



Министерство образования
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



Машиностроительный факультет

НИРС МСФ-2023

Сборник материалов

79-й студенческой научно-технической конференции

Секция «Металлорежущие станки и инструменты»

Электронное издание

Минск БНТУ 2023

УДК 621.91.
ББК 34.4.я43
Н68

Редколлегия:

О.К. Яцкевич, А.В. Ажар, А.А. Данилов, В.А. Данилов, С.С. Довнар, Л.А. Колесников, Е.А. Маркова, А.Д. Пенкина, А.М. Якимович

Составитель:

Л.А. Колесников

В сборник включены материалы докладов 79-й студенческой научно-технической конференции (секция «Металлорежущие станки и инструменты»).

Белорусский национальный технический университет
Машиностроительный факультет
Кафедра «Технологическое оборудование»
Пр-т Независимости, 65, уч. корп. 6,
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: mstools@bntu.by
<http://www.bntu.by/mstools.html>

Содержание

Моделирование червячной фрезы со скорректированной передней поверхностью Студент гр.10305219 Власов Ф.В.	4
Анализ схемы полигонального течения многогранных поверхностей с плоскими гранями Студент гр.10305220 Гривусевич Е.Д.	11
Анализ схемы обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей эксцентрично установленным вращающимся круглым резцом Студент гр.10305220 Громоковский Д..В.	17
Анализ и реализация схемы формообразования круговых винтовых поверхностей Студент гр. 10305220 Воронько Н.И.	22
Конструкции современных шлифовальных станков студент гр. 10305122 Каношкин А.Ю.	28
Направления развития шлифовальных станков студент гр. 10305122 Каношкин А.Ю.	35
Исследование технологии и особенностей лазерной сварки тонкостенных изделий из стали Магистрант Кранцевич А.В.	42
Комбинированные пневмо– и гидродвигатели в устройствах автоматизации технологических процессов Студент гр. 10303120 Полянский И.А.	50
Пневматические мускулы и их применение Студент гр.10303120 Сидоренко К.Р.	57
Микропрограмма для подбора гитары сменных зубчатых колес Магистрант Сивак В.М.	63
Difficulties faced by China's robot development Magistrand Wenkai Shao	69

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ СО СКОРРЕКТИРОВАННОЙ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Студент гр.10305219 Власов Ф.В.

Научный руководитель – ст. преподаватель Касач Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Основные направления развития машиностроения предусматривают дальнейшее повышение его эффективности, интенсификации, уменьшение сроков создания, освоения и производства новой прогрессивной техники. Тенденцией современной металлообработки является конструирование высокопроизводительного металлорежущего инструмента, способного работать на более высоких скоростях резания и подачах. Рассмотрим возможную модификацию заточки червячной фрезы модулем 1.5 мм с целью повышения ее стойкости при работе на высоких скоростях резания.

Как известно, процесс резания червячной фрезой осуществляется режущими кромками ее зубьев в пределах высоты их профиля – от вершины до основания профиля зуба. Высота профиля зуба примерно равна 1,1 глубины впадины на обрабатываемой зубчатой детали. Например, на червячно-модульных фрезах глубина впадины на обрабатываемом зубчатом колесе равна 2,25 модуля, а высота профиля зуба фрезы равна 2,50 модуля [1, с. 32]. Известно также, что наличие положительных передних углов на всех участках режущей кромки любого инструмента, в том числе и червячной фрезы, повышает его режущую способность, а, следовательно, повышает и его период стойкости [2, с. 28].

Тогда, в соответствие с патентом RU 2416498 С1, выполнение передней поверхности режущих зубьев червячной фрезы от вершины до основания профиля зуба вогнутой, с образующей в виде дуги окружности определенного радиуса, при заданных значениях величин оптимального переднего угла на вершине профиля зуба фрезы и положительного переднего угла в основании профиля зуба позволяет обеспечить положительные передние углы

на всех участках режущих кромок зубьев, значения которых находятся в интервале от величины оптимального переднего угла на вершине профиля зуба фрезы до величины переднего угла в основании профиля зуба фрезы. Значение радиуса дуги окружности и ее положение однозначно определяются заданными величинами высоты профиля зуба фрезы, оптимального переднего угла на вершине и положительного переднего угла в основании профиля зуба фрезы. Высота профиля зуба фрезы определяется по высоте профиля зубьев обрабатываемой детали и указана на рабочем чертеже фрезы (рисунок 1). Величина оптимального переднего угла на вершине профиля зуба фрезы равна $15...20^\circ$ [3, с. 266].

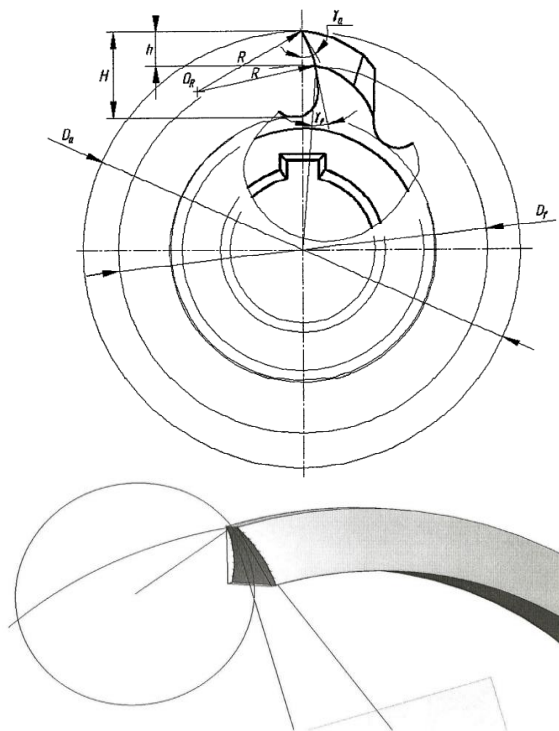


Рисунок 1 – Расчетная схема построения и скорректированная передняя поверхность

Конкретное значение переднего угла в основании профиля зуба фрезы, при котором обеспечивается наибольший ее период стойкости, зависит от свойств обрабатываемого и инструментального материалов, режима резания, применяемой смазочно-охлаждающей жидкости и определяется экспериментально с учетом того, что из условия вогнутости передней поверхности зубьев фрезы величина этого угла ограничивается неравенством

$$\gamma_f \leq \arcsin\left(\frac{D_a \cdot \sin\gamma_a}{D_f}\right); \quad (1)$$

где

γ_f – величина положительного переднего угла в основании профиля зуба фрезы;

γ_a – величина оптимального переднего угла на вершине профиля зуба фрезы; D_a – наружный диаметр фрезы;

D_f – диаметр окружности, проходящей через основание профиля зуба фрезы.

Одновременное обеспечение оптимального переднего угла на вершине профиля зуба фрезы и положительных передних углов на боковых режущих кромках от вершины до основания профиля зуба фрезы позволяет уменьшить деформацию срезаемых слоев металла на всех участках режущей кромки зуба в пределах высоты его профиля и тем самым снизить силы и температуру в зоне резания, вследствие чего повышается период стойкости фрезы [4, с.34]. Для рассматриваемой фрезы принимаем $D_a=80$ мм; $D_f=75.35$ мм, $\gamma_a=20^\circ$. Тогда для переднего угла γ_f в основании профиля зуба фрезы можно записать:

$$\gamma_f \leq \arcsin\left(\frac{80 \cdot \sin 20^\circ}{75.35}\right);$$

$$\gamma_f \leq 21.23^\circ$$

Принимаем $\gamma_f = 5^\circ$.

Радиус кривизны вогнутости скорректированной передней поверхности определим по формуле:

$$R = \frac{h}{\sin\gamma_a - \sin\gamma_f}; \quad (2)$$

где

R - радиус окружности образующей передней поверхности зуба фрезы;

h - высота профиля зуба фрезы;

γ_a - величина оптимального переднего угла на вершине профиля зуба фрезы;

γ_f - величина положительного переднего угла в основании профиля зуба фрезы.

$$R = \frac{3,75}{\sin 20^\circ - \sin 5^\circ} = 14,7137 \text{ мм.}$$

Для построения и визуализации геометрии скорректированной червячной фрезы и процесса формообразования передней поверхности использовалась программа для трехмерного моделирования SolidWorks версии 22. Трехмерная модель скорректированного зуба, а также эскиз построения представлены на рисунке 2.

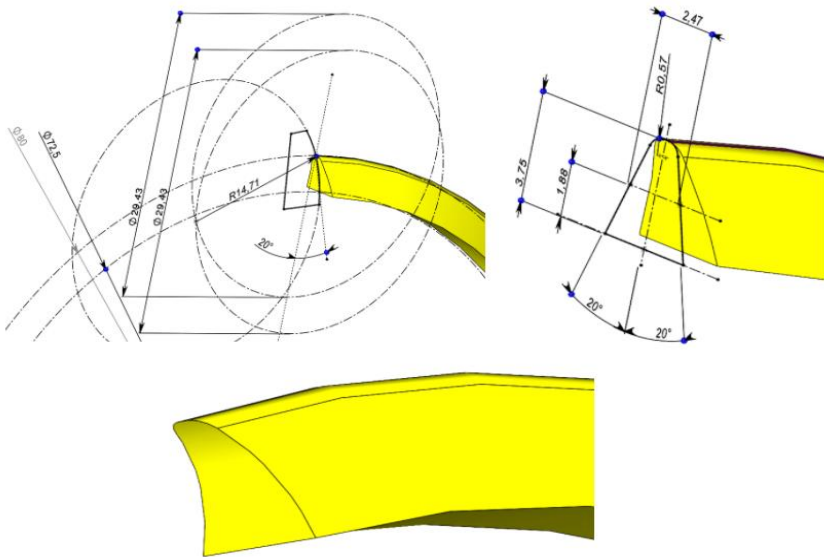


Рисунок 2 – Скорректированная геометрия передней поверхности зуба спроектированной червячной фрезы

Трехмерная модель фрезы червячной модулем 1.5 мм со скорректированной передней поверхностью, а также эскиз ее построения представлены на рисунках 3 – 4.

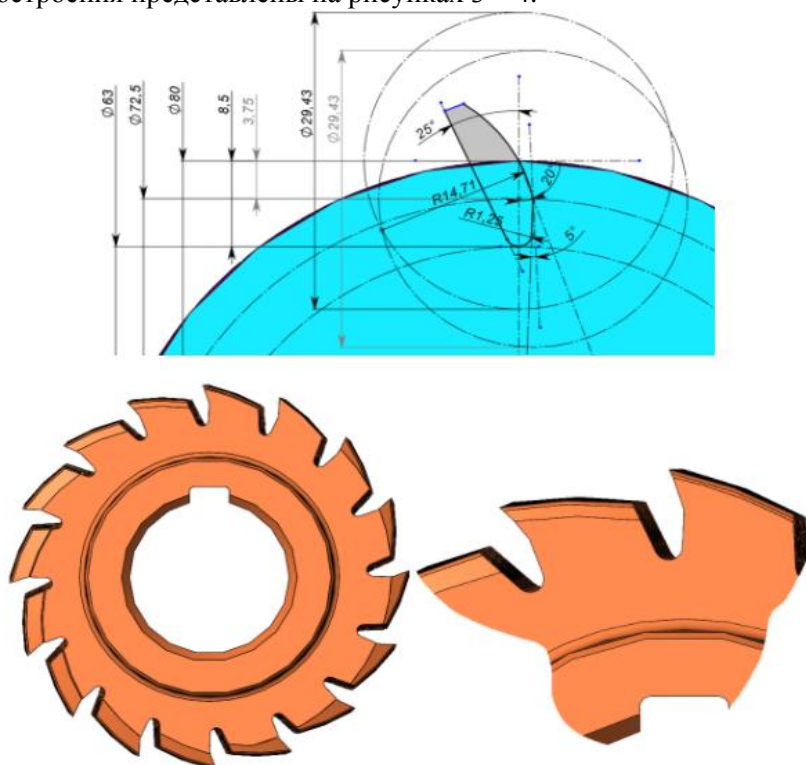


Рисунок 3 – Построение скорректированной передней поверхности червячной фрезы

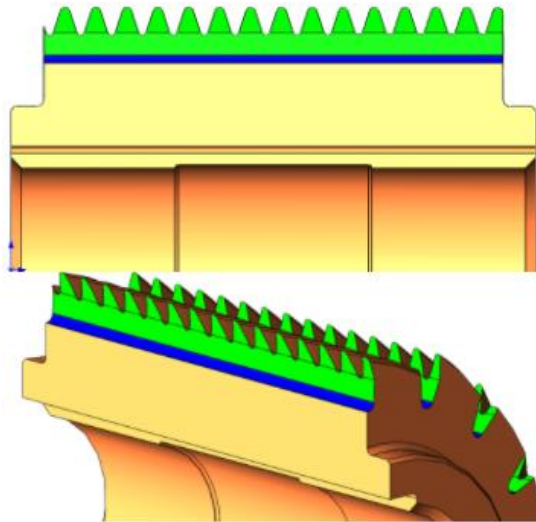


Рисунок 4 – Червячная фреза со скорректированной передней поверхностью

Для формирования скорректированной передней поверхности фрезы был создан профилированный шлифовальный круг. Геометрическое моделирование процесса заточки скорректированной передней поверхности фрезы, установленной на оправке, показано на рисунке 5. Такой подход позволил корректно задать параметры установки круга при заточке и подтвердило правильность представленной методики расчета профиля передней поверхности фрезы.

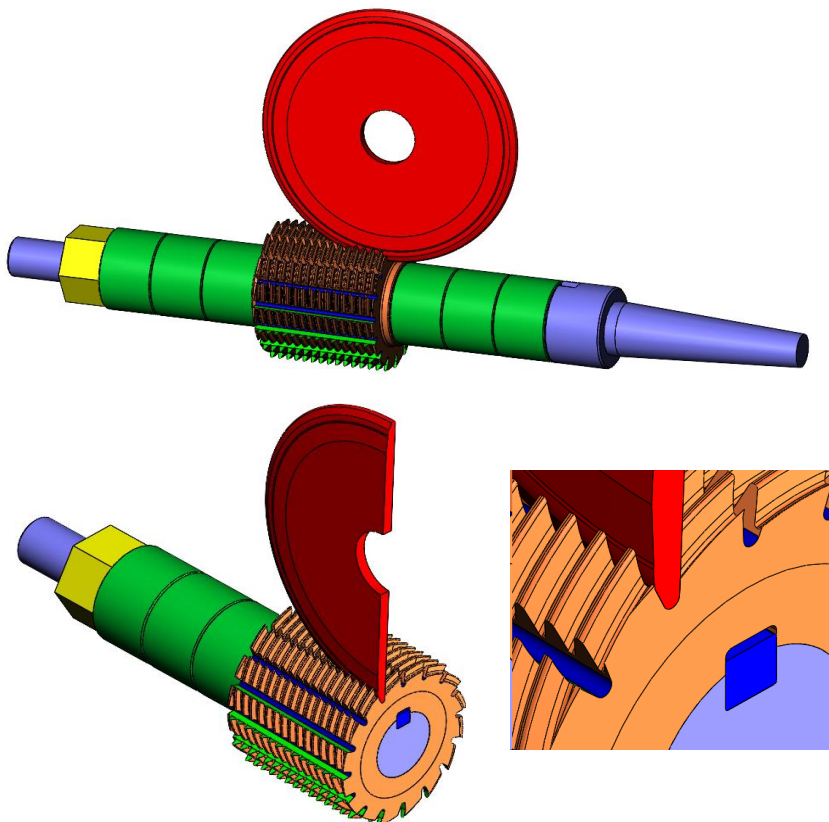


Рисунок 5 – Процесс формирования скорректированной передней поверхности червячной фрезы

Литература

1. ГОСТ 9324-80. Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Технические условия.
2. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа / О.В. Полохин [и др.]. – Москва: Машиностроение, 2007. – 235 с.
3. Бобров В.Т. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
4. Ящерицын П.И. Теория резания. – Мн.: Новое издание, 2005. – 512 с.

УДК 621.9.04

АНАЛИЗ СХЕМЫ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ МНОГОГРАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПЛОСКИМИ ГРАНЯМИ

Студент гр.10305220 Гривусевич Е.Д.

