

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»
Всероссийский фестиваль науки
Областной фестиваль науки



Сборник докладов

Часть 7

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

Белгород

13-14 октября 2022 г.

УДК 005.745
ББК 72.5
М 43

**XIV Международный молодежный форум
«Образование. Наука. Производство»: эл. сборник
докладов [Электронный ресурс]: Белгород:
М 43 БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – Ч. 7. – 53 с.**

ISBN 978-5-361-01063-9

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения XIV 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

ISBN 978-5-361-01063-9

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2022

Оглавление

Васина А.Ю.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА В
КАЧЕСТВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СТУПЕНИ ОЧИСТКИ
ВОЗДУХА В ОКРАСОЧНЫХ КАМЕРАХ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА 4

Веретенников В.С., Колтыков Я.С.

КРОМКОФРЕЗЕРНАЯ МАШИНА 8

Воротынцев Д.Д., Воронков И.Е.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ
РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТАНКОВ 13

Григоренко А.А.

ПОЛИГОНАЛЬНОЕ ТОЧЕНИЕ В МАССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
..... 22

Дмитриев И.Л.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ 27

Дмитриев И.Л.

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ 32

Дмитриев И.Л.

СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА ДАВЛЕНИЕМ 37

Колтыков Я.С., Веретенников В.С., Лукьянов Р.Ю.

СБОРКА, СВАРКА И МОНТАЖ ЦЕЛЬНОСВАРНОГО КОРПУСА
ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ 42

Лукьянов Р.Ю., Рябоконт М.А., Воронков И.Е.

МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ
ПОДШИПНИКОВ В ЛЕНТОЧНОМ КОНВЕЙЕРЕ 47

Одобеско И.А., Прокопов М.В.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ЭКСТРУДЕРОМ ДЛЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ПЕЧАТИ 51

УДК 697.9

Васина А.Ю.

Научный руководитель: Зинуров В.Э., асс.

Казанский государственный энергетический университет,

г. Казань, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА В КАЧЕСТВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СТУПЕНИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ОКРАСОЧНЫХ КАМЕРАХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В производстве автомобилей самым энергоемким процессом является стадия окраски, где главным потребителем электроэнергии выступают системы управления, подающие воздух в покрасочные камеры [1]. Главная задача этих систем - контроль температуры и влажности, регуляция которых обеспечивает качество окраски и предотвращает появление дефектов. Это позволяет избежать дополнительных затрат на переработку, а также поддерживать оптимальные микроклиматические условия [2]. Современными производителями предлагается множество вариантов исполнения покрасочных камер, в зависимости от цели использования, особенностей климата, технических параметров, обслуживания оборудования, подбора фильтроматериалов. Воздушные фильтры, которые используются для очистки примесей в воздухе, бывают различной конфигурации и имеют разный срок службы. В связи с этим обслуживание окрасочной камеры осуществляют исходя из интенсивности использования. Фильтры тонкой очистки при этом не подлежат восстановлению, а фильтры грубой очистки можно продувать и использовать повторно для экономии средств, но делать это более раза не рекомендуется [3].

Автомобильная краска содержит в себе вредоносные соединения, среди которых опасность для здоровья человека представляют пигменты, содержащие тяжелые металлы (свинец, ртуть, мышьяк, кадмий и др.) [4, 5]. Кроме того, распыляемая краска потенциально легко воспламеняется, поэтому утилизировать фильтры необходимо правильно, в соответствии с экологическими требованиями, во избежание нанесения вреда окружающей среде. Из-за большого количества добавленных химических веществ лакокрасочный шлам, образующийся в результате распыления, не подлежит восстановлению и обычно отправляется на свалки опасных отходов или сжигается.

Мероприятия, связанные с мониторингом и снижением

негативного воздействия отходов производства на окружающую среду связаны с экономическими затратами на дорогостоящие фильтрующие элементы. Поэтому технические решения, позволяющие решить указанную проблему, и позволяющие повысить эффективность и экологичность процесса, продлевая срок службы фильтроматериалов, востребованы предприятиями [6].

В качестве потенциального решения проблемы продления срока службы фильтров предлагается использование мультивихревого сепаратора для улавливания мелкодисперсных частиц из потока воздуха. Устройство предлагается использовать перед фильтрами, что продлит их эксплуатационный ресурс. Результаты исследований его работы могут быть использованы для решения задач сокращения средств на оплату электроэнергии, закупку и монтаж фильтров грубой и тонкой очистки при эксплуатации системы вентиляции окрасочной камеры.

В мультивихревом сепараторе запыленный газовый поток поступает во внутреннюю часть сепарационных элементов 4 через прорези квадратной формы в основании 2. Далее поток постепенно проходит через прямоугольные прорези 5 и попадает в область между сепарационными элементами 4, где каждая струя газа после прохождения через прямоугольную прорезь 5 разделяется на два потока, каждый из которых движется в противоположную относительно друг друга сторону, образуя два вихря маленького диаметра. Это позволяет получить центробежные силы, значения которых достаточны для выбивания из потока частиц размером менее 10 мкм. При вращении множества маленьких вихрей частицы выбиваются из потока и попадают на поверхность стенок сепаратора, приликая к ним. Для упорядочивания вихревой структуры в съемной крышке 3 проделаны круглые отверстия 6 [7].

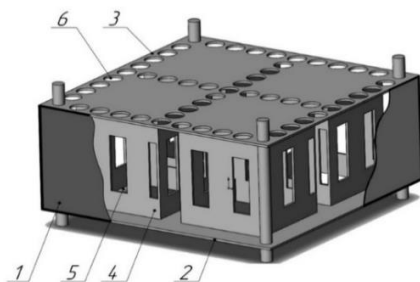


Рис. 1 Трехмерная модель мультивихревого сепаратора: 1 – обечайка устройства; 2 – основание устройства; 3 – съемная крышка; 4 – сепарационные элементы; 5 – прямоугольные прорези; 6 – круглые отверстия

При проведении эксперимента использовались две различные марки наполных фильтров, применяемых на предприятиях ООО «КАМАТЕК» для удаления твердых загрязнений. Улавливание из загрязненного потока наиболее крупных частиц проводилось фильтрами грубой очистки – Volz filter MRGrun3-20-75 Paint stop G3. После запыленный поток поступал в фильтры тонкой очистки – Zauber Air серии 500M.

Для исключения погрешностей использовалось по три образца каждого из фильтров грубой и тонкой очистки (чистого и отработанного). Общее количество образцов фильтров составило 12 шт.

Для определения расчетной скорости была собрана экспериментальная установка, представленная на (рисунок 2).

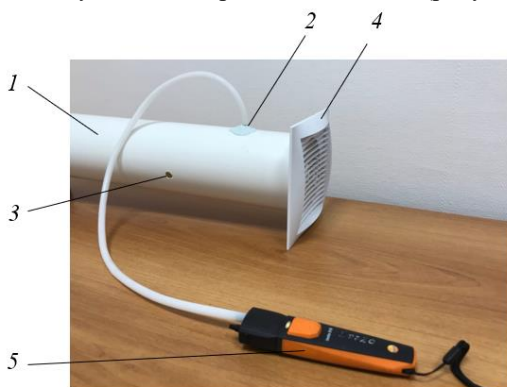


Рис. 2 Экспериментальная установка: 1 – воздуховод; 2 – патрубок для измерения избыточного давления; 3 – отверстие для сброса воздуха; 4 – вентиляционная решетка; 5 – дифференциальный манометр testo 510i

Воздух, нагнетаемый с помощью вентилятора, двигаясь по воздуховоду 1, проходил через исследуемый образец фильтра, установленный перед вентиляционной решеткой 4, и через нее попадал в окружающую среду. Скорость воздуха варьировалась открытием отверстия для сброса воздуха 3 и переключением режимов работы вентилятора. Числовые значения перепада давления фиксировались дифференциальным манометром 5 в режиме реального времени и передавались на персональный компьютер. Скорость газового потока измерялась в воздуховоде с помощью анемометра testo 405i.

Если фильтр забивается, перепад давления на нем увеличивается, что приводит к уменьшению давления в окрасочной камере:

$$\Delta p = p_5 - p_0,$$

где p_5 – избыточное давление в воздуховоде, Па; p_0 – атмосферное давление окружающей среды, Па.

Результаты исследований показали, что при использовании отработанных фильтров грубой очистки перепад давления в воздуховоде был больше в среднем в 3,24 раза относительно чистых фильтров грубой очистки. При использовании отработанных фильтров тонкой очистки перепад давления в воздуховоде был больше в среднем в 1,33 раза относительно чистых фильтров грубой очистки. Перепад давления в воздуховоде при использовании отработанных и чистых фильтров грубой очистки составляет в среднем 1597 и 493 Па соответственно. Сравнение перепада давления в воздуховоде при использовании различных фильтров показывает, что основная доля частиц в потоке воздуховода окрасочных камер представляет собой относительно крупные частицы, являющиеся причиной быстрого забивания фильтров [8]. В таком случае, применение мультивихревого сепаратора может существенно продлить остаточный срок службы фильтров.

Мультивихревой сепаратор может быть использован для снижения экономических затрат при обслуживании камер и увеличения эксплуатационного срока службы фильтров. На основе данных по изменению перепада давления в воздуховоде будет исключена вероятность не рекомендованных режимов работы окрасочной камеры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rivera J.L., Reyes-Carrillo T. A life cycle assessment framework for the evaluation of automobile paint shops // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 115. pp. 75–87.

2. Giampieri A., Ma Z., Ling-Chin J., et al. A techno-economic evaluation of low-grade excess heat recovery and liquid desiccant-based temperature and humidity control in automotive paint shops // *Energy Conversion and Management*. 2022. Vol. 261. pp. 115654.

3. Фаскиев Р.С. Мониторинг режимов вентиляции окрасочно-сушильных камер для ремонтной окраски автомобилей // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2014. № 10(171). С. 206–212.

4. Joseph R. Ventilation and paint filtration requirements for spray booths // *Metal Finishing*. 2007. Vol. 105, N7-8. pp. 82–84.

5. Осипова Л.Э., Осипов Э.В. К расчету вытяжной эжекционной системы вентиляции окрасочной камеры // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. №

2(40). С. 190–197.

6. Zinurov, V. E. Numerical simulation of collection efficiency in separator with inclined double-T elements / V. E. Zinurov, V. V. Kharkov, E. I. Salakhova, M. R. Vakhitov, M. G. Kuznetsov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2022. – P. 042024. – DOI 10.1088/1755-1315/981/4/042024.

7. Зинуров, В. Э., Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Моисеева К. С. Промышленные испытания фракционирования сыпучего материала в мультивихревом классификаторе-сепараторе // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 58-63.

8. Зинуров, В. Э., Дмитриев А. В., Бадретдинова Г. Р., Биккулов Р. Я. Повышение энергоэффективности технологических линий по получению аэросила путем установки сепаратора с соосно расположенными трубами // Промышленная энергетика. – 2022. – № 4. – С. 29-35.

УДК 67.05

Веретенников В.С., Колтыков Я.С.

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

КРОМКОФРЕЗЕРНАЯ МАШИНА

Известно устройство «Рогообразный сердечник» а. с. СССР №963611 В.кл.2 D 9/12 [1] кромкострогальные станки, в которых заготовка перемещается совместно со столом станка относительно стоек с суппортами, например - кромкострогальный станок модели 7814 [2]

Существенным минусом этого оборудования является большие габариты и отсутствие возможности применения его при ремонтных и монтажных работах на различных площадках производств.

Наиболее близким техническим решением, которое выбрано в качестве прототипа, является ручная кромкофрезерная машина (патент РФ на полезную модель №145651) [3]. Она в себя включает: электродвигатель, корпус, фрезу, поворотные сектора, направляющие планки.

Главные признаками полезной модели совпадают со следующим перечнем у прототипа: электродвигатель, связанный с корпусом; фреза, закрепленная соосно с валом и поворотные секторы.

Из недостатков: невозможность и равномерного и точного движения машины по обрабатываемой плоскости. [3]

Для их устранения был разработан корпус с рукоятками, соединенный с электродвигателем, фреза, установленная соосно с валом электродвигателя и поворотные секторы, несущие базирующее устройство, которое представляет собой вертикальную направляющую планку, жестко связанную с горизонтальной базовой вилкой, в наклонных пазах которой, с возможностью переустановки размещены вращающиеся контактные блоки.

