

УДК 621.992.4

МОДЕРНИЗАЦИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТАНКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЧЕРВЯКОВ ЧАШЕЧНЫМ РЕЗЦОМ

Голембиевский А.И., канд. техн. наук, профессор кафедры ТиОМП
Полоцкий государственный университет

Рассматривается конструктивная особенность двухшагового червяка, сопрягающегося с одношаговым червячным колесом. Обосновывается целесообразность модернизации кинематической структуры станка для обработки традиционных одношаговых червяков чашечным резцом. Предлагаются бездифференциальный и дифференциальный варианты модернизации типовой кинематической структуры станка, обеспечивающие возможность обработки двухшаговых червяков.

Ключевые слова: двухшаговый червяк, модернизация станка, бездифференциальный и дифференциальный варианты.

UPGRADE KINEVATIC STRUCTURE MACHINE TREATMENT CHERVYAKOV CALYX INCISORS

Golembiovsky A.I, cand. of tech. science, professor at TiOMP
Polotsk State University

We consider a two-step design feature of the worm, one-step mating worm wheel. The feasibility of upgrading the kinematic structure of the machine for processing of traditional single-step the cup cutter worms. Televisions bezdifferentsialny and differential upgrade options typical kinematic structure of the machine, providing the ability to process two-step worms.

Keywords: two-stage worm, upgrading machine bezdifferentsialny and differential options.

Введение

В конце 50-х годов прошлого столетия была разработана двухшаговая червячная передача, позволяющая регулировать боковой зазор посредством осевого смещения червяка. Такие передачи используют в устройствах, от которых требуется высокая кинематическая точность, например, в реверсируемых, отсчетных и делительных механизмах металлорежущих станков. В названной передаче двухшаговый червяк с цилиндрической начальной поверхностью его витков находится в зацеплении с двухшаговым червячным колесом. В [1] предложена менее трудоемкая и более технологичная червячная передача, состоящая из двухшагового червяка и взаимодействующего с ним традиционного одношагового червячного колеса. Разношаговость червяка [2] этой передачи

обусловлена заменой цилиндрической начальной поверхности его витка конической. Шаг витка такого червяка по противоположным сторонам его профиля зависит от угла расположения образующей начальной конической поверхности [3].

Постановка задачи

В единичном производстве нарезать двухшаговый червяк с начальной конической поверхностью можно на токарно-винторезном станке с конусной линейкой. На этом станке при настройке на шаг витка дополнительно осуществляется поворот линейки на угол наклона образующей начальной поверхности. Существенный недостаток такого вида обработки – низкая производительность, так как процесс нарезания червяка осуществля-

ется при значительном количестве проходов не менее чем тремя последовательно используемыми резцами.

В серийном производстве обработку традиционных одношаговых червяков осуществляют, как правило, за один проход чашечным резцом в виде зубчатого колеса с профилем зуба, форма которого является сопряженной при обкате с профилем резьбы нарезаемого червяка. Для этого используют специализированные станки с механическими связями [4]. Представляется целесообразным расширение технических возможностей станков данного типа посредством модернизации их кинематической структуры для обеспечения возможности обработки также и двухшаговых червяков с конической начальной поверхностью его витка.

Решение

В основу методики модернизации положен принцип кинематического воспроизведения траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности червяка при его обработке. На рис. 1 приведен бездифференциальный вариант модернизации структурной схемы специализированного станка для нарезания червяков чашечным резцом, обеспечивающий возможность обработки двухшаговых червяков.

Кинематическая структура станка включает двухэлементарную группу обката (скорости резания) $\Phi_v(B_1B_2)$ и

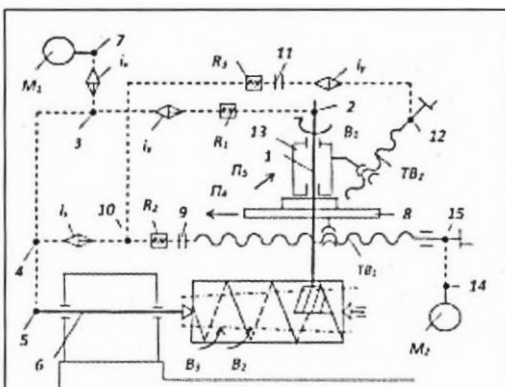


Рис. 1. Бездифференциальная структурная схема станка с общим приводом

трехэлементарную винторезную группу (скорости подачи) $\Phi_s(B_3\Pi_4\Pi_5)$, связанные между собой электродвигателем. В кинематической структуре станка не предусмотрен планетарный дифференциал для сложения элементарных движений B_2 и B_3 на шпинделе заготовки, входящем в обе формообразующие группы. Слагаемые движения имеют одинаковую скоростную характеристику, продолжительность их одинакова и создаются они одним электродвигателем. Названные условия обеспечивают математическое сложение указанных движений на общем исполнительном органе – шпинделе заготовки. В этом случае формообразующие группы и исполнительные движения можно преобразовать к виду: $\Phi_v(B_1B_2+B_3)$ и $\Phi_s(\Pi_4\Pi_5)$.