Научный руководитель – ст. преподаватель Данилов А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Многогранные поверхности с плоскими гранями обычно обрабатывают на фрезерных станках с периодическим поворотом заготовки (движением деления), необходимым для последовательной обработки всех граней, что отрицательно влияет на производительность обработки. Поэтому заслуживают внимания методы обработки, при которых движение деления совмещено с движением формообразования, что обеспечивает повышение производительности. К таким методам относится полигональное точение, которое является альтернативой фрезерованию при обработке многогранных поверхностей. Недостатком полигонального точения многогранных поверхностей является то, что обработанные поверхности отличаются от плоских на величину δ (рисунок 1), которая зависит от параметров схемы обработки. Поэтому настраиваемы параметры должны обеспечивать требуемую точность формообразования граней.

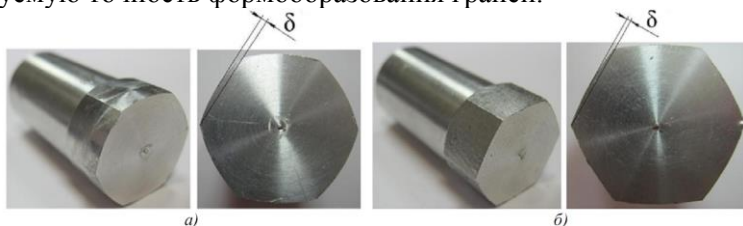


Рисунок 1 – Образцы деталей, обработанных полигональным точением

Полигональное точение основано на профилировании формируемой поверхности методом следа сложным исполнительным движением резания, образованным

согласованными вращательными движениями режущего инструмента и заготовки [1]. Оно выполняется на специальных станках, на модернизированных токарных автоматах и полуавтоматах, на современных многооперационных токарных станках с функцией полигонального точения резцовыми головками внешнего касания или охватывающего типа. В первом случае имеет место встречная, а во втором – попутная схемы обработки.

Рассмотрим более простую в реализации схему полигонального точения резцовой головкой внешнего касания (рисунок 1). Определим основные параметры данной схемы при обработке поверхностей с плоскими гранями, при которых обеспечиваются требуемая точность формообразования и допусковое изменение рабочих углов режущих лезвий.

Профиль обработанной поверхности в виде многоугольника образуется при сообщении заготовке 1 и режущему инструменту 2 согласованных вращательных движений B_1 и B_2 с угловыми скоростями, соответственно ω_1 и ω_2 , вокруг параллельных осей L_1 и L_2 , расстояние между которыми $l = R + r$, где R – расстояние от вершины C резца до оси L_2 вращения инструмента, r – радиус вписанной в профиль окружности. Если заготовке и инструменту сообщить дополнительное вращение $-B_1$ вокруг оси L_1 в направлении, противоположном вращению заготовки, с угловой скоростью ω_1 (рисунок 1, б), то деталь и система координат XU будут неподвижны, а ось L_2 получит вращение вокруг оси L_1 с угловой скоростью ω_1 . Точка C , совершая сложное движение, перемещается по траектории ab , уравнение которой

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

где β – угол поворота точки C вокруг оси L_2 , соответствующий углу α поворота заготовки. Отношение β / α должно обеспечивать процесс непрерывного деления.

В зависимости от параметров схемы обработки траектория ab может быть выпуклой, вогнутой и приближаться к прямой линии.

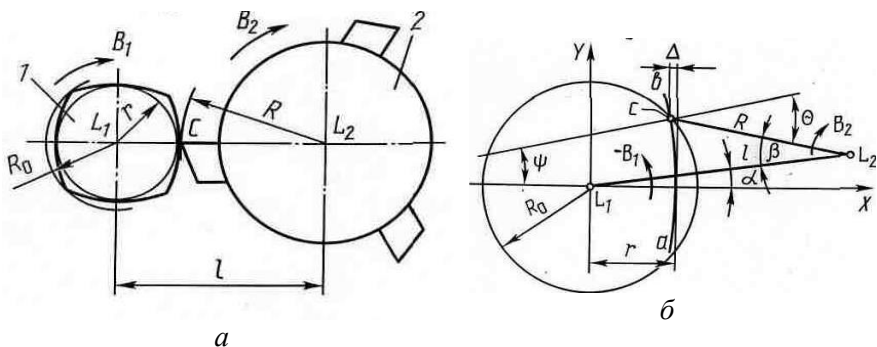


Рисунок 2 – Кинематическая схема полигонального точения (а) и схема профилирования (б) многогранной поверхности инструментом внешнего касания

Из (1) следует, что при $\beta = \alpha$ грани профилируются по окружности, уравнение которой

$$(x + R)^2 + y^2 = l^2. \quad (2)$$

Для образования плоских граней точка C должна перемещаться по прямой, поэтому

$$(R + r)\cos \alpha - R \cos(\beta - \alpha) - r = 0. \quad (3)$$

Дифференцируя (3) и учитывая, что $d\alpha / dt = \omega_1$ и $d\beta / dt = \omega_2$, получим зависимость между кинематическими и геометрическими параметрами схемы обработки

$$\omega_2 / \omega_1 = 1 + (1 + r/R)\sin \alpha / \sin(\beta - \alpha). \quad (4)$$

Из (3) следует, что для значений α , возможных при обработке многогранных изделий, величина ω_1 / ω_2 практически не зависит от α и численно определяется параметром r/R . Поэтому вместо ω_2 / ω_1 можно рассматривать равное отношение β / α или n_2 / n_1 , где n_2 – частота вращения инструмента, n_1 – частота вращения заготовки. Отношение β / α – выражается приближенной зависимостью, полученной из уравнения (3) при замене функции косинус двумя членами разложения в ряд:

$$\beta/\alpha = 1 + \sqrt{1 + r/R}. \quad (5)$$

Выполнение условия (5) обеспечивает высокую точность профилирования плоских граней, например, при их ширине в пределах 20–100 мм и $r/R=0,2$ отклонение профиля от плоскости меньше 2×10^{-3} мм. Однако реализация условия (5) представляет технические трудности, так как процессе формообразования многогранной поверхности совмещен с процессом деления, что возможно, если

$$i = m/Pz, \quad (6)$$

где m – количество граней;

z – число резцов в головке;

P – целое число, задающее последовательность обработки граней [2].

Для поверхностей с четным числом граней рассматриваемая схема осуществима только при $n_2/n_1=2$ и $P=1$. В этом случае $m/(Pz)=2$ и $r/R=0$, что практически невыполнимо, так как $r \neq 0$ и $R \neq \infty$. Поэтому возможно лишь приближенное профилирование плоских граней с неплоскостностью Δ (см. рисунок 2, б).

Траектория относительного движения вершины резца, согласно уравнениям (1), при $\beta=2\alpha$ описывается системой уравнений

$$\begin{cases} x = r \cos \alpha \\ y = (r + 2R) \sin \alpha \end{cases}, \quad (10)$$

откуда

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{(r + 2R)^2} = 1. \quad (11)$$

Таким образом, грани профилируются по эллипсу, отклонение которого от прямой составляет

$$\Delta = r(1 - \cos \alpha). \quad (12)$$

Максимальное значение Δ соответствует моменту окончания обработки грани, для которого

$$\alpha \approx \arcsin\left(\sqrt{R_0^2 - r^2} / (2R + r)\right), \quad (13)$$

где R_0 – радиус окружности, описанной вокруг профиля.

Решение уравнения (13) относительно R определяет зависимость радиуса инструмента от неплоскостности Δ грани. Если допускаемое отклонение составляет $[\Delta]$, то

$$R \geq \frac{r}{2\sqrt{2}} \left(\sqrt{\frac{r(R_0^2 / r^2 - 1)}{[\Delta]}} - 1 \right). \quad (14)$$

Настройка величины R по условию (14) обеспечивает формообразование грани с отклонением от плоскости, не превышающим допускаемую величину $[\Delta]$.

При определении радиуса резцовой головки необходимо также учитывать изменение рабочих углов режущих лезвий. Текущее их изменение θ , согласно рисунку 1, б, составляет

$$\theta = \beta - \alpha + \varphi, \quad (15)$$

где φ – угол между осью абсцисс и нормалью к образуемой линии в рассматриваемой точке, который определяется по формуле

$$\varphi = \arctg |rtg \alpha / (r + 2R)|. \quad (16)$$

Поскольку $\beta = \alpha m / (zP)$, то

$$\theta = \alpha(m / (zP) - 1) + \arctg |rtg \alpha / (r + 2R)|. \quad (17)$$

Максимальное значение θ имеет место в моменты входа резца в контакт с заготовкой и выхода из нее, для которых α определяется по (13) при R_0 , равном радиусу заготовки. Так как α и,

следовательно, θ зависят от R , то выражение (17) позволяет при $\theta = \theta_{max} = [\theta]$, где $[\theta]$ – допускаемое изменение рабочих углов, определить минимальный радиус инструмента. Для обеспечения заданной точности формообразования плоских граней при допускаемом изменении рабочих углов инструмента его радиус R принимается равным большему из значений, определенных из (15) и (17).

Таким образом, результаты исследования позволяют определять параметры инструмента при его проектировании и настройке, исходя из требуемой точности формообразования многогранных поверхностей. Применение полученных результатов в практике машиностроения важно для более широкого применения полигонального точения при обработке на современных токарных станках изделий с многогранными поверхностями. Реализация на станке схем полигонального и традиционного кругового точения обеспечивает выполнение на нем комплексной обработки деталей с круглыми и многогранными поверхностями, что позволяет сократить производственный цикл, уменьшить номенклатуру и количество необходимого станочного оборудования [3].

Литература

1. Данилов, А.А. Анализ и реализация схем полигонального точения многогранных поверхностей / А.А. Данилов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. – Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 11, с. 19-27.
2. Данилов, В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов. – Мн. : Наука и техника, 1995. – 264 с.
3. Данилов, В.А. Комплексная обработка деталей с круглыми и многогранными поверхностями на многооперационных токарных станках / В.А. Данилов, А.А. Данилов // Машиностроение: Республиканский межведомственный сб. научных трудов, Вып. 30. – Мн: БНТУ, 2017. – С. 25-33.

УДК 621.9.04

АНАЛИЗ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭКСЦЕНТРИЧНО УСТАНОВЛЕННЫМ ВРАЩАЮЩИМСЯ КРУГЛЫМ РЕЗЦОМ

Студент гр.10305220 Громоковский Д..В.

Научный руководитель – профессор Данилов В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Цилиндрические поверхности с синусоидальным профилем применяются в профильных моментопередающих соединениях, которые по сравнению с традиционными шлицевыми и шпоночными соединениями обладают более высокой усталостной прочностью и долговечностью. Для расширения применения профильных соединений в изделиях машиностроения практическое значение имеет использование технологий, основанных на эффективных методах формообразования и схемах обработки моментопередающих поверхностей. К ним относятся методы обработки инструментами с непрерывным обновлением режущей кромки, в частности, ротационное резание, обеспечивающее, при более высокой стойкости инструмента, повышение производительности обработки.

Из известных способов ротационного точения профильных цилиндрических поверхностей определенные преимущества имеет способ ротационного точения эксцентрично установленным круглым резцом [1]. Рассмотрим эту схему обработки.

Заготовке 1 (рисунок 1) и круглому резцу 2 радиусом R сообщаются вращательные движения, соответственно, ω_1 и ω_2 с частотами n_1 и n_2 вокруг скрещивающихся под прямым углом осей L_1 и L_2 . Геометрическая ось 3 резца параллельна оси его вращения L_2 и отстоит от нее на величину эксцентриситета $e = h/2$, где h – высота выступов профиля над вписанной в него окружностью радиусом r .

Радиус-вектор ρ профиля непрерывно изменяется по зависимости

$$\rho = r + \Delta\rho, \quad (1)$$

где: r – радиус вписанной в профиль окружности; $\Delta\rho$ – приращение радиус-вектора профиля, обусловленное изменением расстояния между осью L_1 и режущей кромкой.

Огибающая положений оси L_1 в её вращательном движении вокруг оси L_2 представляет собой окружность радиусом $R + e + r$, а прямолинейная образующая формируемой криволинейной поверхности при любом значении φ_ρ касательна к круговой режущей кромке. Тогда, из рисунка 1, б

$$R + \rho = R + e + r + e \cos(\pi - \varphi_\rho), \quad (2)$$

$$\rho = r + e(1 - \cos \varphi_\rho). \quad (3)$$

Так как $n_2/n_1 = m$, то $\varphi_\rho = m\varphi$, где φ – угол поворота заготовки, соответствующий углу φ_ρ поворота резца. Следовательно, образуемый профиль описывается уравнением

$$\rho = r + e(1 - \cos m\varphi) \quad (4)$$

или

$$\rho = R_0 - e(1 + \cos m\varphi), \quad (5)$$

где R_0 – максимальный радиус формируемого профиля.

Так как средний радиус некруглого профиля r_c определяется по зависимости $r_c = r + e$, то формула (1) примет вид:

$$\rho = r_c - e \cos m\varphi. \quad (6)$$

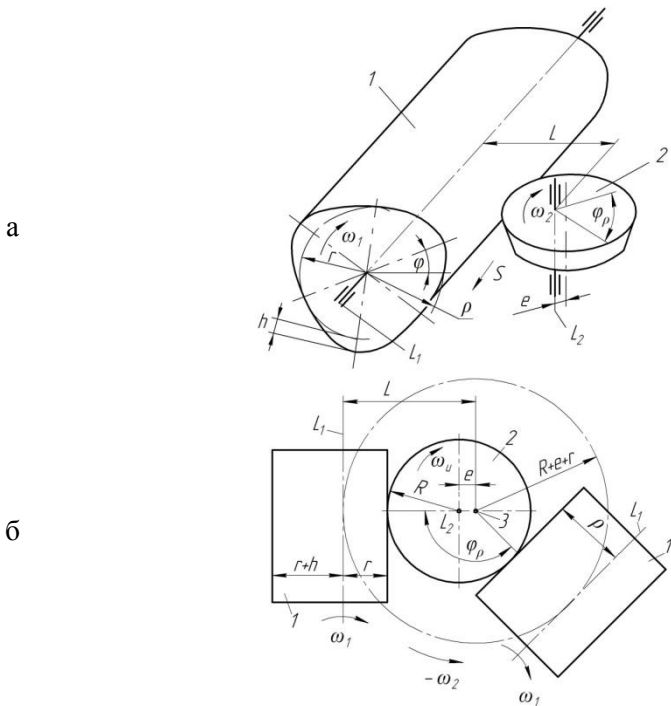


Рисунок 1 – Кинематическая схема обработки (а) и схема профилирования (б) поверхности эксцентрично установленным круглым резцом

Таким образом, образуемый профиль является синусоидальным, имеющим m равномерно расположенных по окружности выступов, высота h которых равна $2e$. Величина e влияет на кривизну профиля, который может быть выпуклым или выпукло-вогнутым. образуемый профиль не зависит от радиуса резца, который изменяется при переточке, что имеет практическое значение.

Рассмотрим влияние параметра e/r_c на геометрию формируемого профиля. Из конструктивных и технологических соображений предпочтителен выпуклый профиль, у которого кривизна в каждой точке положительна. В этом случае отсутствуют ограничения на диаметр инструмента при обработке шлифованием или поверхностным пластическим деформированием. При наличии

же вогнутых участков радиус инструмента не должен превышать радиус впадины профиля. Кроме того, при выпуклой форме профиля в меньшем диапазоне изменяются рабочие углы режущего лезвия, что улучшает условия резания. Кроме того, контроль вогнутого профиля представляет определенные трудности, так как требуется специальный мерительный инструмент. В этой связи определим условие, при котором кривизна в каждой точке профильной поверхности положительна.

Граничные условия выпуклости и вогнутости формируемого профиля, получаемого эксцентрично установленным круглым ротационным резцом по рассматриваемой схеме обработки, определяется по зависимости

$$K_{\rho} = \frac{e}{r_c} = \frac{1}{m^2 + 1}. \quad (7)$$

Если во всех точках профиля $\frac{e}{r_c} < \frac{1}{m^2 + 1}$, то он является выпуклым. В точках, где $\frac{e}{r_c} > \frac{1}{m^2 + 1}$, профиль вогнутый. Если же

$\frac{e}{r_c} = \frac{1}{m^2 + 1}$, то его кривизна равна нулю.

На рисунке 2 изображены профили образуемой поверхности при $\frac{e}{r_c} < \frac{1}{m^2 + 1}$ (рисунок 2, а), $\frac{e}{r_c} = \frac{1}{m^2 + 1}$ (рисунок 2, б),

$\frac{e}{r_c} > \frac{1}{m^2 + 1}$ (рисунок 2, в). Таким образом, в зависимости от

отношения $\frac{e}{r_c}$ обрабатываемый профиль может быть вогнутым или выпукло-вогнутым. Следовательно, настройкой эксцентриситета установки круглого резца обеспечивается управление схемой

формообразования для получения профиля требуемой геометрии, что необходимо для практической реализации ротационного точения профильных поверхностей.

