

КОРРЕКЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ СТАНКОВ С ЧПУ С УЧЕТОМ ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ларшин В.П., Гречиха А.А. (каф. ТМ, ОГПУ, г.Одесса, Украина)

В условиях жесткой конкурентной борьбы производственное предприятие должно четко представлять себе потребителя своих товаров, а следовательно параметры стоимости и качества своей продукции. Затраты на производство продукции складываются из технологической себестоимости отдельных операций. При проектировании технологических процессов необходимо учитывать предварительно заданную цену изделия и обеспечивать ее за счет регулирования технологической себестоимости операций. Такое направление в проектировании технологических процессов получило название технологический менеджмент [1]. Для того чтобы обеспечить требования технологического менеджмента, необходимо наиболее рационально использовать производственные ресурсы, в первую очередь имеющееся технологическое оборудование. Особенно актуальна эта задача для современных машиностроительных предприятий, широко применяющих автоматизированное оборудование с ЧПУ, гибкие автоматические линии и т. д. Для составления управляющих программ (УП) к такому оборудованию необходимо хорошо знать входные и выходные данные технологической системы и их взаимное влияние. Входными данными в механической обработке являются параметры элементов технологической системы ; режимы резания. Выходными данными являются точность, качество и стоимость получаемого изделия.

Известно, что на точность изделия влияет целый ряд систематических и случайных погрешностей, таких как погрешности позирования, настройки оборудования, перепады неровностей и твердости обрабатываемой поверхности и др. Если систематические погрешности можно практически свести к нулю соответствующей настройкой оборудования (для станков с ЧПУ — настройкой УП), то случайные погрешности прогнозировать гораздо сложнее.

Известно, что случайные погрешности при механической обработке в значительной степени зависят от жесткости технологической системы j , которая определяется податливостью ее основных звеньев: станка, инструмента, приспособления и обрабатываемой детали.

Величину отжатия определяют по известной формуле

$$\Delta y = \frac{P_y}{j}, \quad (1)$$

где P_y — нормальная составляющая усилия резания.

Изменения силы P_y носит случайный характер. Однако для каждого конкретного условия методом полного факторного эксперимента можно получить эмпирическую зависимость [2]

$$P_y = c_y \cdot t^{x_y} S^{y_y} v^{z_y}, \quad (2)$$

где t , S , v — режимные параметры обработки, например, глубина шлифования, поперечная подача, скорость детали.

c_y , x_y , y_y , z_y — коэффициенты, зависящие от вида обработки, оборудования, инструмента и т. д.

Предлагаемый метод коррекции состоит в следующем: в УП задают такую глубину резания по лимбу станка t_n , чтобы с учетом технологического отжатия Δy получить необходимую фактическую глубину резания t_p , т.е.

$$t_{\text{л}} = t_{\text{р}} + \Delta y \quad (3)$$

Расчет производится на ЭВМ по алгоритму, приведенному на рисунке.

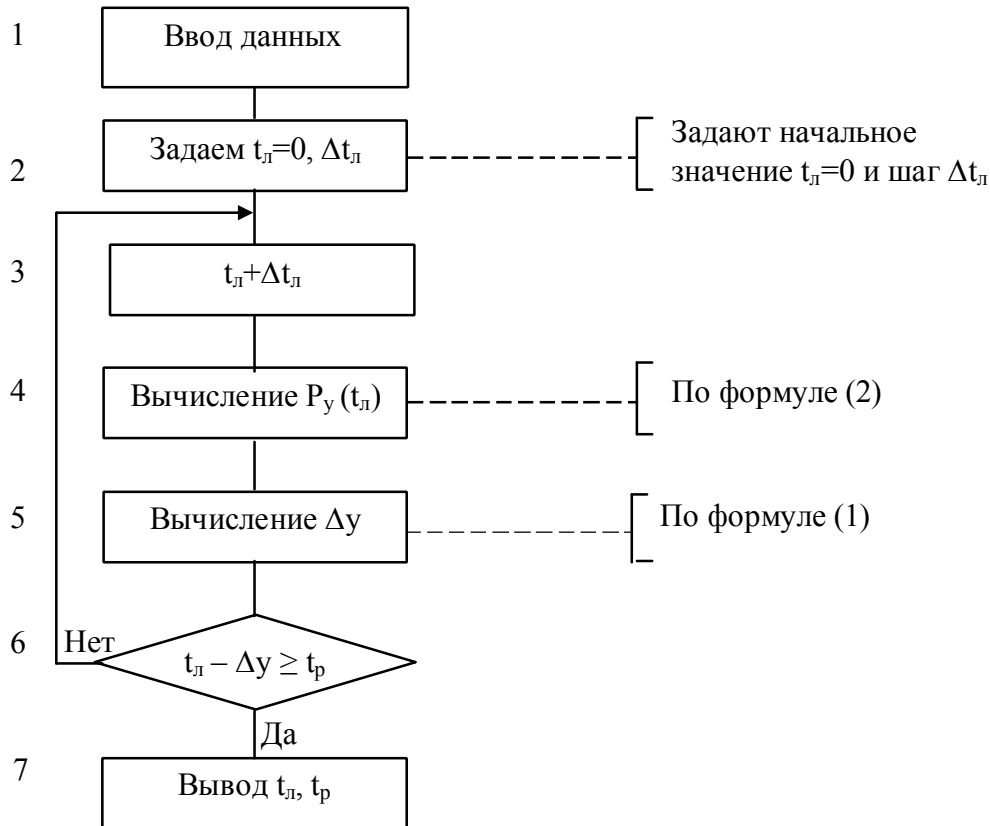


Рис. Блок-схема алгоритма расчета.

