

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

621.90

АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ РАБОЧЕГО ОРГАНА СТАНКА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ В ГАЙКАХ ПРЯМЫМ МЕТЧИКОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИВОДНЫХ ШНЕКОВ

Канд. техн. наук, доц. С. Н. БОРИСОВ, асп. А. П. ТРЕМАСОВ

Рассмотрена кинематика рабочего органа нового станка для непрерывного нарезания резьбы в гайках прямым метчиком. Дан пример расчета кинематики рабочего узла для обработки стандартных гаек с резьбой М16 при рекомендуемых режимах резания. Проанализировано распределение мощности в цепях станка в зависимости от попутного и встречного методов обработки. Разработана методика для назначения рациональных кинематических параметров рабочих элементов станка.

The kinematics of an end-effector of the new machine tool for a continuous tapping in nuts is considered by a direct tap. It is set an example of calculation of kinematics of a working corner for handling standard nuts with thread M16 at the recommended conditions of cutting. Distribution of power in circuits of the machine tool depending on passing and opposing methods of handling is analyzed. The technique is developed for assignment of rational kinematics parameters of working elements of the machine tool.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана ведется работа по созданию нового станка для нарезания резьбы в гайках прямым метчиком непрерывным методом [1]. Нами проанализированы кинематические связи элементов рабочего органа этого станка для различных вариантов обработки. Рабочий орган станка включает три элемента (рис. 1): метчик 4 с заборной частью со стороны хвостовика с шевронной нарезкой на последнем; три шнека 2 с шевронной нарезкой на наружном диаметре витков; шестигранную трубу 5, установленную соосно с метчиком и расположенную так, чтобы режущая часть метчика находилась внутри этой трубы.

Оси шнеков параллельны, равноудалены от оси метчика, расположены под углом 120° (разрез А-А). Их зубчатая шевронная нарезка зацепляется с шевронной нарезкой на хвостовике метчика. Все три элемента во время работы станка имеют вращательное движение. Отдельный привод через широкую зубчатую шестерню приводит во вращение один из шнеков. Шнек вращает метчик, который, в свою очередь, вращает два других шнека. Таким образом, шнеки имеют одинаковую частоту и направленное вращение. Шестигранная труба (далее труба) имеет свой привод вращения.

Процесс подачи гайки на метчик и нарезание в ней резьбы осуществляется следующим образом (рис. 1). Заготовки гаек 1 в сориентированном положении нанизываются на выступающий конец хвостовика метчика 4. Наружный диаметр шевронной зубчатой нарезки меньше внутреннего диаметра заготовки гайки. Очередная гайка отсекается первым витком шнеков и далее перемещается боковыми поверхностями витков шнеков вдоль хвостовика метчика 3 к его режущей части. Осуществление этой части процесса обеспечивается тем, что впадины витков шнеков должны быть сориентированы при сборке узла так, чтобы их боковые поверхности в зоне контакта витков с хвостовиком метчика находились на одном уровне вдоль оси метчика. Профиль впадин шнека должен быть выбран такой, чтобы в

нем помещалась гайка при расположении ее в плоскости, перпендикулярной оси шнека.

После попадания в винтовые канавки приводных шнеков, гайка, переместившись по хвостовой части метчика, попадает сначала в шестигранную трубу, где начинает вращаться с частотой вращения последней, а затем начинает контактировать с заборной частью метчика. С этого момента начинается процесс резания. Скорость резания обеспечивается величиной относительной частоты вращения ($n_{отн}$) метчика и гайки. Так как гайка вращается с частотой вращения трубы, значение $n_{отн}$ определяется из выражения

$$n_{отн} = n_m - n_{тр}, \quad (1)$$

где $n_m, n_{тр}$ — частота вращения метчика и трубы соответственно, об/мин.