Благодаря новой конструкции улучшается качество обрабатываемой поверхности различных размеров и форм, за счет технического эффекта, а именно уменьшение биения в процессе механической обработки.

Конструкция модернизированного кромкофрезера демонстрируется- на рисунке №1 общий вид; на рисунке №2 – схема установки фрезы на шпинделе; на рисунке №3 – расположение и направление составляющих сил резания; на рисунке №4 -устройство базирования; на рисунке №5 - вращающийся ролик; на рисунке №6 трехмерная модель кромкофрезерной машины. [1]

Устройство функционирует следующим образом - рабочий устанавливает кромкофрезерную машину на торец обрабатываемой трубы с помощью горизонтальной базовой вилки и вертикальной направляющей планки. Поворотные сектора, несущие базирующее устройство, настраиваются при помощи имеющихся на них пазов и винтов на необходимый угол для обработки фаски. Это обеспечивается наклоном режущих кромок пластин и оси фрезы, закреплённой на валу электродвигателя при помощи переходной втулки, шпонки и винтов. Далее по наклонным пазам горизонтальной базовой вилки перемещаются контактные вращающиеся блоки, что позволяют закрепить машину на трубе требуемого диаметра. Вращение контактных блоков осуществляется вдоль оси болта, на котором при помощи шайб и гайки установлен контактный цилиндр, в отверстии которого расположены подшипники и втулка. На электродвигателе, который связан с корпусом винтами расположена кнопка, посредством которой оператор включает машину. Удерживая машину за рукоятки, оператор начинает перемещать ее вдоль обрабатываемой поверхности. При этом осуществляется съём металла с кромки изделия. После окончания обработки остановка электродвигателя осуществляется повторным нажатием кнопки выключателя. [4]

Горизонтальная базовая вилка с двумя вращающимися контактными блоками позволяет производить установку машины на

торце труб различных диаметров за счет возможности переустановки вращающихся контактных блоков. Конструкция контактных блоков позволяет при перемещении использовать трение качения, что дает возможность плавного и выверенного перемещения, кроме того жесткая связь вертикальной направляющей планки и горизонтальной базовой вилки обеспечивает надежное базирование машины относительно обрабатываемой поверхности. Чем в совокупности достигается повышение качества обработки кромочных поверхностей труб различного диаметра.

Распределение сил резания указано на схемах, показанных на рисунке №2 и рисунке №3. Видно, что при обработке кромок шириной B , торцевой фрезой диаметром D , со скоростью резания V , глубиной t , подачей S на фрезу действуют силы резания PX , PY и PZ , равнодействующую R , которые раскладываются по правилу параллелограмма на две взаимно перпендикулярные составляющие: горизонтальную P_h и вертикальную P_v , прижимающую инструмент к обрабатываемой кромке. Эта прижимающая составляющая позволяет фрезеровать кромку без увеличения усилий на рукоятках, а за счет прижима ручной машины с силой P_{Π} по внутреннему диаметру трубы вращающимися контактными блоками - уменьшит воздействие сил резания на руки оператора (см. рисунок №3), чем достигается повышение качества обработки кромочных поверхностей труб различного диаметра. [5]

Такая конструкция позволяет улучшить качество фрезерования поверхностей за счет уменьшения биения в процессе обработки, что обеспечивается за счет плавного и равномерного движения по заготовке.

Также удалось добиться уменьшения воздействия сил резания на руки рабочего.

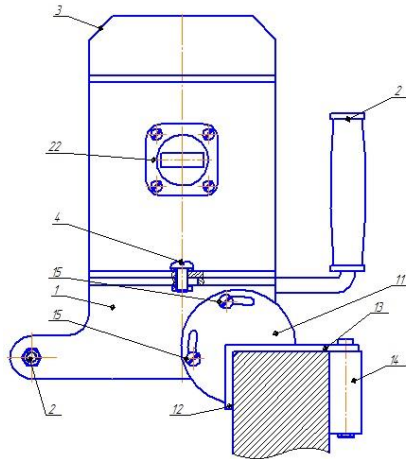


Рис. 1 Конструкция модернизированного кромкофрезера (общий вид)

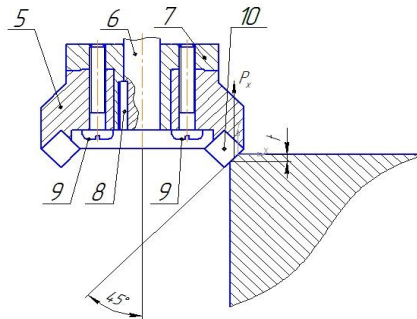


Рис. 2 Схема установки фрезы на шпинделе

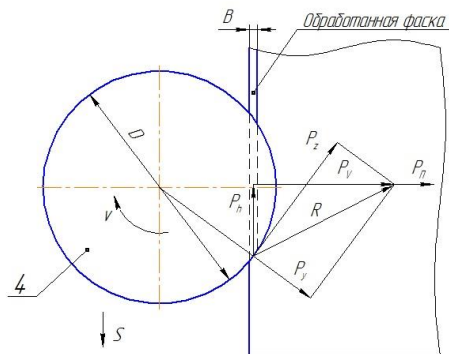


Рис. 3 Расположение и направление составляющих сил резания

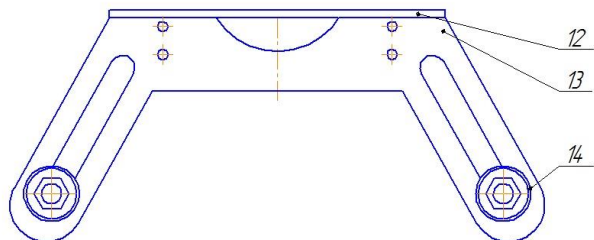


Рис. 4 Устройство базирования

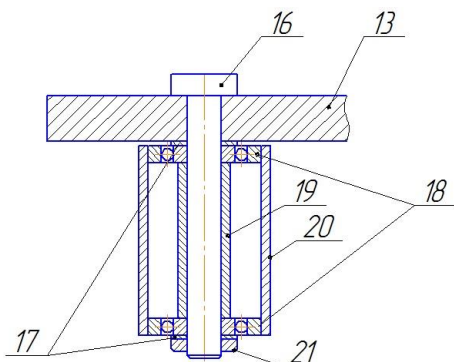


Рис. 5 Вращающейся ролик

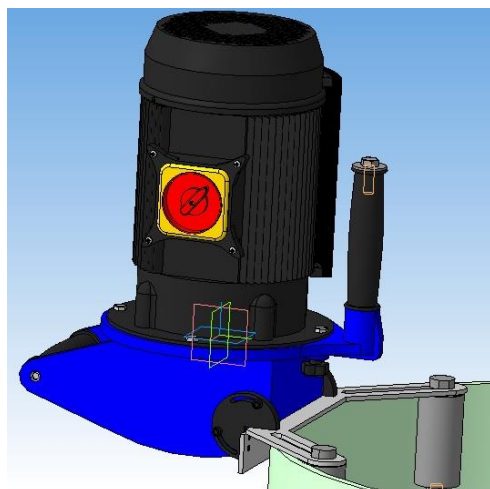


Рис. 6 Трехмерная модель кромкофрезерной машины

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. №145651 Ручная кромкофрезерная машина/ Дуганов В.Я., Чепчуров М.С./заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г.Шухова
2. Каталог-справочник «Металлорежущие станки» М. НИИМАШ ч.8, стр.68-70).
3. Пат. №963611 устройство «Рогообразный сердечник» а. с. СССР В.кл.2 D 9/12 УДК 621.981.23 / В.И.Назаров, С.В.Баранов. заявитель и патентообладатель: Челябинский филиал Специального проектно-конструкторское бюро «Проектнефтегазспецмонтаж» и Новосинеглазовский комбинат строительных конструкций.
4. Лебедев Л.В., Шрубченко И.В., Погонин А.А. и др. Разработка технологических процессов в машиностроении: Учеб. пособие – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004.
5. Лебедев Л.В. Технология машиностроения Учебник для студ. высш. учеб.заведений/ Л.В. Лебедев, В.У. Мнацакянян, А.А. Погонин, А.Г. Схиртладзе, В.А. Тимирязев, И.В. Шрубченко – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 528 с.

УДК 621.9

Воротынцев Д.Д., Воронков И.Е.

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

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТАНКОВ

Для сравнительной оценки технического уровня станков и комплектов станочного оборудования, а также для выбора станков в соответствии с решением конкретной производственной задачи используют набор показателей, характеризующих качество, как отдельных станков, так и набора станочного оборудования. Этих показателей – 6 и они рассмотрены ниже.

Эффективность – показатель, который характеризует соотношение затрат и производительности труда при обработке материала:

$$A = \frac{N}{\sum C}, \quad (1)$$

где А – эффективность, шт/руб;
N – годовой выпуск деталей, шт;

ΣС – сумма годовых затрат на их изготовление, руб.

Этот показатель является наиболее общим и учитывает влияние других показателей – производительности, точности, надёжности, степени автоматизации.

Производительность станка – количество обрабатываемого продукта в единицу времени. Весьма часто рассматривают штучную производительность. Теоретическая штучная производительность – количество деталей, обрабатываемых в единицу времени, равное частоте повторения рабочего цикла станка:

$$Q = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_p + t_x}, \quad (2)$$

где T – время цикла;

t_p – время резания;

t_x – цикловые потери времени – время холостых ходов и вспомогательных операций, выполняемых не в процессе резания.

Производительность можно повышать, уменьшая t_p или t_x , однако при этом производительность будет ограничиваться какой-то величиной.

Так, если $t_p \rightarrow 0$, то

$$Q_{max} = \lim_{t_p \rightarrow 0} \frac{1}{t_p + t_x} = \frac{1}{t_x}, \text{ шт/мин} \quad (3)$$

если $t_x \rightarrow 0$, то

$$Q_{max} = \lim_{t_p \rightarrow 0} \frac{1}{t_p + t_x} = \frac{1}{t_p} = K, \text{ шт/мин}, \quad (4)$$

где $K = \frac{1}{t_p}$ – технологическая производительность.

Если же $t_p \rightarrow 0$ и $t_x \rightarrow 0$, то

$$Q_{max} = \lim_{t_p \rightarrow 0} \frac{1}{t_p + t_x} = \infty, \quad (5)$$

т.е. нет предела повышению производительности.

Формулу для определения теоретической производительности можно представить в виде:

$$Q = \frac{K}{Kt_x + 1} = K\eta_{np}, \quad (6)$$

где η_{np} – коэффициент производительности, который равен:

$$\eta_{np} = \frac{1}{Kt_x + 1} = \frac{Q}{K} = \frac{t_p}{T} = \frac{t_p}{t_p + t_x} = \frac{1}{1 + \frac{t_x}{t_p}}, \quad (7)$$

Действительная производительность станка меньше теоретической, так как наличия внецикловых потерь времени (замена инструмента, регулировка и ремонт станка, случайные отказы в работе и т.д.).

С учётом потерь действительная штучная производительность может быть определена следующим образом:

$$Q_D = \frac{1}{t_x + t_p + t_n} = \frac{1}{t_p + t_x} \eta_{mi} = Q \eta_{np} \eta_{mi}, \quad (8)$$

где

$$\eta_{mi} = \frac{T}{T + t_n} = \frac{1}{1 + \frac{t_n}{T}}, \quad (9)$$

– коэффициент технического использования;

t_p – внецикловые потери времени, отнесенные к одной детали.

На автоматических линиях и многопозиционных станках возрастает влияние внецикловых потерь времени на производительность, т.к. простои на любой позиции влекут за собой простои всех позиций станка, или участка жёстко связанных между собой станков. В этом случае производительность можно определить, как

$$Q_D = \frac{1}{t_p + t_x + qt_n}, \quad (10)$$

где q – число последовательных рабочих позиций станка или группы станков в участке автоматической линии [1, 58-60].

При выборе технологического процесса обращают внимание на производительность процесса обработки резанием, которая может измеряться производительностями резания и формообразования.

Производительность резания – объём материала, удаляющиеся с обрабатываемой детали или с одновременно обрабатываемых на станке нескольких деталей в единицу времени. Этот показатель используется для приближенной сравнительной оценки универсальных станков, предназначенных для выполнения черновых операций при большой величине отношения t_p/T , где t_p – время резания, T – продолжительность всего цикла.