В блоке 1 задаются исходные данные: $t_p, j, c_y, x_y, y_y, z_y, S, v$. В блоке 2 задают нулевое значение глубины резания $t_{\text{л}}$, устанавливаемое по лимбу станка и шаг ее увеличения $\Delta t_{\text{л}}$. В блоке 3 формируется текущая глубина резания $t_{\text{л}}$, для которой в блоке 4 определяют значение усилия P_y . В блоке 5 вычисляют величину упругого отжатия Δy , которую используют для определения разности $t_{\text{л}} - \Delta y$. Эту разность в блоке 6 сравнивают с первоначально заданной величиной t_p . При совпадении результата расчета с заданной величиной t_p , полученную глубину $t_{\text{л}}$ фиксируют и используют в УП. Например, при плоском шлифовании вырубных штампов на станке 3Г71 для обеспечения фактических распределений глубины резания по переходам шлифования t_p необходимо задать следующие значения лимбовых значений глубин $t_{\text{л}}$ (см. табл.).

Таблица – Распределение припуска по переходам шлифования.

К	1	2	3	4	5	6
$t_p(k)$, мкм	8,7	8,2	7,7	7,3	6,9	1,2
$t_{\text{л}}(k)$, мкм	10,9	10,3	9,6	9,1	8,8	1,5

Из приведенных данных следует, что установленные по лимбу глубины шлифования (задаются в УП) превышают фактические глубины шлифования в среднем в 1,25 раза. Следовательно, если не вносить коррекции Δy в УП, то около 25% припуска оказывается не удаленной. Потребуется дополнительная обработка этих деталей, связанная

с увеличением затрат. В результате увеличивается технологическая себестоимость операции и общие затраты на производство изделия.

Предложенная методика коррекции управляющих программ можно будет реализовать при помощи самообучающейся технологической системы механообработки на станках с ЧПУ.

Список литературы: 1. Ларшин В.П. Технологический менеджмент и компьютерных технологий при разработке ГПС в машиностроении // Прогрессивные технологии в машиностроении: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. — Киев: АТМ Украины, 2000. — С.135–136. 2. Справочник технолога-машиностроителя. В2-х т. Т.2 / Под редакцией А.Т. Косиловой и Р.К. Мещерякова. — М.: Машиностроение, — 1986. — 482 с.

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ ВЫРУБНЫХ ШТАМПОВ

Ларшин В.П., Гречиха А.А., Райлян Т.А. (каф. ТМ, ОГПУ, г.Одесса, Украина)

При финишной обработке ответственных деталей машин, например при плоском шлифовании пуансонов вырубных штампов, на обрабатываемой поверхности часто возникают прижоги и микротрещины, которые существенно ухудшают эксплуатационные свойства этих деталей. Кроме того, в процессе шлифования проявляется непредсказуемый характер поведения сложнопрофильных деталей: временные и необратимые изменения геометрической формы вызванные распределением температурного поля, непредвиденные изменения температуры шлифования, проявление технологической наследственности и т.п.

Указанные факторы сдерживают развитие современного автоматизированного производства, не позволяют вести высокопроизводительную обработку ответственных деталей в автоматическом цикле на шлифовальных станках с ЧПУ, в том числе на станках, входящих в состав гибких производственных систем. Это обусловлено тем, что при автоматизированном шлифовании точность станка и традиционное программное обеспечение автоматического цикла шлифования являются необходимым, но не достаточным условием обеспечения качества поверхностного слоя детали и точности ее изготовления.

Для управления процессом шлифования необходимо установить влияние основных геометрических, теплофизических и режимных параметров процесса на температуру в зоне шлифования и ее распределения по глубине поверхностного слоя. Этот вопрос рассматривается в данной работе.

Решение одномерного дифференциального уравнения, описывающее распределение температурного поля по глубине поверхностного слоя, имеет вид [1]

$$\Theta(X, H) = 2\pi\sqrt{H} \cdot \operatorname{ierfc} \frac{X}{2\sqrt{H}}, \quad (1)$$

здесь

$$\begin{aligned} ierfc\ u &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-u^2) - u\ erfc\ u & H &= \frac{v^2}{4a} \tau \\ erfc\ u &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^{\infty} \exp(-t^2) dt & X &= \frac{v \cdot x}{2a} \end{aligned}$$

где $I(X, H)$ — безразмерная температура, зависящая от обобщенных переменных X, H ;
 x — расстояние от обрабатываемой поверхности;
 v — скорость перемещения теплового источника;
 a — температуропроводность обрабатываемого материала;
 ϕ — время воздействия теплового источника.

Переход к размерной температуре в уравнении (1) осуществляется по формуле

$$T = \Theta \frac{2qa}{\pi \cdot \lambda \cdot v}, \quad (2)$$

где λ — теплопроводность обрабатываемого материала;
 q — плотность теплового потока.

При $x=0$, т.е. в зоне шлифования

$$T = \frac{2q}{\lambda} \sqrt{\frac{a \cdot \tau}{\pi}} \quad (3)$$

Плотность теплового потока q при плоском шлифовании и время воздействия ϕ теплового источника определяются следующим образом

$$q = \frac{P\psi}{\sqrt{D \cdot t} \cdot S_n}; \quad \tau = \frac{\sqrt{D \cdot t}}{v} \quad (4,5)$$

где P — мощность шлифования;
 ψ — коэффициент тепловода (доля теплоты, поступающая в деталь);
 D — диаметр шлифовального круга;
 t — глубина шлифования;
 S_n — поперечная подача (ширина полосы шлифования)

Мощность шлифования определяют по формуле

$$P = c \cdot t^{x_p} \cdot v^{y_p} \cdot S_n^{z_p}, \quad (6)$$

где c, x_p, y_p, z_p — коэффициенты, полученные методом полного факторного эксперимента.

При плоском шлифовании на станке модели 3Г71, шлифовальным кругом ПП 25А16СМ26К8 диаметром $D=230$ мм, в интервале режимов $10\ \text{мкм} < t < 30\ \text{мкм}$; $0,057\text{м/с} < v < 0,121\text{м/с}$; $1,2\ \text{мм/ход} < S_n < 4,2\ \text{мм/ход}$; при обработке образцов из стали Х12М твердостью HRC 45-50 численные значения коэффициентов входящих в формулу (6), следующие: $c=8,02 \cdot 10^7$, $x_p=0,67$, $y_p=0,88$, $z_p=0,4$

С учетом формулы (4) получено уравнение

$$q = 8,02 \cdot 10^7 \cdot t^{0,67} \cdot v^{0,88} \cdot S_n^{0,4} \quad (7)$$

На основании формул (2), (5) и (7) построены графики зависимости температуры в зоне контакта от режимных параметров плоского шлифования.