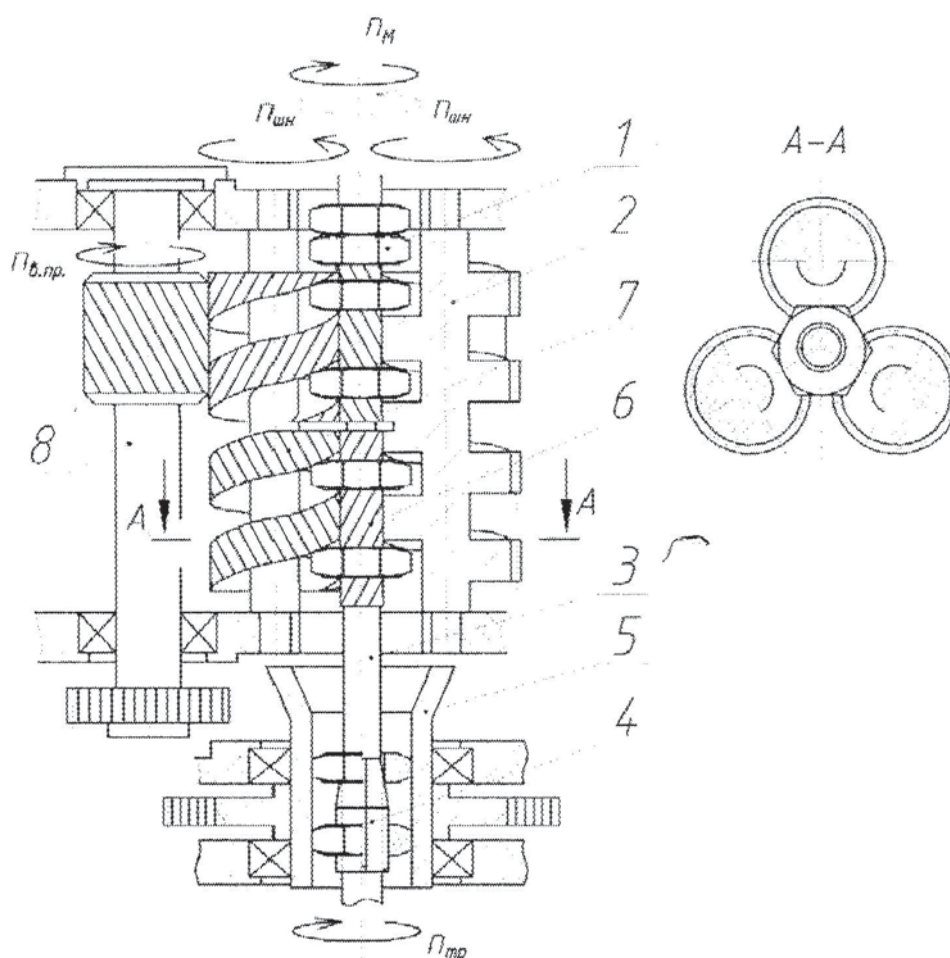


Рис.1. Схема рабочего органа нового станка: 1 — гайка; 2 — шнек; 3 — хвостовик метчика; 4 — метчик; 5 — труба шестигранная; 6 — шевронные зубья хвостовика; 7 — шевронные зубья на боковой поверхности шнека; 8 — вал приводной

В свою очередь, скорость резания определяется из выражения [2]

$$v_p = \frac{\pi d_p n_{отн}}{1000}, \text{ м/мин,}$$

где d_p — диаметр резьбы гайки, мм.

Кроме того, конструкция и кинематика рабочего органа должны исключать накопление заготовок гаек перед режущей частью метчика. Для этого необходимо, чтобы количество заготовок, выходящих из шнеков в единицу времени (условно, «производительность шнеков» $Q_{\text{шн}}$), было теоретически равно, а практически несколько меньше количества гаек, нарезаемых метчиком в единицу времени (условно, «производительность метчика» $Q_{\text{м}}$)

$$Q_{\text{м}} \geq Q_{\text{шн}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{шн}} = v_{\text{шн}} Z_{\text{шн}}$, шт/мин; $Z_{\text{шн}}$ — число заходов шнека; $n_{\text{шн}} = m_{\text{м}} i_{\text{м-шн}}$; $i_{\text{м-шн}}$ — передаточное отношение в зубчатой паре метчик — шнек; $i_{\text{м-шн}} = \frac{Z_{\text{з-м}}}{Z_{\text{з-шн}}}$; $Z_{\text{з-м}}$, $Z_{\text{з-шн}}$ — число зубьев на хвостовике метчика и внешней поверхности шнеков соответственно.