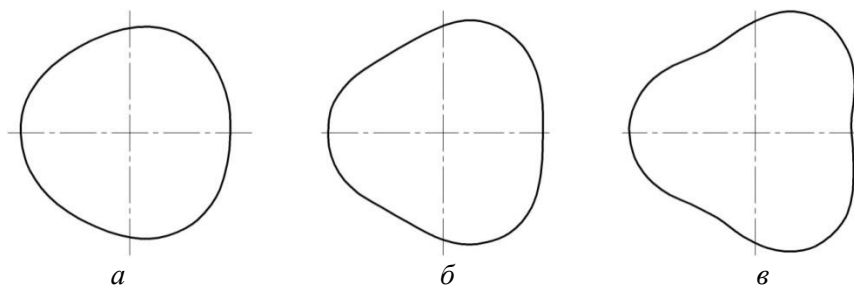


Рисунок 2 – Формы синусоидального профиля в зависимости от параметра $\frac{e}{r_c}$

Схема ротационного точения валов с синусоидальным профилем технически просто реализуется на шлицефрезерном станке без его модернизации при эксцентричной установке круглого резца на инструментальном шпинделе вместо червячной фрезы [2]. Таким образом, схема обработки профильных валов эксцентрично установленным круглым ротационным резцом имеет широкие технологические возможности по форме обработанных поверхностей, отличается простой кинематикой, что позволяет реализовать ее на универсальных станках с согласованными вращательными движениями инструмента и заготовки.

Литература

1. Способ точения сложных поверхностей: А.с. 982845 СССР, МКИ В23В 1/00 / В.А. Данилов (СССР); Заявл. 21.01.80; Оpubл.23.12.82, Бюл. № 47.
2. Данилов, В.А. Анализ и реализация схем обработки профильных цилиндрических поверхностей ротационным инструментом / В.А. Данилов, А.Н. Селицкий // Горная механика и машиностроение. – 2012, №– 2012, №. – С 71-82.

УДК 621.9.04

АНАЛИЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ СХЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КРУГОВЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Студент гр. 10305220 Воронько Н.И.

Научный руководитель – профессор Данилов В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Круговой винтовой является поверхность, поперечное сечение которой (образующая) является окружностью, а направляющая – винтовой линией [1]. Такую поверхность имеют, например, роторы одновинтовых насосов, которые широко применяются в технологическом оборудовании разных отраслей промышленности, включая импортное оборудование. Для обеспечения его работоспособности требуется замена изношенных роторов, которые зачастую закупаются у зарубежных производителей. В этой связи важно освоение их производства. Данное обстоятельство обуславливает необходимость разработки технологии формообразования круговых винтовых поверхностей, т.е. метода формообразования, схемы обработки и средств их реализации (станочного оборудования и инструментов).

Эффективность технологии формообразования в значительной мере зависит от реализуемого метода формообразования поверхности, общей и кинематической схем обработки. К основным этапам разработки технологии формообразования относятся:

- геометрическое представление круговой винтовой поверхности, что необходимо для синтеза общей и кинематической схем обработки;
- синтез рационального метода формообразования круговой винтовой поверхности;
- разработка кинематической схемы обработки поверхности;
- реализация технологии формообразования конкретного изделия.

Геометрическое представление и общие схемы обработки круговых винтовых поверхностей. Детали рабочего органа одновинтового насоса (неметаллический статор и стальной ротор), схематично показаны на рисунке 1. Они ограничены круговыми винтовыми поверхностями – наружной однозаходной у стального ротора и внутренней с двумя заходами у статора.

Круговую винтовую поверхность S (рисунок 2, *a*) можно рассматривать как множество окружностей C диаметром d , центры которых расположены на винтовой линии L . Учитывая, что любую поверхность можно представить как след движения одной линии (образующей) по другой (направляющей) [2], круговая винтовая поверхность образуется относительным перемещением окружности C и винтовой линии L .

В зависимости от выбора из этих линий образующей и направляющей, возможны два варианта общей схемы обработки круговой винтовой поверхности: в первом случае образующей является окружность C , которая перемещается по направляющей в виде винтовой линии L с шагом T (см рисунок 2, *a*); во втором, наоборот, направляющей служит окружность, а образующая – кривая L с периодически повторяющейся формой, у которой период равен шагу T круговой винтовой поверхности.

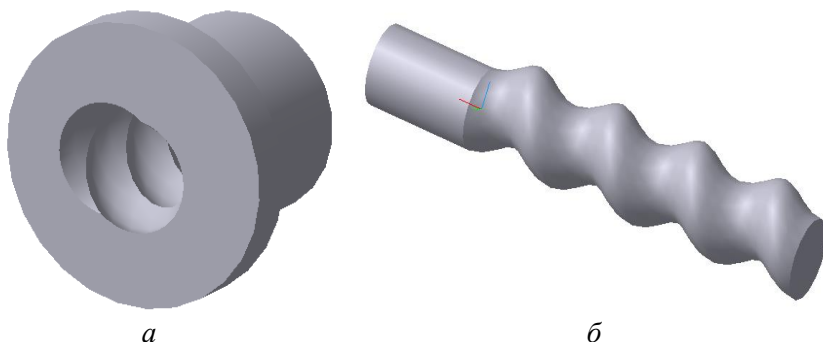


Рисунок 1 – Статор (*a*) и ротор (*б*) рабочего органа одновинтового насоса

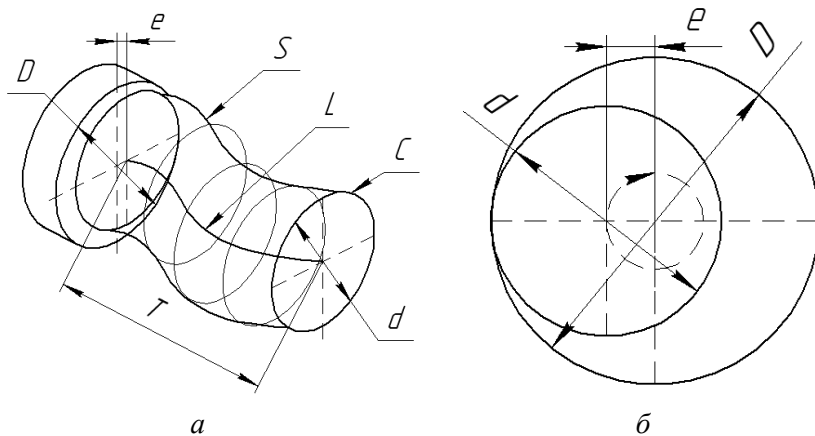


Рисунок 2 – Общий вид (а) и поперечное сечение (б) круговой винтовой поверхности ротора

Обе производящие линии круговой винтовой поверхности создаются механикой станка, как траектории относительного перемещения его исполнительных органов, несущих инструмент и заготовку. Более простым в реализации является вариант, когда образующей является окружность, а направляющей – винтовая линия.

Определение рационального метода формообразования круговой винтовой поверхности. Для формирования винтовой поверхности требуется воспроизведение на станке ее производящих линий, каждая из которых может быть получена методами копирования, следа, касания, обката и сочетанием этих методов [2]. При этом материальным носителем формы образуемой линии может быть инструмент, кинематика станка или сочетание этих компонентов.

Исходя из требований простоты реализации и универсальности из множества возможных методов формообразования круговых винтовых поверхностей предпочтительны методы следа и касания, осуществляемые инструментами с точечными производящими элементами (резцами, резцовыми головками). Материальным носителем формы образуемых линий при этих методах является механика станка,

обеспечивающая кинематическое профилирование поверхности в поперечном и продольном направлениях, т.е. обе производящие линии круговой винтовой поверхности (окружность и винтовая линия) создаются кинематически, что определяет кинематику формообразующей системы станка. Производящая винтовая линия, воспроизводимая методом следа, в обоих случаях образуется винтовым движением подачи Φ_S – согласованными вращательным B и поступательным Π движениями, т. е. движением $\Phi_S(B\Pi)$.

Окружность, как образующая круговой винтовой поверхности, может быть образована при обработке резанием различными методами. Наиболее просто она формируется методом следа при перемещении вдоль нее производящей точки, например вершины резца. Это перемещение (движение профилирования) может создаваться вращением производящей точки (простым движением $\Phi_V(B)$) или сочетанием, как минимум, двух элементарных движений, например, вращательного B_1 и осциллирующего (возвратно-поступательного) O_2 , совершаемых исполнительными органами станка, несущими инструмент и заготовку. Их сочетанием создается движение резания $\Phi_V(B_1O_2)$. В обоих случаях обеспечивается полное формообразование окружности.

Поскольку обе производящие линии (окружность и винтовая линия) образуются методом следа, то круговая винтовая поверхность в целом – методом двойного следа.

Множество возможных кинематических схем обработки круговой винтовой поверхности определяется распределением между инструментом и заготовкой указанных выше составляющих их элементарных движений. Простым в реализации является вариант, когда производящая окружность создается в результате согласованных возвратно-поступательного движения O_2 резца (рисунок 3) перпендикулярно геометрической оси O_1 заготовки и вращения B'_1 последней вокруг этой оси.

Параметры возвратно-поступательного движения резца таковы, что центр образующейся окружности в любой момент времени отстоит от геометрической оси заготовки на величину эксцентриситета профиля e . При финишной обработке вместо резца может использоваться инструмент для поверхностно-пластического деформирования.

Таким образом, производящая окружность формируется при данной схеме сложным движением профилирования $\Phi_v(B'_1O_2)$, которое осуществляется со скоростью резания и образовано согласованными вращательным движением заготовки B'_1 вокруг своей геометрической оси и осциллирующим движением реза O , кинематически связанным с движением B'_1 .

Направляющая формируемой поверхности (винтовая линия) создается винтовым движением подачи $\Phi_s(\Pi_3B''_1)$, образованным

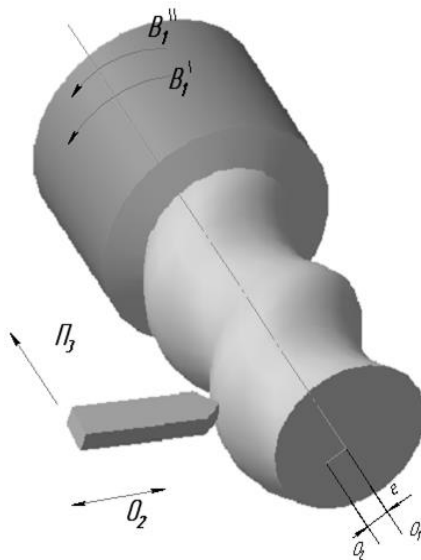


Рисунок 3 – Схема обработки круговой винтовой поверхности при профилировании методом следа

поступательным движением Π_3 реза вдоль оси вращения заготовки и кинематически связанным с ним дополнительным вращением заготовки B''_1 вокруг этой оси. Соотношение между этими элементарными движениями таково, что за время перемещения инструмента относительно заготовки на шаг T формируемой винтовой поверхности заготовка должна совершить один дополнительный оборот. Таким образом, при обработке по рассматриваемой схеме круговая винтовая поверхность формируется двумя сложными исполнительными движениями

– движением резания $\Phi_v(B'_1O_2)$ и винтовым движением подачи $\Phi_s(\Pi_3 B''_1)$. Для упрощения схемы обработки дополнительное движение может сообщаться не заготовке, а резу в радиальном направлении. Достоинством такой схемы являются широкая универсальность, так как по ней возможна обработка винтовых поверхностей не только с круглым, но и некруглым профилем.

Обработка роторов винтовых насосов по рассмотренной схеме осуществляется на специальном зарубежном станке (рисунок 4).



Рисунок 4 – Рабочая зона специального станка для обработки роторов насосов с круговой винтовой поверхностью

В Беларуси освоено производство таких роторов по рассмотренной схеме обработки на универсальном токарно-затыловочном станке [3], кинематика которого позволяет создавать и настраивать необходимые для обработки круговой винтовой поверхности исполнительные движения. Такое решение задачи экономически выгодно при мелкосерийном изготовлении изделий роторов с круговыми винтовыми, так как исключена необходимость создания или приобретения за рубежом специального станка, а также закупки роторов.

Литература

1. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. – М.: Машиностроение, – 1968. – 372 с.
2. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М. : Машиностроение, 1970. – 403 с.
3. Данилов, В.А. Технология механической обработки роторов винтовых насосов / В.А. Данилов, А.А. Чепурной // Горная механика и машиностроение. – 2013. – №4. – С. 36-43.

КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

студент гр. 10305122 Каношкин А.Ю.

Научный руководитель – ассистент Гордиенко А. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Технологическими направлениями развития шлифовальных станков, позволяющими шлифованию выйти за пределы статуса отделочной операции и стать основным методом удаления металла, являются высокоскоростное, глубинное и быстроходное шлифование [1]. Это сопровождается изменениями в конструкциях станков.

Станина как основной элемент несущей системы станка чаще всего изготавливается из минерального литья. Это позволяет обеспечить химическую стойкость, минимальные температурные деформации, стабильность формы базовых поверхностей и точность в течение всего срока эксплуатации станка, а также максимальные демпфирующие свойства. Минеральное литье представляет собой отлитую в соответствующих формах композицию, которая состоит из наполнителей (гравия, кварцевого песка, каменной муки) и связующего (эпоксидной смолы), смешанных по точным рецептам. На рисунке 1 показана станина из минерального литья.

В приводах главного движения используются мотор-шпиндели с водяным охлаждением, мощность которых достигает 72 кВт. Используются шлифовальные круги с диаметрами 400, 500, 610 мм.

Точечное скоростное шлифование валов и дисков со скоростью до 140 м/с, осуществляемое на станках фирмы JUNKER, базируется на десятках патентов, в частности, на патенте СССР SU 1452466 АЗ [3]. Целью изобретения из этого патента было ускорение процесса профильного шлифования симметричных относительно оси вращения заготовок путём разворота оси 3 вращения шлифовального круга относительно оси 4 вращения детали (рисунок 2). Шлифовальный круг 2 с конической заборной частью устанавливается под углом к оси вращения детали в

плоскости осей вращения круга и детали и под углом β в плоскости, перпендикулярной плоскости осей вращения круга и детали и параллельной оси вращения детали. Шлифовальный круг в процессе обработки перемещают вдоль оси детали.

При таком способе шлифования круг контактирует с деталью в точке, в которой радиальные усилия воздействуют на заготовку, в то время как главная часть усилий передаётся в аксиальном направлении благодаря наклонной торцевой поверхности.