В (таблице 1) приведены усредненные значения производительности резания для различных методов обработки.

Таблица 1 – Усредненные значения производительности резания для различных методов обработки

Вид обработки	Производительность, см ³ /мин	Удельная мощность, (кВт*мин)/см ³
Точение	1500	0,06
Шлифование	800	0,6
Электроискровая	15	1
Электрохимическая	15	10
Ультразвуковая	1	25
Лазерная	0,01	4000

Производительность формообразования – площадь поверхности, обработанной на станке в единицу времени. Этот показатель удобен для сравнительной оценки производительности универсальных станков, предназначенных для выполнения отделочных работ.

Надежность станка – свойство станка обеспечивать бесперебойный выпуск годной продукции в заданном количестве в течение определенного срока службы и в условиях применения технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования [2, 112]. Надежность характеризуется следующими показателями:

Безотказность станка – свойство станка непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени. Безотказность может быть оценена по следующим показателям:

Вероятность отказа определяется по результатам испытаний N_0 элементов, из которых отказали $N_{от}=N_0-N_{и}$, а $N_{и}$ – оказались исправными:

$$Q(t) = \frac{N_{от}}{N_0} \quad (11)$$

Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = 1 - Q(t) = \frac{N_{и}}{N_0} \quad (12)$$

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа в единицу времени

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_{и}} \cdot \frac{dN_{от}}{dt} \quad (13)$$

Вероятность безотказной работы может быть представлена в зависимости от интенсивности отказов, отсюда следует

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (14)$$

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\frac{1}{N_O} \cdot \frac{dN_{OT}}{dt} = -\frac{N_H}{N_O} \cdot \lambda(t) = -P(t) \cdot \lambda(t) \quad (15)$$

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значение основных параметров в пределах, установленных нормативами [3, 52]. Нарушение работоспособности станка называется отказом.

Долговечность станка – свойство станка сохранять работоспособность в течение некоторого времени с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта до наступления предельного состояния.

Изнашивание подвижных соединений в станке является важнейшей причиной ограничений долговечности по критерию сохранения первичной точности.

Ремонтпригодность – свойство, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Технический ресурс – наработка от начала эксплуатации или ее возобновления после среднего и капитального ремонта до перехода в предельное состояние.

Технологическая надежность станков и станочных систем, как свойство сохранять во времени первоначальную точность оборудования и соответствующее качество обработки, имеет важное значение в условиях длительной и интенсивной эксплуатации.

Диагностирование является эффективным средством повышения надежности станков и станочных систем, при этом осуществляется направленный сбор текущей информации о состоянии станка и его важнейших узлов.

Гибкость станочного оборудования – приспособленность к быстрому переналаживанию для изготовления других деталей при допустимых затратах. Чем чаще происходит смена обрабатываемых деталей и чем большее число разных деталей требует обработки, тем большей гибкостью должен обладать станок или комплекс станочного оборудования.

Гибкость производственной системы, по большому счёту, определяет степень её возможности приспосабливаться к изменениям рыночной конъюнктуры (регулирование объёма производства, создание новых изделий).

Гибкость характеризуют двумя показателями – универсальностью и переналаживаемостью. Универсальность станка определяется

номенклатурой H обрабатываемых на нём деталей. Отношение годового выпуска N к номенклатуре определяет серийность изготовления $S = \frac{N}{H}$ [4,58]. Переналаживаемость определяется

потерями времени и средств на переналадку станочного оборудования при переходе от одной партии заготовок к другой. являясь мерой гибкости, переналаживаемость зависит от числа P партий деталей, обрабатываемых на оборудовании в течение года. Очевидно:

$$N = \sum_{i=1}^P n_i, \quad (16)$$

где n_i – число деталей в i -той партии (размер партии).

Для каждого вида станочного оборудования имеют место вполне определённые затраты на переналадку и оптимальный размер партии обрабатываемых деталей. Чем этот размер меньше, тем большей гибкостью обладает оборудование.

Точность станка в значительной мере определяет точность обработанных на нём деталей. На точность станка оказывают влияние погрешности геометрические и кинематические, упругие деформации, погрешности температурные, динамические, инструмента, позиционирования, формообразования, технологические.

Геометрические погрешности – неточность расположения отдельных узлов и деталей станка, неточности основных направляющих элементов и т.п. – обуславливают нарушение траекторий, по которым должны перемещаться рабочие органы станка. С течением времени геометрические погрешности возрастают за счёт износа отдельных сопряжений.

Кинематические погрешности зависят от точности изготовления и сборки зубчатых и винтовых передач и других элементов привода.

Под влиянием сил резания, а также веса обрабатываемой детали и узлов станка возникают упругие деформации несущей системы станка, которые приводят к нарушению правильности взаимного расположения заготовки и инструмента.

Суммарное значение жёсткости станка (узла станка):

$$j_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{j_i}}, \quad (17)$$

где j_i – жёсткость каждого из m последовательно работающих элементов упругой системы.

Жёсткость станков является одной из важнейших характеристик, определяющих их точность. Уменьшение упругих деформаций достигается применением замкнутых упругих систем – станков

портального типа; повышением жёсткости несущей системы за счёт уменьшения числа подвижных и неподвижных соединений и устранения зазоров в ответственных соединениях; использованием дополнительных поддержек, ликвидирующих или уменьшающих консоль инструмента или обрабатываемой детали.

Температурные погрешности возникают из-за неравномерности нагрева различных мест станка при его работе и изменяющие начальную геометрическую точность станка. Нагрев узлов станка после начала его работы происходит монотонно в течение нескольких часов до некоторой установившейся температуры. Аналогично изменяются и соответствующие тепловые деформации. Если имеет место чередование пуска и останова станка, то температурные деформации изменяются как некоторые случайные функции. Суммарное влияние температурных деформаций ряда узлов при различной интенсивности их нагрева нередко приводит к знакопеременному характеру погрешности обработки.

Динамические погрешности появляются при возникновении автоколебаний или вынужденных колебаний технологической системы станка, а также во время переходных процессов при пуске, торможении, реверсе приводов и врезании инструмента. Колебания (вибрации) в станке влияют на точность обработки, стойкость инструмента, долговечность деталей и механизмов станка. Свойство станка противодействовать возникновению колебаний называют виброустойчивостью.

Погрешности инструмента определяются его размерным износом.

Погрешности позиционирования зависят в значительной степени от точности измерительной системы (устройств для измерения перемещений рабочих органов) и сказываются на точности работы координатно-расточных станков и станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

К погрешностям формообразования относят ошибки настройки станков, например, погрешности в подборе сменных колес, а в станках с ЧПУ – ошибки, связанные с интерполяцией, и т.д.

Технологические погрешности обусловлены ошибками изготовления и установки инструмента на станке, базирования и закрепления заготовки.

Степень автоматизации можно представить следующим образом:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n t_{авт.i}}{T}, \quad (18)$$

где $t_{\text{авт.}i}$ – время каждого из n последовательных элементов цикла, выполняемых автоматически;

T – время цикла.

Повышение степени автоматизации отдельных станков, однако, не решает полностью проблемы повышения эффективности производства. Как показывают статистические исследования российских и иностранных учёных, обычная заготовка на обычном заводе серийного производства лишь 5 % времени находится на станках, а 95 % времени проводит в транспортировании и ожидании какой-либо обработки. При этом на процесс резания приходится менее 30 % времени нахождения на станке. Остальное время приходится на загрузку, установку, измерения, простои и пр. Поэтому значение комплексной механизации и автоматизации производства весьма велико. Под механизацией понимают замену ручных операций, требующих применения большой физической силы, машинными. При комплексной механизации весь физический труд заменяется работой механизмов и машин.

Автоматизация является наиболее совершенной формой механизации, при которой операции управления, а в некоторой степени и контроля, выполняются без непосредственного участия рабочего. Комплексная автоматизация предполагает автоматизацию изготовления изделия в течение всего технологического процесса при централизованном управлении.

Если в приведенной выше формуле подразумевать под T время нахождения детали в производстве, а под суммой $t_{\text{авт.}i}$ – время всех автоматически выполняемых операций при её обработке, включая резание, манипулирование, контроль, то a будет степенью автоматизации изготовления детали, характеризующей комплексность автоматизации [5].

Кроме технико-экономических показателей, для оценки качества станков используются критерии работоспособности.

Принципиальная разница между технико-экономическими показателями и критериями работоспособности состоит в том, что первые отражают исходные требования потребителя, а правильный выбор вторых конструктором обеспечивает выполнение исходных требований.

Критерии работоспособности являются условиями, которые должны соблюдаться при конструировании и эксплуатации, чтобы детали, узлы и станок в целом выполняли свое назначение.

К таким критериям относится начальная точность, жесткость, виброустойчивость, прочность, износостойкость, теплостойкость.

Начальная точность зависит от правильного назначения допусков в чертежах и соблюдения их в процессе изготовления, характеризуется исходными геометрическими и кинематическими погрешностями.

Больше всего снижают жесткость контактные деформации, возникающие в станках, то есть в поверхностных слоях соприкасающихся деталей.

Виброустойчивость – свойство станка противодействовать возникновению или усилению колебаний (вибраций). Колебания могут передаваться на станок из вне или возникать непосредственно в станке.

В станке источниками колебаний могут быть процесс резания, неуравновешенность быстро вращающихся деталей, тихоходные соединения со скольжением, электродвигатели и т.д.

Прочность – способность деталей сопротивляться их разрушению, а также возникновению остаточных деформаций под действием сил. Прочность зависит от материала детали, термообработки, характера нагрузки (постоянная или циклическая).

Обычно рассматривают две категории прочности, такие как статическую и динамическую.

На статическую прочность рассчитывают детали, находящиеся под действием постоянных или медленно меняющихся нагрузок, например, болты, шпонки, кронштейны, медленно вращающиеся валы и зубчатые колеса и т. п.

Основными показателями, характеризующими механические свойства материала при действии постоянной нагрузки, являются предел текучести при растяжении σ_T и предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$.

Зная технико-экономические показатели и критерии работоспособности станков, мы можем при проектировании металлооборудования узнать период работы станка до ремонта, до отказа, а также можем закладывать необходимые технические характеристики, определяющие ресурс работы станка в дальнейшем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кинематический расчет и надежность проектируемого металлорежущего станка: учеб. пособие/ А.А. Погонин, И. В. Шрубченко, М. Н. Воронкова, А. В. Хуртасенко. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. - 160 с.

2. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: учеб. пособие. – Мн.: Выс. шк.. 1991 – 382 с.

3. Надежность и диагностика технологических систем: учебное пособие к выполнению курсовой работы для подготовки магистров по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»// сост.: М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина. –Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – 104 с.

4. Расчет и конструирование деталей и узлов металлообрабатывающих станков: учеб. пособие/ А.А. Погонин, И. В. Шрубченко, М. Н. Воронкова, А. В. Хуртасенко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. - 138 с.

5. <https://helpiks.org/5-97328.html>

УДК 621.91.04

Григоренко А.А.

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

ПОЛИГОНАЛЬНОЕ ТОЧЕНИЕ В МАССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Детали вращения, получаемые обработкой на станках токарной группы, иногда требуют дальнейшего выполнения на них лысок или многогранных призматических или винтовых поверхностей. Традиционно, данные элементы геометрии деталей получают фрезерованием с сопутствующими операциями переустановки и деления.

Альтернативой может являться метод полигонального точения.

Суть данного метода заключается в формировании многогранных поверхностей при помощи вращающегося инструмента с одной или несколькими режущими кромками, расположенными на одном радиусе (рис.1). От соотношения угловых скоростей вращения детали и инструмента, а также числа режущих кромок зависит получаемая форма изделия.

Полигональную поверхность можно выполнять конусной, или снимать фаски с призматической многогранной поверхности изменяя угол между направлением подачи и осью обрабатываемой детали.