Производительность метчика в случае, когда гайки поступают на метчик непрерывным потоком, определяется выражением:

$$Q_{\text{м}} = \frac{n_{\text{отп}} p_{\text{г}}}{h_{\text{г}}}, \text{ шт/мин,}$$

где $h_{\text{г}}$ — высота гайки; $p_{\text{г}}$ — шаг резьбы.

Таким образом, аналитическое выражение (2) (условие отсутствия накопления гаек перед заборной частью метчика) может быть преобразовано к виду

$$n_{\text{шн}} Z_{\text{шн}} \leq \frac{n_{\text{отп}} p_{\text{г}}}{h_{\text{г}}}.$$

Параметры рабочего органа нового станка и обрабатываемой гайки (при обработке гайки по ГОСТ 5915-70 с резьбой М16) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры рабочего органа станка и обрабатываемой гайки

Параметр	Значение
Передаточное отношение зацепления шнека и хвостовика метчика $i_{\text{м-шн}}$	0,262
Высота гайки $h_{\text{г}}$, мм	13
Шаг резьбы гайки $p_{\text{г}}$, мм	2
Скорость резания $V_{\text{р}}$ (по справочным зависимостям), м/мин	11,8
Число заходов шнека $Z_{\text{шн}}$	1

Построим график производительности $Q_{\text{шн}}$ в зависимости частоты вращения метчика $n_{\text{м}}$ (рис. 2). Эта зависимость имеет вид: $Q_{\text{шн}} = n_{\text{м}} i_{\text{м-шн}} Z_{\text{шн}}$.

На второй нижней оси абсцисс показаны значения частоты вращения трубы. Эти значения смещены относительно частот вращения метчика $n_{\text{м}}$ на величину $n_{\text{отп}}$, принятую

равной 225 об/мин (это соответствует скорости резания 11,8 м/мин). Положительным значениям n_m по оси абсцисс соответствует вращение метчика против часовой стрелки, отрицательным значениям — по часовой. То же относится и к частоте вращения трубы $n_{тр}$. По оси ординат показаны значения производительности элементов станка: метчика Q_m и шнеков $Q_{шн}$.