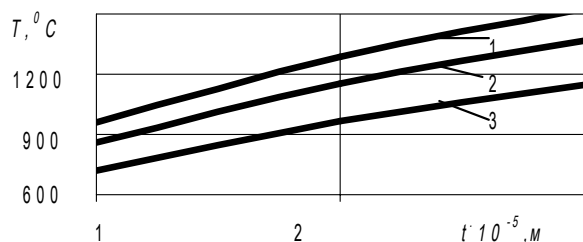


Рис.1 Влияние глубины резания.

1,2,3 — $v = 0.121, 0.090, 0.057$ м/с, соответственно;
 $S_n = 3.6$ мм/ход;

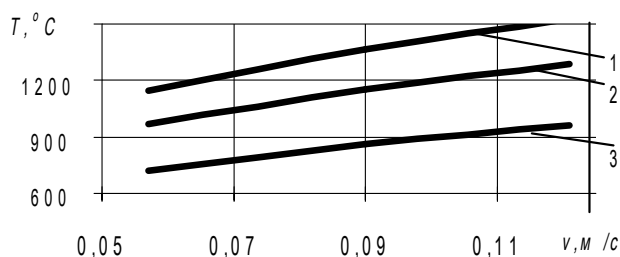


Рис.2. Влияние скорости детали.

1,2,3 — $t = 3 \cdot 10^{-5}, 2 \cdot 10^{-5}, 1 \cdot 10^{-5}$ м, соответственно;
 $S_n = 3.6$ мм/ход;

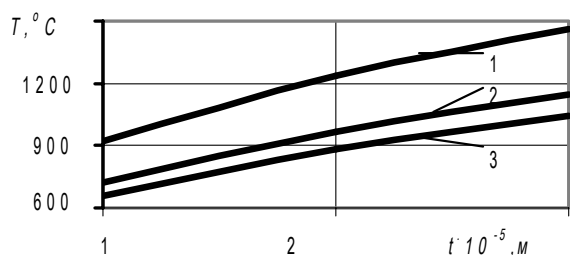


Рис.3. Влияние глубины резания.

1,2,3 — $S_n = 2.4, 3.6, 4.2$ мм/ход, соответственно;
 $v = 0.057$ м/с;

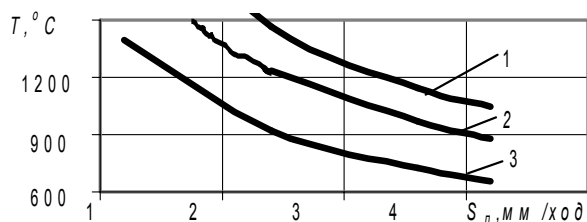


Рис.4. Влияние поперечной подачи.

1,2,3 — $t = 3 \cdot 10^{-5}, 2 \cdot 10^{-5}, 1 \cdot 10^{-5}$ м, соответственно;
 $v = 0.057$ м/с;

Из анализа приведенных графиков видно, что с увеличением глубины шлифования t и скорости детали v температура в зоне шлифования увеличивается (рис. 1,2,3), а с увеличением поперечной подачи S_n — уменьшается (рис. 4).

В первом случае, увеличение температуры обусловлено возрастанием плотности теплового потока, во втором — ее уменьшение вызвано увеличением площади пятна контакта. Следует отметить, что влияние скорости детали v и поперечной подачи S_n на температуру шлифования проявляется при взаимодействии по-разному влияющих факторов. Увеличение скорости детали v с одной стороны, приводит к возрастанию плотности теплового потока q , с другой — уменьшает время воздействия теплового источника ϕ . Влияние поперечной подачи S_n на температуру обуславливается возрастанием мощности шлифования и площади контакта инструмента и детали.

Полученные данные описывают закономерности тепловых явлений при плоском шлифовании и могут быть использованы для управления этим процессом в условиях автоматизированного производства, например при обработке пуансонов вырубных штампов. Кроме того, представленная методика определения температуры плоского шлифования применима для оценки эффективности твердых технологических смазок.

Список литературы: 1. А.В. Якимов, В.П. Ларшин, А.М. Скляр. Влияние формы поверхности обрабатываемой детали на температуру при шлифовании //Сверхтвердые материалы.—№4,1986. — С.38-43. 2. А.А. Якимов, В.И. Винникова, А.А. Гречиха. Стабилизация режущей способности кругов и физико-механического состояния поверхностного слоя при шлифовании зубчатых колес //Тр.Одес. политехн. ун-та. — Одесса,1999. — Вып. 3(9). — С.52-55.

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Левый Д.В. (каф. АТС, БГТУ, г. Брянск, Россия)

В настоящее время назрела необходимость разработки аналитических зависимостей процессов механической обработки, позволяющих прогнозировать результаты обработки на основе описания физической картины процесса. Учитывая, что все лезвийные инструменты имеют две и более режущие кромки (главная и вспомогательная) с определенным радиусом скругления ρ и переходного участка, выполненного по определенному радиусу вершины лезвия – r_b , физическая суть протекающих процессов в зоне резания одна и та же, отличаются только количественные параметры данных процессов. Отсюда логично ожидать, что аналитические модели, полученные на основе описания физической картины процесса, могут быть достаточно универсальны и окажутся, применены сразу для нескольких методов лезвийной обработки (точение, растачивание, торцевое точение и т.д.).

