивает ее дальнейшее развитие.

Комбинация субтрактивных технологий с операциями формовки является одной из самых распространенных. В этих процессах только один из участвующих процессов напрямую удаляет материал. Другой помогает в операциях по удалению материала, изменяя условия обработки, что благоприятно для процесса резки. Данная гибридная технология подходит для труднообрабатываемых материалов, например, керамики, композитов или суперсплавов. Однако, несмотря на огромные преимущества процесса он не увеличивает гибкость исходной операции [4]. Другими словами, если деталь не может быть обработана обычными процессами обработки с ЧПУ из-за недоступности инструмента, то гибридная субтрактивно-

преобразовательная технология не может изготовить его аналогичным способом.

Таким образом целью разработки гибридных производственных процессов, является обеспечение преимуществ составляющих операций при минимизации присущих им недостатков. Комбинации субтрактивных процессов в основном применяются при фрезеровании, точении, сверлении и шлифовании труднообрабатываемых материалов [5]. Благодаря высокому качеству поверхности, обеспечиваемому механической обработкой и электроэрозионной обработкой, они вносят основной вклад в удаление материала. С помощью ультразвуковой вибрации или лазерной резки в некоторой степени достигаются меньший износ инструмента, более высокая целостность поверхности и более короткие сроки производства. В итоге можно сделать вывод что аддитивные технологии взаимодействуют с процессами обработки и позволяют создавать практически чистые изделия со сложной формой и полной автоматизацией процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zhu.Z. A review of hybrid manufacturing processes – state of the art and future perspectives / Z. Zhu, V. G. Dhokia, A. Nassehi, S. T. Newman // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. — Vol. 26. — Issue 7. — 2013. — P.596–615.

2. Балякин А.В. Обзор гибридного аддитивного производства металлических деталей / А.В. Балякин, М.А. Олейник, Е.П. Злобин, Д.Л. Скуратов // *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. — 2022. — №2. — С. 48-64.

3. Rettberg, R. Hybrid Manufacturing: A New Additive Manufacturing Approach for Closed Pump Impellers / R. Rettberg, T. Kraenzler // *Industrializing Additive Manufacturing*. — 2020. — P. 146-159.

4. Grzesik, Wit. Hybrid machining processes. Definitions, generation rules and real industrial importance / Wit. Grzesik // *Mechanik*. — 2018. — Vol. 91. — P. 338-342.

5. Дуюн, Т.А. Разработка технологических процессов : учебное пособие для студентов специальности 171600 - Механическое оборудование и технологические комплексы предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / Т.А. Дуюн ; Т.А. Дуюн ; Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В.Г. Шухова. – Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2007. – 140 с. – EDN QNBXBP.

Соболев Е.С., Тесличко А.Т.

Научный руководитель: Бондаренко Ю.А., д-р техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ ПО СБОРКЕ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ЖИДКОМ ТЕХНИЧЕСКОМ АЗОТЕ

Метод напрессовки деталей охватывающей на охватываемую в жидком техническом азоте представляет собой разновидность слесарно-сборочной операции, обеспечивающий сопряжение деталей с натягом методом прессового соединения с применением охлаждения деталей в жидком техническом азоте. Жидкий азот, применяемый для охлаждения деталей при производстве неподвижных посадок, представляет собой жидкость без цвета и запаха с температурой кипения минус 196⁰С.

Охлаждение деталей производится следующими способами:

- без соприкосновения с жидким азотом;
- путем непосредственного охлаждения жидким техническим азотом.

Как правило, следует применять первый способ охлаждения деталей т.е. без соприкосновения их с жидким азотом.

Учитывая большие габариты деталей и малое количество одновременно выполняемых соединений с натягом, в которых охватываемая деталь термически не обработана, более целесообразным является непосредственное охлаждение деталей жидким азотом. В связи с этим обращение с жидким азотом требует соблюдения требований безопасности. В жидком техническом азоте не должно содержаться более 4 процентов жидкого кислорода в соответствии с ГОСТ 9293. При испарении азота содержание кислорода в нем увеличивается, так как кислород испаряется медленнее, температура кипения жидкого кислорода минус 183⁰С. Содержание кислорода в жидком азоте свыше 30 процентов становится опасным, т.к. может произойти воспламенение или взрыв при попадании масла, ударе. Поэтому применять жидкий азот с содержанием кислорода свыше 30 процентов - запрещается.