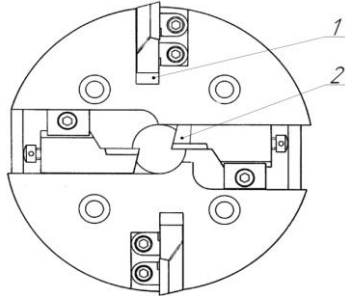


Рис. 1 Режущая головка для полигонального точения
 где: 1- режущая кромка с внешним контактом, 2-режущая кромка с внутренним контактом

Полигональное точение можно осуществлять на дооборудованном токарном станке или на специализированной машине. Патенты на такие машины были зарегистрированы еще в семидесятые года прошлого века [2]. Конструкция включает два шпинделя (позиции 1 и 3 на рисунке 2), в одном закреплена обрабатываемая деталь, в другом режущий инструмент.

В конструкции, показанной на (рисунке 2), подача, задающая глубину резания, осуществляется за счет перемещения шпинделя с деталью. Сохранение соотношения угловых скоростей и компенсация происходит при помощи механической передачи – на рисунке 2 в качестве передачи показана карданная со шлицевым соединением, компенсирующим смещение вдоль оси шпинделя. Касание режущих кромок инструмента с деталью могут быть внешними (рисунки 1 выноска 1) и внутренними [1] (рисунки 1 выноска 2).

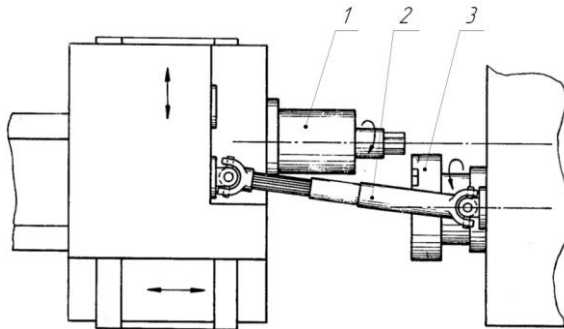


Рис. 2 Специализированная машина для полигонального точения
 где: 1-шпиндель с деталью, 2-карданная передача, 3-шпиндель с инструментом

Взаимное движение детали и инструмента создает кривую, координаты точек на которой можно описать при помощи системы уравнений (1)

$$\begin{cases} x = l \cdot \cos \alpha - R \cdot \cos \alpha \cdot (i - 1) \\ y = l \cdot \sin \alpha + R \cdot \sin \alpha \cdot (i - 1) \end{cases} \quad (1)$$

где:

l – расстояние между осями шпинделя [мм]

α – угол поворота оси инструмента относительно оси детали [°]

R – радиус расположения режущих кромок инструмента [мм]

i – соотношения угловых скоростей шпинделей

Данная система уравнений составлена в системе отсчета, связанной с деталью. По данным уравнениям форма кривой зависит от соотношения угловых скоростей и расстояния между осями. Так как радиус вписанной окружности формируемого многоугольника задан требованиями чертежа, влияние на профиль граней оказывает только внешний радиус расположения режущих кромок. Соотношение i может быть выражено через число граней, число резцов и целое число, задающее последовательность формирования граней (2).

$$i = \frac{m}{p \cdot z} \quad (2)$$

где:

m - число граней

p - целое число, задающее порядок обработки граней

z - число режущих кромок инструмента

В таблице 1 приведены профили, которые можно получить при различных сочетаниях угловых скоростей и числа режущих кромок [3].

При постоянном соотношении угловых скоростей детали и инструмента в процессе резания, траектория движения режущей кромки относительно изделия имеет форму эллипса. Следовательно, грани формируемого многогранника могут быть вогнутыми или выпуклыми. [4] Полученную в итоге деталь можно считать годной если вышеупомянутая выпуклость или вогнутость не выходит за пределы допуска на отклонение формы. Повлиять на длину одной из образующих эллипса может увеличение радиуса расположения режущих кромок инструмента. Отклонение от плоскостности принимает максимальные значения. Рассчитать минимальный радиус резцовой головки можно по уравнению (3).

$$R \geq \frac{r}{2\sqrt{2}} \cdot \left(\sqrt{\frac{r \cdot \left(\frac{R_0^2}{r^2 - 1} \right)}{[\Delta]} - 1} \right) \quad (3)$$

где:

r - радиус вписанной окружности получаемого профиля [мм]

R_0 - радиус описанной окружности получаемого профиля [мм]

Δ - допустимое отклонение от плоскостности получаемых граней [мм]

Таблица 1 – Профили, получаемые полигональным точением

Форма	Число режущих кромок	Соотношение угловых скоростей	Характер формируемых граней
	1	1:1	Мало применимые, сильно выпуклые
	2	1:1	Мало применимые, выпуклые
	1	2:1	Широко применимые, незначительно выпуклые
	3	1:1	Мало применимые, выпуклые
	2	15:1	Применимые, выпуклые
	1	3:1	Широко применимые, незначительно вогнутые
	2	2:1	Широко применимые, незначительно выпуклые
	1	4:1	Мало применимые, вогнутые
	3	166:1	Применимые, выпуклые
	2	25:1	Широко применимые, незначительно вогнутые
	1	5:1	Мало применимые, вогнутые
	3	2:1	Широко применимые, незначительно выпуклые
	2	3:1	Мало применимые, вогнутые
	4	2:1	Широко применимые, незначительно выпуклые
	2	4:1	Мало применимые, вогнутые

Современные токарные станки с ЧПУ, имеющие функцию полигонального точения, используют в качестве привода инструмента шаговые и серводвигатели. Синхронизация угловых скоростей вращения детали и инструмента происходит за счет использования энкодеров и управляющей электроники. Взаимное вращение вращения режущей кромки и обрабатываемой заготовки в теории может

сформировать плоские грани. Это возможно только при непостоянном соотношении угловых скоростей i . В качестве примера рассмотрим обработку шестигранника режущей головкой с тремя режущими вставками. Условно примем скорость вращения режущего инструмента неизменной и равной 1 рад/с.

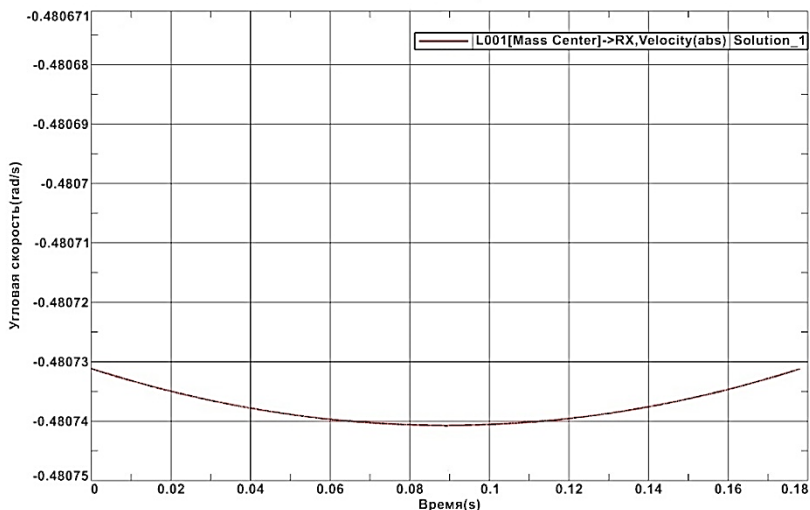


Рис. 3 Угловая скорость обрабатываемого шестигранника при обработке плоской грани.

При помощи кинематического анализа выясним как должна изменяться угловая скорость шпинделя с деталью, чтобы контакт плоской грани шестигранника и вершины режущего инструмента не разрывался [5]. Длительность взаимодействия пластины с деталью составило около 0.178 секунд. При этом шестигранник повернулся на некоторый угол. Одним из результатов анализа стал график угловой скорости заготовки, показанный на рисунке 3. Из графика можно сделать вывод, что для формирования правильного шестигранника, угловая скорость детали должна возрастать при формировании первой половины грани и падать при формировании второй. Обработка поверхности происходит “на удар”, следовательно, необходимо учитывать пригодность режущих пластин к работе в таком режиме [5]. В период времени, когда обработка не происходит, необходимо изменить угловую скорость таким образом, чтобы скомпенсировать рассинхронизацию вращений детали и инструмента, чтобы обработка следующей грани начиналась в нужный момент времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов А.А. Анализ и реализация схем полигонального точения многогранных поверхностей / Данилов А.А. // Вестник Полоцкого государственного университета. Промышленность. Прикладные науки. – Минск, 2016. – Вып. 21 - С. 51-78.

2. Espacenet Международная база патентов – URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/005962741/publication/US4141278A?q=polygonal%20turning%20machine> (дата обращения 23.10.2022).

3. Н.Н. Шамарин, А.А. Моховиков Получение гранных профилей на станке OKUMA ES-L8 П-М методом полигонального точения / Н.Н. Шамарин, А.А. Моховиков // Материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск, 2015. – С. 148-151.

4. Куц В.В, Разумов М.С. Моделирование поверхности резания при полигональном точении гранных поверхностей / Куц В.В, Разумов М.С. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки – Тула, 2017. - Вып 8-1. - С. 105-111.

5. Пчелкин В.М, Дуюн Т.А. Стойкость упрочняющих покрытий металлорежущего инструмента в условиях ударных нагрузок / Пчелкин В.М, Дуюн Т.А. // Вестник белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова – 2017. № 6– С. 128-134.

УДК 67.672

Дмитриев И.Л.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Термообработка металла представляет собой процесс, содержащий в себе несколько последовательных действий:

- повышение температуры;
- выдержки;
- остывание металла.

Термообработке подвергают заготовки в том случае, когда необходимо получить иные физико-химические свойства материалов. Получение свойств получается в результате влияния на металл

температуры, после чего меняется внутреннее строение структуры материала. Основным назначением такой процедуры является получение требуемых характеристик и улучшение его свойств.

Термическая обработка - Процесс обработки изделий из металлов и сплавов путем температурного воздействия и последующего охлаждения с определенной скоростью с целью изменения их структуры и свойств в заданном направлении.

Термическую обработку подразделяют на:

1. Отжиг - заключается в нагреве до определённой температуры, выдержке в течение определенного времени при этой температуре и последующем, обычно медленном, охлаждении до комнатной температуры;

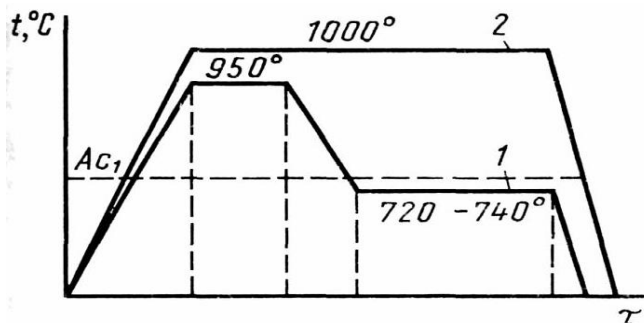


Рис. 1 Схема отжига белого чугуна на ковкий чугун

2. Закалка - заключается в нагреве изделия до температуры выше критической, или температуры растворения избыточных фаз, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении со скоростью, превышающей критическую;

3. Отпуск - проводится после закалки или после другой термической обработки, чтобы обеспечить необходимые показатели определенных свойств изделия;

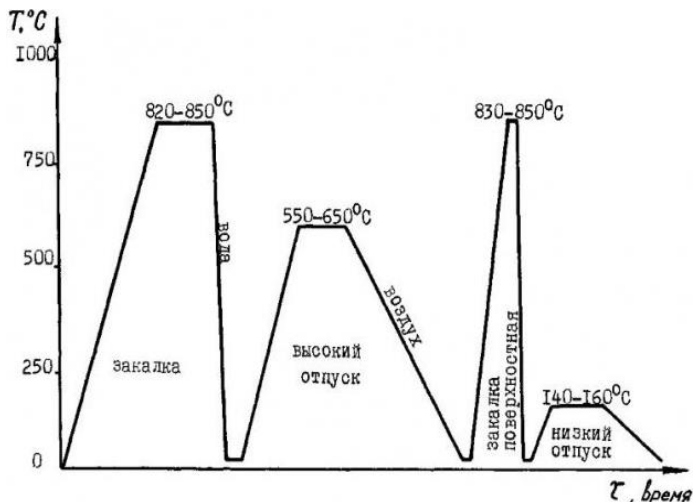


Рис. 2 Схема закалки стали с последующим отпуском

Закалка и отпуск стали во многом зависят от ряда факторов:

- температурного режима;
- скорости повышения температуры;
- временного промежутка воздействия на металл высоких температур;
- процесса охлаждения (скорости изменения температуры охлаждения среды или жидкости).