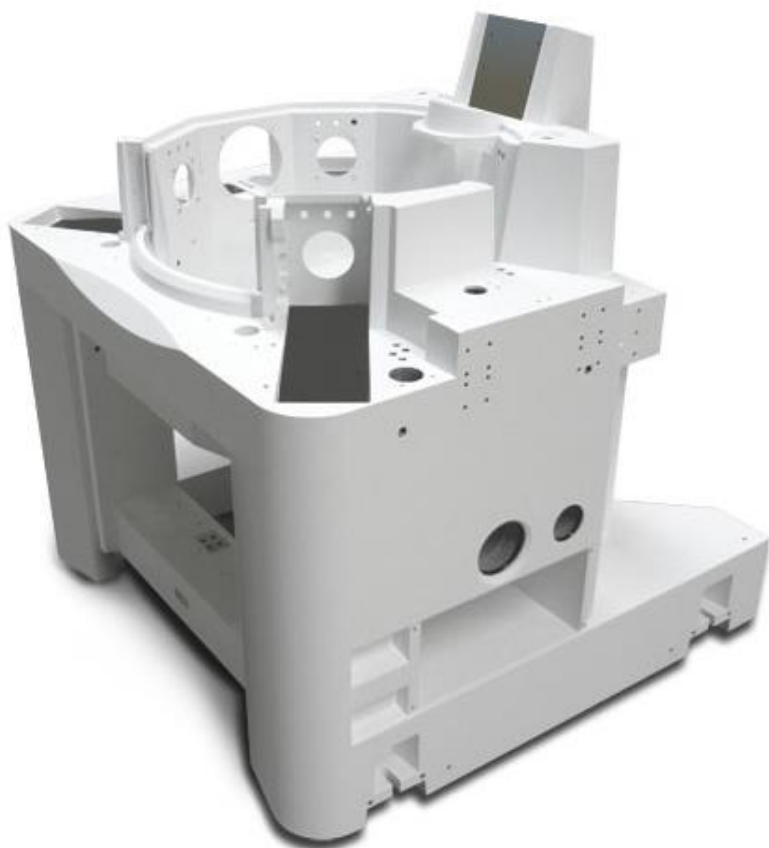


Рисунок 1 – Станина фирмы SCHNEEBERGER из минерального литья

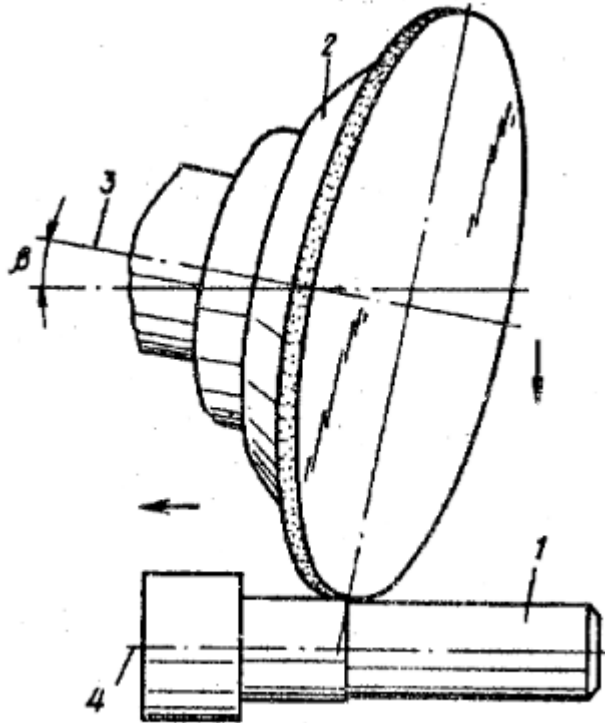


Рисунок 2 – Способ скоростного профильного шлифования осесимметричных поверхностей вращения

Обработка на станках, где использован этот патент, производится узкими кругами из алмаза или кубического нитрида бора с шириной рабочей поверхности, не превышающей 6 мм. При этом круг наклоняется в вертикальной плоскости на угол $0,5...1^\circ$ для перехода от линейного к точечному контакту со шлифуемой поверхностью. В процессе шлифования круг может поворачиваться по программе на угол $0...30^\circ$ для обработки профильных элементов, канавок, галтелей и других.

На рисунке 3 показана схема обработки на станке фирмы JUNKER, позволяющем одновременно шлифовать наружные и внутренние цилиндрические, а также торцовые поверхности деталей типа цилиндрических зубчатых колёс. Время шлифования

одного зубчатого колеса составляет 45...55 с в зависимости от требований к обработанным поверхностям. Устройство закрепления зубчатого колеса позволяет вести обработку одновременно с обеих сторон.

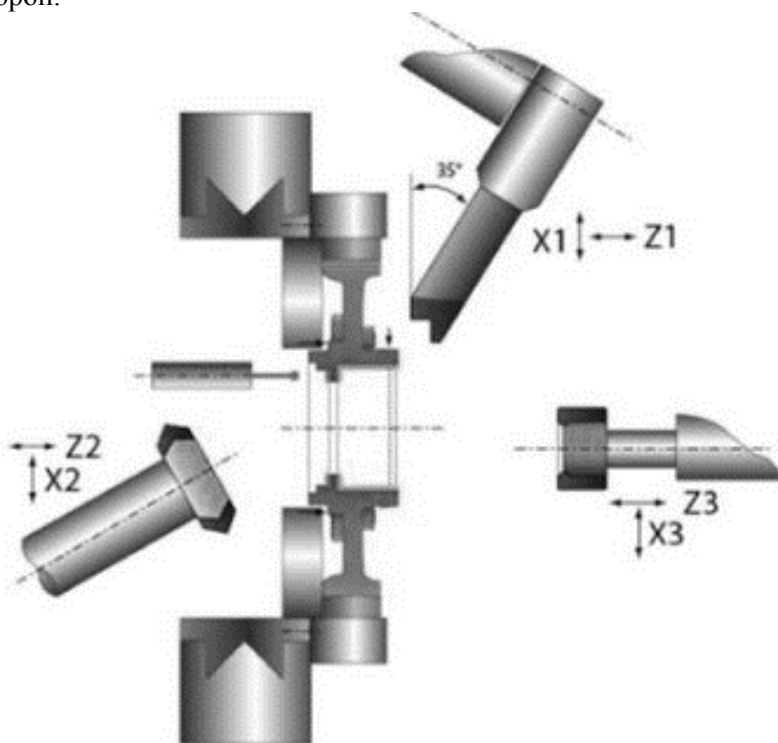


Рисунок 3 – Применение четырёх одновременно работающих шлифовальных кругов

На рисунке 4 представлен многооперационный станок фирмы ВЛОИМ для глубинного и быстроходного шлифования. Он обеспечивает обработку деталей сложной формы методами высокоскоростного быстроходного маятникового шлифования, глубинного шлифования, сверления, растачивания и фрезерования. Станок оснащён лазерной системой для коррекции длины и мониторинга режущей кромки.

Линейные двигатели, которыми оснащён станок, позволяют достигать значений линейных скоростей стола по оси X до 120 м/мин и ускорений до 25 м/с^2 ; подача шлифовальной головки по оси Y составляет до 10 м/мин, а ускорение до 3 м/с^2 ; скорость по оси Z составляет до 50 м/мин, а ускорение до 8 м/с^2 .



Рисунок 4 – Станок фирмы BLOHM для быстроходного и глубинного шлифования

Станок, разработанный фирмой JUNG (рисунок 5), может применяться для глубинного шлифования при скорости стола $0,1 \dots 1000 \text{ мм/мин}$, быстроходного маятникового шлифования ($1 \dots 50 \text{ м/мин}$) и контурного шлифования.

Стол станка приводится в действие линейным двигателем. Если раньше столы станков, выпускаемых фирмой JUNG, приводились в действие гидравлическим приводом и развивали $60 \dots 80$ ходов в минуту, то теперь они могут развивать 600 ходов в минуту.

Применение линейных двигателей в шлифовальных станках актуально при высоких требованиях к скоростям и ускорениям и позволяет максимально сократить кинематическую цепь, хотя линейные двигатели уступают шариковинтовым передачам в максимально развиваемых усилиях.

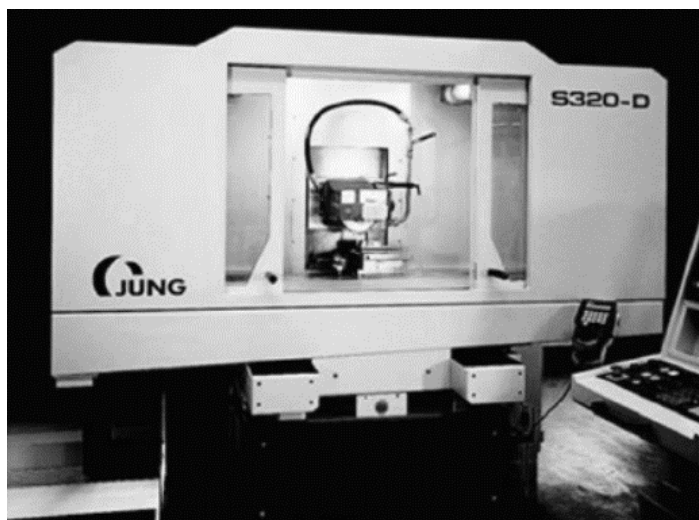


Рисунок 5 – Станок фирмы JUNG для глубинного, быстроходного и контурного шлифования

Использование СОЖ в шлифовальных станках варьируется от её полного отсутствия при сухом шлифовании до интенсивного охлаждения зоны резания при высокоэффективном глубинном шлифовании с подачей СОЖ до 300 л/мин и параметрами гидроочистки круга: давлении 9 МПа при расходе до 100 л/мин [4].

Применение интенсивных методов шлифования влечёт за собой изменения в составе системы подачи СОЖ. Станки оснащаются модульными системами подачи СОЖ в зону шлифования, в том числе насадками, состоящими из наборов сопел-иглолок, которые адаптированы к конкретной операции шлифования. Это сопла со специальной геометрией с оптимизированной динамикой потока, в том числе изготовленные с использованием аддитивных технологий. Смена сопел на станках осуществляется автоматически.

Литература

1. Ермолаев В. К. Современные шлифовальные станки: новые методы абразивной обработки (часть 1). – URL: <https://ritm-magazine.com/ru/public/sovremennye-shlifovalnye-stanki-novye-metody-abrazivnoy-obrabotki-chast-1> (дата обращения 25.05.2023).
2. Ермолаев В. К. Современные шлифовальные станки: новые методы абразивной обработки (часть 2). – URL: https://www.researchgate.net/publication/341992192_SOVREMENNYE_SLIFOVALNYE_STANKI_OSOBENNOSTI_KONSTRUKЦИИ_cast_2 (дата обращения 26.05.2023).
3. Способ скоростного профильного шлифования осесимметричных поверхностей вращения. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU1452466A3_19890115 (дата обращения 26.05.2023).
4. Ермолаев В. К. Тенденции в развитии шлифования. – URL: <https://ritm-magazine.com/ru/public/tendencii-v-razvitii-shlifovaniya> (дата обращения 16.05.2023).

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

студент гр. 10305122 Каношкин А.Ю.

Научный руководитель – ассистент Гордиенко А. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Известно, что первобытный человек затачивал камнем кремниевые наконечники стрел и копий. Поэтому абразивную обработку, или обработку резанием, осуществляемую множеством абразивных зёрен, можно считать древнейшим способом обработки материалов.

Наиболее распространённым видом абразивной обработки является шлифование, определённое в ГОСТ 23505 как абразивная обработка, при которой инструмент совершает только вращательное движение, которое является главным движением резания, а заготовка – любое движение. В настоящее время доля шлифования составляет 43% среди основных способов обработки материалов резанием [1], рисунок 1. Шлифованием выполняется примерно 70% высокоточной обработки [2].

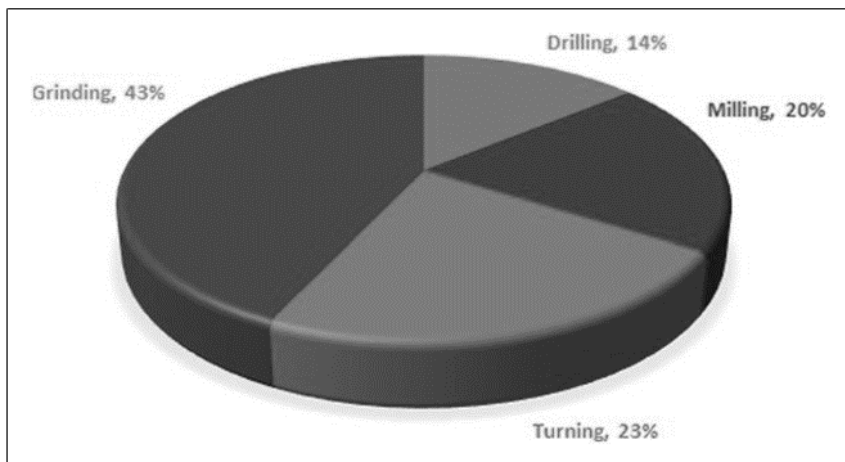


Рисунок 1 – Доли основных способов обработки резанием в обрабатывающей промышленности

Шлифовальные станки обеспечивают точность размеров по ИТ4-ИТ7. При традиционном шлифовании достигается параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra=0,32\dots1,25$ мкм, при точном шлифовании – $Ra=0,08\dots0,32$ мкм, а на отдельных операциях – $Ra=0,02\dots0,08$ мкм.

Технологическими направлениями развития шлифовальных станков, позволяющими шлифованию выйти за пределы статуса отделочной операции и стать основным методом удаления металла являются следующие [2]:

- высокоскоростное шлифование;
- глубинное шлифование;
- быстроходное шлифование.

Согласно ГОСТ 23505, скоростное шлифование – это шлифование с рабочей скоростью абразивного инструмента свыше 35 до 60 м/с, а высокоскоростное – с рабочей скоростью свыше 60 м/с. Высокоскоростное шлифование широко применяется в производственных условиях в Европе и США. Если к 1995 году средняя скорость шлифования кругами из кубического нитрида бора (CBN) составляла 120 м/с, то к 2000 году – уже 160 м/с. Сообщается о создании и внедрении в производство станков, обрабатывающих высокопрочный чугун со скоростью 200 м/с. Лабораторные испытания проводились и проводятся при скоростях, достигающих 400 м/с, что свидетельствует о приходе эпохи ультраскоростного шлифования. В настоящее время ультраскоростное шлифование считается процессом, который приведёт к изменению всех аспектов шлифования и производства вообще.

Круги для скоростного шлифования стремятся делать равнопрочными и лёгкими с минимальным количеством отверстий и фланцев. Для этого предлагается использовать титано-алюминиевые сплавы, применяемые в аэрокосмической промышленности.

Традиционное глубинное шлифование производится при глубине резания 0,1...30 мм, скорости перемещения детали 0,05...0,5 м/мин и скорости круга 20...60 м/с. При этом достигается удельный съём 0,1...10 мм³/(мм·с). Поскольку в контакте с деталью одновременно находится больше абразивных частиц, чем при обычном шлифовании, постольку наблюдается сильное тепловыделение. Поэтому необходимо эффективное охлаждение.

Экспериментально установлена экстремальная зависимость температуры шлифования периферией круга от глубины резания при заданной производительности обработки (рисунок 2). Эта зависимость подтверждена математическим моделированием. Установлено, что при глубинном шлифовании максимальная температура, достигаемая в слое снимаемого припуска, в два раза больше температуры поверхностного слоя обрабатываемой детали. В итоге образующееся при глубинном шлифовании тепло не успевает распространиться вглубь, а уносится со стружкой.

На рисунке 3 показано, что существуют области целесообразного использования глубинного шлифования и такого комбинированного метода, как глубинно-скоростное шлифование с увеличенной скоростью подачи обрабатываемой детали (так называемое высокоэффективное глубинное шлифование). Когда эта скорость увеличивается, температура шлифования уменьшается из-за уменьшения времени, доступного для повышения температуры.

Быстроходным предлагается называть шлифование, характеризующееся скоростью перемещения стола до 200 м/мин при ускорении до 50 м/с^2 , глубине резания $0,001 \dots 1 \text{ мм}$ и скорости круга $30 \dots 200 \text{ м/с}$. Технологическая целесообразность метода обоснована экспериментальными исследованиями, которые показали, что при увеличении скорости стола снижаются силовые, энергетические и температурные показатели процесса шлифования.

Рассмотренные направления развития шлифовальных станков связаны с совершенствованием технологий шлифования, которые сопровождаются изменениями соотношения скоростей шлифовального круга и детали, их соизмеримостью и встречным направлением.

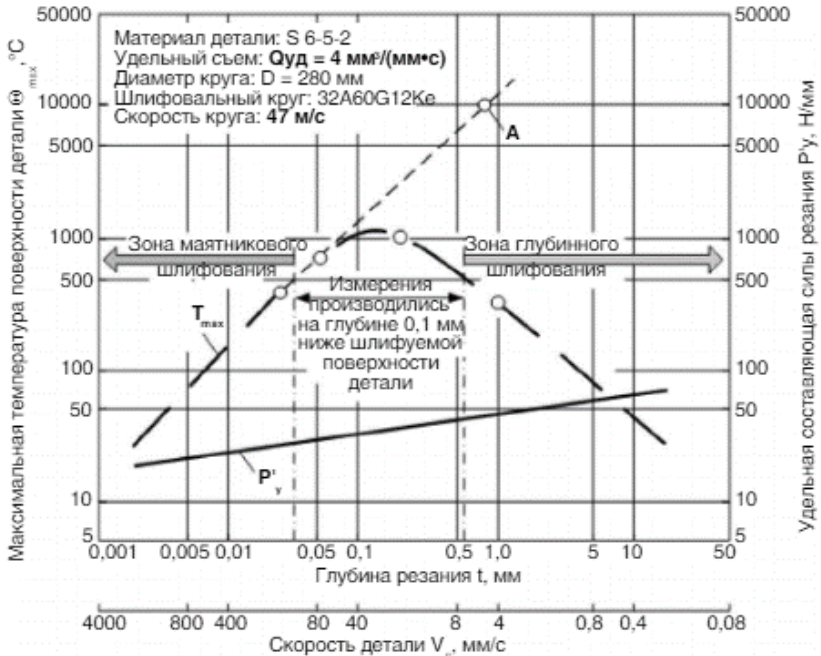


Рисунок 2 – Зависимость температуры поверхности детали от глубины резания и пропорционально изменяющейся скорости детали

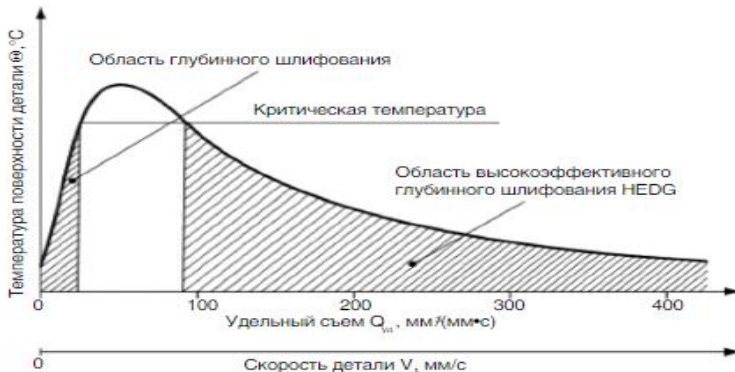


Рисунок 3 – Влияние скорости детали и удельного съёма материала на температуру поверхности при глубинном и высокоэффективном глубинном шлифовании

Ключевые направления совершенствования шлифовальных станков связаны с развитием их систем и показаны на рисунке 4.