Транспортировка и хранение жидкого азота производится в сосудах Дьюара (Рис.1).



Рис.1 – Сосуд Дьюара

После транспортировки азота, перед началом работ, он переливается в специальные ванны (Рис.2) соблюдая требования безопасности. Жидкий азот для охлаждения деталей должен заливаться в загруженную ванну при снятой крышке так, чтобы избежать его разбрызгивания и бурного вскипания.

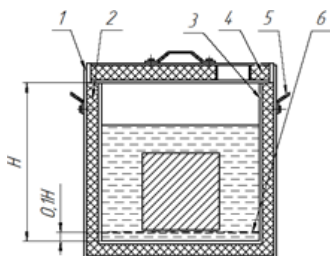


Рис. 2 – Ванна для охлаждения деталей путем погружения их в жидкий азот: 1 – кожух; 2 – теплоизоляция; 3 – внутренняя часть ванны; 4 – крышка; 5 – ручка; 6 – решетка;

Деталь погружается и вынимается из ванны с жидким азотом при помощи клещей (Рис.3).

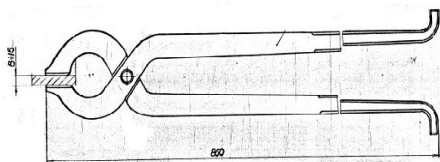


Рис. 3 – Клещи для выгрузки деталей из ванны с жидким азотом

Для удобства сборки сопрягаемые детали, на основании разрабатываемого техпроцесса, должны иметь небольшие приемные фаски под углом от 10 до 20 градусов.

Охлаждаемые детали должны быть полностью покрыты жидким азотом.

Уровень азота должен превышать поверхность деталей на 50-100 мм для того, чтобы испарение азота в процессе охлаждения деталей не привело к их оголению.

Охватываемая деталь при выполнении операции сборки должна занимать такое положение, чтобы ось сопрягаемого отверстия была расположена вертикально.

Посадочная поверхность у охватываемой детали должна быть тщательно очищена от грязи и масла чистой ветошью.

Охватываемые детали перед загрузкой в ванну с жидким азотом, но не позднее, чем за месяц до начала работ должны быть обезжирены на специальном участке химической очистки в зависимости от марки материала.

В (Табл. 1) приведены коэффициенты сжатия некоторых металлов и сплавов при различной степени охлаждения.

Таблица 1 – Коэффициенты сжатия некоторых металлов и сплавов

Марка материала	Интервал температуры, °C		
	-50 +20	-100 +20	-190 +20
	Коэффициент термического сжатия		
СТЗ	10,8	10,5	9,2
45	10,7	10,4	8,9
20Х	10,5	9,7	8,5
40Х	11,1	10,6	9,3
2ХГЗ	10,0	9,6	8,4
Х18Н9Т	14,8	14,3	14,1
СЧ 18-92	11,2	10,0	8,6
БРАМЦ 9-2	18,8	16,5	14,5
ОФ 10-1	20,8	16,0	14,2

Преимущества запрессовки по сравнению с крепежными соединениями особенно ярко проявляются при необходимости скрепления тонколистовых материалов, либо фиксации на них других объектов. Данная технологическая операция нашла широкое применение в машиностроительной отрасли, приборостроении, автомобильной индустрии. К числу основных достоинств запрессовки относят:

- высокая степень сопротивляемости нагрузкам, работающим на отрыв и кручение;
- отсутствие выступаний на торцевых поверхностях после запрессовки;
- для фиксации не требуется дополнительных элементов крепежа;
- упрощение технологического процесса сборки конструкции за счёт уменьшения количества операций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Официальный сайт АО «ПО «Севмаш» [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.sevmash.ru>
2. Библиотека отдела технического обучения АО «ПО «Севмаш».
3. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]. В двух томах, под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1985.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Изд. 3, переработанное. Под ред. д.т.н. А.Н. Малова. М, «Машиностроение», 1972.

УДК 67.02

Холодова Н.С., Холодов В.О.

***Научный руководитель: Воронкова М.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕЗКИ МАТЕРИАЛОВ

В наше время резка материалов является прогрессивной технологией металлообработки в машиностроение. Данный процесс представляет собой снятие материала с металлических заготовок для получения изделий нужной формы и размера. Резка материалов состоит из разнообразной техники и инструментов, каждая из которых подходит для различных типов металлов и областей их применения. Современные научные достижения способствуют развитию новых методов обработки металлов и внедрению технологий, позволяющих работать без потерь.