Группа $\Phi_v(B_1B_2+B_3)$ воспроизводит зацепление червячной передачи. Ее внутренняя связь (цепь):

$B_1 \rightarrow$ шпиндель 1 чашечного резца $\rightarrow 2 \rightarrow$ реверс $R_1 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow$ шпиндель 6 заготовки $\rightarrow B_2+B_3$.

Внешняя связь (цепь):

$M_1 \rightarrow 7 \rightarrow i_v \rightarrow 3$ (звено соединения с внутренней связью).

Группа настраивается на траекторию (профиль витка червяка) и скорость органами настройки i_x и i_y соответственно, на направление реверсом R_1 .

Группа $\Phi_s(\Pi_4\Pi_5)$ осуществляет перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витка червяка. Ее внутренняя связь:

$\Pi_4 \rightarrow$ продольный суппорт 8 \rightarrow тяговый вал $TB_1 \rightarrow$ муфта 9 $\rightarrow R_2 \rightarrow 10 \rightarrow R_3 \rightarrow$ муфта 11 $\rightarrow i_y \rightarrow 12 \rightarrow$ тяговый вал $TB_2 \rightarrow$ поперечный суппорт 13 $\rightarrow \Pi_5$.

Внешняя связь (цепь):

$M_1 \rightarrow 7 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow i_s \rightarrow 10$ (звено соединения с внутренней связью).

Группа настраивается на траекторию (винтовую линию червяка) и скорость органами настройки i_y и i_s соответственно, на направление реверсами R_1 и R_2 , на путь и

исходное положение путевыми упорами системы управления.

В структуре станка предусмотрена вспомогательная группа с отдельным электродвигателем для ускоренного перемещения суппортов. Ее внутренняя связь совпадает с внутренней связью группы Φ_s , а внешняя связь имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow TB_2.$$

Ручное установочное перемещение суппортов осуществляется посредством моховиков, установленных на тяговых валах.

В специализированных станках с механическими связями для обработки червяков органы настройки на траекторию обоих формообразующих движений и органы настройки на скорости резания и подачи, как правые, выполняют в виде гитар сменных зубчатых колес.

Нормируемыми параметрами при обработке являются скорость резания, задаваемая по круговой частоте заготовки (движение B_2) и продольная подача инструмента (движение $П_4$).

Орган настройки i_x . При нарезании червяка за один оборот заготовки (движение B_2) чашечный резец совершает k/z оборотов (движение B_1) и перемещается на величину s мм (движение $П_4$). Для получения винтовой линии червяка при перемещении чашечного резца на величину s заготовка должна дополнительно повернуться на s/T оборота (движение B_3), что соответствует дополнительному повороту чашечного резца на величину $+(k/z) \cdot (s/T)$. Следовательно, расчетные перемещения (РП) для расчетной цепи, совпадающей с внутренней связью группы обката $\Phi_s(B_1B_2+B_3)$:

$$1 \text{ оборот шпинделя заготовки } (B_2+B_3) \rightarrow k/z (1+s/T) \text{ оборота чашечного резца } (B_1),$$

где k – число заходов нарезаемого червяка; z – число зубьев чашечного резца; s – подача; T – шаг винтовой линии (витка) нарезаемого червяка.

Уравнение кинематической цепи (УКЦ) станочного зацепления:

$$k/z (1+s/T) = 1 \cdot c_1 \cdot i_x.$$

где c_1 – константа (произведение передаточных отношений механических передач расчетной цепи).

Формула настройки (ФН):

$$i_x = c_1 \cdot z/k (1+s/T).$$

Орган настройки i_y . РП для расчетной цепи, совпадающей с внутренней связью группы подачи $\Phi_s(П_4П_5)$ имеют вид:

S_{np} перемещение резца в движении $П_4 \rightarrow S_{non}$ перемещение резца в движении $П_5$,

где S_{np} – нормируемая продольная подача; $S_{non} = S_{np} \operatorname{tg} \varepsilon$; ε – угол наклона образующей начальной поверхности червяка.