Для аналитического описания процесса формирования качества поверхностного слоя необходимо выявить основные причины, определяющие те или иные характеристики качества поверхностного слоя и описать их воздействие математически

На формирование степени упрочнения оказывают влияние факторы:

- пластическое деформирование материала срезаемого слоя подминаемого режущей кромкой инструмента;
- тепловые процессы и вызванные ими фазовые превращения, протекающие в материале срезаемого и подминаемого слоев;

В процессе резания лезвийный инструмент оказывает определенное контактное воздействие на материал срезаемого слоя. Под действием деформаций и трения, как внутреннего, так и внешнего материал срезаемого слоя существенно изменяет свои физико-механические свойства. В зоне резания одновременно протекают процессы деформации материала, приводящие к увеличению плотности дислокаций и упрочнению, и тепловые процессы, приводящие к снижению плотности дислокаций и, следовательно, к разупрочнению. Все это приводит к изменению механических свойств материала заготовки (σ_T и $\tau_{сдв}$), зависящих от температуры и скорости деформации. Кроме этого

изменение механических свойств материала в зоне резания связано со всеми характеристиками процесса резания.

Учитывая это, необходимо рассмотреть процесс деформирования материала срезаемого и подминаемого слоев, усадки стружки, трения в зоне резания и т.д.

Для получения аналитических зависимостей, связывающих силы резания с коэффициентом усадки стружки k_1 , а, следовательно, и с углом сдвига Φ ; коэффициентом трения μ между материалом заготовки и инструментом и фактическими значениями σ_T и $\tau_{сдв}$ необходимо представить процесс резания в виде последовательности следующих этапов:

1. Процесс резания начинается с врезания инструмента в заготовку, то есть с внедрения лезвия в материал заготовки. На начальном этапе происходит увеличение нормальных напряжений в контактной зоне от нуля до фактических значений σ_T в данных условиях, после чего начинается пластическая деформация материала заготовки, вызванная внедрением лезвия в материал, касательные напряжения также возрастают от нуля до фактических значений $\tau_{сдв}$ в данных условиях, после чего начинается сдвиг слоев материала по плоскости сдвига, то есть процесс стружкообразования.
2. Процесс резания сопровождается разделением материала срезаемого слоя на стружку и подминаемый слой. Разделение материала начинается в точке, где вектор суммарных напряжений совпадает по направлению с вектором скорости главного движения резания (рис.1).
3. Вектор касательных напряжений в точке разделения материала в стружку и подминаемый слой лежит в плоскости сдвига (рис.1).
4. Учитывая, что толщина упруго восстанавливающегося слоя материала обработанной поверхности на порядок меньше толщины упруго подминаемого для неизношенного инструмента трением по плоской части задней поверхности можно пренебречь.
5. Учитывая, что составляющая силы резания от сдвига слоя материала по плоскости сдвига значительно превышает составляющую силы резания от воздействия на лезвие инструмента завивающейся стружки, последней можно пренебречь и принять длину контакта срезаемого слоя с передней поверхностью лезвия равную толщине среза.

Учитывая вышесказанное, исходные зависимости для расчета составляющих силы резания при прямоугольном свободном резании имеют вид:

$$P_z = b\rho \cdot \Phi \left(\int_0^\Phi \mu \sigma_m \cdot \cos d\Phi + \int_0^\Phi \sigma_m \cdot \sin \Phi d\Phi \right) + \frac{\tau_{сдв}}{\cos \Phi} \cdot \frac{a}{\sin \Phi} b \cdot (\cos \gamma + \mu \sin \gamma);$$

$$P_x = \left[b\rho \cdot \Phi \left(\int_0^\Phi \sigma_m \cdot \cos d\Phi - \int_0^\Phi \mu \sigma_m \cdot \sin \Phi d\Phi \right) + \frac{\tau_{сдв}}{\cos \Phi} \cdot \frac{a}{\sin \Phi} b \cdot (\mu \cos \gamma - \sin \gamma) \right] \cdot \sin \varphi;$$

$$P_y = \left[b\rho \cdot \Phi \left(\int_0^\Phi \sigma_m \cdot \cos d\Phi - \int_0^\Phi \mu \sigma_m \cdot \sin \Phi d\Phi \right) + \frac{\tau_{сдв}}{\cos \Phi} \cdot \frac{a}{\sin \Phi} b \cdot (\mu \cos \gamma - \sin \gamma) \right] \cdot \cos \varphi;$$

Учитывая, что $\operatorname{tg} \Phi = \sigma_T / \tau_{сдв}$ после преобразования получим следующую систему уравнений:

$$P_z = b\rho \cdot \Phi \sigma_m (\mu \sin \Phi - (\cos \Phi - 1)) + a \cdot b \frac{\sigma_m}{\sin^2 \Phi} \cdot (\cos \gamma + \mu \sin \gamma);$$

$$P_x = \left[b\rho \cdot \Phi \sigma_m (\sin \Phi - \mu (\cos \Phi - 1)) + a \cdot b \frac{\sigma_m}{\sin^2 \Phi} \cdot (\mu \cos \gamma - \sin \gamma) \right] \cdot \sin \varphi;$$

$$P_y = \left[b\rho \cdot \Phi \sigma_m (\sin \Phi - \mu (\cos \Phi - 1)) + a \cdot b \frac{\sigma_m}{\sin^2 \Phi} \cdot (\mu \cos \gamma - \sin \gamma) \right] \cdot \cos \varphi;$$

Для условий несвободного резания могут быть получены аналогичные зависимости.

Экспериментальные исследования, проводимые на стали по измерению силовых характеристик процесса точения (свободное резание) и коэффициента усадки стружки показали, что при точении заготовок из стали 40Х твердосплавным проходным упорным резцом Т15К6 ($\gamma=0^\circ$; $\alpha=3^\circ$) с режимами $t=0,75 \div 2,25$ мм; $S_0=0,1 \div 0,25$ мм/об; $v=70 \div 160$ м/мин; $\sigma_T(0,15 \div 0,75)\sigma_{T0}$ и $\tau_{сдв}=(1,2 \div 2,0) \tau_{сдв0}$.

Уменьшение σ_T по сравнению с σ_{T0} исходного материала можно объяснить преимущественным влиянием теплового фактора, приводящего к разупрочнению.