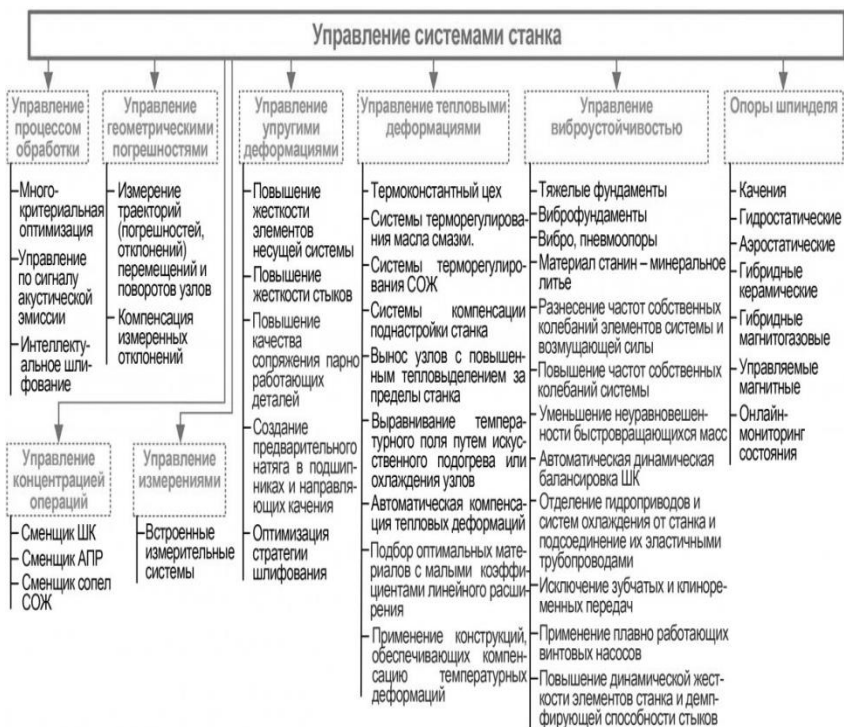


Рисунок 4 – Основные направления совершенствования шлифовальных станков

Характерным для современных шлифовальных станков становится применение лазерных технологий. Ограничением в применении лазерного оборудования являются большие капитальные затраты, а также необходимость защиты от излучения. Но в большинстве случаев использование лазеров экономически оправдано. На рисунке 5 показаны возможности применения лазеров в шлифовальных станках и процессах шлифования [4].

В частности, возможности измерительных технологий, основанных на применении лазерных интерферометров (рисунок 6), подтверждают целесообразность и эффективность их

промышленного освоения. Для этих технологий характерны универсальность, высокая скорость и точность в получении информации об объекте в виде облака точек, а также результирующий цифровой вид, что значительно расширяет возможности дальнейшей компьютерной обработки. Кроме того, трёхмерное описание объекта позволяет использовать новые методы анализа данных.

Лазерные измерительные технологии не только выполняют своё функциональное назначение, но и позволяют существенно повысить степень определённости случайного по своей природе процесса удаления припуска большим количеством абразивных зёрен. В результате повышается стабильность условий шлифования с гарантией достижения высоких параметров точности и шероховатости.



Рисунок 5 – Применение лазерных технологий в шлифовальных станках

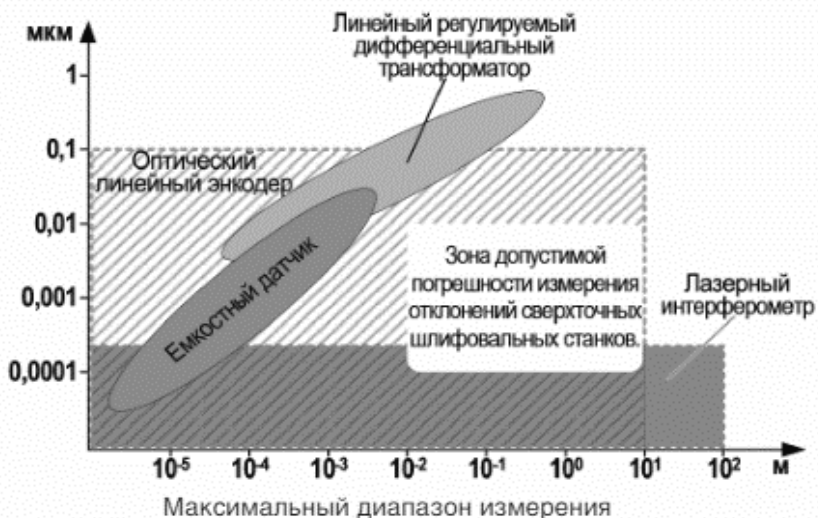


Рисунок 6 – Сравнение средств измерения по диапазону измерения и разрешающей способности

Литература

1. A comprehensive review on the grinding process: Advancements, applications and challenges. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/361519813>.
2. Ермолаев В. К. Современные шлифовальные станки: новые методы абразивной обработки (часть 1). – URL: <https://ritm-magazine.com/ru/public/sovremennye-shlifovalnye-stanki-novye-metody-abrazivnoy-obrabotki-chast-1> (дата обращения 15.05.2023).
3. Ермолаев В. К. Тенденции в развитии шлифования. – URL: <https://ritm-magazine.com/ru/public/tendencii-v-razviti-shlifovaniya> (дата обращения 16.05.2023).
4. Ермолаев В. К. Лазерные измерительные технологии в шлифовании. – URL: https://www.researchgate.net/publication/369118393_Lazernye_izmeritelnye_tehnologii_v_slifovanii (дата обращения 17.05.2023).

УДК 621.791.725

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОСОБЕННОСТЕЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ТОНКОСТЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ

Магистрант Кранцевич А.В.

Научный руководитель – профессор Данилов В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Сварка представляет собой процесс соединения разных металлов. Соединение формируется на межатомном уровне с помощью нагрева или механической деформации. Сварное соединение является одним из самых прочных. Использование новых видов металлов и быстро развивающегося производства приводит к возникновению проблемы низкой производительности и низкого качества соединений, выполненных посредством традиционных способов сварки. В настоящее время большой упор сделан на развитие инновационных видов сварки. Для решения возникших проблем целесообразно использовать такой способ сварки, как лазерная сварка (рисунок 1).

Основное преимущество лазерной сварки – ее разнообразие. Каждому виду работы можно подобрать соответствующее оборудование. В зависимости от типа поставленных задач и материалов, которые предстоит сваривать, можно подобрать наиболее оптимальные устройства. Так, например, соединение деталей маленькой и большой толщины необходимо осуществлять разными установками. Особенно эффективной данная технология оказывается в сварке тонкостенных металлов. Использование других методов влечет за собой ряд рисков, связанных с прожиганием материала, а также с появлением различных термических дефектов. Лазерная сварка позволяет избежать указанных проблем, однако для этого необходимо точно контролировать мощность излучения, скорость движения луча, а также фокусировку рабочего пятна.

Таким образом, в качестве объекта исследования выступает лазерная сварка тонкостенных металлов. Предметом исследования разработка технологии лазерной сварки, исключаящей деформации

металла в процессе сварки, а также определение научно-обоснованных и экспериментально подтвержденных режимов сварки для заданных условий.

Соединение тонкостенных деталей осуществляют на минимальной мощности. Если сваривание проводится в импульсном режиме, тогда повышают скважность импульса и сокращают его длительность. А в непрерывном режиме скорость движения лазера повышают [1].

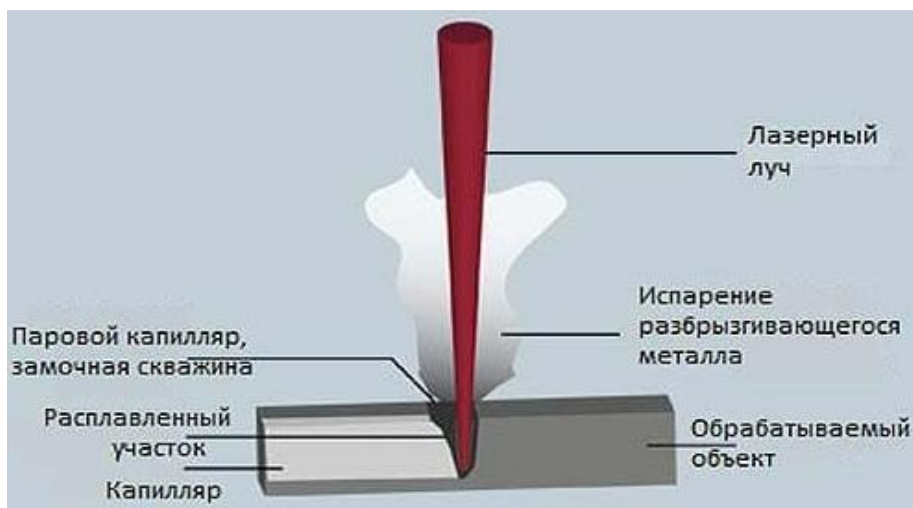


Рисунок 1 – Схема сварки лазерным пучком

Для технологического процесса лазерной сварки стыковых соединений характерными особенностями являются:

1. Для получения симметричного сварного шва необходимо, чтобы теплофизические свойства свариваемых материалов были сходственными, а фокусировка пятна нагрева была направлена на стык соединения.
2. При сварке встык, когда один из свариваемых металлов более тугоплавкий, используется схема, в которой пятно нагрева смещается в сторону более тугоплавкого металла. В результате происходит нагрев и плавление более тугоплавкого металла, а менее тугоплавкий металл плавится за счет теплоты, передаваемой его кромке от расплава.

3. Импульсная лазерная сварка стыковых соединений требует тщательной подгонки кромок свариваемых деталей. Необходимо обеспечить отсутствие скола и повреждения кромок. В противном случае шов получится ослабленным (в результате отсутствия присадочного материала) либо при чрезмерно большом зазоре кромки оплавятся без образования общей сварочной ванны.
4. Количество энергии, поглощаемой металлом при лазерной сварке, зависит от состояния поверхности. Поглощение энергии возрастает с ухудшением обработки деталей. Это влияние существенно и должно учитываться при выборе режима сварки тонких деталей. Так, например, при сварке стыковых соединений их тонкостенного металла необходимо обеспечить одинаковую чистоту обработки кромок по всей длине шва, чтобы предупредить выплески или непровары.
5. Применение защитной атмосферы (аргона) способствует уменьшению количества и размеров микротрещин.
6. С увеличением температуры жидкого металла и площади его соприкосновения со сварочной атмосферой возрастает концентрация поглощенным им газов. В некоторых случаях это способствует образованию межкристаллитных микротрещин и повышению хрупкости металла шва.

Из перечисленных особенностей видно, что качество сварного соединения сильно зависит от физико-химических свойств свариваемых материалов, мощности лазерного излучения и скорости лазерной сварки, среды, используемого оборудования и т. п. Обычно основные параметры режимов сварки определяются нормативными документами и, как правило, имеются в технической документации к сварочному оборудованию. Корректировка параметров для оптимального режима сварки тонкостенных конструкций осуществляется методом подбора скорости лазерной сварки и мощности лазерного излучения с учетом физико-химических свойств свариваемых материалов, среды, используемого оборудования, приспособлений, сварочного и измерительного инструментов.

При изготовлении сварных конструкций получили широкое распространение низкоуглеродистые стали с содержанием до 0,25%С и низкоуглеродистые низколегированные стали, в которых

суммарное содержание легирующих элементов $\leq 4,0\%$, а содержание углерода $0,25\%$. Низкоуглеродистые и низколегированные стали обладают хорошей свариваемостью, и сварные соединения должны обеспечивать равнопрочность с основным металлом. Лазерная сварка стали обеспечивает высокие скорости охлаждения кристаллизующегося металла шва и ОШЗ при высоких температурах. Эти условия гарантируют минимальные размеры зерна. Обеспечивается равнопрочность шва с основным металлом при высоких значениях ударной вязкости и пластичности. При лазерной сварке термически упрочненных сталей вследствие жесткого термического цикла и малой протяженности зоны термического влияния не происходит разупрочнения на участке отпуска.

Рекомендуются высокопроизводительные режимы лазерной сварки на больших скоростях ($v_{св} = 30 \dots 40$ мм/с), обеспечивающие повышенное сопротивление образованию горячих и холодных трещин, по сравнению с дуговой сваркой. Такие высокие показатели достигаются не только при сварке встык металла сравнительно небольшой толщины ($\delta = 3 \dots 6$ мм). При лазерной сварке стали 17ГС толщиной $15 \dots 20$ мм за один проход получена равнопрочность шва основному металлу при высоком значении ударной вязкости.

Среднеуглеродистые стали содержат $0,26 \dots 0,45\%C$ и широко используются для изготовления сварных конструкций. Высокоуглеродистые стали включают в себя $0,46 \dots 0,75\%C$, суммарное содержание легирующих элементов в пределах $2,5 \dots 10\%$. Отличаются плохой свариваемостью, поэтому редко применяются в сварных конструкциях. Для сталей этого класса характерные особенности при сварке: образование закалочных структур в шве и зоне термического влияния, склонных к хрупким разрушениям, возможность возникновения холодных и горячих трещин в сварном соединении, пор в металле шва. Многолетний опыт изготовления сварных конструкций из этих материалов показывает, что для предупреждения этих явлений часто необходим подогрев при сварке и термическая обработка после сварки, усложняющие технологию.

Применение высококонцентрированного источника энергии – лазерного луча – позволяет успешно решать эти задачи. *Лазерная сварка стали* по сравнению с дуговой обеспечивает более высокую сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин, в

особенности при больших скоростях сварки ($v_{св} > 30$ мм/с). В большинстве случаев, когда при лазерной сварке происходит благоприятное изменение структуры, сопротивляемость сварного соединения образованию холодных трещин имеет высокие значения.

В сварных соединениях из углеродистых и легированных закаливающих сталей образуется шов с литой структурой и химическим составом, как правило, отличным от основного металла. Механические свойства отдельных зон сварного соединения в целом могут изменяться для одного и того же металла в зависимости от исходной структуры, химического состава присадочной проволоки, режимов сварки и последующей термообработки. В случае сварки стали в состоянии отжига минимальный предел прочности сварного соединения определяется прочностью основного металла, при сварке предварительно упрочненной закалкой стали – прочностью зоны отпуска, а при сварке стали с последующей упрочняющей термообработкой сварных соединений – прочностью металла шва.

Лазерная сварка стали обеспечивает повышенные механические свойства сварных соединений. Отличительной особенностью является минимальное разупрочнение в ОШЗ термоупрочненных сталей. В частности, предел прочности сварных соединений из термоупрочненных сталей 12Х2Н4А, 18ХГТ, выполненных лазером, на 12... 15 % выше, чем при дуговой сварке.

Высокая прочность соединений, полученных лазерной сваркой термоупрочненных сталей, также связана с эффектом упрочнения «мягкой прослойки». Контактное упрочнение последней наиболее вероятно при деформировании сварных соединений, выполненных лазером. В этом случае мягкая отожжённая зона, имеющая минимальный размер по сравнению с дуговой сваркой, упрочняется в процессе деформирования и разрушение происходит по основному неразупрочненному металлу соединения.