УКЦ станочного зацепления:

$$S_{non} = S_{np} \cdot c \cdot (1/P_{TB1}) \cdot i_y \cdot P_{TB2}$$

ФН:

$$i_y = (S_{non}/S_{np}) \cdot (P_{TB1}/c \cdot P_{TB2}) = c_2 \operatorname{tg} \varepsilon.$$

где $c_2 = (P_{TB1}/c \cdot P_{TB2})$ – константа; c – произведение передаточных отношений постоянных механических передач расчетной цепи; P_{TB1} и P_{TB2} – шаги тяговых валов TB_1 и TB_2 соответственно.

Угол ε наклона образующей начальной поверхности червяка определяется по формуле [3]:

$$\varepsilon = \operatorname{arc} \operatorname{tg} (\Delta/2 \operatorname{tg} \alpha_0),$$

где $D = \pi m/l_p$ – коэффициент приращения шага; a – коэффициент допустимого износа; l_p – дополнительная длина червяка; α_0 – угол зацепления.

Коэффициент a , допустимого износа зависит от знаменателя стандартного ряда модулей. При знаменателе ряда, равном 1,06, коэффициент $a = 0,03$. Дополнительная длина l_p является конструктивным признаком двухшаговых червяков. Для станочных делительных передач $l_p = 10 - 15$ мм.

Орган настройки i_v . Расчетная цепь связывает электродвигатель M_1 со шпинделем b заготовки. Поэтому РП имеют вид:

$$n_{M1} \operatorname{мин}^{-1} \text{ круговая частота электродвигателя } M_1 \rightarrow n_{шп} \operatorname{мин}^{-1} \text{ круговая частота шпинделя } b \text{ заготовки.}$$

УКЦ:

$$n_{\text{шп}} = n_{M1} \cdot c_3 \cdot i_v$$

ФН:

$$i_v = n_{\text{шп}} / n_{M1} \cdot c_3,$$

где c_3 – константа (произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи).

Орган настройки i_s . Расчетная цепь связывает шпиндель b заготовки с TB_1 продольного суппорта δ . Поэтому РП имеют вид:

1 оборот шпинделя $b > s$ мм перемещения продольного суппорта δ .

УКЦ:

$$s = 1 \cdot c \cdot i_s \cdot P_{TB1}$$

ФН:

$$i_s = s / c_4,$$

где $c_4 = (c \cdot P_{TB1})$ – константа (произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи).

Станок работает следующим образом. После наладки органов настройки и установки обрабатываемой заготовки по линии центров станка по циклу обработки включается электродвигатель M_1 . Движение от электродвигателя по внешней связи группы скорости резания через звено соединения связей 3 сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге шпиндель чашечного реза получает вращательное движение B_1 , а шпиндель заготовки движение $B_2 + B_3$. Согласованные движения шпинделей воспроизводят профиль червяка. Одновременно при включенных муфтах 9 и 11 движение от электродвигателя по внешней связи группы подачи через звено соединения связей 10 сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге продольный δ и поперечный 13 суппорта, несущие шпиндель чашечного реза, получают движения Π_4 и Π_5 соответственно. Функциональная связь этих движений обеспечивает перемещение траектории движения чашечного реза по начальной конической поверхности витка червяка. В

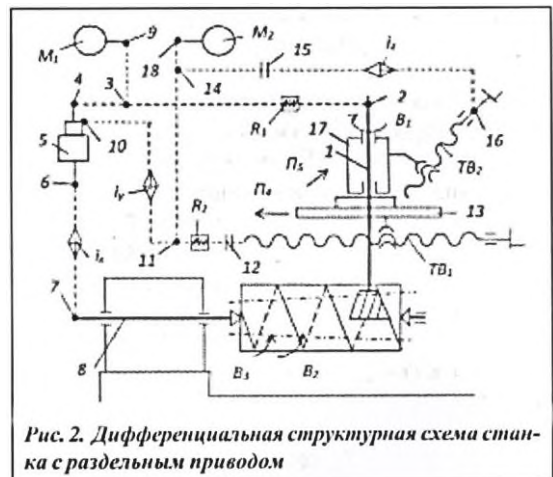
итоге шаг витка червяка по противоположным сторонам его профиля будет соответствовать выражению:

$$P_{b,m} = \pi m \cos \alpha_0 / \cos (\alpha_0 \pm \varepsilon),$$

где $P_{b,m}$ – соответственно больший и меньший шаги витка; α_0 – угол зацепления; ε – угол наклона образующей начальной поверхности; «+» и «-» относятся соответственно к большему и меньшему шагам.