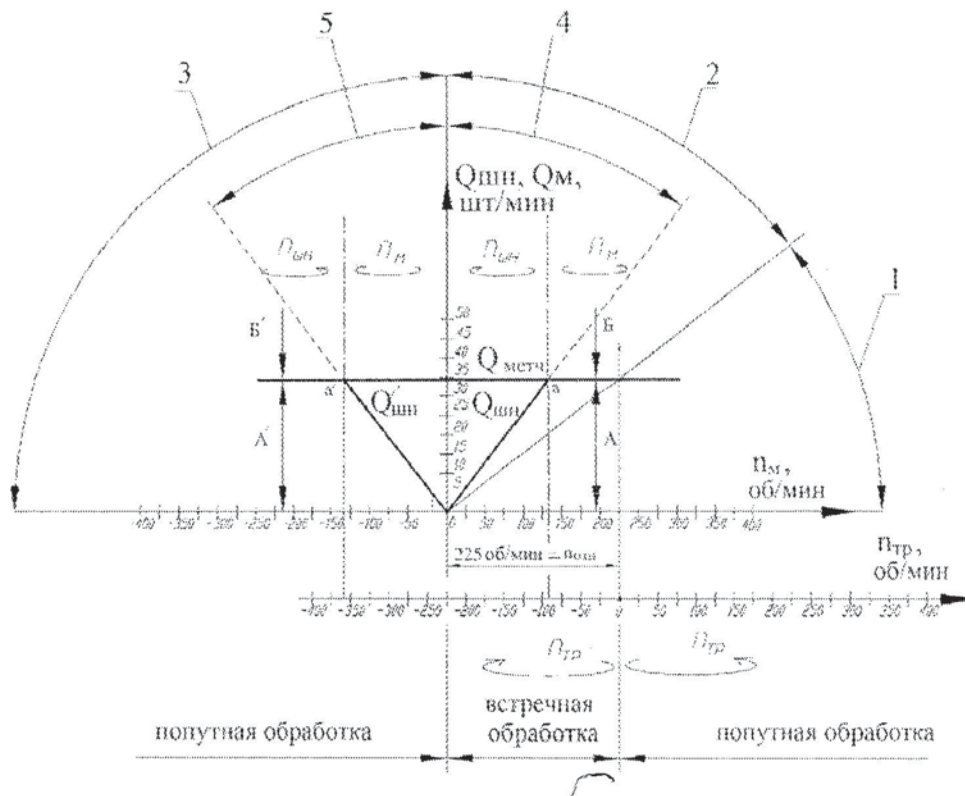


Рис. 2. График производительности нового станка при обработке гаек М16 в зависимости от n_m при $n_{отн} = const$: 1 — зона попутной обработки; 2 — зона встречной обработки; 3 — зона попутной обработки; 4, 5 — области допустимого использования станка

Скорость резания V_r и величина Q_m определяются величиной $n_{отн}$. При $n_{отн} = const$ график Q_m имеет вид горизонтальной прямой. Так, при $V_r = 11,8$ м/мин имеем $Q_m = 34$ шт/мин. При этом n_m может иметь различные значения, но $n_{отн}$ сохраняется за счет изменения $n_{тр}$.

Нулевые значения оборотов метчика и трубы делят пространство графика на три угловые зоны. Любая точка каждой зоны характеризуется значением частоты вращения метчика и трубы, а также их производительность. При этом зонам 1 и 3 соответствует попутное вращение трубы и метчика, а зоне 2 — встречное вращение.

Ординатам точек, образующих луч $Q_{шн}^n$, соответствуют значения производительности шнека ($Q_{шн}$) при попутной обработке (т.е. метчик и труба имеют вращение в одном направлении), а луч $Q_{шн}^в$ характеризует значения производительности шнека при встречной обработке. Производительность станка определяется производительностью метчика при рекомендуемой скорости резания. Эта величина имеет значение 34 шт/мин (горизонтальная прямая Q_m). Пересечение лучей $Q_{шн}^n$ и $Q_{шн}^в$ с этой прямой имеет место в точках a и a' . При этом:

1. Работа станка при значениях производительности шнека $Q_{шн}$ в точках a или a' теоретически допустима, так как количество подаваемых гаек в трубу равно количеству гаек,

которые способен обработать метчик, но при этом не учитывается возможная задержка гаек в момент резания.

2. Работа станка при значениях, выше значений производительности шнека $Q_{\text{шн}}$, в точки a или a' (область Б (Б')) недопустима, так как количество подаваемых гаек в трубу больше количества гаек, которые способен обработать метчик.

Из сказанного выше следует, что допустимой областью работы станка является область А (при встречном вращении метчика и трубы) или область А' (при попутно направленном вращении метчика и трубы). В точках a и a' производительность станка при выбранной скорости резания является максимальной, при этом гайки должны перемещаться по метчику непрерывным потоком. Из описания же работы устройства следует, что после прохождения гайки через шнек ей необходимо сориентироваться для дальнейшего перемещения во внутрь трубы. При использовании значений частот вращения метчика и трубы в точках $a(a')$ времени для этого нет, т.е. точки характеризуют идеальный случай, когда каждая гайка оказывается в ориентированном положении перед входом во внутреннюю полость трубы. В реальной же конструкции необходим некоторый запас на время, позволяющее гайке сориентироваться.

Существует две возможности получения запаса на время ориентирования:

1. Понизить производительность шнеков $Q_{\text{шн}}$, производительность же метчика $Q_{\text{м}}$ оставить на том же уровне. Между подающими шнеками и попадающими в трубу гайками появляется зазор, что и дает запас на время ориентирования. Однако при этом понижается производительность станка.