Ударная вязкость сварных соединений стали 12Х2Н4А в зоне шва, на линии оплавления и в зоне закалки при лазерной сварке стали существенно выше, чем при дуговой, и даже превышает ударную вязкость основного металла. Ударная вязкость лазерных и дуговых сварных соединений в зоне отпуска приблизительно

одинакова. Высокий уровень ударной вязкости и пластических свойств сварных соединений, выполненных лазером, в основном определяется значительным измельчением вторичной структуры металла шва и ОШЗ, но может быть также связан с металлургической очисткой и дегазацией переплавленного металла.

Высоколегированные стали содержат более 10% легирующих элементов. Широко распространены в сварных конструкциях аустенитные высоколегированные стали и сплавы, в которых содержание основных легирующих элементов – хрома и никеля обычно <18% и 10% соответственно, а общее содержание легирующих элементов может достигать 55%. Главной особенностью сварки этих сталей является склонность к образованию в шве и ОШЗ горячих трещин, связанных, в основном, с формированием крупнозернистой структуры. Важнейшие мероприятия, повышающие сопротивляемость стали этого типа образованию горячих трещин, следующие:

- применение методов сварки, способствующих измельчению кристаллов и устранению столбчатой структуры;
- получение в структуре швов некоторого количества δ -феррита;
- снижение содержания примесей в швах, образующих легко плавкие эвтектики.

Применение лазерной сварки во многих случаях позволяет реализовать указанные условия и исключить горячие трещины. При лазерной сварке стали 12X18H10T структура шва характеризуется мелкодисперсностью, фазовый состав сварного шва содержит 10... 20% δ -феррита в отличие от основного металла и в составе шва содержится пониженное количество вредных примесей. Прочность сварных соединений из этой стали находится на уровне основного металла, а пластичность несколько выше вследствие пониженного содержания неметаллических включений.

Для изготовления ответственных сварных конструкций широкое применение находят мартенситно-стареющие коррозионно-стойкие стали. Высокая прочность в сочетании с хорошими пластичностью и вязкостью в этих сталях достигается при формировании высоколегированной низкоуглеродистой мартенситной матрицы, обладающей большой пластичностью, и последующем упрочнении этой матрицы в процессе дисперсионного твердения-старения.

Сварные соединения из этих сталей, выполненные дуговой сваркой, склонны к коррозионному растрескиванию и межкристаллитной коррозии в атмосферных условиях вследствие совпадения области действия растягивающих остаточных напряжений с участками выпадения карбидов хрома по границам зерен в виде сетки и вторичного твердения металла в зоне термического влияния. Особенностью сварки мартенситно-стареющих сталей является также склонность к образованию холодных трещин. Важным обстоятельством является то, что лазерная сварка повышает сопротивляемость сварных соединений из этих сталей образованию холодных трещин в сопоставлении с дуговой сваркой. Сварные соединения из мартенситно-стареющих сталей, полученные лазерной сваркой, обладают более высокими механическими свойствами по сравнению с соединениями, выполненными дуговой сваркой.

Характерные режимы непрерывной лазерной сварки некоторых сталей обеспечивают сочетание высококачественного формирования шва, хорошей технологической прочности и высоких механических свойств сварного соединения, приведены в таблице 1 [2]. Оптимальные режимы сварки сталей обеспечиваются сравнительно высокими (от 80 до 120 м/ч) скоростями сварки. При этом мощность лазерного излучения может быть ориентировочно подобрана из условия 1 кВт на 1 мм толщины (h) свариваемой детали. Представленные в таблице 1 режимы сварки даны для стыковых сварных соединений, но в первом приближении их можно использовать также для угловых, тавровых, прорезных и других видов соединений.

Таблица 1. Характерные режимы, на которых ведется непрерывная лазерная сварка стали

Стали	h , мм	P , кВт	$v_{св}$, мм/с	F , см	ΔF , мм
Малоуглеродистые, низколегированные (Ст3, 17ГС)	3,0	3,1	110	12	1.5
	2,0	2,8	100	12	1.5
Среднеуглеродистые, легированные (Ст35, 30ХГСА)	3,0	3,2	100	12	1,5
	3,0	3,3	110	16	1.0

Высоколегированные, аустенитные (12X18H10T)	5,0	5,0	75	15	1,0
	2,0	2,5	100	16	1,0
Высоколегированные, мартенситно-старяющие (08X15H5Д2Т)	3,0	3,5	80	50	1.5

Условные обозначения: P – мощность луча; F – фокусное расстояние; ΔF – заглублиение фокуса.

Литература

1. Лукашенко, А.Г. Оптимальный метод определения параметров режима лазерной сварки тонкостенных конструкций / А.Г. Лукашенко, Д.А. Лукашенко, И.А. Зубко, Р.Е. Юпин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. – №6/5 (54). – С 48-51.
2. *WELDZONE* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://weldzone.info/technology/materials/49-carbonic/858-lazernaya-svarka-stali>.

УДК 62–822

КОМБИНИРОВАННЫЕ ПНЕВМО– И ГИДРОДВИГАТЕЛИ В УСТРОЙСТВАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Студент гр. 10303120 Полянский И.А.

Научный руководитель – профессор Якимович А.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В промышленности сегодня чаще всего используются 3 вида приводов: гидравлические, электрические и пневматические. Гидравлические приводы, благодаря своей способности передавать большие усилия, широко применяются в токарных автоматах и полуавтоматах для осуществления рабочих и вспомогательных операций, а также в загрузочно-разгрузочных устройствах. Пневматический привод, в силу меньшей мощности по сравнению с гидравлическим, чаще всего применяют для закрепления заготовок посредством прижима или быстрого закрепления режущего инструмента в шпинделе станка. Электропривод, как правило, применяют для реализации главного движения в станках, движения конвейеров и т.д.

Как видим, по отдельности все три вида приводов широко применяются в промышленности. Однако всё чаще в современных станках, обрабатывающих центрах, сборочных линиях начинают применять приводы комбинированного действия, или же, как их еще называют – актуаторы.

Актуаторы могут быть линейными, рисунок 1 (они совершают только линейное перемещение выходного звена), актуаторами вращения, рисунок 2 (совершают вращательное или чаще поворотное движение), а также комбинированными, про них мы поговорим чуть позже.

Гидравлический (пневматический) поворотный актуатор работает следующим образом: в одну из рабочих камер поступает под давлением рабочая жидкость, которая приводит в движение поршень. Поршень толкает зубчатую рейку, а шестерня, находящаяся в зацеплении с рейкой, в свою очередь, преобразует

поступательное движение рейки во вращательное или же поворотное (зависит от длины рейки) движение выходного вала.

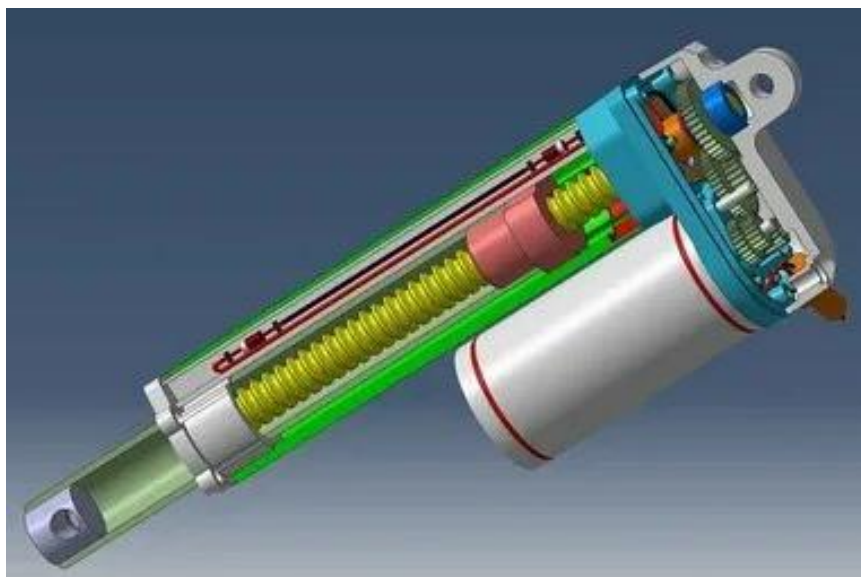


Рисунок 1 – Линейный электромеханический актуатор

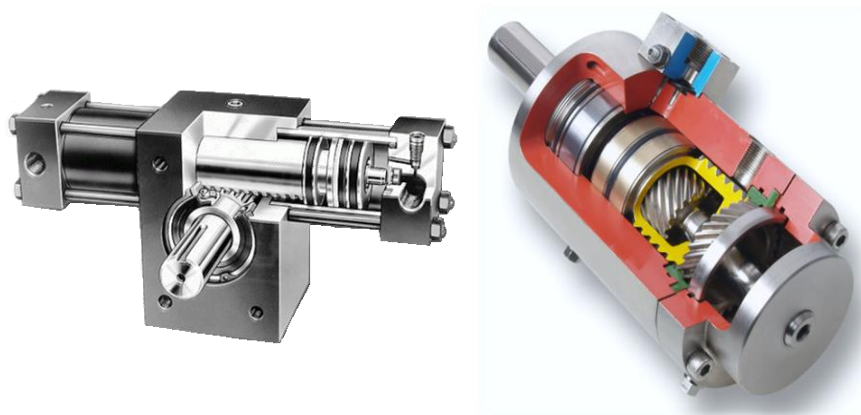


Рисунок 2 – Поворотные актуаторы

Такие гидродвигатели могут иметь 2 рейки, двигающиеся навстречу друг другу, и расположенные по разные стороны шестерни. В этом случае крутящий момент на выходе удваивается, еще их называют тандемами (рисунок 3).



Рисунок 3 – Тандемный актуатор

Вследствие того, что данный вид актуаторов позволяет получить только поворотное движение, его применение как самостоятельного привода ограничено. Чаще всего он является частью механизма, обеспечивающего более сложное движение.

Комбинированные пневмо- и гидродвигатели – модули с комбинированным движением выходного звена, т.н. называемые поворотно-линейные модули, представляют собой устройства, состоящие из линейного цилиндра и поворотного пневмо- и гидродвигателя, смонтированных в одном блоке. Поворотный рычаг, прикрепленный к выходному звену – валу, может быть снабжен захватом или вакуумной присоской для зажима, подъема заготовок (деталей) и переноса их на другое место после поворота рычага или выполнения других рабочих движений, реализации технологических переходов. Это позволяет создавать готовые рабочие узлы для перемещения деталей (коробок, упаковок, ящиков) по принципу «поднять – повернуть – положить».

Комбинированный актуатор (он же комбинированный гидродвигатель, рисунок 4), состоит из поворотного гидродвигателя с преобразующим реечно-зубчатым механизмом (А) и связанного с ним шлицевым соединением (В и С) гидроцилиндра. Такая конструкция двигателя позволяет получить два движения

выходного звена – вала: поступательное и поворотное. Обе части актуатора и, соответственно, выполняемые ими движения, могут работать как независимо друг от друга, так и одновременно, обеспечивая тем самым сложное комбинированное движение вала.

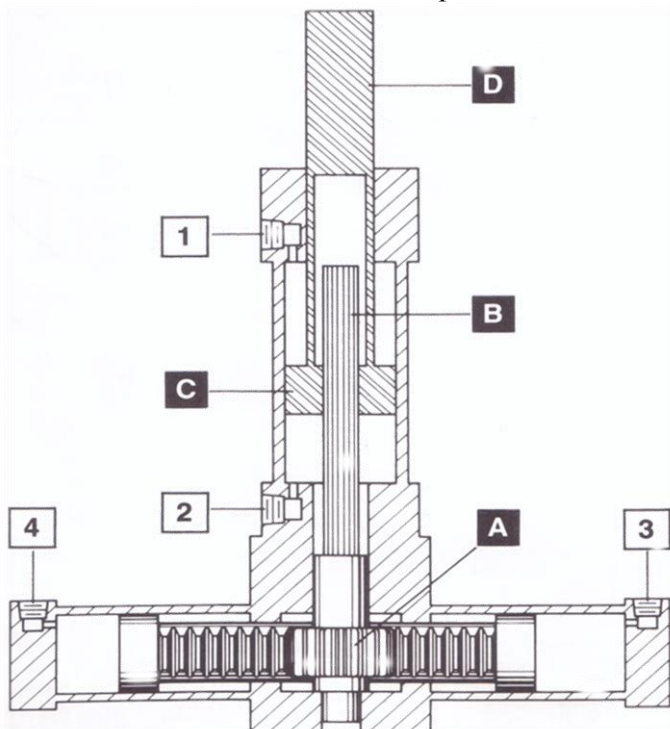
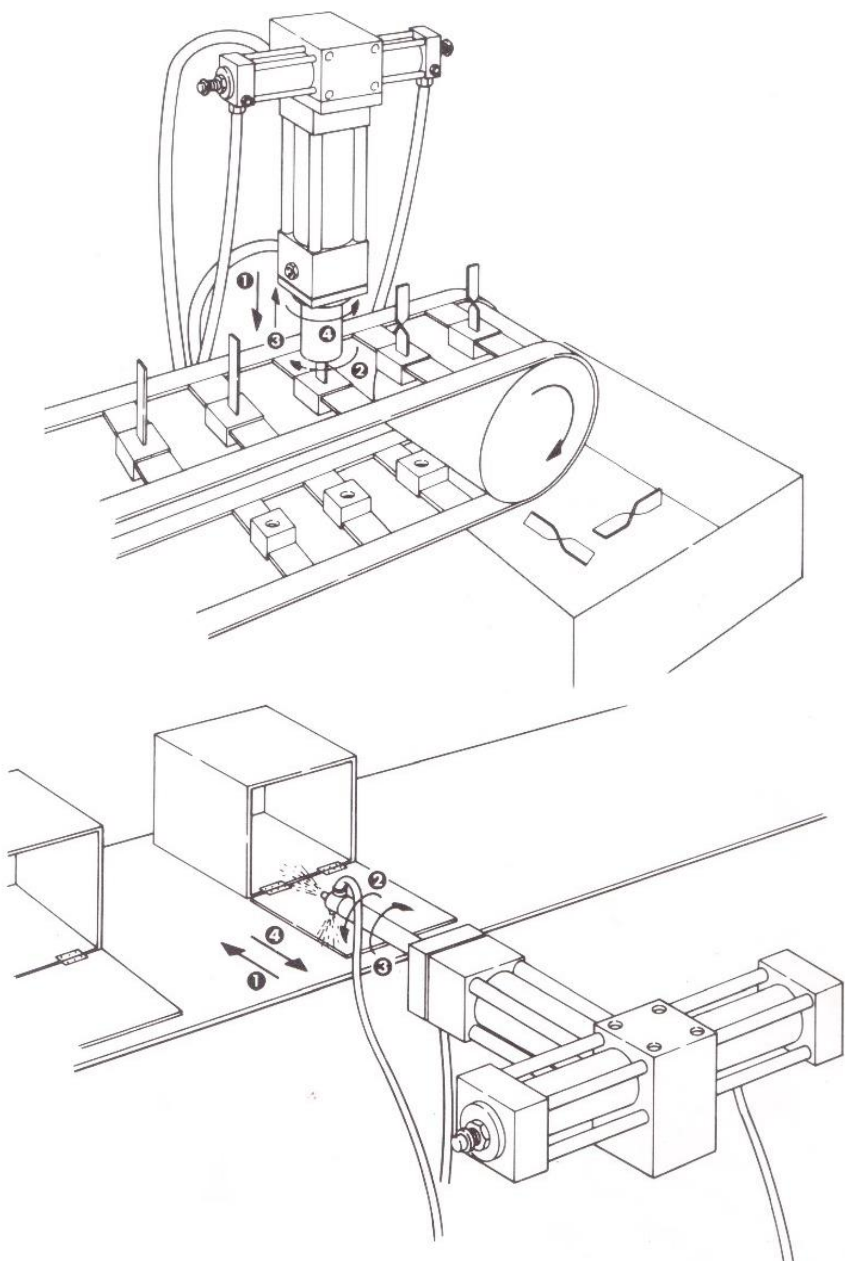
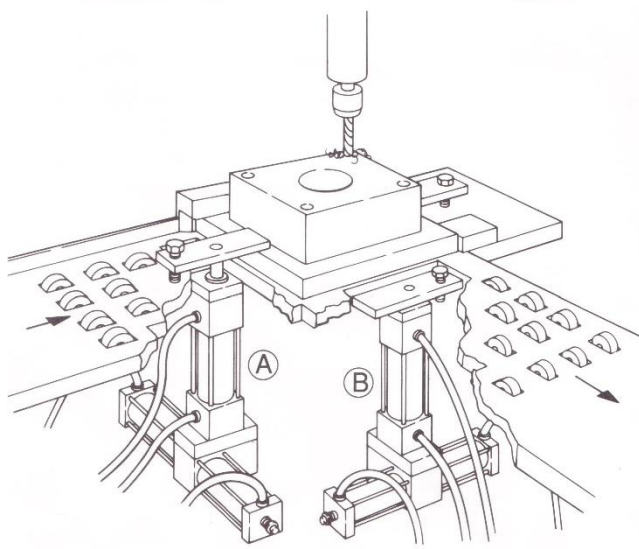
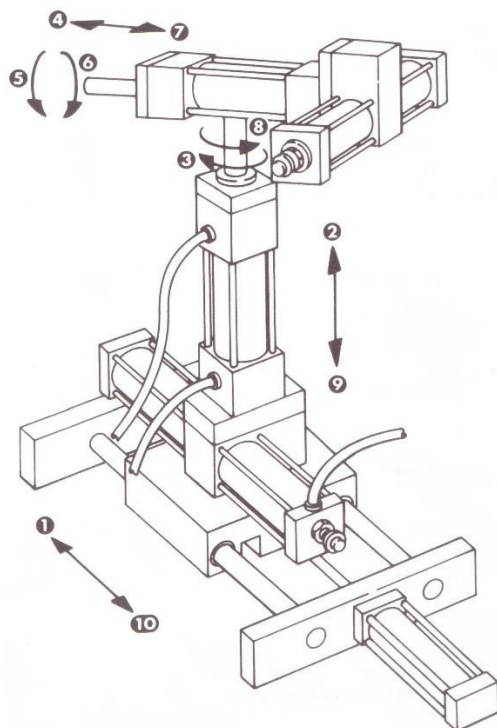


Рисунок 4 – Комбинированный гидродвигатель

Применение комбинированных актуаторов в промышленности разнообразно (рисунок 5). Их можно использовать для переноса заготовок с одного конвейера на другой, в качестве автоматизированных прижимов заготовок на станках, а также в качестве привода инструмента на некоторых операциях (например, для автоматизации покраски или нанесения покрытия на детали несложной геометрии).