Увеличение $\tau_{сдв}$ материала срезаемого слоя по сравнению с $\tau_{сдв0}$ исходного материала можно объяснить тем, что наличие опережающей зоны деформации приводит к интенсивному росту плотности дислокаций вблизи зоны сдвига, а, следовательно, и к упрочнению материала.

Соотношение $\tau_{сдв\phi}$ и $\sigma_{T\phi}$ будут определять значение угла сдвига Φ , коэффициент усадки стружки, толщину подминаемого слоя, степень наклепа материала поверхностного слоя, величину приращения профиля шероховатости, вследствие пластических отеснений материала вспомогательной режущей кромкой и технологических остаточных напряжений.

Поэтому целесообразно разрабатывать аналитические модели процессов механической обработки с учетом соотношения фактических значений $\tau_{сдв}$ и σ_T .

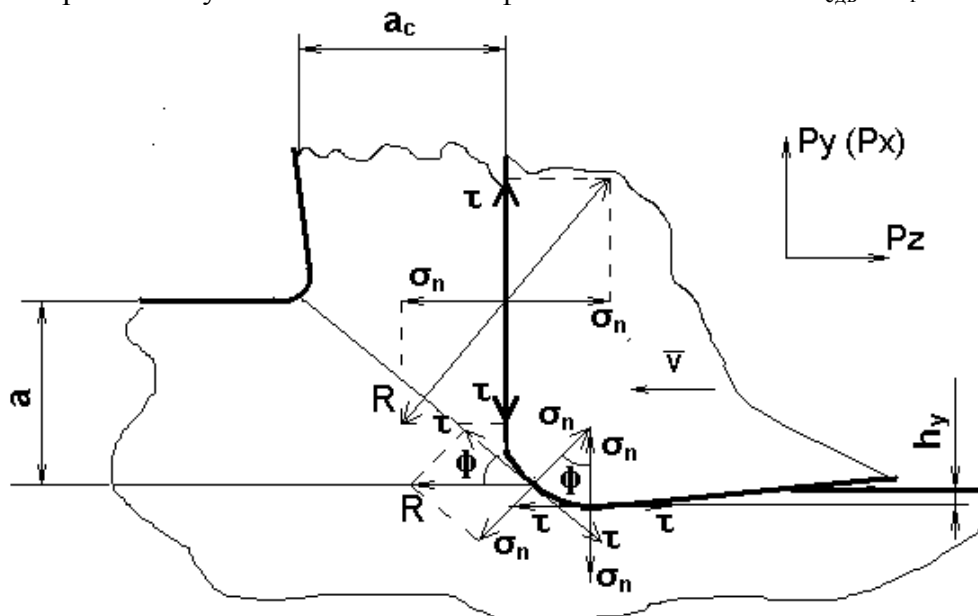


Рис.1. Схема стружкообразования при свободном резании.

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ АГРЕГАТОВ ДВИГАТЕЛЕЙ СТИРЛИНГА

Ливенцов И.Н. (каф. ААХ, ДонГАСА, г. Макеевка, Украина)

Совершенствование двигателей внутреннего сгорания в плане достижения высоких значений КПД, снижения шумности и токсичности выбросов в атмосферу приводит к нарастающему усложнению их конструкций, внедрению дополнительных систем и механизмов, что сказывается на увеличении стоимости, затратах на эксплуатацию и т.д. Вследствие этого, все более актуальными являются проектирование и разработка конструкций альтернативных видов двигателей. Одним из первых в этом ряду стоят машины, работающие по циклу Стирлинга, так как они позволяют выполнить самые жесткие требования технической эксплуатации, экологии и охраны труда. К настоящему моменту создано достаточно большое количество таких двигателей различных схем и назначений [1]. вышесказанным автором проводятся исследования и расчеты двигателя, работающего по циклу Стирлинга (ДС), номинальной мощностью 150 кВт и предназначенного для установки на грузовой автомобиль. Анализ известных компоновочных схем ДС показал, что одноцилиндровые двигатели неприемлемы при мощностях более 40 кВт, что связано с чрезмерным увеличением диаметра цилиндра, размеров теплообменников и массы двигателя. К недостаткам многоцилиндровых однорядных двигателей относят высокую стоимость, сложность ромбического привода и нерациональную форму камеры сгорания, т.к. её длина существенно возрастает с увеличением количества цилиндров. Установка же отдельных камер сгорания на цилиндрах усложняет конструкцию двигателя и снижает его надёжность. ДС с приводом с косой шайбой хотя и обладают малой удельной массой, но сдерживаются высокими силами трения в механизме привода. Благодаря низким значениям удельных масс хорошо зарекомендовали себя двигатели Стирлинга двойного действия (ДДД). Кроме того, крейцкопфный механизм их привода дешевле и легче ромбического.

V-образные схемы ДДД, как наиболее компактные, чаще других типов применяются на автотранспортных средствах. Исходя из оптимальных значений цилиндровой мощности (10-40 кВт) предложена V-образная компоновочная схема двигателя с 6 цилиндрами, с углом между осями цилиндров 135° . При этом равномерность крутящего момента обеспечивается при угле фазового сдвига изменений внутренних объёмов цилиндров 120° . Для уменьшения габаритов двигателя охладители и регенераторы расположены концентрично вокруг цилиндров. Данная схема позволяет спроектировать компактную камеру сгорания и двигатель с габаритными размерами, не превышающими размеры ДВС той же мощности.

При осуществлении теплового расчета двигателя применена методика замкнутой оптимизации [2], позволяющая находить параметры двигателя и выбирать соотношения между ними на этапе предварительной проработки и конструирования. В качестве оптимизируемого параметра выбран эффективный КПД. Выбор обусловлен тем, что при проектировании автомобильного двигателя наряду с лимитирующими параметрами габаритных размеров и массы не менее важен низкий расход топлива.