2. Производительность шнеков $Q_{\text{шн}}$ оставить на максимально возможном уровне, а производительность метчика $Q_{\text{м}}$ незначительно повысить относительно значений в точках $a(a')$ за счет увеличения $n_{\text{отп}}$.

Наиболее выгодным является второй вариант, т.к. производительность станка остается прежней, в то же время появляется зазор между поступающими в трубу гайками.

Учитывая рассмотренные выше ограничения, рассмотрим график $Q_{\text{м}} = f(n_{\text{отп}})$, на котором горизонтальным прямым соответствуют различные значения частот вращения $n_{\text{отп}}$ и скорости резания (рис. 3). Как и в рассмотренном ранее случае, пересечения этих прямых с лучами производительности шнеков определяют точки максимально допустимой величины теоретической производительности шнеков. На данном графике не показаны значения частот вращения $n_{\text{тр}}$ для каждого случая $n_{\text{отп}}$, эти значения можно определить по зависимости (1).

Для получения зазора между поступающими в трубу гайками на практике можно незначительно увеличить скорость вращения трубы (величина зазора устанавливается экспериментально) при выбранной скорости вращения шнека или, наоборот, снизить обороты шнека, оставив прежние значения оборотов трубы.

В качестве примера рассмотрим точку пересечения прямой производительности метчика $Q_{\text{м}}$ и прямой производительности шнека $Q_{\text{шн}}$ в точке b при встречном вращении метчика и трубы. Принимаем случай, где производительность шнеков $Q_{\text{шн}}$ остается на уровне, когда число поступающих в трубу гаек равно числу выходящих из шнеков (34 шт/мин). Если увеличить обороты трубы до значений, при которых $n_{\text{отп}} = 260$ об/мин, производительность метчика $Q_{\text{м}}$ становится равной 40 шт/мин ($Q_{\text{м}_2}$). Величина зазора между гайками определится из выражения:

$$\frac{(Q_{\text{м}_2} - Q_{\text{м}})h_{\text{г}}}{Q_{\text{м}_2}} = \Delta, \text{ мм.}$$

$$\text{В нашем случае } \Delta = \frac{(40 - 34) \cdot 13}{40} \approx 2 \text{ мм.}$$

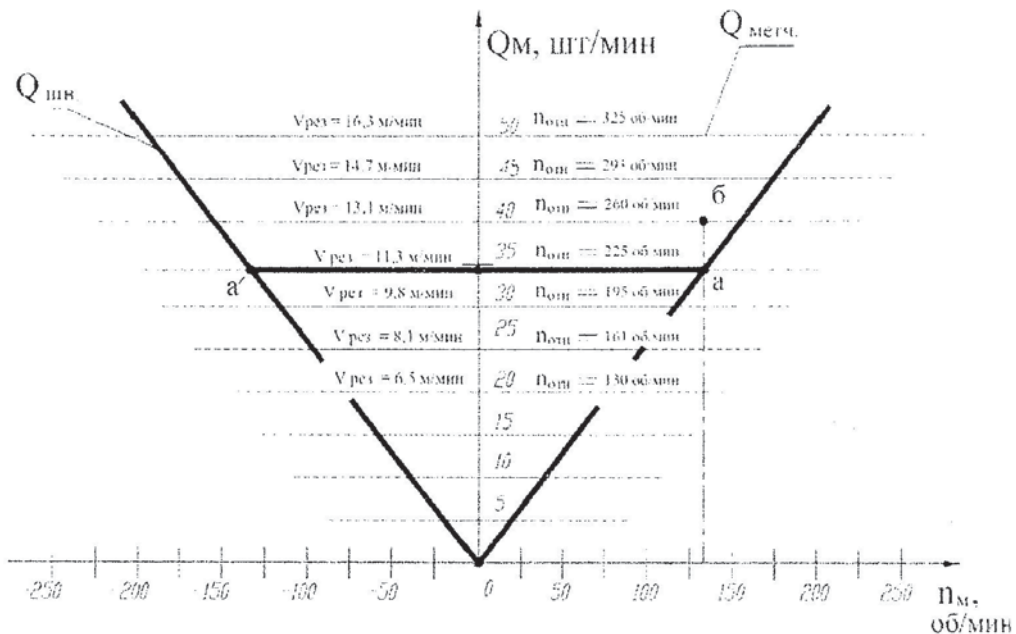


Рис. 3. Скорости резания при различных значениях производительности

Выполненный выше анализ позволяет предложить следующую последовательность назначения кинематических параметров элементам рабочего органа проектируемого станка.

