

УДК 621.992.4

**РАСШИРЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТАНКА С МЕХАНИЧЕСКИМИ СВЯЗЯМИ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЧЕРВЯКОВ ЧАШЕЧНЫМ РЕЗЦОМ**

*канд. техн. наук, проф. А.И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматривается конструктивная особенность двухшагового червяка, сопрягающегося с одношаговым червячным колесом. Разношаговость такого червяка по противоположным сторонам профиля обеспечивается расположением его витка на конической начальной поверхности. Обосновывается целесообразность расширения технических возможностей кинематической структуры станка для обработки одношаговых червяков чашечным резцом посредством возможности нарезания двухшаговых червяков с конической начальной поверхностью. Рассматриваются условия математического сложения двух движений на одном исполнительном органе, и на этой основе предлагается бездифференциальный вариант модернизации кинематической структуры станка с общим электродвигателем для нарезания одношаговых червяков. Разрабатывается вариант модернизации структурной схемы станка с раздельными электродвигателями для групп формообразующих движений. Рассматривается методика настройки обеих структурных схем.

Введение. В конце 50-х годов прошлого столетия была разработана двухшаговая червячная передача (дуплекс-пара), позволяющая регулировать боковой зазор посредством осевого смещения червяка. Такие передачи используют в червячных парах, от которых требуется высокая кинематическая точность, например, в реверсируемых, отсчетных и делительных механизмах металлорежущих станков. В дуплекс-паре 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] данной передачи обусловлена заменой цилиндрической начальной поверхности его витков 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 настройка на шаг витка червяка осуществляется поворотом линейки на угол наклона образующей начальной поверхности. Существенный недостаток такого вида обработки – низкая производительность, так как процесс нарезания червяка осуществляется при значительном количестве проходов не менее чем тремя последовательно используемыми резцами.

В серийном производстве обработку традиционных одношаговых червяков осуществляют 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]. Формообразующая часть таких станков содержит только структуру для нарезания одношаговых червяков, выполненную по дифференциальной схеме. 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 витков.

Модернизация кинематической структуры станка для нарезания червяков. В основу методики модернизации положен принцип кинематического воспроизведения траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности червяка при его обработке. На рисунке 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 $\Phi_v(B_1B_2)$ и трехэлементарную винторезную группу $\Phi_s(B_3П_4П_5)$, связанные между собой электродвигателем. В кинематической структуре станка не предусмотрен планетарный дифференциал для физического 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 исполнительные движения можно преобразовать к виду $\Phi_v(B_1B_2 + B_3)$ и $\Phi_s(П_4П_5)$.

подачи, как правило, 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 $\Phi_v(B_1B_2 + B_3)$:

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

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

Уравнение кинематической цепи (УКЦ) станочного зацепления:

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

где c_1 – произведение передаточных отношений механических передач кинематической цепи.

Формула настройки (ФН):

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

Орган настройки i_y . Расчетные перемещения для расчетной цепи, совпадающей с внутренней связью группы подачи $\Phi_s(П_4П_5)$, составят

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

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

Уравнение кинематической цепи станочного зацепления имеет следующий вид:

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

Формула настройки:

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

где $c_2 = (P_{TB1}/c \cdot P_{TB2})$ – константа модели станка; c – произведение передаточных отношений постоянных механических передач расчетной цепи.

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

$$\epsilon = \arctg (\Delta/2 \operatorname{tg} \alpha_0),$$

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

Коэффициент 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 $l_p = 10 \dots 15$ мм.

Орган настройки i_v . Расчетная цепь связывает электродвигатель M_1 со шпинделем 6 заготовки. Поэтому РП имеют вид:

$$n_{м1}, \text{ мин}^{-1}, \text{ круговая частота электродвигателя} \rightarrow n_{шп}, \text{ мин}^{-1}, \text{ круговая частота шпинделя 6.}$$

Уравнение кинематической цепи:

$$n_{шп} = n_{м1} \cdot c_3 \cdot i_v.$$

Формула настройки:

$$i_v = n_{шп}/n_{м1} \cdot c_3,$$

где c_3 – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Орган настройки i_s . Расчетная цепь связывает шпиндель 6 заготовки с TB_1 продольного суппорта 8. Поэтому РП имеют вид:

$$1 \text{ оборот шпинделя заготовки} \rightarrow s \text{ мм перемещения продольного суппорта 8.}$$