При разработке внешних теплообменников – нагревателя, камеры сгорания и радиатора пришлось столкнуться с определенными трудностями. Т.к. рабочее тело (газ) не покидает внутренний контур, то основная часть отводимой теплоты передается от охладителя в окружающую среду через радиатор системы охлаждения. Её количество в 2,3 раза больше, чем в ДВС такой же мощности. Мощность системы охлаждения соот-

ветственно в 2 раза выше, что увеличивает её массу и размеры. При этом для сохранения фронтальной площади радиатора необходимо устанавливать 6 рядов трубок и вентилятор мощностью до 8 кВт.

Камера сгорания (КС) принята общей для всех цилиндров для повышения её КПД и надёжности. Температурный уровень нагревателя близок к максимально допустимым рабочим температурам конструкционных материалов - температура трубок нагревателя достигает 900°C . Поэтому в качестве материала для трубок нагревателя выбрана жаропрочная сталь ХН70ВМТЮ. Как наиболее простая, надёжная и компактная, теплообменная поверхность нагревателя выполнена из трубок диаметром 5мм с толщиной стенки 0,5 мм. При проектировании КС сделан вывод о неприемлемости методики расчёта промышленных парогенераторов ВТИ и ЦКТИ применительно камер сгорания ДС, что связано с различием геометрических условий протекания процессов теплопереноса и неучтенной конвективной составляющей теплообмена. Расчет по методике для камер сгорания газотурбинных двигателей показал возможность создания КС необходимой мощности с $\text{КПД}=0,8\ldots 0,85$ при размерах камеры, приемлемых для автомобильного двигателя.

Дальнейшее повышение КПД камеры сгорания достигнуто установкой на двигатель трубчато-пластинчатого подогревателя, цель которого – утилизация теплоты отработавших газов путем подогрева воздуха, подаваемого в камеру сгорания. Автором предложена оригинальная схема “двухступенчатого подогрева воздуха” (рис. 1).

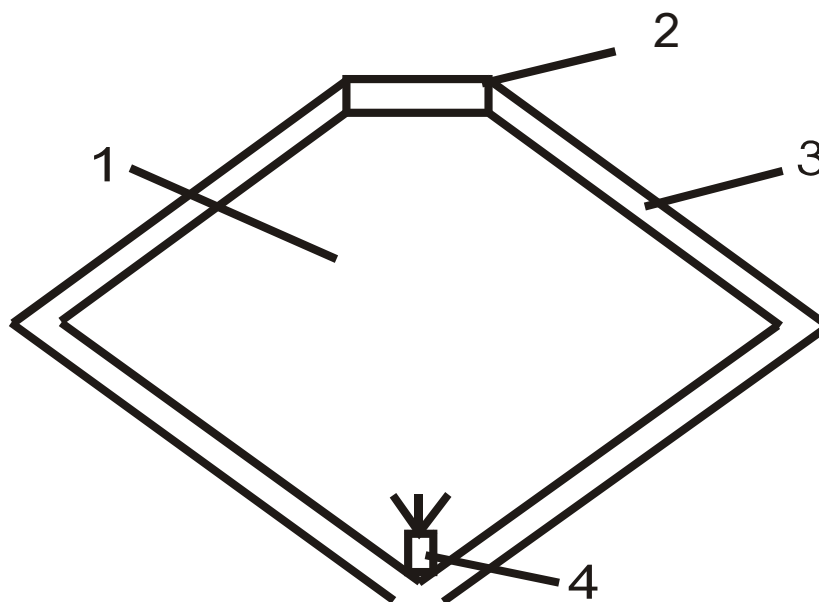


Рис.1. Схема подогревателя воздуха: 1 - камера сгорания; 2 – трубчато – пластинчатый подогреватель воздуха; 3 – воздушный зазор; 4 – форсунка.

Рассмотрим схему движения подогреваемого воздуха. Воздух из окружающей среды подается в трубчато-пластинчатый подогреватель 2, где нагревается до 200°C , а затем, - в воздушный зазор, отделяющий полость камеры сгорания 1 от блока двигателя. При этом воздух дополнительно нагревается от нагретых стенок камеры сгорания до 400°C и подается в камеру сгорания 1 через форсунку 4. Применение данной конструкции воздухоподогревателя позволило повысить КПД камеры сгорания до 0,9. При этом общий КПД двигателя достигает 0,43.

Основные параметры проектируемого двигателя сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Основные показатели двигателя Стирлинга.

№ п/п	Название параметра	Значение параметра
1.	Номинальная мощность	156 кВт
2.	Номинальная частота вращения коленчатого вала	2600 мин ⁻¹
3.	Число цилиндров двигателя	6
4.	Максимальное давление в цикле	20 МПа
5.	Угол фазового сдвига	120 ⁰
6.	Температура нагревателя	900 ⁰ С
7.	Температура охладителя	80 ⁰ С
8.	Общий КПД двигателя	0,43
9.	Удельный расход топлива	0,175 кг/(кВт·ч)

Проведенные и выполняемые в настоящее время исследования двигателей Стирлинга позволяют сделать следующие выводы:

1. Обоснован выбор компоновочной схемы двигателя Стирлинга, исходя из требований, предъявляемых к автомобильным двигателям.
2. Спроектированы конструкции и выбраны оптимальные размеры: регенераторов, охладителей, нагревателей, агрегатов системы отвода теплоты и предварительного подогрева воздуха.
3. Предложена оригинальная схема “двухступенчатого подогрева воздуха”.
4. Разработаны программы: теплового расчета двигателя Стирлинга по методике “замкнутой оптимизации”, программы для расчета камеры сгорания, воздухоподогревателя и радиатора системы отвода теплоты.

Список литературы: 1. Двигатели Стирлинга/ Сокр. пер. с англ. Б.В. Сутугина и Н.В. Сутугина. – М.: Машиностроение, 1967. – 391 с., ил. 2. Горожанкин С.А. Пути повышения и оптимизации эффективности двигателей Стирлинга. – В сб. : Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. вып. 95 – 1(1), 1995, с. 149 – 153.