Кроме вышеперечисленных преимуществ, производство становится более безопасным: отпадает необходимость нахождения рабочего вблизи движущихся частей и деталей оборудования.





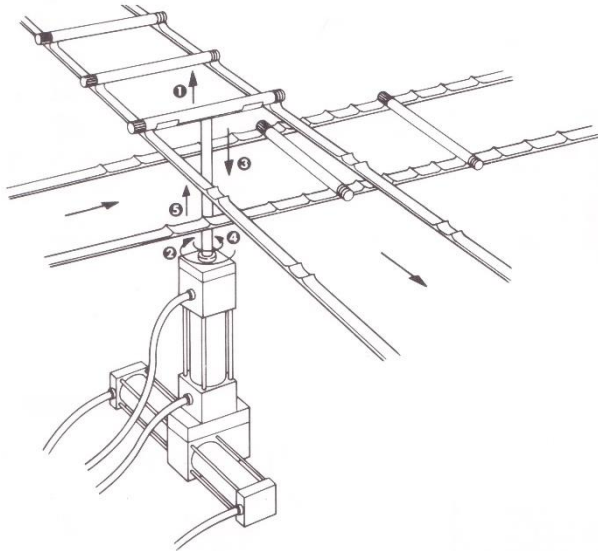


Рисунок 5 – Примеры использования комбинированных актуаторов

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ МУСКУЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Студент гр.10303120 Сидоренко К.Р.

Научный руководитель – профессор Якимович А.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Основным современным трендом развития техники и технологии является увеличение качества производимых продуктов при увеличении доли автоматизации труда. С появлением новых материалов и развитием технологических процессов, становится возможным использование новых технических подходов, упрощающих решение традиционных задач. Примером данного явления является распространение в технике двигателей шлангового (оболочкового) типа, или по-другому «пневматических мускулов».

Пневматический мускул – это эластичный механизм, состоящий из мягкой эластичной трубки 1; армированного фиброволокна 2, уложенного в ромбовидном порядке; крышек 3 и 4; канала подачи сжатого рабочего газа 5 (рисунок 1). Также в сборке присутствует системы газонаполнения, контрольно-исполнительных приборов для обеспечения автоматического управления.

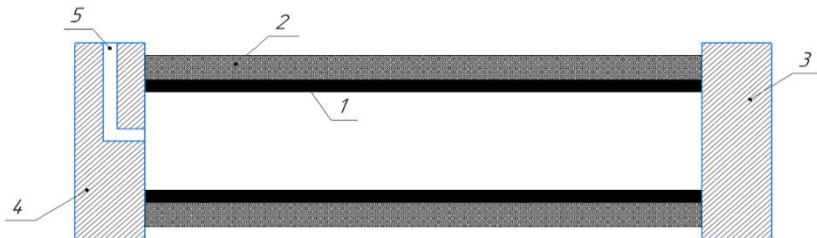


Рисунок 1 – Устройство пневмомускула

Как и большинство изобретений человека, идея была подсмотрена у природы. Принцип действия таких оболочковых двигателей во многом основан на подражании работе скелетных мускулов живых существ: при первичном утолщении мышца

развивает тянущее усилие, и кости, к которым она прикреплена, по мере ее осевого сокращения, подтягиваются друг к другу. Тянущее усилие, развиваемое шланговыми пневмодвигателями, может в несколько раз превышает усилие, развиваемое поршневыми пневмоцилиндрами такого же диаметра.

Пневматические искусственные мышцы были впервые разработаны под названием *McKibben Artificial Muscles* в 1950-х годах для использования в протезах конечностей. Японская компания *Bridgestone*, производящая резину и шины, коммерциализировала идею в 1980-х годах под названием *Rubbertuators* (рисунок 2).

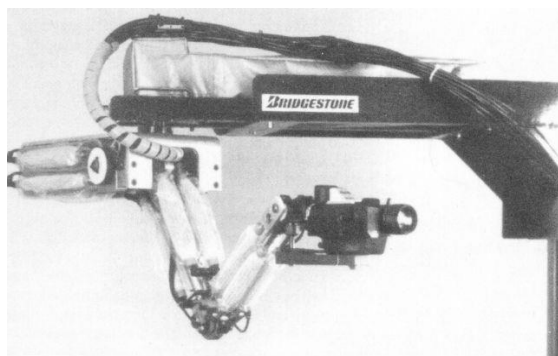


Рисунок 2 – *Rubbertuators* by *Bridgestone*

Примером современного производства является международный концерн *Festo* – ведущий мировой поставщик пневматических и электромеханических систем для автоматизации производства различных отраслей промышленности. Технические характеристики пневматических мускулов (на примере *DMSP Festo*, Германия)

- Номинальная длина: от 30 до 9000 мм.
- Подъемная сила: от 0 до 6000 Н.
- Типоразмер: 5, 10, 20, 40 мм.
- Длина хода: от 0 до 2250 мм.
- Максимальное сокращение: от 20 до 25% от номинальной длины.
- Максимальная дополнительная нагрузка, свободно подвешенная: от 5 до 250 кг.

- Теоретическое усилие при максимальном допустимом рабочем давлении: от 140 до 6000 Н.
- Рабочее давление: от 0 до 0,8 МПа.
- Температура окружающей среды: от -5 до +60°С

Основными характеристиками являются габаритные размеры, что позволяет использовать пневмомускулы в стеснённых условиях; развиваемое усилие и рабочее давление.

Принцип работы

Подобно человеческим мышцам, для создания воздействия, происходит сокращение: в герметичную полость, снаружи опутанную гибкими связями, с помощью компрессора и системы клапанов, подается сжатый воздух. При повышении давления (обычно до 0,5–0,8 МПа из-за ограниченной прочности материала) оболочка раздувается, растет объем, увеличивая радиальные размеры полости. В это же время, за счёт нерастяжимости окаймляющих связей из-за сохранения их длины появляются усилия, уменьшающие осевые размеры системы. Предельное состояние сжатия такой мышцы – шар. При достижении данной формы оболочки дальнейшее увеличение объема рабочего тела невозможно, и привод перестает совершать работу.

Необходимо отметить, что оболочковый мускул данного типа, как и природный прообраз, является приводом одностороннего действия – т.е., работающим исключительно на сокращение. При подаче внутрь оболочки воздуха под давлением, создается сила, направленная на уменьшение линейного размера мышцы, но обратного процесса не происходит. Для возврата системы в исходное «расслабленное» состояние, а также для возможности двухсторонней работы привода, чаще всего применяются схемы, в которых мышцы делают парными – то есть, антагонистами (рисунок 3). В такой паре, одна отвечает за сжатие, а ее антагонист – за растяжение.

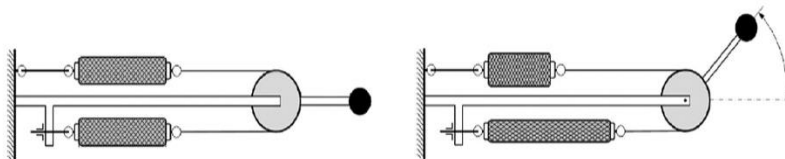


Рисунок 3 – Мышцы-антагонисты

Тянущее усилие мышца определяется уравнением:

$$F = -p \frac{dV}{dl}.$$

Жёсткость пневмомышцы определяется как производная от усилия:

$$K = \frac{dF}{dl} = -\frac{dp}{dV} \left(\frac{dV}{dp} \right)^2 - p \frac{d^2V}{dl^2}.$$

Первая составляющая определяется сжимаемостью газа, вторая – переменной эффективной площадью в условиях изобарного процесса. Также можно заметить, что увеличение давления влечёт за собой увеличение жёсткости привода.

При использовании мышц-антагонистов тянущие усилия определяются уравнениями:

$$F_1 = -p_1 f_1 (l_{10} - x) \text{ и } F_2 = -p_2 f_2 (l_{20} - x),$$

где f_1 и f_2 – эффективная площадь мышц;
 x – положение нового равновесного состояния.

Результирующая сила рассчитывается по формуле:

$$F = F_1 - F_2 = -p_1 \frac{dV_1}{dl_1} + p_2 \frac{dV_2}{dl_2} = p_1 \frac{dV_1}{dx} + p_2 \frac{dV_2}{dx}$$

Жёсткость антагонистической пары определяется выражением:

$$K = -\frac{dF}{dx} = -\frac{dp_1}{dV_1} \left(\frac{dV_1}{dx} \right)^2 - \frac{dp_2}{dV_2} \left(\frac{dV_2}{dx} \right)^2 - p_1 \frac{d^2V_1}{dx^2} - p_2 \frac{d^2V_2}{dx^2}$$

Преимущества и недостатки

Преимущества:

- 1) Механическая мышца обладает инверсной силовой характеристикой (это значит, что механическая мышца работает от максимальной мощности, которая к концу работы снижается до нуля). Данное свойство позволяет осуществлять интенсивный разгон привода и последующее его торможение.
- 2) Низкая стоимость из-за исключения из конструкции различного рода компенсирующих звеньев (подшипниковые опоры), низкие требования на допуски по точности расположения и качеству обработки посадочных мест для мышц в конструкции, что упрощает механическую обработку. Для примера, пневмомускул Festo DMSF-20 (с учётом поставки из Германии) стоит 1200\$.

- 3) Применение в конструкции мышц новых материалов, отсутствие трущихся частей (соответственно не нужна смазка и техническое обслуживание в период работы), отсутствие люфтов подвижных частей, а также устойчивость материала к агрессивным условиям значительно расширяет область применения
- 4) Оболочковые двигатели обладают высокой надежностью срабатывания даже при отрицательных температурах эксплуатации.
- 5) Большая удельная мощность, большой ресурс работы и меньшая масса по сравнению с пневмоцилиндрами, что позволяет облегчить конструкцию приспособления (рисунок 4).

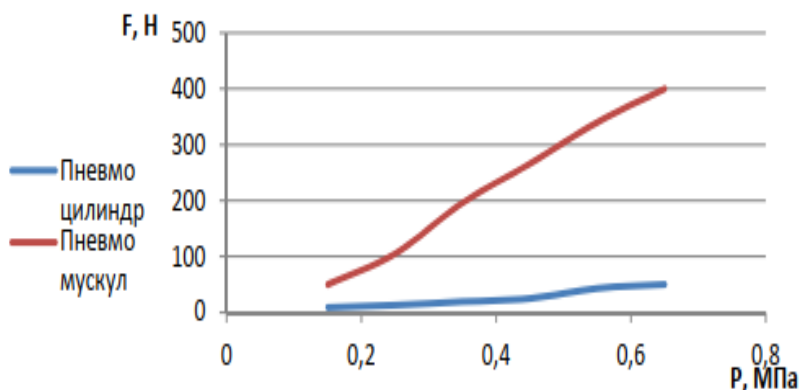


Рисунок 4 – Сравнительные характеристики пневмомускула и стандартного пневмоцилиндра того же диаметра

Недостатки:

- 1) Необходимость в устройстве для нагнетания воздуха (например, компрессоре).
- 2) Малая величина продольных перемещений относительно длины (до 25%).
- 3) Меньший диапазон рабочих температур по сравнению с традиционными приводами.
- 4) Нереверсивность работы.

Применение в жизни

Пневмомускулы широко применяются в разных областях, таких как:

1. Промышленность: для управления и перемещения всевозможных промышленных механизмов, таких как конвейеры, роботы и т.д.
2. Транспорт: для тормозных систем автомобилей и грузовиков.
3. Медицина: для создания аппаратов и оборудования для медицинских целей, таких как рентгеновские аппараты и инфузионные насосы.
4. Робототехника: для создания мягких роботов, которые могут подражать движениям животных и даже людей.
5. Авиация и космическая техника: для управления крыльями самолетов, элементами космических кораблей и спутников.

Пневматический мускул обеспечивает натяжение клиновых ремней на цементных и бетонных заводах. В шахтах пневматический мускул используется как силовой элемент в механизмах перевода стрелок. Благодаря закрытости системы и функции самоочищения это – великолепное решение для применения в запыленной атмосфере, а часто и в самозатвердевающих суспензиях.

УДК 681.7.053.4

МИКРОПРОГРАММА ДЛЯ ПОДБОРА ГИТАРЫ СМЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Магистрант Сивак В.М.

Научный руководитель – ст. преподаватель Ажар А.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Автоматизация этапов технологической подготовки производства (ТПП) позволяет ускорить процесс производства, повысить качество продукции и снизить затраты на производство. Автоматизация этапа определения требований к оборудованию и инструментам может включать использование компьютерных программ для расчета необходимых характеристик оборудования и инструментов в соответствии с требованиями технологического процесса.

Современные САПР имеют встроенные API (Application Programming Interface) и среды для написания и запуска макросов. API – это описание способов взаимодействия одной компьютерной программы с другими. Которые позволяют реализовывать модули и микропрограммы непосредственно в используемом пакете САПР. Макрокоманда, макроопределение или макрос — программный алгоритм действий, записанный пользователем. Часто макросы применяют для автоматизации рутинных действий. Данные модули позволяют упростить выполнение типовых задач, расширить базовый функционал САПР. Также ускорить технологическую подготовку производства. Недостатками такого подхода может являться низкая гибкость системы для выполнения нетиповых задач.

Одним из видов таких модулей является автоматический расчет передаточного отношения для гитар сменных зубчатых колес, который реализован в MS Excel. Этот расчет необходим для настройки станков с кинематическими связями между узлами через такие гитары для реализации сложных движений (обката, деления, винтообразования) или движений повышенной точности. Это широкий спектр универсальных (токарно-винторезные, горизонтально-фрезерные) и специализированных

(зубообрабатывающие, резьбонарезные, затыловочные) станков. Гитары сменных зубчатых колес входят в состав приводов главного движения и подачи ряда переналаживаемых агрегатных станков, состоящих из унифицированных шпиндельных головок и бабок, силовых столов. Гитары используют в приводной технологической оснастке, например, в универсальной делительной головке расширяющей технологические возможности универсальных или широкоуниверсальных фрезерных станков. Так для получения винтовой канавки на цилиндрической поверхности заготовки при изготовлении ходового винта, фрезеровании стружечных канавок таких инструментов как концевая или цилиндрическая фреза, сверло, зенкер, развертка с винтовым зубом на универсально-фрезерном станке согласовывают поворот заготовки с продольным перемещением стола. Для этого шпиндель делительной головки связывают с вращением ходового винта продольного перемещения стола с помощью двупарной гитары сменных зубчатых колес. Схема гитары сменных колес изображена на рисунке Рисунок 1.