Уравнение кинематической цепи:

$$s = 1 \cdot c_4 \cdot i_s \cdot t_{TB1},$$

где c_4 – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Формула настройки:

$$i_s = s / c_4 \cdot t_{TB1}.$$

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 резца 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 суппорт 8 и поперечный суппорт 13, несущие шпиндель червячного резца, получают движения Π_4 и Π_5 соответственно. Функциональная связь этих движений обеспечивает перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витков червяка. В итоге шаг витка червяка по противоположным сторонам его профиля будет соответствовать выражению:

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

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

На станке можно обрабатывать также одношаговые червяки 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 $\Phi_v(B_1 B_2)$, а двухэлементарная группа подачи преобразуется в группу врезания $\Phi_s(\Pi_5)$. Вывод ФН для органа настройки i_s этой группы осуществляется на основе следующих РП:

1 оборот шпинделя заготовки → s мм перемещения поперечного суппорта.

Современная тенденция при проектировании металлорежущих станков с механическими связями – оснащение формообразующих кинематических групп индивидуальными управляемыми, например, асинхронными или синхронными электродвигателями с использованием частотных преобразователей.

На рисунке 2 приведен вариант модернизации структурной схемы станка для нарезания червяков чашечным резцом с раздельным приводом формообразующих групп.

Кинематическая структура станка включает двухэлементарную группу обката $\Phi_v(B_1 B_2)$ и трехэлементарную винторезную группу $\Phi_s(B_3 \Pi_4 \Pi_5)$. Внутренние связи кинематических групп соединены планетарным суммирующим механизмом (планетарным дифференциалом) 5 для физического сложения двух вращательных движений на шпинделе заготовки, являющимся исполнительным органом обеих групп.

Группа $\Phi_v(B_1 B_2)$ воспроизводит зацепление червячной передачи. Ее внутренняя связь:

$$B_1 \rightarrow \text{шпиндель 1 чашечного резца} \rightarrow 2 \rightarrow \text{реверс } R_1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow i_x \rightarrow 7 \rightarrow \\ \rightarrow \text{шпиндель 8 заготовки} \rightarrow B_2.$$

Внешняя связь:

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

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

Группа $\Phi_s(B_3 \Pi_4 \Pi_5)$ осуществляет перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витков червяка. Ее внутренняя связь содержит две структурные цепи.

Первая цепь:

$$B_3 \rightarrow \text{шпиндель 8 заготовки} \rightarrow 7 \rightarrow i_x \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 10 \rightarrow i_y \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow 12 \rightarrow TB_1 \rightarrow \\ \rightarrow \text{продольный суппорт 13} \rightarrow \Pi_4.$$

Вторая цепь:

$$\Pi_4 \rightarrow \text{продольный суппорт 13} \rightarrow TB_1 \rightarrow 12 \rightarrow R_2 \rightarrow 11 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow i_z \rightarrow 16 \rightarrow TB_2 \rightarrow \\ \rightarrow \text{поперечный суппорт 17} \rightarrow \Pi_5.$$

Внешняя связь:

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

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.