1. По заданной V_p определяются $n_{отн}$ и $Q_{шн}$.

2. Выбирается частота вращения n_m и, зная $n_{отн}$, определяют $n_{тр}$. При этом важно, чтобы производительность шнеков $Q_{шн}$ была приближена к значению производительности метчика Q_m , но при этом быть меньше ее. При постоянной производительности метчика, а значит и станка, можно увеличить $n_{тр}$ и уменьшить n_m . Однако при этом уменьшается

$Q_{шн}$, т.к. $n_{шн}$ неразрывно связана с n_m : $\frac{n_{шн}}{i_{м-шн}} = n_m$.

3. Чтобы снизить риск заклинивания вследствие переполнения гайками пространства между режущей частью метчика и шнеками, рассчитывается значение Δ — зазор между поступающими в трубу гайками. После этого проводится уточнение частоты вращения элементов, а именно: увеличивается частота вращения трубы при выбранной скорости вращения шнека или, наоборот, снижается частота вращения шнека, при этом оставляется прежней частота вращения трубы.

Ранее было отмечено, что существует две точки на графике (a и a'), которые соответствуют значениям максимальной производительности станка, работающего без дальнейшего переполнения заготовок перед зоной резания. В первом случае имеем процесс встречной обработки (ведущим элементом является метчик), а во втором — полутной (ведущим элементом является труба). Проанализируем распределение подводимой мощности в зону резания приводами метчика и трубы. Мощность при нарезании резьбы метчиком определяется по зависимости [3]

$$N_p = \frac{M_p n}{975}, \text{ кВт}$$

Мощность резания обеспечивается суммой мощностей, подводимых по цепям привода трубы и метчика: $N_p = N_m + N_{tr}$, кВт. Принимаем, что момент резания — постоянная величина ($M_p = 18 \text{ Н} \cdot \text{м}$), а мощность резания будет изменяться только в зависимости от изменения частоты вращения элемента. График изменения мощности резания составляющих рабочий орган станка элементов в зависимости от частоты вращения метчика для этого случая представлен на рис. 4.