На станке можно обрабатывать также одношаговые и глобоидные червяки. При обработке одношагового червяка посредством муфты 11 отсоединяется от привода подачи тяговый вал TB_2 поперечного суппорта 13 . В итоге двухэлементарная формообразующая группа подачи $\Phi_s(\Pi_4\Pi_5)$ преобразуется в одноэлементарную $\Phi_s(\Pi_4)$. Вывод ФН для органа настройки i_s этой группы аналогичен рассмотренному выше. При нарезании глобоидного червяка посредством муфты 9 отсоединяется от привода подачи тяговый вал TB_1 . В итоге формообразующая группа скорости резания (обката) преобразуется к виду $\Phi_s(B_1B_2)$, а двухэлементарная группа подачи преобразуется в группу врезания $\Phi_s(\Pi_5)$.

Современная тенденция при проектировании металлорежущих станков с механическими связями – оснащение формообразующих кинематических групп индивидуальными управляемыми, например, асинхронными электродвигателями с использованием частотных преобразователей. На рис. 2 приведен вариант модернизации структурной схемы станка для нарезания червяков ча-



шечным резцом с раздельным приводом формообразующих групп.

Кинематическая структура станка включает двухэлементарную группу обката $\Phi_v(B_1B_2)$ и трехэлементарную винторезную группу $\Phi_s(B_3П_4П_5)$. Внутренние связи кинематических групп соединены планетарным суммирующим механизмом (дифференциалом) 5 для физического сложения двух вращательных движений на шпинделе заготовки, являющимся исполнительным органом обеих групп.

Группа $\Phi_v(B_1B_2)$ воспроизводит зацепление червячной передачи. Ее внутренняя связь (цепь):

$V_1 \rightarrow$ шпиндель 1 чашечного резца $\rightarrow 2 \rightarrow$ реверс $R_1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow i_x \rightarrow 7 \rightarrow$ шпиндель 8 заготовки $\rightarrow V_2$.

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow 9 \rightarrow 3$ (звено соединения с внутренней связью).

Группа настраивается на траекторию органом настройки i_x ; на скорость (резания) – частотным преобразователем, управляющим асинхронным электродвигателем M_1 ; на направление – реверсом R_1 .

Группа $\Phi_s(B_3П_4П_5)$ осуществляет перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витка червяка. Ее внутренняя связь содержит две структурные цепи.

Первая цепь:

$V_3 \rightarrow$ шпиндель 8 заготовки $\rightarrow 7 \rightarrow i_x \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 10 \rightarrow i_y \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow 12 \rightarrow TV_1 \rightarrow$ продольный суппорт $13 \rightarrow П_4$.

Вторая цепь:

$П_4 \rightarrow$ продольный суппорт $13 \rightarrow TV_1 \rightarrow 12 \rightarrow R_2 \rightarrow 11 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow i_z \rightarrow 16 \rightarrow TV_2 \rightarrow$ поперечный суппорт $17 \rightarrow П_5$.

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow 18 \rightarrow 14$ (звено соединения связей для второй цепи) $\rightarrow 11$ (звено соединения связей для первой цепи).

Группа настраивается на траекторию органами настройки (гитары сменных зубчатых колес) i_y и i_z ; на скорость – частотным преобразователем, управляющим электродвигателем M_2 ; на путь и исходное положение по упорам системы управления.

Формулы настройки для i_x , i_y , i_z на траектории обоих формообразующих движения выводятся на основе следующих расчетных перемещений соответственно:

1 оборот шпинделя заготовки (B_2) $\rightarrow k/z$ оборота чашечного резца (B_1);

T мм перемещения чашечного резца ($П_4$) $\rightarrow 1$ дополнительному обороту шпинделя заготовки (B_3);

L мм перемещения чашечного резца ($П_4$) > 1 мм перемещения чашечного резца ($П_5$),

где L – параметр путь (произвольное число); $l = L \operatorname{tg} \varepsilon$, ε – угол наклона образующей начальной поверхности двухшагового червяка.