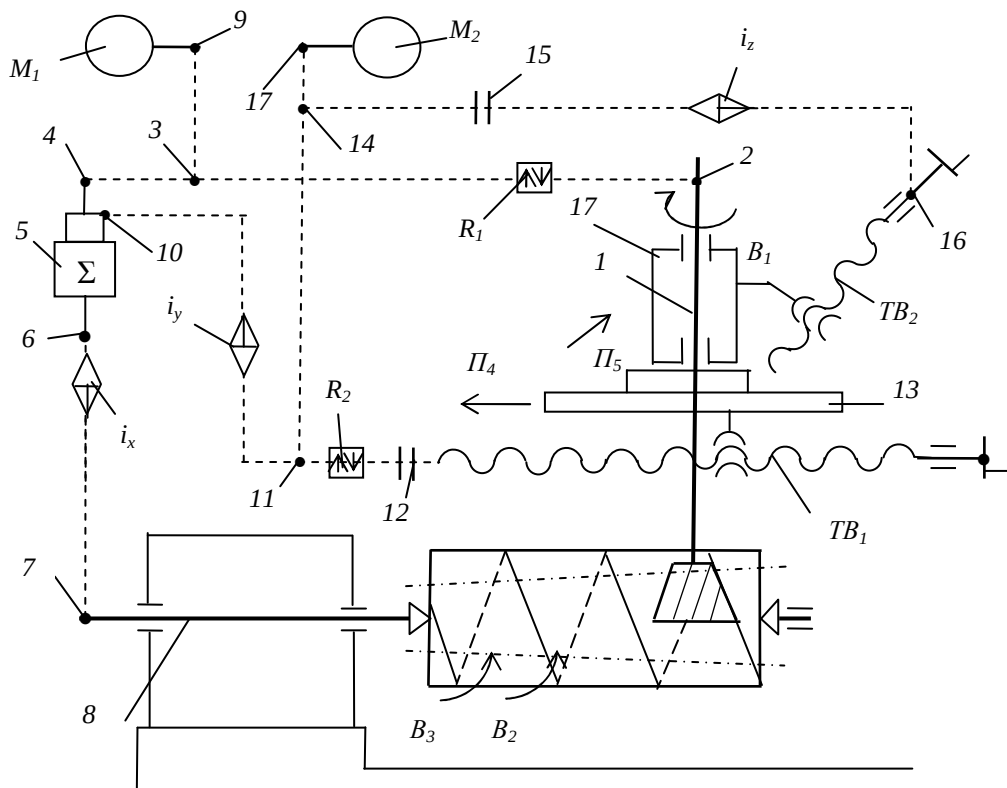


Рис. 2. Структурная схема станка с отдельным приводом формообразующих групп для нарезания червяков

Формулы настройки для i_x , i_y , i_z на траектории обоих формообразующих движений 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 (Π_4) $\rightarrow 1$ дополнительному обороту шпинделя заготовки (B_3);

L мм перемещения чашечного резца (Π_4) $\rightarrow l$ мм перемещения чашечного резца (Π_5),

где L – параметр путь (произвольное число); $l = L \cdot \tan \epsilon$; ϵ – угол наклона образующей начальной поверхности двухшагового червяка.

Последнее значение расчетных перемещений можно также выразить через значения продольной и поперечной подачи:

S_{np} перемещение чашечного резца (Π_4) $\rightarrow S_{non}$ перемещение чашечного резца (Π_5),

где S_{np} – нормируемая продольная подача; $S_{non} = S_{np} \cdot \tan \epsilon$.

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 B_1 , а шпиндель заготовки через вход 4–выход 6 суммирующего механизма 5 – движение B_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 суппорт 13 и поперечный суппорт 17, несущие шпиндель червячного резца, получают движения Π_4 и Π_5 соответственно, а шпиндель заготовки через вход 10–выход 6 суммирующего механизма 5 – движение B_3 . Функциональная связь движений B_3 , Π_4 , Π_5 обеспечивает перемещение траектории движения чашечного резца по начальной конической поверхности витков червяка. При этом посредством суммирующего механизма 5 на шпинделе заготовки физически складываются движения B_2 и B_3 .

При обработке одношагового червяка посредством муфты 15 отсоединяется от привода подачи тяговый вал TB_2 поперечного суппорта 17. В итоге трехэлементарная группа подачи $\Phi_s(B_3P_4P_5)$ преобразуется в двухэлементарную $\Phi_s(B_3P_4)$. При нарезании глобоидного червяка посредством муфты 12 отсоединяется от привода подачи тяговый вал TB_1 . В итоге двухэлементарная группа подачи преобразуется в группу врезания $\Phi_s(P_5)$. Данная модификация кинематической структуры станка для обработки червяков создает 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 витков традиционного одношагового червяка в способе обработки таких червяков чашечным резом, известном по библиографическому источнику, в трехэлементарную группу обеспечивает возможность обработки двухшагового червяка с винтовой линией витков на конической начальной поверхности.

При проектировании специализированного станка для обработки червяков с общим электродвигателем для формообразующих групп целесообразно использование бездифференциальной 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 витков 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.

ЛИТЕРАТУРА

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

Поступила 20.06.2014

ADVANCE TECHNICAL CINEMATIC STRUCTURE OF MACHINES WITH MECHANICAL COUPLING TREATMENT CHERVYAKOV CALYX INCISORS

A. GOLEMBIEVSKY

We consider a two-step design feature of the worm, one-step mating worm wheel. Different-stepper this worm on opposite sides of the profile provided by its location on the conical coil initial surface. The feasibility of expanding the technical capabilities of the kinematic structure of the machine for the treatment of single-step worm cup-cutter cutting through the possibility of two-step worms with conical initial surface. The conditions of the mathematical addition of the two movements in one executive agency, and on this basis the option of upgrading non-differential kinematic structure of the machine with a common one-step motor for cutting worms. Developed version of the modernization of the block diagram of the machine with separate motors for groups shaping movements. The technique of setting both structural schemes.