В данный момент существует разнообразные технологии резки материалов. В общей сложности разновидности делятся на две группы:

1. Стандартные способы механического резания.
2. Инновационные методы физико-механической и термической резки.

Принцип обработки изделий с использованием механических методов заключается в изменении их внешних параметров при помощи специальных инструментов. Наиболее распространенными способами механической резки являются использование ножовочных полотен, ленточных пил, гильотинных ножниц и фрезерных станков.

При использовании традиционного механического метода резки обеспечивается сохранность покрытия и структуры материала в зоне реза. Оборудование для механической резки легко обслуживать и ремонтировать, не требует высокой квалификации оператора. Однако основные недостатки этого метода заключаются в низкой производительности, недолговечности режущего инструмента и невозможности выполнения сложных криволинейных контуров при раскрое материалов. [1]

Использование механических способов раскроя листового материала существенно увеличивает себестоимость изготавливаемой продукции, а, следовательно, понижает конкурентоспособность предприятия.

На сегодняшний день физико-механические методы являются наиболее востребованными на металлообрабатывающих предприятиях. Существует несколько методов резки металлов, таких как плазменная, лазерная и гидроабразивная. Хотя они более эффективны, чем другие механические методы, у каждого из них есть свои ограничения и области применения.

Плазменная резка. Впоследствии развития современных технологий предоставилась возможность обрабатывать металлические изделия плазменной резкой. Процесс плазменной резки построен на локальном расплавлении металла и выдуванием жидкого металла потоком плазмообразующего газа. В данных условиях используется плазма – поток газа, который превращается в инструмент для взаимодействия с металлом. Для реализации высококачественных результатов следует добавить газ, который начнет ионизироваться, создавая плазменную струю. Образованная струя обладает температурой до $+30\ 000^{\circ}\text{C}$, что дает возможность резать метал с предельной точностью и большой скоростью. Основным элементом плазменной резки считается газ. Он добавляется в рабочую область, где взаимодействует с электрической дугой, образуя плазму. В процессе используются различные типы газов, включая газы, такие как аргон, водород, кислород, а также их комбинации, обладают уникальными свойствами и применяются в зависимости от типа металла, его толщины и характеристик обрабатываемого объекта. Плазменная резка позволяет обрабатывать черные и цветные металлы, а также сплавы толщиной до

100 мм.

К преимуществам плазменной резки можно отнести то, что отсутствуют механические деформации на материале, малые трудозатраты на обслуживание, высокая скорость работы, чистый и аккуратный рез, точная вырезка углов и скруглений с малыми диаметрами, возможность резки толстых материалов и универсальность в работе с различными марками материала, от стали до меди, алюминия, титана. Вместе с тем у вышеупомянутого способа есть и ряд недостатков – шумный процесс во время работы, высокая вероятность искрения, затраты на расходный материал (сопла и электроды), воздействие на окружающую среду, существенные капиталовложения на приобретение оборудования.

Необходимо отметить, что плазменная резка является одним из самых эффективных способов обработки материалов благодаря своей точности и скорости. Это позволяет снизить стоимость производства детали, поскольку в большинстве случаев после обработки нет необходимости в дополнительной механической обработке, что позволяет уменьшить число операций в технологическом процессе.

Лазерная резка. Технология построена на локальном испарении металла при нагреве его лучом лазера. Лазерный луч, который генерируется специальным резонатором, усиливает свет путем стимулированного излучения. Затем луч проходит через зеркала и линзы, сфокусированный на материале, что позволяет плавить и прожигать его, создавая нужный разрез. программное обеспечение автоматического управления регулирует движение лазерного луча в соответствии с заданной траекторией.[2]

Данный метод резки металла широко применяется в заготовительном производстве при раскрое тонколистовых материалов. При резке листов средней толщины, нередко в зону обработки осуществляется подача газа (аргон, кислород, азот, атмосферный воздух или гелий) с целью сокращения расхода энергии. Газ, подаваемый под давлением, способствует интенсивному горению, а также убирает продукты расплавления, увеличивает производительность, охлаждает прилегающие зоны не подверженные обработке.

К достоинствам лазерной обработки можно отнести универсальность, высокую точность, чистые и точные срезы, быстрый и эффективный процесс, с высокой скоростью резки.