4. Нормализация - разновидность отжига, заключается в нагревании изделия до температуры выше A_{c3} для доэвтектоидной стали или A_{cm} - для заэвтектоидной стали, с последующим охлаждением на спокойном воздухе с целью получения мелкого зерна и равномерного распределения структурных составляющих;

На рисунке ниже представлено:

- Ф – Феррит;
- А – Аустенит;
- П – Перлит;
- Ц – Цементит;
- G, P, S, E, K – критические точки;
- A_{c1} – температура эвтектоидного превращения (линия PSK);
- A_{cm} – температура выделения цементита вторичного из аустенита (линия SE).

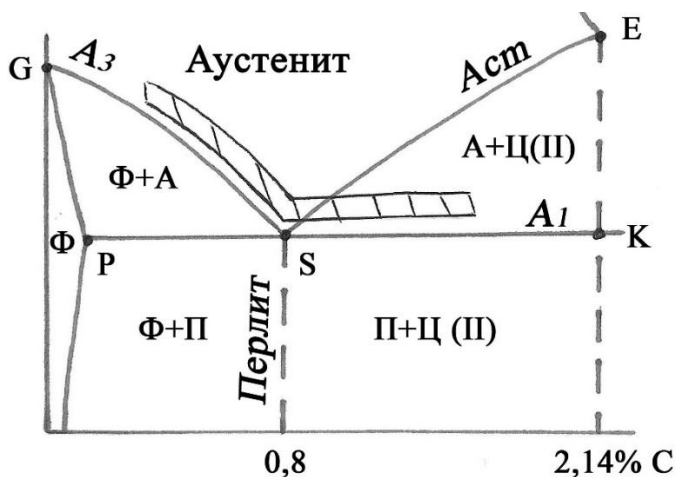


Рис. 3 Температурный интервал закалки сталей

5. Криогенная обработка – заключается в упрочнение металлопродукции сверхнизкими температурами (до -196°C). Криогенная обработка относится к способам направленного изменения структуры и свойств материалов. Процесс криогенной обработки включает три последовательно идущих стадии: охлаждение металла с заданной скоростью до температуры -196°C ; выдержку при криогенной температуре обработки; нагрев металла до комнатной температуры с установленной скоростью.

На (рисунках) ниже наглядно показаны схемы комплексной термообработки криогенном.

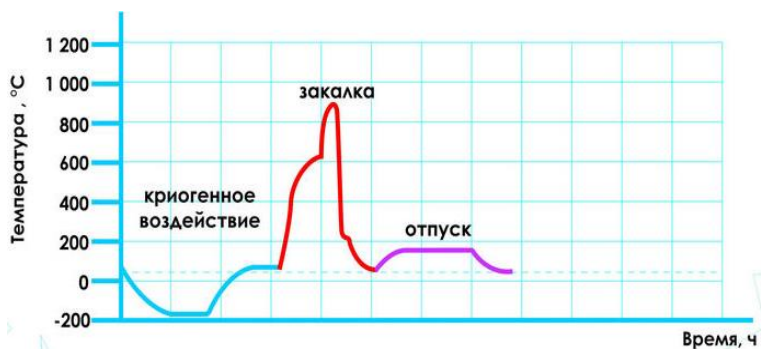


Рис. 4 Схема обработки криогенном для повышения обрабатываемости

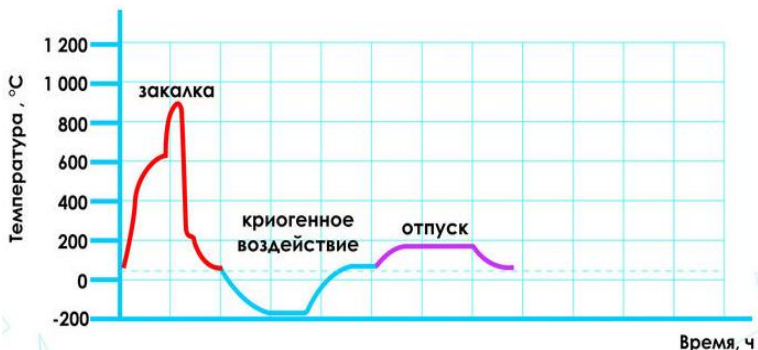


Рис. 5 Схема обработки криогенном для повышения эксплуатационных свойств

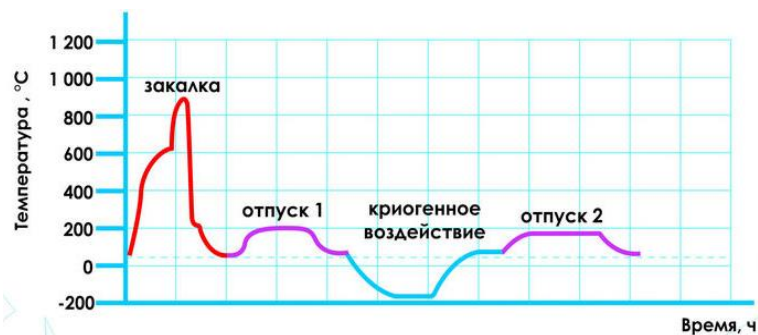


Рис. 6 Схема обработки криогенном для повышения прочности

Фундаментальным оборудованием для термического воздействия на металлы являются температурные печи. Ключевыми особенностями термообработки комплексов является возможность загружать и выгружать металлическое сырье из рабочей области печи без понижения температурного режима. Печи, в которых выполняются процедуры по закалке металла, его отжига и отпуска, имеют высокие ударопрочные характеристики и оснащены специальными предохранительными приспособлениями, для ограждения нагревательных устройств от механического повреждения.

Основным превосходством печей для закалки материала, в сравнении с прочими вариантами приспособлений для теплового воздействия на металл, является их доступная стоимость. Так же имеются определенные изъяны в конструкции такого оборудования, которые усложняют процесс загрузки и выгрузки сырьевой массы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильченко А.В., Захарова Е.А., особенности термической обработки сплавов цветных металлов / Сб. науч. трудов 4-ой Междунар. науч.-практ. конф.: В 4-х томах. Том 2. // Среднерусский гуманитарно-технологический институт: Изд.: Закрытое акционерное общество "Университетская книга" (Курск), 2014 С. 178-181.

2. Карху В.С., Даниленко В.А., термическая обработка деталей из нержавеющей стали и алюминия / современные материалы, техника и технологии // Учред.: ЗАО «Университетская книга» (Курск), 2017 С. 39-42.

3. Головкина А.А., модель термической обработки металла / Междунар. молод. науч. конф.: в 3-х томах. Том 3. // Изд.: ЗАО «Университетская книга» (Курск), 2012 С. 31-33.

4. Кутьин А.Б., подавление отпускной хрупкости стали при межкритической закалке / физика металлов и металловедение // Учред.: Российская академия наук, Уральское отделение РАН, Инст. физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, (Екатеринбург), 2008 С. 199-205.

5. Шарипова А.Б., Бендерский Б.Я., процесс изменения структуры металла при термической обработке / научные исследования XXI века // Учред.: Вострецов Александр Ильич, 2020 С. 55-59.

УДК 67.672

Дмитриев И.Л.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Люди успели разработать самые разные методы обработки металлов. Одними из передовых являются методы лазерной обработки металлов. Она очень востребована сейчас из-за ряда характерных преимуществ, которые можно оценить воочию прямо на выставке.

По сравнению с традиционными методами металлообработки, лазерная обработка металла несет в себе множество преимуществ.

Сверхточность — числовое программное управление позволяет выполнять лазерную резку с погрешностью не более восьми сотых миллиметра.

Высокое качество реза — уникальные свойства технологии дают возможность сделать идеально ровный и гладкий рез, не требующий дополнительной обработки.

Высокая производительность — мощные установки осуществляют лазерный раскрой листового металла в несколько раз быстрее, чем любой из традиционных способов типа фрезеровки.

Сложность контура не имеет значения — оборудование способно осуществить рез любой формы.

Полная автоматизация процесса — способствует и повышению производительности, и снижению вероятности брака к минимуму, и сведению на нет так называемого человеческого фактора.

Доступная цена — обусловлена дешевизной оборудования, в сравнении с традиционными станками, а также минимизацией участия человека в операции.

Самый простой способ использования метода — лазерная обработка металла листового. Она же и наиболее распространённая, поскольку потери материала минимальны.

В (таблице 1) наглядно видны параметры CO₂ лазера и оптоволоконного лазера.

Таблица 1- сравнение параметров CO₂ лазера и оптоволоконного лазера.

Параметр	CO ₂ лазер	Оптоволоконный лазер
Длина волны, мкм	10,6	1,07
ВРР, мм x мрад	3...6	1,3...14
КПД %	8...10	20...25
Дальность доставки излучения волоконном	Отсутствует	10...300
Чувствительность к обратимому отражению	Высокая	Низкая
Стоимость монтажа, отн. ед.	1	<0,05
Стоимость эксплуатации отн. ед.	1	0,13
Стоимость обслуживания отн. ед.	1	0,1
Периодичность замены ламп или лазерных диодов, час.	-	>50000

Детали можно не только быстро вырезать, но и там же их маркировать. Стоит отметить, что раньше была только промышленная резка металла. Сегодня же существуют самые разные виды лазерной обработки металлов, которые доселе были недоступны или слишком сложны.

К таким новинкам можно отнести художественную лазерную резку. Благодаря большой точности лазера можно воплотить в реальность практически любую творческую идею.

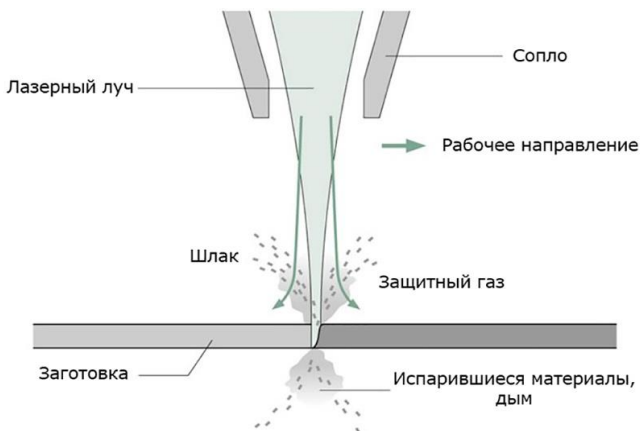


Рис. 1 Режущая головка лазерного оборудования

Теперь при помощи лазерного оборудования этот некогда сложный вид резки стал значительно проще. Можно сделать почти любую, даже самую сложную фигуру.

Чтобы работа была как можно эффективнее, применяется резка из металла с ЧПУ, потому что благодаря ей открывается весь потенциал применения лазера в этом деле. Помимо увеличения точности, а также скорости и производительности работы лазерным станком с ЧПУ нужно меньше обслуживающего персонала.

Оборудование с использованием компьютерных технологий позволяет сильно увеличить производительность резки. С такими приборами даже самая срочная резка будет выполнена быстро.

Сейчас лазерная резка может быть произведена на почти любых видах материалов, без учета их хрупкости или наоборот твердости. Однако есть материалы, которые обрабатываются лазером чаще других. Это алюминий, сталь, медь.

С помощью лазерной резки можно резать и трубы, и другие сложные изделия. Поскольку данный метод резки чрезвычайно точный, трубы практически не теряют своей прочности на стыках при установке сети трубопроводов. Стоит отметить и то, что благодаря лазерной резке последующая сварка дается легче, а полученный шов будет очень прочным и качественным. Также можно разрезать и нержавеющую

сталь. Обычные лазеры могут разрезать пластину нержавеющей стали толщиной максимум 6 миллиметров. Для разрезания более толстых листов нужны более мощные лазеры, но они и стоят значительно дороже.