При обработке двухшагового червяка станок работает следующим образом. По циклу обработки последовательно включаются электродвигатели M_1 и M_2 . Движение от электродвигателя M_1 по внешней связи группы скорости резания через звено соединения связей 3 сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге шпиндель чашечного резца получает вращательное движение V_1 , а шпиндель заготовки через вход 4 – выход 6 суммирующего механизма 5 движение V_2 . Согласованные движения шпинделей воспроизводят профиль червяка. Одновременно при включенных муфтах 12 и 15 движение от электродвигателя M_2 по внешней связи группы подачи через звенья соединения связей 11 и 14 сообщается в обе цепи внутренней связи этой группы. В итоге продольный 13 и поперечный 17 суппорты, несущие шпиндель червячного резца, получают движения $П_4$ и $П_5$ соответственно, а шпиндель заготовки через вход 10 – выход 6 суммирующего механизма 5 движение V_3 . Функциональная связь движений V_3 , $П_4$, $П_5$ обеспечивает перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витка червяка. При этом суммирующий механизм 5 на шпинделе заготовки физически складываются движения V_2 и V_3 .

При обработке одношагового червяка посредством муфты 15 отсоединяется от привода подачи тяговый вал TV_2 поперечного суппорта 17. В итоге трехэлементарная

группа подачи $\Phi_3(B_3I_4I_5)$ преобразуется в двухэлементарную $\Phi_3(B_3I_4)$. А при обработке глобоидного червяка посредством муфты I_2 отсоединяется от привода подачи тяговый вал $ТВ_1$. В результате двухэлементарная группа подачи преобразуется в группу врезания $\Phi_3(I_5)$. При этом формообразующая группа скорости резания $\Phi_3(B_1B_2)$ остается неизменной.

Данная модификация кинематической структуры станка для обработки червяков создаст предпосылки оснащения ее простейшей системой ЧПУ с использованием программируемого контроллера. При этом настройка на траекторию обоих формообразующих движений, как и в схеме с механическими связями, будет осуществляться гитарами сменных зубчатых колес.

Такой вариант станка рационален в серийном производстве с установившейся номенклатурой обрабатываемых червяков. При уменьшении серийности при одновременном увеличении номенклатуры обрабатываемых деталей возрастают трудозатраты на переналадку механических органов настройки (гитар сменных зубчатых колес) на траекторию, что ведет к снижению коэффициента мобильности станка. Поэтому для достижения высокого коэффициента мобильности в единичном и мелкосерийном производстве с неустановившейся номенклатурой необходима более сложная система ЧПУ, включающая отслеживающую двухстороннюю систему синхронизации, при которой механические органы настройки на траекторию в обеих формообразующих группах заменяются электронными связями между исполнительными органами. Обязательным условием при этом является использование на каждом исполнительном органе отдельного регулируемого электродвигателя.

Выводы

Преобразование двухэлементарной группы воспроизведения винтовой линии витка традиционного одношагового червяка в способе обработки таких червяков чашечным резцом, известном по библиографическому источнику, в трехэлементарную группу, обеспечивает возможность обработки двухшагового червяка с винтовой линией витка на конической начальной поверхности. При проектировании специализированного станка для обработки червяков с общим электродвигателем для формообразующих групп целесообразно использование безжифференциальной

кинематической структуры. В этом случае обработка традиционного одношагового червяка с цилиндрической начальной поверхностью и двухшагового червяка с конической начальной поверхностью будет различаться только на уровне настройки формообразующих групп, обеспечивающих воспроизведение профиля и винтовой линии витка червяка, на траекторию. При проектировании станка с индивидуальными электродвигателями в формообразующих группах необходимо использовать дифференциальную кинематическую структуру. Причем при использовании управляемых электродвигателей целесообразно оснащение станка программируемым контроллером.

Библиографические ссылки

1. Червячная передача: пат. 2044194 (Россия), F16H 1/16 / А.И. Голембиевский, В.А. Петров: заявитель Полоцкий государственный ун-т; опубликован 1995 // БИ. №26.
2. Двухшаговый червяк: пат. 2020326 (Россия), F16H 1/16 / А.И. Голембиевский, В.А. Петров: заявитель Полоцкий государственный ун-т; опубликован 1994 // БИ. № 18.
3. Голембиевский А.И., Петров В.А. Новая двухшаговая передача / А.И. Голембиевский, В.А. Петров // Машиностроитель. – Москва, 1997, № 5. – С. 26.
4. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970.

Сведения об авторе

Голембиевский Анатолий Иосифович: канд. техн. наук, профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства» Полоцкого государственного университета, 211440, Беларусь, Новополоцк, ул. Блохина, д. 19, E-mail: golembie-wski@yandex.by, tel (375 214) 53-12 65.

About the author

Golembievsky Anatoly Iosifovich: candidate of technical science, professor of the department «Technology and equipment engineering production» Polotsk state university, 211440, Belarus, Novopolotsk, Blokhina St., 19. E-mail: golembievsky@yandex.by, tel (375 214) 53-12-65.