Однако при лазерной резке существует предел по толщине обработки заготовок. При резке высокоотражающих металлов, таких как медь или латунь, сокращается производительность, так как происходит отражение лазерного луча. Для поддержания постоянной и

непрерывной работы, оборудование лазерной резки нуждается в постоянном обслуживании, в том числе чистке и калибровке.

За счет разнообразия применений и достоинств, лазерная обработка является распространенным и производительным способом резки материалов.

Гидроабразивная резка. В данном методе обработке режущим инструментом выступает струя воды. В большинстве случаев для выполнения высокоточных операций, необходимо смешать воду с абразивными материалами. Абразивные вещества повышают режущие свойства жидкости. Мелкозернистая абразивная струя в большинстве случаев включает в себя смесь гранатового песка. Резание металлов осуществляется довольно быстро: заготовки располагаются в специализированной ванне, заполненной водой, для предотвращения скольжения необходимо зафиксировать. Далее интенсивно подаётся вода. Смесь проникает через водяное сопло режущей головы, перемешивается с гранатовым песком и сквозь абразивное сопло подается в зону реза. Термического воздействия не оказывается, что позволяет получить более ровный и гладкий срез. [3]

Абразивная резка материалов с применением воды используется при обработке легированных сталей. Резка осуществляется для металлов толщиной более 300 мм, а также осуществляется по сложному контуру – с точностью до 0,025-0,1 мм.

У этого способа обработки металла есть ряд достоинств: экологическая чистота процесса, возможность пакетной резки, широкий спектр использования, равномерный и высококачественный рез, отсутствие деформации и термического воздействия на материал в зоне реза, поскольку не используются высокие температуры. К минусам данной технологии относится повышенный уровень шума, высокая стоимость оборудования, меньшая скорость резания по сравнению с плазменной или лазерной методикой.

Данный метод обработки востребован в различных отраслях: строительной, машиностроение, электротехнической промышленности, инструментального производства, авиации и аэрокосмической промышленности.

Таким образом, критерии сравнения рассмотренных технологий возможно генерировать по скорости резания, по точности и качеству реза на поверхности, по максимальной толщине материала, по стоимости производственного оборудования.

Преимущественное распространение включая всех технологий резки материалов получила лазерная обработка, вызвано рядом условий: благодаря раннему внедрению данной технологии в

промышленное производство, крупносерийному изготовлению высокоавтоматизированных лазерных технологических устройств.

Плазменная резка имеет наибольшую производительность, а следовательно и наибольшую эффективность, но тем не менее и наименьшее качество реза, чем у лазерного или гидроабразивного раскроя материала. Преимущественно технология используется в качестве способа реза толстолистовых заготовок.

Весьма развивающейся технологией считается гидроабразивная обработка. Обладая меньшей эффективностью, обеспечивает рез более высокого качества, к тому же не проявляется термическое воздействие на материал изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шрубченко, И.В. Разработка технологических процессов в машиностроении: учебное пособие / И. В. Шрубченко, А.А. Погонин, А. А. Афанасьев. – Москва: ИНФРАМ-М, 2022. – 176 с. – DOI 10.12737/1816759.

2. Афонькин, М.Г. Производство заготовок в машиностроении / М.Г. Афонькин, М.В. Магницкая. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1987. – 256 с.

3. Голдобина, В.Г. Проектирование и производство заготовок: учебное пособие / В.Г. Голдобина. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018-394 с.

УДК 621.926

Чесноков И.А.

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Процессы дробления и измельчения в агломерационном производстве играют ключевую роль на различных стадиях технологических операций, существенно влияя на технико-экономические характеристики агломерации шихтовых материалов, используемых для доменной плавки. Эффективность эксплуатации оборудования для фракционной подготовки материалов характеризуется такими показателями, как производительность

дробильных машин, энергоемкость, степень измельчения исходного материала, степень замельченности конечного продукта и износ рабочих элементов, вызванный их взаимодействием с обрабатываемым материалом [1]. Эти факторы существенно влияют как на эксплуатационные характеристики оборудования, так и на качество технологического процесса спекания агломерата, включая такие параметры, как степень измельчения, наличие крупной фракции и замельченность продукта после дробления [2–4].