На графике ниже продемонстрирована зависимость мощности лазера от толщины металлов

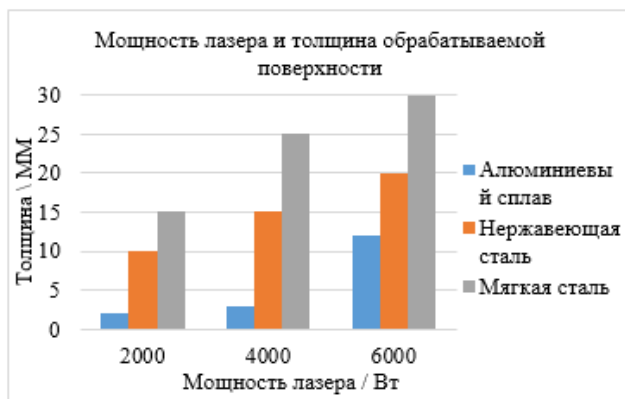


Рис. 2 Зависимость мощности лазера от толщины металлов

Скорость резки Мощность лазера и скорость резки должны соответствовать друг другу. Слишком высокая или слишком низкая скорость резки может привести к увеличению шероховатости и образованию грата.

На графике ниже продемонстрирована как скорость резания уменьшается с увеличением толщины пластины металла.



Рис. 3 Зависимость скорости резания металла от толщины

Поскольку сейчас часто используется углеродистая сталь, то потребность в использовании лазерной резки чаще всего возникает из-за неё.

Стоит отметить, что лазерная резка на рядовом оборудовании может разрезать материал толщиной от 16 до 20 миллиметров. Цифры не точные, потому что есть зависимость от состава сплава.

С алюминием лазерная резка тоже работает. Стоит отметить, что из всех методов обработки алюминия этот самый лучший, поскольку в нём есть большая точность.

Если алюминий находится в сплаве с другими металлами, то тогда тем более не обойтись без лазерной резки, поскольку нужна высокая точность и качество.

Так как алюминий с его сплавами часто находят своё применение в технологическом оборудовании. Для его изготовления нужно много сложных деталей, которые должны быть сделаны точно и качественно.

Также лазерная резка применяется к меди, латуни и титану.

Разных лазерных резок существует большое количество. Однако наибольшее распространение получили твердотельные, газодинамические и газовые. У твердотельных лазеров должна быть лампа накачки, которая подаёт излучение на активное рабочее тело. Рабочим телом для твердотельных лазеров в промышленности является рубин, причём высокой чистоты.

В газовых лазерах, как видно по названию, рабочим телом являются газы или же их смеси. Наиболее часто используют азот, углекислый газ чистый или с примесями.

Последний вид – газодинамический лазер. Его почти не используют, потому что он очень дорогой. В нём, как и в предыдущем случае, рабочим телом является газ.

Газ очень сильно нагревается, а затем, пройдя через сопло Лаваля, на выходе охладится. Вообще такие лазеры дороги по той причине, что им нужно много оборудования, а также системы охлаждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вудс С., промышленные лазеры для обработки материалов / фотоника // Учред.: АО "Рекламно-издательский центр «Техносфера», 2012. С. 56-65.

2. Ермаков Д.А., технологии лазерной обработки металлов / точная наука // Учред.: ИП Никитин Игорь Анатольевич, 2018. С. 23-26.

3. Иванова О., лазерная резка металла – прогресс, инновации, производственные решения / фотоника // Учред.: АО "Рекламно-издательский центр «Техносфера», 2013. С. 28-32.

4. Попов И.С., Букреев А.В., Родионова И.Н., лазерная обработка как один из перспективнейших методов обработки металла / наука молодых - будущее России: сб. научных статей 2-й Междунар. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. В 5-ти томах // Изд-во: ЗАО «Университетская книга», 2017. С. 129-135.

5. Тимонин Я.И., анализ основных достоинств и преимуществ инновационного метода лазерной обработки металлов / сб. статей XXXIX Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. // Изд-во: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.) (Пенза), 2020. С. 67-70.

УДК 67.672

Дмитриев И.Л.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия

СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА ДАВЛЕНИЕМ

Обработка металлов давлением – это такого рода процедура, при которой болванке придается необходимая форма и габариты под силовым воздействием. Пластические характеристики металлов позволяют сохранить приобретенные форму и размер, даже после того, как воздействие давления прекращается. При помощи способов обработки металлов давлением получают заготовки, готовые изделия. При этом имеется ряд различных методов, каждый из которых позволяет воздействовать на металл уникальным образом. Существуют 5 основных способов обработки металлов:

1. Ковка

До обработки болванки её первоначально нагревают в специальной печи. В таблице ниже приведены температурыковки некоторых металлов.

Таблица 1 – Ковочная температура металла

Железо	800-1200
Медь	100-600
Алюминий	400-480
Титан	900-1600

Подобным методом выходит сделать болванку более пластичной и податливой. После при помощи наковальни и молота болванке придают необходимую форму. Существует ручная и машинная ковка. Несмотря на то, что данный способ – известен довольно давно, его всё еще используют в основном в мелкосерийном производстве.

2. Прокатка

С этим способом применяется специализированный комплекс устройств, который называется прокатным станом. От нужд выпускаемых изделий существуют трубопрокатные, листопрокатные, проволочные, а также и другие варианты прокатных станков. Главными компонентами станка являются вращающиеся валки, которые обжимают металл для придания ей нужных формы и размера. В данном методе обработки болванки валки не всегда применяют гладкими. С помощью валок с вырезами реализовывают прокатку для создания фасонных изделий: отводы, тройники.

Прокатка бывает:

Продольная – болванку пропускают между вращающимися в разные стороны валками, тем самым болванка обжимается до толщины расстояния между этими валками.

Поперечная – метод, призванный обрабатывать болванки в форме шара, конуса, цилиндра и прочих тел вращения.

Поперечно-винтовая – в основном применяется данный способ для создания и обработки полых деталей. На (рисунках) ниже наглядно показаны схема и валки прокатки металла.

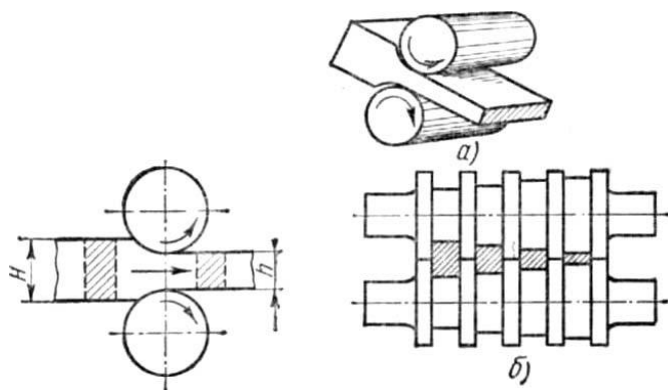


Рис. 1 Схема прокатки металла с лева и с права валки для прокатки металла: а – листа; б – профилей.

3. Волочение

Волочение схоже с прокаткой. При волочении используют волочительные станки, которые представляют собой целые комплексы. При волочении уменьшается поперечное сечение болванки, а её длина при этом становится больше. Такие изменения получают путем пропускания болванки сквозь волочительный глазок. Волочительный глазок – главный элемент волочительного станка и представляет собой постепенно сужающееся отверстие. Проходя сквозь него, металл приобретает необходимые форму и размер.

Волочение бывает:

- горячим и холодным;
- однократным и многократным;
- сухим и мокрым (с использованием мыльного порошка или эмульсии соответственно);
- черновым и чистовым.

На рисунках ниже показаны схемы волочения.

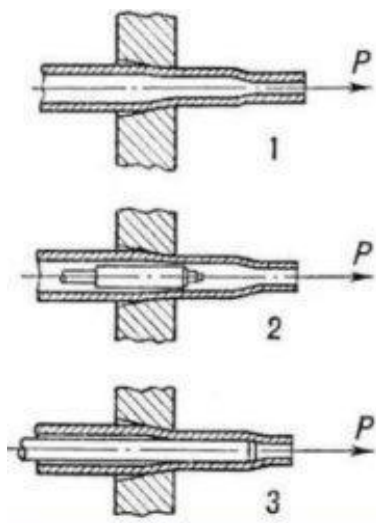


Рис. 2 Схемы волочения труб: 1 – без оправки; 2 – на короткой неподвижной оправке; 3 – на длинной движущейся оправке

4. Штамповка

Штамповку делают на прессах или молотах. Данный способ позволяет изготавливать изделия высокой точности размеров и формы. Чаще всего такие изделия не нуждаются в дополнительной обработке резанием, обтачиванием, гравировке. При таком способе размеры и

форму болванке придают с помощью давления штампа. Таким образом изготавливают монеты. Существуют листовая и объемная штамповки. Таким образом, при листовой штамповке получают плоские изделия из металлов, чаще всего толщиной до 5 мм.

Листовое штампование может проводиться двумя способами:

- разделительным;
- формообразующим.

Разделительный способ представляет собой нарезку, пробивку или вырубку изделия, а формообразующий – чеканку, вытяжку, раздачу и прочее. Для листовой штамповки нужен гидравлический либо кривошипный пресс. Главное усилие в этих прессах делает штамп, в составе которого есть пуансоны и матрицы, воздействующие на металлическую болванку. Механическая обработка изделия после выполнения таких работ по штамповке не требуется. Это обусловлено тем, что матрицы и пуансоны обладают четкими параметрами и строго рассчитаны. Листовая штамповка – один из самых точных способов обработки металлов давлением.

На (рисунках) ниже показаны типы листовой штамповки.

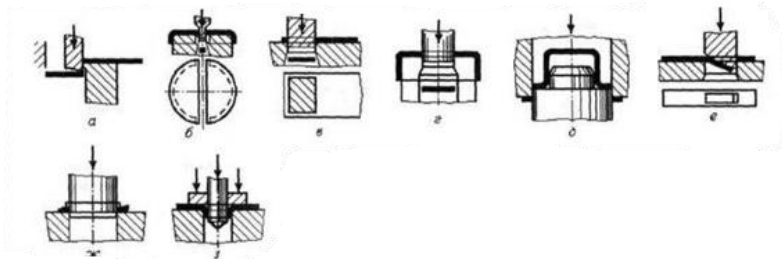


Рис. 3 Типы разделительных операций листовой штамповки: а – отрезка; б – разрезка; в – вырубка; г – пробивка; д – обрезака; е – надрезка; ж – зачистка; з – проколка

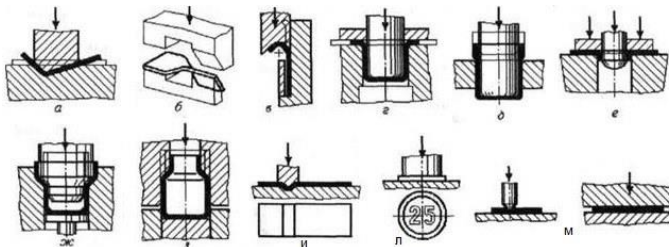


Рис. 4 Типы формоизменяющих операций листовой штамповки: а – гибка; б – скручивание; в – закатка; г – вытяжка; д – вытяжка с утонением; е – отбортовка; ж – раздача; з – обжим; и – рельефная форма; к – рельефная чеканка; л – керновка; м – правка

5. Прессование

Болванка металла, помещенная в форму с воздействием давления, пропускается сквозь отверстие. При данном методе площадь отверстия меньше площади болванки, что дает изделию при выходе вид прутка. Такому способу обработки давлением подвергаются многие металлы:

- цинк;
- алюминий;
- медь;
- олово;
- свинец.

Иногда используют комбинации 2-их или более способов обрабатывания болванок давлением одновременно. Это позволяет получать изделия сложных форм и размеров и расширяет возможности их применения.

На (рисунке) ниже показана схема штампования.

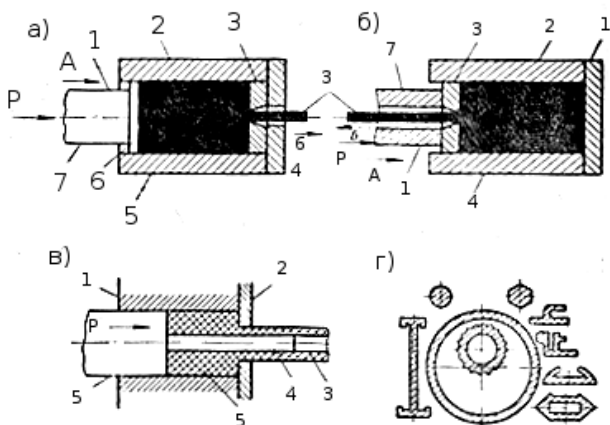


Рис. 5 Схема прессования: а – по прямому методу; б – по обратному; в – трубы; г – профили, полученные прессованием

При прессовании заготовку помещают в контейнер 2, с одной стороны которого установлена матрица 5, через отверстие матрицы с помощью пуансона 1 выдавливается металл болванки. Профиль получаемой продукции при работе на данной матрице будет постоянным на всей длине. При движении пуансона с некоторой скоростью, называемой скоростью прессования, металл из матрицы будет выходить со скоростью истечения во столько раз большей, во сколько площадь поперечного сечения контейнера будет больше

площади отверстия в матрице. Процесс осуществляется при температурах горячей обработки. Прессование осуществляется почти исключительно на гидравлических, горизонтальных прессах. Усилие применяемых для прессования прессов достигает 15 000 Т.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипов С.В., влияние силовых параметров штамповки на формоизменение металла // современные инновации Учред.: Олимп. 2016. С. 35-36.