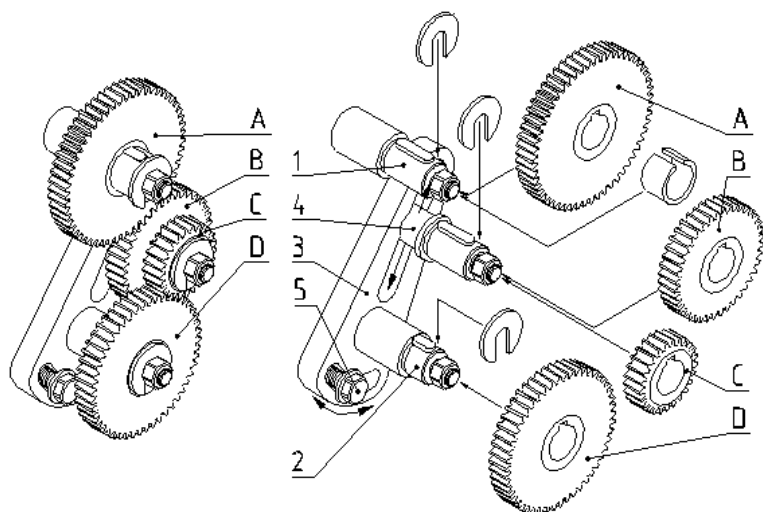


Рисунок 1 – Схема гитары сменных колес

1) ведущий вал; 2 – ведомый вал; 3 – приклон; 4 – промежуточный вал; 5 – фиксирующий болт; А, В, С, D – сменные зубчатые колеса.

Обычно подбор колес осуществляется по таблицам для подбора, логарифмическим способом, способом разложения на сомножители, способом замены чисел на приближенные дроби. Передаточное отношение сменных колес гитары определяется по формуле:

$$i = \frac{N \cdot P_B}{P_x};$$

где N – характеристика делительной головки (принимается $N=40\dots120$);

P_B – шаг ходового винта продольного перемещения стола станка, мм.

P_x – шаг винтовой стружечной канавки; определяется по формуле:

$$P_x = \frac{\pi \cdot D}{\operatorname{tg}\omega};$$

где D – диаметр заготовки, мм;

ω – угол наклона стружечной канавки, град.

Подбор сменных шестерен гитары производится по формуле:

$$i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{N \cdot P_B}{P_x}.$$

Далее подобранные колеса проверяются по условиям зацепления:

$$a + b \geq c + 22;$$

$$c + d \geq b + 22.$$

Автоматизация подбора разработанным алгоритмом позволяет ускорить данный процесс в разы. Записав результаты подбора в таблицу, алгоритм представляет несколько возможных конфигураций зубчатых колес и выводит погрешность подобранных колес. Общая структура алгоритма представлена на рисунке 2, а общий вид программы для расчета передаточного отношения, реализованной в *MS Excel*, на рисунке 3. В поле « i » вводится необходимое передаточное число, рассчитанное по формуле, в поле «точность» – коэффициент допустимой погрешности с условием: что точность должна быть больше нуля и меньше или равна единице. При нажатии на кнопку «*Calculation abcd*», алгоритм начнет заполнение таблицы значениями a , b , c и d .

Значения, которые наиболее подходят к условиям зацепления, передаточному отношению и точности и будут искомыми парами колес и занесены в таблицу.

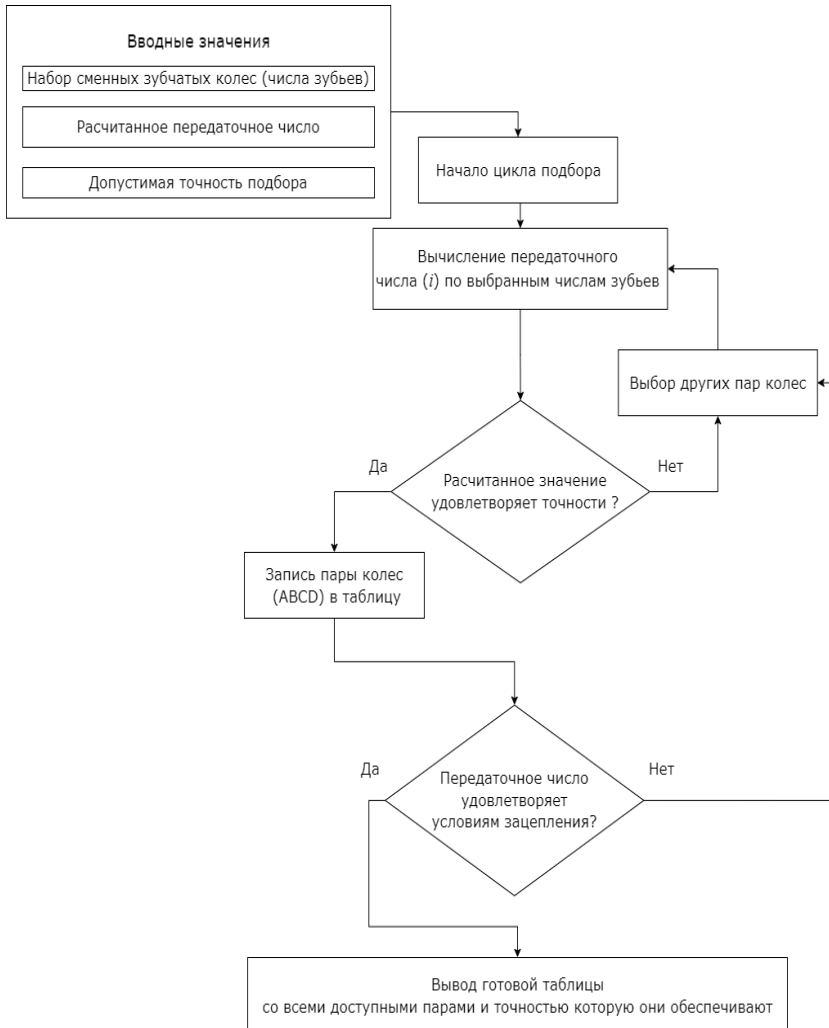


Рисунок 2 – Структурная схема алгоритма расчета гитары сменных зубчатых колес

Calculation abcd	
i	0,168379864
точность	0,003 0,30%

a	c	b	d	a+b > c+22	c+d > b+22	действ. i	delta i	погрешность i	c/b
23	58	79	100	да	да	0,1688608	0,000481	0,286%	1,362068966
23	55	75	100	да	да	0,1686667	0,000287	0,170%	1,363636364
23	71	97	100	да	да	0,1683505	0,000029	0,017%	1,366197183
23	30	41	100	да	да	0,1682927	0,000087	0,052%	1,366666667
23	65	89	100	да	да	0,1679775	0,000402	0,239%	1,369230769
23	73	100	100	да	да	0,1679	0,000480	0,285%	1,369863014
23	61	85	98	да	да	0,1684274	0,000048	0,028%	1,393442623

Рисунок 3 – Общий вид программы для расчета гитары сменных зубчатых колес

Данный алгоритм можно разложить на несколько этапов:

- 1) Чтение данных с файла MS Excel и создание временных переменных. В данной части алгоритма именованный диапазон записывается в память как 4 (a,b,c,d) списка колес, и переменная для учета «Допустимой погрешности».
- 2) Далее алгоритм перебирает все 4 списка по очереди, подставляя значения в формулу $i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$ из списков пока не дойдет до конца каждого из списков, что соответственно сложности алгоритма $O(N^4)$, где N – количество колес в введенном наборе зубчатых колес.
- 3) Поскольку получить расчетное передаточное отношение на некоторых гитарах не представляется возможным, в программу введен коэффициент точности K, который принимается опытным путем и из заводских условий. Данный коэффициент влияет на точность отбора. Программа производит отбор по следующему условию:

$$i_{\text{расч}} \cdot (1 - K) \leq i_{\text{итерационное}} \leq i_{\text{расч}} \cdot (1 + K),$$

где

$i_{\text{расч}}$ – расчетное значение передаточного отношения, введенного в программу;

$i_{\text{итерационное}}$ – значение, рассчитанное на одной из итераций;

K – коэффициент допустимой погрешности, введенный в программу.

Тем самым микропрограмма позволяет не использовать таблицы подбора и более сложные способы подбора сменных зубчатых колес, и так как микропрограмма позволяет получить несколько наиболее близких искомым значений, отсортировать их по точности и уже из списка выбрать наиболее подходящий вариант. Это позволит упростить этот этап технологической подготовки в разы. Данная микропрограмма прошла апробацию на ОАО МТЗ в цехе СИиТО, где показала свою эффективность при технологической подготовке производства инструментальной оснастки.

Литература

1. Интегрированная среда разработки VBA : лабораторный практикум по дисциплине «Информационные системы и сети» для студентов специальности 1-02 06 02 «Технология. Дополнительная специальность» / сост.: Н.И. Астапчик, А.Ю. Зуенок; Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2013. – 81 с.
URL:<https://rep.bntu.by/handle/data/6287>.
2. Ажар, А.В. Технология инструментального производства : пособие для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» специализации 1-36 01 03-02 «Инструментальное производство» : в 2 ч. / А.В. Ажар; Белорусский национальный технический университет, кафедра «Технологическое оборудование». – Минск : БНТУ, 2022. – Ч.1. – 72 с.
URL:<https://rep.bntu.by/handle/data/109737>.

DIFFICULTIES FACED BY CHINA'S ROBOT DEVELOPMENT

Magistrand Wenkai Shao

Supervisor Kalesnikau L.A.

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

As the world's largest industrial robot market, China is the largest robot adopter in Asia, with a strong growth of 51% in installations in 2021 and shipments of 268,195 units. The operating inventory exceeded the 1 million mark, an increase of 27%. Such a high growth rate also indicates the rapid development of robotics in China, Figure 1.

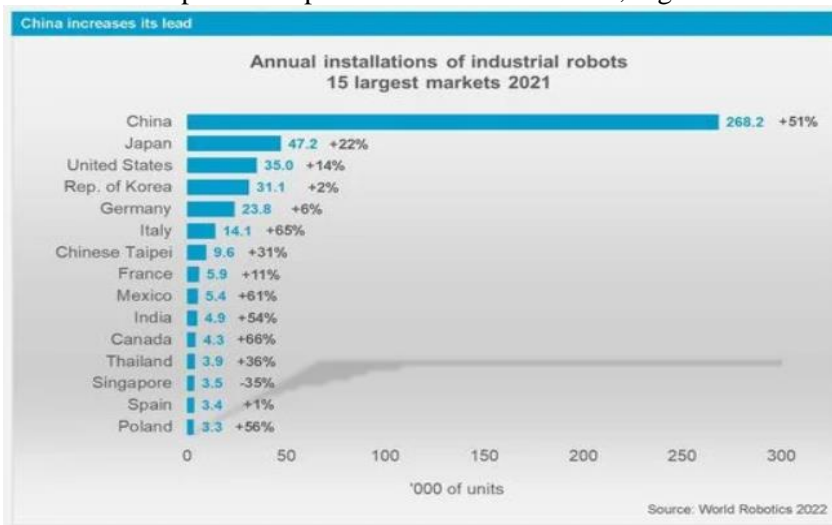


Figure 1 – 15 Largest Industrial Robot Markets in 2021

Rapid growth in market demand, but heavily dependent on foreign imports. Since 2010, the demand for industrial robots in my country has surged, but at present, more than 70% of my country's new industrial robots rely on foreign imports. Absolute share of foreign brands in the domestic market ABB of Sweden, FANUC of Japan, YASKAWA of Japan, KUKA of Germany and other well-known enterprises have a market share of nearly 90% in the Chinese market.

At present, China's industrial robot technology and its engineering application level still have a certain distance compared with foreign countries, the application scale, industrialization level and utilization rate of local products are low. As shown in Figure 2, domestic brands account for only 8.8%, almost monopolized by foreign industrial robots. At present, most well-known companies in the field of industrial robots are located in Europe, Japan and the United States. These enterprises have already played a pivotal role locally and even globally. They are representatives of advanced technologies in various countries and regions and are also pillar industries that promote economic development [1]. Consequently, key core components are controlled by others countries.

Affected by factors such as the rapid development of technology, the continuous scarcity of labor resources, and the further improvement of production efficiency requirements, global industrial robots will usher in a broader development space and a higher development speed. In terms of regional distribution, with the development of the manufacturing industry in Asia, the demand for industrial robots in various industries has increased, making the market demand for industrial robots gradually shift from Europe and the United States to Asia.

With the rapid growth of demand for industrial robots in China, companies with varying strengths have entered the industrial robot production market, which will inevitably lead to vicious competition with low quality and low price [2, 3]. The research system is too independent and closed in form, and the content is scattered, making it difficult to form a joint force, resulting in repeated research and waste of time and funds.

Although during the «19-th Five-Year Plan» and «20-th Five-Year Plan» period, the country has many projects involving the field of robotics, the industry has not yet established an effective public technology platform to strengthen the research and breakthrough of key common technologies and core functional components, and industrialization. The process is also difficult to advance, and the incentive policies for R&D of industrial robots and industrialization still need to be refined and improved.

Most companies are keen on large and comprehensive, and some companies that develop and produce key components have transferred to the complete machine production. It is difficult to form an orderly and detailed industrial chain of R&D, production, manufacturing, sales, integration, and service.

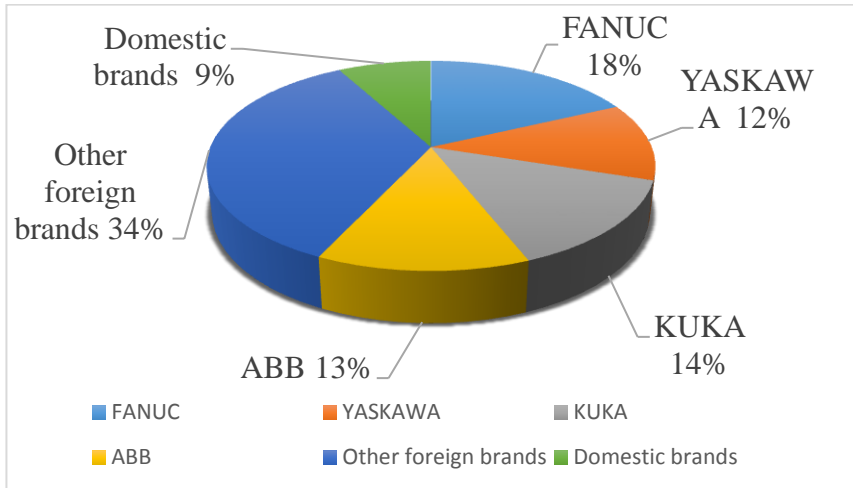


Figure 2 – The utilization rate of China industrial robots

In recent years, under the influence of the national independent innovation policy, a large number of domestic enterprises have either independently developed or cooperated with scientific research institutes to enter the ranks of industrial robot development and production, and my country's industrial robots have entered the initial industrialization stage. Some products have begun industrial production and application, but because they are not as good as imported similar products in terms of precision and speed, the degree of industrial application of these products is low, lack of brand recognition, and their market share is small.

Some advanced technologies have been mastered, but the overall technical level is still low. At present, China has basically mastered the design and manufacturing technology of robots, control system hardware and software design technology, kinematics and trajectory planning technology, produced some key components of robots, and developed

robots such as painting, arc welding, electric welding, assembly, and handling. The technical level of some products has reached the international advanced level, but there is still a big gap in the overall technology, which is only equivalent to the level of foreign countries in the mid-1990s.

Judging from the robot products launched in the world in recent years, a new generation of industrial robots is developing in the direction of intelligence, modularization and systematization. Technology is increasingly intelligent, modularized and systematic. Western industrialized developed countries have made strategic deployments one after another to this effect.

Литература

1. Liu Yicai, Gao Jun Research on the Development Status and Countermeasures of Industrial Robot Industry // China Business Review, 2021(18): p. 174-176.
2. Zhao Shengton, Jia Xian Research progress and trend of intelligent manufacturing and its core information equipment // Mechanical Science and Technology, 2017, 36(1): p. 1-16.
3. Tian Chuang Research on the Current Situation and Development Trend of Industrial Robots // China Management Informatization, 2019, 22(20): p. 156-157.

Электронное издание

НИРС МСФ-2023

**Сборник материалов
79-й студенческой научно-технической конференции**

Секция «Металлорежущие станки и инструменты»

Машиностроительный факультет

Белорусский национальный технический университет

Компьютерная верстка Л.А.Колесников

E-mail: mstools@bntu.by
<http://www.bntu.by/mstools.html>