Несмотря на разнообразие конструктивных и технических решений дробильных машин, применяемых для измельчения рудных и каменных материалов в условиях черной металлургии, наибольшее распространение получили молотковые, валковые и щековые дробилки. Каждая из них использует специфические методы воздействия на материал, такие как удар, раздавливание и излом, которые обладают своими преимуществами и недостатками и подбираются в зависимости от физических и механических свойств обрабатываемого материала для достижения заданных размерных характеристик конечного продукта.

Комплексное исследование процессов дробления и измельчения, а также оборудования, использованного для этих целей, было взято на примере агломерационного цеха предприятия НЛМК (Новолипецкий металлургический комбинат).

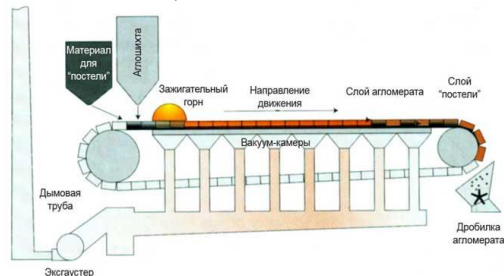


Рис. 1 – Схема конвейерной агломерационной машины предприятия НЛМК

В частности, молотковые дробилки, используемые для дробления флюсов (таких как известняк, доломит, мел), разрушают материал за счет свободного удара молотков по куску и истирания его о колосниковую решетку. Четырехвалковые дробилки захватывают и раздавливают твердое топливо (кокс, уголь) с помощью вращающихся валков, а в одновалковой дробилке сочетаются раздавливание и излом агломерационного пирога посредством взаимодействия ротора с колосниками.

Хотя используемые дробилки обеспечивают требуемые параметры для аглодоменного процесса, их применение сопровождается рядом недостатков, влияющих на технико-экономические показатели и ухудшающих качество и эффективность процесса спекания. Для повышения эффективности дробильных машин и оптимизации фракционного состава шихтовых материалов в процессе подготовки следует решить следующие задачи:

Оценка способов разрушения для различных материалов с целью снижения энергоемкости и получения оптимальной фракции дробленых частиц.

Определение влияния физических и механических свойств материала на основные показатели измельчения.

Исследование зависимости основных характеристик работы дробилки от режимов загрузки.

На основе полученных данных производится разработка конструктивно-технологических параметров для рабочих органов и узлов дробилок. В частности, для молотковых дробилок характерны такие недостатки, как значительный износ рабочих элементов, замельченность продукта и высокая энергоемкость процесса, что обусловлено недостаточной эффективностью использования ударного действия молотков. Четырехвалковые дробилки сталкиваются с проблемой износа валков и высоким содержанием мелкой фракции, возникающей при проскальзывании крупных кусков материала по поверхности валков. В одновалковой дробилке при дроблении аглоспека образуется большое количество мелочи, которая возвращается в шихту, что также снижает эффективность процесса.

Также общими недостатками для всех типов дробильных машин являются ограничения по размеру загружаемого материала и пропускная способность оборудования. В данной связи предлагается ввести метрическую характеристику, показывающую предельное количество материала, которое может быть переработано за единицу времени. Превышение этой величины приводит к ухудшению качественных характеристик продукта, износу рабочих органов и в ряде случаев к аварийным остановкам.

Анализ использования различных фракций компонентов шихты в процессе спекания показывает, что на эффективность процесса значительное влияние оказывают крупность топлива и флюсов. Например, шихта, не содержащая пылевидной фракции топлива, позволяет достичь более высокой температуры, увеличить выход годного продукта и снизить расход топлива. При уменьшении доли фракций флюсов, превышающих допустимый диапазон, ускоряется их

диссоциация, что улучшает прочность агломерата и снижает содержание мелочи.

Эффективность агломерационного процесса напрямую зависит от качества фракционной подготовки шихтовых материалов, а значит, и от выбора способов разрушения в зависимости от особенностей материалов. При дроблении флюсов и твердого топлива необходимо минимизировать процесс истирания и усилить ударные и раздавливающие воздействия, тогда как при дроблении аглоспека важно увеличить влияние излома. Достижение этой цели возможно при детальном анализе и доработке конструктивных параметров дробильного оборудования на основе проведенного комплексного исследования.