2. Шитиков А.А., методика моделирования процесса штамповки металла в твердожидком состоянии // Наука и образование: науч. изд. МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА. 2011. С. 51.

3. Лежнев С.Н., анализ влияния нового совмещенного процесса "равноканальное угловое прессование-волочение" на микроструктуру и свойства деформируемой медной проволоки // Вестник южно-уральского гос. универ. серия: металлургия. 2016. С. 59-65.

4. Филимонов В.И., Алёшин А.С., Кокорин В.Н., Солунин Н.В., формовка в роликах прямоугольных профилей / Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России. Материалы III Междунар. науч.-произв. конф., приуроченной ко Дню Российской науки и 95-летию гражданской авиации России. 2018 // Изд.: Ульяновский гос. Тех. университет (Ульяновск). 2018. С. 105-114.

5. Гасанов А.И., к вопросу о применении современных технологических операций в промышленности на примерековки /

6. Организ.-экономич. и инновац.-техн. проблемы модернизации экономики России. Сб. статей XII Междунар. науч.-практ. конф. Под науч. ред. В.Н. Лазарева, Б.Я. Татарских. Пенза, 2022 // Издательство: Пензенский государственный аграрный университет (Пенза). 2022. С. 92-94.

УДК 66.041.491

*Колтыков Я.С., Веретенников В.С., Лукьянов Р.Ю.
Научный руководитель: Дуганов В.Я., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СБОРКА, СВАРКА И МОНТАЖ ЦЕЛЬНОСВАРНОГО КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

Сборка - это одна из ключевых операций при изготовлении разных корпусных деталей и конструкций. От того, насколько правильно

выполнена сборка сопрягаемых узлов и деталей, зависят многие качества, такие как сварные соединения, размеры и форма данных конструкций, необходимость правки конструкций после сварки, а также работоспособность и внешний вид [1].

Особое место в тяжелом машиностроении занимает сварка, предоставляющая возможности принципиально нового подхода к конструкторско-технологическим решениям в процессе создания различных крупных машин. Сварка корпусных деталей большой толщины, можно сказать, практически исключает ограничение размерного характера при проектировании уникальных деталей и позволяет осуществлять более технологичные конструкции.

Рассмотрим вращающуюся печь диаметром 3500 мм и длиной 75 м для обжига алюминиевой руды или доломита. Она представляет собой сварной металлический барабан, устанавливаемый с уклоном 3,5% в сторону выхода перерабатываемого материала из печи в холодильную установку. Холодильная установка расположена под печью и представляет собой также сварной металлический барабан диаметром 2,5 м и длиной 25 м, установленный с уклоном в 3,5%, обратным по отношению к печи, в направлении разгрузочной стороны [2].

Изготовление корпуса печи на заводе предусматривает транспортировку его к месту окончательного монтажа в виде отдельных секций длиной 13-18 м и весом от 12 до 28 т. Данные секции обычно соединяются с помощью заклепок, а сборочные и сварочные работы при изготовлении обечаек выполняют по типовому технологическому процессу.

Следующими операциями согласно технологии, являются разметка, установка и приварка различных уголков внутри секций, а также весьма трудоемкая операция по подгонке накладок, сверление в них и корпусе секций отверстий для монтажных стыков.

Значительные затруднения при выполнении сборки корпуса печи в клепаном варианте, обусловлены проведением операции подгонки монтажных накладок, их сверление вместе с корпусом на достаточной высоте с использованием в основном ручного труда. Работы по сборке и монтажу клепаного корпуса часто могут проводиться в условиях низких температур, что отражается на качестве выполняемых работ и их производительности.

При переводе стыков корпуса вращающейся печи с клепаного варианта на сварной отпадает необходимость в использовании накладок, что значительно снижает расход материала, а также уменьшает трудоемкость монтажа и сокращает время сборки корпуса. При данном варианте изготовления корпуса печи строгая соосность

секций достигается тем, что торцевые плоскости каждой секции подрезаются на токарных станках строго перпендикулярно к оси корпуса секции с подрезкой фасок [3]. Обработку производят на заводе-изготовителе, что обеспечивает при утановке более точную сборку корпуса в целом, а также достаточно высокое качество сварочных работ.

Перед началом общего монтажа цельносварного корпуса печи сооружают эстакаду вдоль корпуса, которая должна выдерживать сосредоточенную нагрузку не менее 30 тонн в местах монтажных стыков, и производят полный монтаж холодильника печи, а также выполняют работы по подготовке к сварке.

Перед началом сборки корпуса замеряют фактическую длину каждой секции корпуса печи.

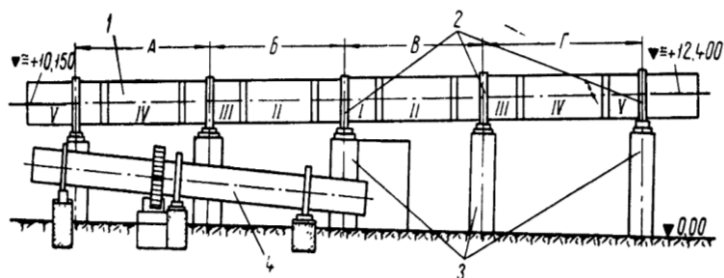


Рис. 1 Схема монтажа секций корпуса вращающейся печи:

1 – корпус печи; 2 – бандажи; 3 – опорные колонны; 4 – корпус холодильника

Затем выполняют установку бандажей, а также башмаков, устанавливаемые в отдельные секции, учитывая чертежи в соответствии с фактическими размерами длины секций, а также удлинения печи в течение ее нагрева и межосевые размеры между опорными роликами А, Б, В, Г (рис. 1). В последствии окончательной установки бандажей и башмаков просверливаются отверстия в корпусе. После этого бандажи и башмаки закрепляются болтами.

Секции корпуса располагаются по оси, согласно схемы, которая указана на (рисунке 1).

Корпус печи подлежит монтажу начиная с секции 1, которая расположена над приводом, ее фиксируют и устанавливают при помощи упорных роликов. Далее корпус собирается с концов, с двух сторон, секции 1 методом последующего наращивания. В это время производят поджатие клиньями стыковых накладок с дальнейшей приваркой прихватками, одновременно, вместе со сборкой корпуса.

После окончания сборки корпуса печи, приведенной на рис. 2, *а* осуществляется проверка на прямолинейность корпуса при помощи отвесов и струн, уклон – при помощи нивелира. Проверку необходимо производить по бандажам и в местах стыков. Ту же самую проверку производят после того, как приварят стыковые накладки.

Далее, используя лебедки, выполняют поворот корпуса печи на угол 360° , этим контролируют биение корпуса, затем приклепывают башмаки.

В местах, где соединяются отдельные секции, размер зазора должен составлять от трех мм, прилегание накладок и установка выполняется согласно (рисунок 2, *б*). Участки стыка нужно очистить от ржавчины, окалины и загрязнений. Сварку швов и прихваток выполняют сварщики высшего разряда, у которых есть паспорт на выполнение ответственных сварочных работ [4]. Сварочные прихватки должны накладываться с шагом 60×400 мм и сечение квадратом 6×6 мм [5].

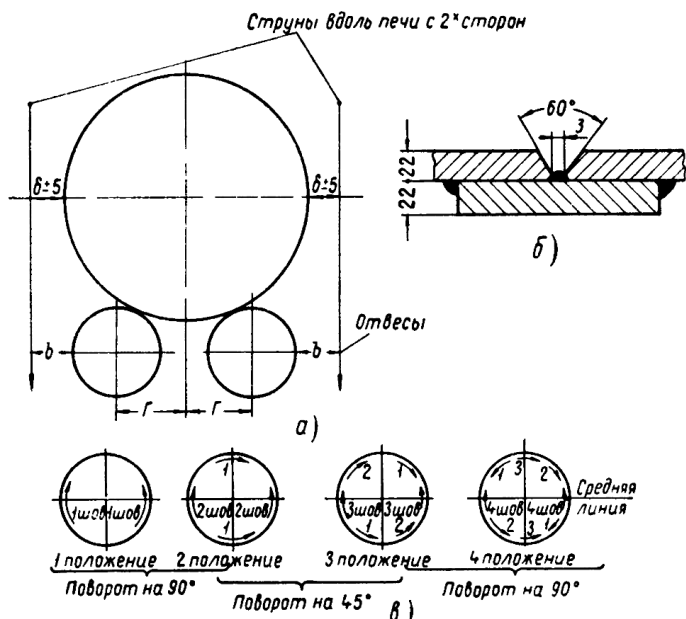


Рис. 2 Схема проверки прямолинейности корпуса печи (*а*); окончательная сборка секции с установленной накладкой (*б*); схема последовательности сварки монтажных стыков (*в*)

Последовательность сварки у монтажных стыков показана на (рис. 2), в, также нужно обращать внимание на условия безопасности сварочных работ внутри корпуса, а также и с наружной стороны.

Швы, которые указаны цифрой 1 в 1-ом положении, а также и последующие швы 2 и т. д., производятся одновременно 2-мя сварщиками, учитывая, что длина участков, которая равна 400 мм, будет завариваться, чтобы 100 мм длины участка находились сверху средней линии, а также 300 мм - снизу средней линии. Соблюдение угла поворота для корпуса обязательно для первых 4-х положений. Заполнение шва производят в три слоя, при этом контролируют прямолинейность корпуса нивелиром и струнами при поворотах.

Распорки удаляют из секций после того, как заваривают все швы корпуса печи.

При производстве сварочных работ, нужно обратить внимание на то, что подрезы на корпусе недопустимы, т.к. наличие их в условиях тяжелого режима работ печи может привести вследствие концентрации напряжений к возникновению трещин.

Сваренный корпус вращающейся печи потом подвергают проверке на биение и прямолинейность при развороте на 360°. Монтажные швы на качество проверяются методом засверливания внутренних и внешних кольцевых швов рассчитывая по две пробы на кольцевой шов.

Описанный в данной статье технологический процесс сварки и сборки цельносварного корпуса вращающейся печи 3,5x75 м в первый раз был применен при установке цементных печей в Богословском алюминиевом комбинате, и это позволило уменьшить сроки монтажа на целых четыре месяца из-за удаления операции сверления отверстий в корпусах секций, а также в накладках в условиях сборки, сэкономить около десяти тонн используемого металла и повысить эксплуатационные качества этих печей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://www.stroitelstvo-new.ru> Правила сборки корпусных деталей.
2. Самойлов С.И. Технология тяжелого машиностроения. М.: Изд-во. Машиностроение 1967. 585 с.
3. Самойлов С.И. Использование современных технологических достижений в конструкциях машин Уралмашзавода, Сб. «Новое в конструировании тяжелых машин» М., Машгиз, 1956.
4. Справочник по сварке. Под ред. Е.В. Соколова. М., Машгиз, 1961.

5. Гетьман Ю.А., Погонин А.А., Бондаренко Ю.А. Исследование переходного процесса эксплуатации при контактном взаимодействии барабанной печи и опорных роликов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. №3 с.107-117.

УДК 621.867

*Лукьянов Р.Ю., Рябокоть М.А., Воронков И.Е.
Научный руководитель: Блинова Т.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОДШИПНИКОВ В ЛЕНТОЧНОМ КОНВЕЙЕРЕ

В течение эксплуатации машин, их элементы в различной степени участвуют при работе конструкции, подвергаясь действию разных сил, нагрузок. Чтобы обеспечить нормальную работу конструкции, инженеру-конструктору нужно так подобрать материал, размеры элементов, чтобы они были прочными, достаточно жесткими (перемещения элементов конструкции не были выше заданного); устойчивыми (сохраняли под нагрузками свою первоначальную форму равновесия). Высокий рост вычислительной мощности ПК и распространение программного обеспечения для проектирования и производства привели к созданию и использованию САПР. На сегодняшний день существует множество CAE-программ, предназначенных для выполнения следующих задач: выполнения расчетов, анализа, симуляции физических процессов. Это является одним из элементов автоматизации конструкторской подготовки производства [1, 2].