ПОВЕРХНОСТЬ РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Малышко И.А., Хохлов В.А. (каф. МС, ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

Исследование геометрии поверхности резания представляет значительный теоретический и практический интерес, так как позволяет на основании ее определить величину передних и задних углов сверла в различных сечениях, а также изменение этих углов вдоль режущей кромки сверла в процессе резания. При выводе уравнения поверхности резания принято считать (см. [1], [2]), что радиус-вектор в поперечном сечении, проведенный от оси сверла, к точке, принадлежащей режущей кромке на диаметре сердцевины сверла в том же сечении, будет перпендикулярен проекции режущей кромки на это сечение. В действительности проекция режущей кромки не перпендикулярна этому радиус-вектору, т.е. угол между ними равен углу наклона перемычки сверла. Это также приводит к тому, что режущая кромка начинается не от оси, проходящей через центр сверла перпендикулярно основной плоскости, а начинается на некотором рас-

стоянии, определяемом углом наклона перемычки и радиусом сердцевины сверла. Такие рассуждения привели к дополнительному исследованию геометрии поверхности резания при сверлении, кратко изложенные в данной статье.

Поверхность резания образуется в обрабатываемом материале режущей кромкой сверла, находящегося в процессе резания. Так как движение сверла в работе винтовое, поверхность резания является винтовой поверхностью. Ось сверла совпадает с осью отверстия; поэтому обе поверхности (передней грани и поверхности резания) имеют общую образующую (режущая кромка сверла) и общий направляющий цилиндр, радиус которого равен радиусу перемычки сверла. Отсюда очевидно, что поверхность резания является также линейчатой, открытой, конволютной и кривой винтовой поверхностью того же класса, что и поверхность передней грани спирального сверла.

Для вывода уравнения поверхности резания воспользуемся общим уравнением линейчатых поверхностей, которое в векторной форме имеет вид

$$\bar{R} = \bar{r} + u_0 \bar{e} \quad (1)$$

где \bar{R} — текущий радиус-вектор поверхности; \bar{r} — текущий радиус-вектор направляющей кривой, зависящий от первого скалярного параметра; u_0 — второй скалярный параметр; \bar{e} — единичный вектор направления образующей линейчатой поверхности.

Для получения конкретного уравнения поверхности резания определим составляющие члены уравнения (1).

Направляющая кривая расположена на усеченном конусе вращения, наименьший диаметр которого равен диаметру перемычки сверла и, следовательно, является конической винтовой линией. Выведем уравнение направляющей кривой.

Винтовая линия может быть определена, если известен ее шаг S (в данном случае подача на 1 оборот сверла) и радиус r (рис. 1). Цилиндр вращения, на поверхности которого находится винтовая линия, проектируется на плоскость xu в виде окружности радиуса r , уравнение которой в координатах вектора имеет вид

$$\bar{r} = r(\bar{i} \cos v' + \bar{j} \sin v') \quad (2)$$

где v' — скалярный параметр — угол поворота полярного радиус-вектора в плоскости xu , отсчитываемый от оси x .

$$v' = v + (\pi/2 - \psi), \quad (3)$$

где v — скалярный параметр, который отсчитывается от линии, проходящей по перемычке сверла; ψ — угол наклона перемычки сверла.

Равномерное перемещение точки винтовой линии параллельно оси z , пропорциональное углу поворота v полярного радиус-вектора \bar{r} , может быть записано в виде переменной ординаты

$$z = Hv. \quad (4)$$

Величина H называется приведенным параметром винтовой линии, который равен подъему винтовой линии при повороте полярного радиус-вектора на 1 радиан. При этом параметр H связан с шагом винтовой линии зависимостью

$$H = \frac{S}{2\pi}. \quad (5)$$

Уравнение цилиндрической винтовой линии в координатах вектора получаем путем суммирования выражений (2) и (4) с учетом уравнения (3)

$$\bar{r} = r(-\bar{i} \sin(v - \psi) + \bar{j} \cos(v - \psi)) + \bar{k}Hv. \quad (6)$$

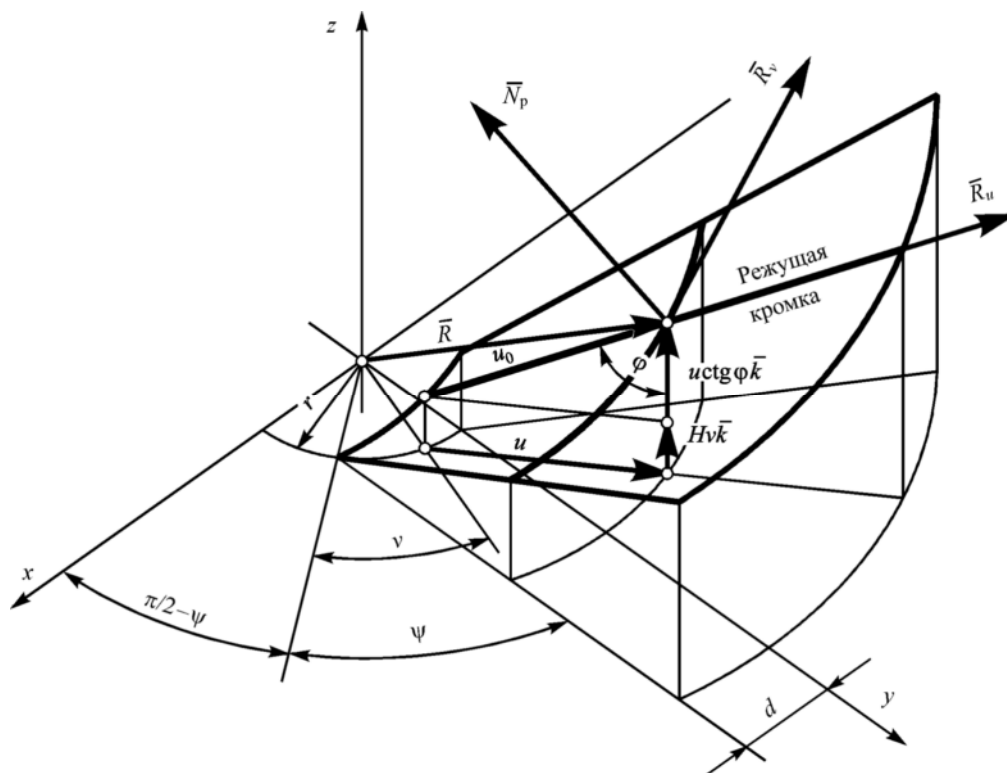


Рис. 1. Образование линейчатой винтовой открытой конволютной поверхности (поверхности резания)