Таким образом, эффективность агломерационного производства можно повысить путем реализации мероприятий, направленных на улучшение работы дробильных машин, что позволит минимизировать влияние неблагоприятных факторов в процессе фракционной подготовки в агломерационном производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архипова, Н.А. Методы механической обработки : учебное пособие для студентов специальностей 151001 - Технология машиностроения, 151003 - Инструментальные системы машиностроительных производств, 200503 - Стандартизация и сертификация / Н.А. Архипова, Т.А. Дуюн, А.В. Гринек ; Н.А. Архипова, Т.А. Дуюн, А.В. Гринек ; Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В.Г. Шухова. – Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т им. В.Г. Шухова, 2009. – 183 с. – EDN QNCWIX.

2. Основы технологического проектирования в машиностроении : Учебное пособие / Т.А. Дуюн, И.В. Шрубченко, А.В. Хуртасенко [и др.]. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова|ЭБС АСВ, 2013. – 268 с. – EDN XNAEUT.

3. Вайсберг, Л.А. Дробильно-измельчительное оборудование вибрационного действия для переработки сырья и промышленных отходов / Л.А. Вайсберг, А.Н. Сафронов // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23, № 7. – С. 4-9. – DOI 10.18412/1816-0395-2019-7-4-9. – EDN ROWTQH.

4. Белов, Н.В. Повышение энергоэффективности приводных систем дробильно-измельчительного оборудования / Н. В. Белов, О.А. Груздова, М.Б. Бородин // Современные проблемы горно-

металлургического комплекса. Наука и производство: XVII Всероссийская научно-практическая конференция, Старый Оскол, 15–16 декабря 2020 года. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2021. – С. 206-211. – EDN QIZLFY.

5. Кузнецов, В.Е. Многоцикловое и высокочастотное нагружение материала в дробильно-измельчительных процессах и оборудование для его реализации / В.Е. Кузнецов, Е.В. Кузнецов, П.К. Бондаренко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2006. – № 2. – С. 47-50. – EDN NWZYLT.

Оглавление

Воронков И.Е., Воротынцев Д.Д., Павлаков А.А.

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	3
---	---

Гаврилов Р.В.

ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОРЛОВИН В ТРУБНЫХ ЗАГОТОВКАХ. МНОГОПЕРЕХОДНАЯ ШТАМПОВКА	8
--	---

Годовикова Д.А.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИВОДНЫХ ЗВЁЗДОЧЕК ПОЛУЧАЕМЫХ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКОЙ	14
--	----

Грибеников А.Е., Польшин А.А., Мальцев А.К.

ПОДДЕРЖИВАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ МЕТОДОМ SLM.....	18
---	----

Грибеников А.Е., Польшин А.А., Тихонов А.А.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И НАСТРОЙКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОДДЕРЖЕК ПРИ SLM ПЕЧАТИ.....	22
---	----

Дашкевич Е.М., Шатунов М.С.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ В СУДОСТРОЕНИИ	26
--	----

Дуюн И.А.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В УПРАВЛЕНИИ БПЛА.	30
---	----

Звягин И.П.

УЛУЧШЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА МАСЛЯНОГО НАСОСА С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА	35
--	----

Катаев В.В., Петухов Е.А., Катаев А.В.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	39
---	----

Козлова Е.О.

ОБРАБОТКА ТОЧНЫХ РАЗМЕРОВ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ	43
Колебакин М.М., Смирнова Е.В., Цывкунова С.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОДУЛЕЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА СОВРЕМЕННЫХ САПР	47
Мелентьев Н.А., Грибеников А.Е.	
ПОЛУЧЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ С КОЭФФИЦИЕНТОМ АСИММЕТРИИ ВЫНУЖДАЮЩЕЙ СИЛЫ $k_{ac} = 3,0$ МЕТОДОМ ПЕРЕБОРА ДАННЫХ.....	51
Московкин Д.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБНЫХ ОТВОДОВ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ ФОРМОВКИ.....	56
Пиотровский Д.А.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХОВ.....	60
Севастьянов И.В., Бражник В.С., Ашихмин Э.А.	
ГИБРИДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	65
Севастьянов И.В., Карачевцева А.В., Сычев Е.А.	
ТЕХНОЛОГИИ ГИБРИДНОГО ПРОИЗВОДСТВА	69
Соболев Е.С., Тесличко А.Т.	
ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ ПО СБОРКЕ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ЖИДКОМ ТЕХНИЧЕСКОМ АЗОТЕ	73
Холодова Н.С., Холодов В.О.	
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕЗКИ МАТЕРИАЛОВ	76
Чесноков И.А.	
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	80