На сегодняшний день заводы со среднесерийным, крупносерийным и массовым производством используют ленточные конвейеры. Из-за низкой скорости перемещения ленты, очень часто устанавливаются подшипники скольжения (рисунок 1) [3].



Подшипник

Рис. 1 Подшипники скольжения в ленточном конвейере

Рассмотрим один из таких корпусных подшипников (рисунок 2) и произведем проверку на прочность изделия в программе КОМПАС-3D, с помощью САЕ системы АРМ FEM. Для начала необходимо ввести необходимые критерии. На схеме нагрузок (рисунок 3) $F_{нат}$ – сила натяжения ленты. Выбираем ее значение в соответствии с параметрами разрывной прочности ленты. Следовательно, получаем $F_{нат} = 260$ кН [4].

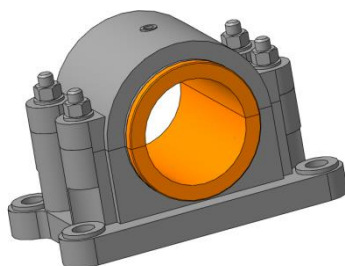


Рис. 2 Общий вид корпусного подшипника скольжения

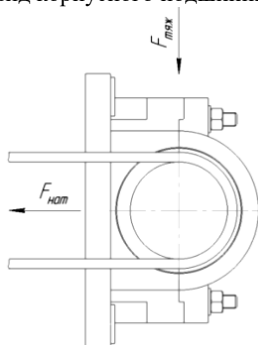


Рис. 3 Схема нагрузок на изделие в процессе эксплуатации

Так как система АРМ FEM – это инструмент, встроенный в программу КОМПАС-3D, т.е. он предназначен для конструкторской подготовки 3D моделей сборок и деталей. Кроме этого при помощи этого модуля можно смоделировать различные нагрузки, действующие на изделия, выполнить конечно-элементную сетку (в автоматическом режиме) и получить необходимый расчет.

Существуют следующие виды расчетов:

- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- тепловой расчет;

– топологическая оптимизация.

В итоге расчетов выводятся следующие типы результатов: напряжения, нагрузки, перемещения, коэффициент запаса, главные напряжения, усталость, полные деформации [5].

Для выполнения расчета нагрузок, действующих на подшипник скольжения, необходимо выполнить закрепление изделия по следующим поверхностям:

– фиксирование перемещений по осям X, Y производится по четырем внутренним цилиндрическим поверхностям отверстий подшипника (рисунок 4, а);

– фиксирование перемещений по оси Z производится по четырем плоским поверхностям бобышек и нижней опорной плоскости (рисунок 4, б).

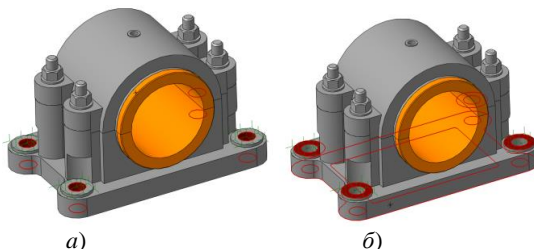


Рис. 4 Закрепление изделия: а – по осям X, Y; б – по оси Z

Далее прикладывается распределенная сила к нижнему вкладышу подшипника скольжения равная 260000 Н (рисунок 5). После чего генерируется программой конечно-элементная сетка. Затем выполняются статические расчеты.

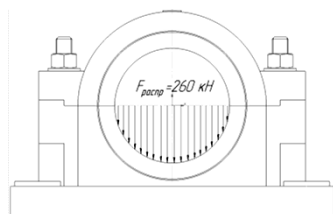


Рис. 5 Схема приложения нагрузки

После выполнения расчетов получены следующие результаты:

– коэффициент запаса (рисунок 6) – величина, показывающая возможность изделия выдержать нагрузку. Имеющаяся шкала рядом

показывает соответствие цвету значение коэффициента. В данном случае минимальное значение равняется 2,294, что является допустимым.

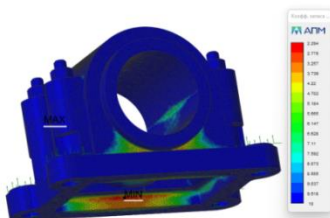


Рис. 6 Результат расчета коэффициента запаса

– перемещения (рисунок 7) – расстояние от точки перед использованием нагрузки до отклонившейся после нагрузки. Здесь максимальное значение равняется 0,022 мм, что также является допустимым.

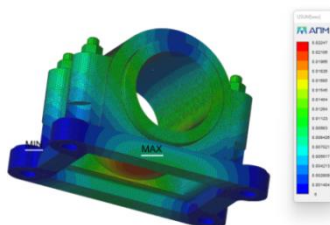


Рис. 7 Результат расчета перемещений

Из всего перечисленного можно сделать вывод, что данный корпусный подшипник скольжения выдержит нагрузку равную 26 т.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). СПб.: Питер, 2004. 560 с.
2. Анциферов С.И., Карачевцева А.В., Сычев Е.А., Обернихин А.А. Определение прочности станины конусной дробилки // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. №8. С. 92–102.
3. <https://gkmash.ru/products/transporter-lentochnyj-pryamoj>.
4. Киселев, Б.Р. Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов: учеб. пособие/ Б.Р. Киселев, М.Ю. Колобов; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2019. 179 с.

5. Межецкий Г.Д. Сопроотивление материалов: учебник / Г.Д. Межецкий, Г.Г. Загребин, Н.Н. Решетник; под общ. ред. Г.Д. Межецкого, Г.Г. Загребина. 5-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. 432 с.

УДК 62-526

Одобеско И.А., Прокопов М.В.

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

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРУДЕРОМ ДЛЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ПЕЧАТИ

Аддитивные технологии – технологии послойного наращивания материала при помощи систем компьютерного моделирования. Существует несколько методов 3D печати, однако все они являются производными аддитивной технологии производства изделий [1]. Вне зависимости от того, какой 3D принтер вы используете, построение заготовки осуществляется путем послойного добавления сырья. Несмотря на то, что термин аддитивные технологии используется отечественными инженерами очень редко, технологии послойного синтеза фактически оккупировали современную промышленность [2].

Укладка материала при получении малых архитектурных форм и архитектурных модулей при использовании промышленного робота, являющегося основой программно – аппаратного комплекса аддитивной печати, выполняется поочерёдной укладкой слоёв строительного материала, с постепенным наращиваем высоты изделия. Т. е. первым укладывается базовый слой, затем, по мере его схватывания, следующий и т.д. При этом, формирование объёма изделия происходит в соответствующей плоскости. Построение модели перемещения укладки строительной смеси антропоморфным роботом необходимо для генерации программ управления приводами перемещений его соответствующих механизмов [3].

По оси Z перемещения выполняются только при переходе к укладке следующего слоя, профиль изделия формируется в плоскости XY. Шаг перемещения по вертикальной оси связан только с технологическими параметрами процесса, т.е. определяется требуемой высотой слоя укладываемого материала, которая в свою очередь зависит от реологических свойств материала, что устанавливается экспериментальным путём [4].

Перемещения рабочего органа в плоскости XY могут иметь линейную или круговую траекторию, полная траектория перемещения рабочего органа может иметь как линейные, так и круговые участки, полный охват траекторий промышленным роботом указан на (рисунке 1).

Особенностью формирования траектории рабочего органа является то, что она является осью стека, формируемого экструдером из строительного материала, как это представлено на (рисунке 2), только для перемещения вдоль оси X со скоростью v [5].

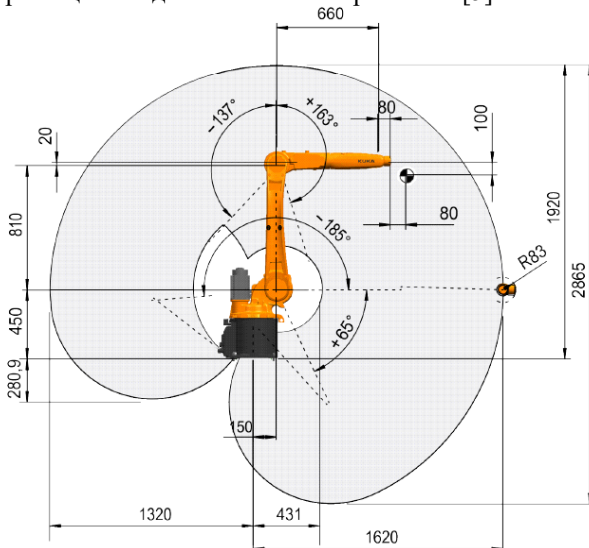


Рис. 1 Схема расположения зон доступа промышленного робота

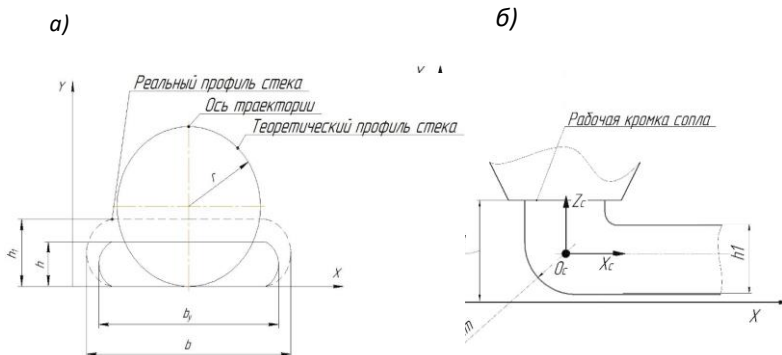


Рис. 2 Схема укладки материала по траектории с формированием стека в поперечном и продольном направлениях

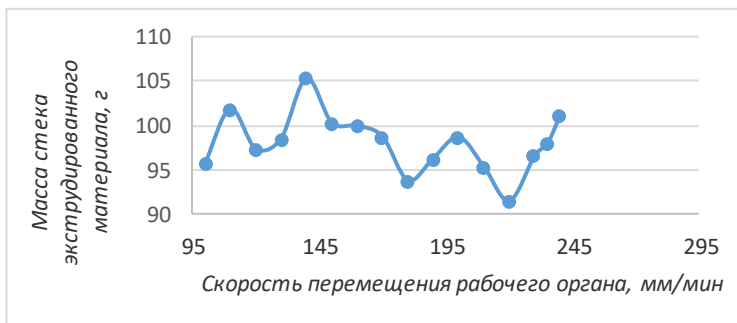


Рис. 3 График зависимости массы стека экструдируемого материала от скорости перемещения рабочего органа

Анализ взаимозависимостей технологических параметров показал, что наиболее приемлемым является материал с плотностью $1,95 \text{ т/м}^3$. Технологические режимы перемещения рабочего органа изменялись со скорости 100 мм/мин до 240 мм/мин с шагом в 10 мм/мин, что позволило получать качественные слои изделия. Также эксперименты показали, что основной упор стоит сделать на полимерные композитные материалы с различными металлическими или неметаллическими добавками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ян Гибсон, Брент Стакер, Давид Розен. Технологии аддитивного производства Из – во Питер, СПб, 2017, 136 с., ISBN 970 - 4 - 491 - 02031 - 2.
2. Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. Из – во Питер, СПб, 2016, 400 с., ISBN 978 - 5 - 496 - 02049 - 7.
3. Чепчуров М.С., Любимый Н.С., Четвериков Б.С., Зубенко И.Н., Одобеско И.А. Реализация способа аддитивной печати реактопластами с использованием двухкомпонентной печатной смеси // Технологии аддитивного производства. 2019. Т. 1. №1. С. 36–46.
4. KUKA System Software 8.3 – Instructions for system integrators.
5. Chepchurov M.S., Zhukov E.M., Yakovlev E.A., Matveykin V.G. From path models to com-mands during additive printing of large-scale architectural designs. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1015. Iss. 3. 2020. P. 110 – 121.