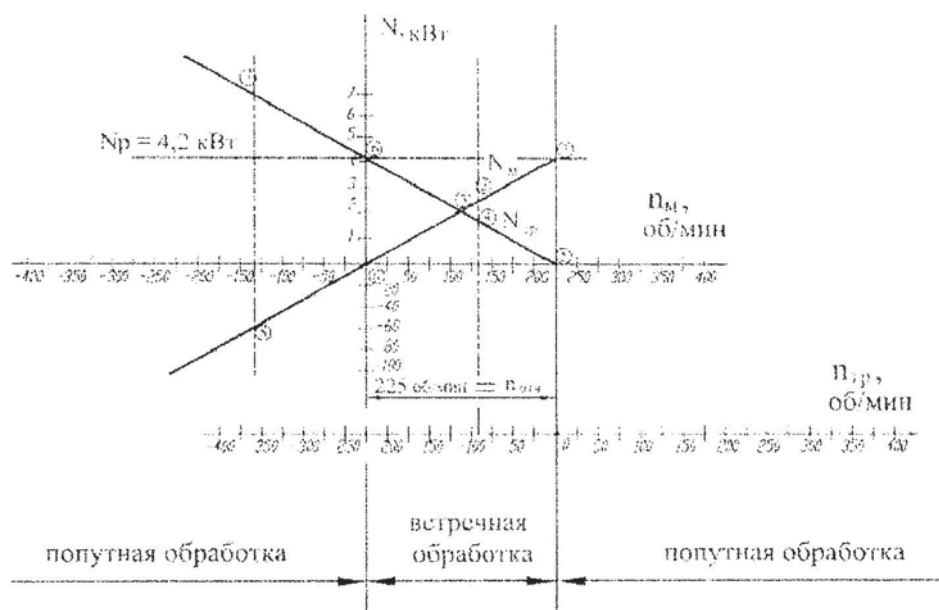


Рис. 4. Распределение мощности в станке

При попутном резании зубчатая передача шнек-метчик работает в режиме редукции, где допустимо значение $i \leq 1/4$. В случае же, когда ведущими становятся шнеки, передача работает в режиме мультипликации и значение $i = 4$, что является неблагоприятным. Процесс, принятый в схеме (рис. 2), рассмотрим на границе интервала допустимых значений кинематических параметров станка. Пунктирная линия соответствует значению частоты вращения метчика в точках a и a' (рис.2). Лучи 1—8 и 5—7 (рис.4) — значения мощности в приводах соответственно метчика и трубы. В правой части графика на отрезке 1—2 привод метчика имеет значения мощности, превышающей значение мощности привода трубы (отрезок 5—3). На отрезке 3—6 возрастает мощность в приводе трубы, мощность в приводе метчика уменьшается (отрезок 3—0). Пересечение с пунктирными линиями представленных значений мощности в приводах элементов характеризует эти значения при рассматриваемых кинематических параметрах метчика и трубы в точках a и a' (рис. 2). Очевидно, что в точке a ведущим элементом является метчик, а труба — ведомой. Для нас же важно, чтобы труба была ведущим элементом, а метчик — ведомым, это условие отражено в левой части графика на рис.4. Отрезок 0—7 характеризует возрастающую мощность привода трубы, а отрезок 1—8 — все уменьшающуюся мощность привода метчика. В качестве примера в табл. 2 показаны значения мощности в указанных точках.

По результатам проведенного анализа кинематики рабочего органа станка для непрерывного нарезания резьбы прямым метчиком с использованием приводных шнеков можно сделать следующие выводы.

Таблица 2

Значения мощности приводов трубы и метчика при попутной и встречной обработках

Точка	Значение мощности резания, кВт	Доля от полной мощности резания, %	Ведущий элемент
1	4,2	100	Метчик
2	2,52	60	Метчик
3	2,1	50	—
0 (шнеки не работают) *	0	0	Труба
8	-2,52	-60	Труба
5 (труба не работает)	0	0	Метчик
4	1,68	40	Метчик
3	2,1	50	—
6	4,2	100	Труба
7	6,72	160	Метчик
$N_p = N_m + N_{тр}$, кВт			

* — вариант недопустим, так как $Q_{шт} = 0$.

1. Выявлена возможность реализации двух методов обработки: встречной и попутной. При этом методы имеют свои ограничения.

2. При определенных значениях скоростей вращения метчика, шнеков и трубы количество подаваемых на обработку гаек в единицу времени равно количеству обрабатываемых. Для обеспечения запаса на время ориентирования гаек, перемещающихся в трубу с определенным профилем, рекомендуется дополнительно повысить обороты трубы или снизить обороты шнеков.

3. Предпочтительным видом является попутная обработка, когда труба вращается попутно метчику с более высокой скоростью. В этом случае ведущим элементом при резании является труба, а ведомым — метчик и мощность передается в зону резания от привода трубы. Такое условие благоприятно сказывается на работе зубчатого зацепления метчика со шнеками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б о р и с о в С. Н. Устройство для непрерывного нарезания резьбы. Авторское свидетельство №402436, М. Кл. В 23G 1/16 // Бюллетень «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки». — № 42. — 1974.
2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т. I: Проектирование станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов и др. ; Под общ. ред. А.С. Проникова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. — 444 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. — 4-е изд. перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1985. — 496с.
4. Металлорежущие станки / В.К. Тепинкичев, Л.В. Красниченко, А.А. Тихонов, П.С. Колев. — М.: Машиностроение, 1972.