Второй член уравнения (1) можно получить, рассматривая режущую кромку, которая составляет постоянный угол φ (угол сверла в плане) с осью сверла и при вращении ее вокруг этой оси меняет свое направление в пространстве (рис. 1). Единичный вектор \bar{e} направления образующей поверхности резания

$$\bar{e} = -\bar{i} \sin v \sin \varphi + \bar{j} \cos v \sin \varphi + \bar{k} \cos \varphi \quad (7)$$

Радиус перемычки сверла

$$r = \frac{d}{\sin \psi}, \quad (8)$$

где d — половина толщины режущей пластины сверла.

Учтя физический смысл параметра u_0 , который представляет собой длину образующей прямой от направляющей кривой до рассматриваемой точки образующей, можно констатировать, что режущая кромка сверла как вектор полностью характеризуется вторым членом уравнения, где u_0 будет длиной режущей кромки.

Объединяя по ортам выражения (6) и (7) с учетом уравнения (8), а также заметив, что выражение $u_0 \sin \varphi$ представляет собой проекцию режущей кромки на плоскость xu , с целью упрощения изменим параметризацию поверхности. Благодаря этому уравнение поверхности резания в параметрах u и v приобретет вид

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} d(\cos v - \operatorname{ctg} \psi \sin v) - u \sin v \\ d(\sin v + \operatorname{ctg} \psi \cos v) + u \cos v \\ Hv + u \operatorname{ctg} \varphi \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Если сохранить вращение сверла при выключенной подаче (что на практике наблюдается в конце сверления глухого отверстия), то значение винтового параметра H в

этот момент станет равным нулю, благодаря чему винтовая поверхность резания обратится в поверхность вращения, уравнение которой получит вид

$$\bar{R}_0 = -\bar{i}(d(\operatorname{ctg} \psi \sin v - \cos v) + u \sin v) + \bar{j}(d(\operatorname{ctg} \psi \cos v + \sin v) + u \cos v) + \bar{k}u \operatorname{ctg} \varphi.$$

Рассматривая полученное уравнение (9), можно подтвердить предположение, высказанное в начале статьи, о том, что оно представляет собой уравнение линейчатой винтовой открытой, конволютной поверхности. Эта теоретическая характеристика поверхности совершенно очевидна, если учесть, что образующая поверхности прямая; следовательно, поверхность линейчатая. Движение образующей прямой — винтовое; следовательно, поверхность винтовая. Открытой поверхность называется потому, что образующая поверхности не пересекает оси поверхности (режущая кромка сверла не проходит через его центр). Конволютной поверхность называется потому, что образующая прямая не совпадает с касательной к направляющей кривой.

Задавая в уравнении поверхности резания значение параметра $v = \text{const}$ и изменяя значение параметра u и (или u_0 , т.е. длину режущей кромки), получим уравнение образующей прямой, т.е. режущей кромки сверла, расположенной определенным образом в пространстве. Одновременно эта прямая принадлежит поверхности резания. Таким образом, вся поверхность как бы составлена из прямолинейных образующих, которые на ней располагаются целым семейством.

Задавая в уравнении поверхности резания значение параметра $u = \text{const}$ и изменяя значение параметра v , получим уравнение винтовой линии определенного полярного радиус-вектора, также расположенной на винтовой поверхности. Последовательные изменения параметра дают семейство винтовых линий, принадлежащих рассматриваемой поверхности.

Таким образом, любая точка на поверхности определяется в результате пересечения какой-либо линии u с линией v . Поэтому линии u и v называются координатными линиями и для любой точки поверхности являются ее криволинейными координатами. Эти координатные (или параметрические) линии образуют на поверхности правильную сеть, т.к. каждая линия u пересекает каждую линию v только один раз. Следовательно, вся поверхность как бы сплошь составлена из линий двух указанных семейств.

Поведение поверхности вблизи заведомо обыкновенных точек (там, где $R_u \neq R_v$) характеризуется касательной плоскостью к поверхности. При этом в касательной плоскости к поверхности лежат все касательные к любым кривым на поверхности, а следовательно, и касательные к параметрическим кривым поверхности.

Касательные векторы к параметрическим кривым легко могут быть найдены путем частного дифференцирования уравнения поверхности резания (9) по скалярным параметрам u и v :

$$\bar{R}_u = \frac{\partial \bar{R}}{\partial u} = -\bar{i} \sin v + \bar{j} \cos v + \bar{k} \operatorname{ctg} \varphi;$$

$$\bar{R}_v = \frac{\partial \bar{R}}{\partial v} = -\bar{i}(d(\operatorname{ctg} \psi \cos v + \sin v) + u \cos v) - \bar{j}(d(\operatorname{ctg} \psi \sin v - \cos v) + u \sin v) + \bar{k}H,$$

где \bar{R}_u — вектор, касательный к кривой u ; \bar{R}_v — вектор, касательный к кривой v .

Если через полученные таким путем векторы \bar{R}_u и \bar{R}_v проведем плоскость, то она будет касательной плоскостью к винтовой поверхности резания.

Расположение плоскости в пространстве характеризуется ее нормальным вектором \bar{N}_p . Очевидно, что этот вектор одновременно является нормальным и к самой по-

верхности резания. Этот вектор может быть получен через векторное произведение касательных векторов \bar{R}_u и \bar{R}_v

$$\bar{N}_p = \bar{R}_u \times \bar{R}_v = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -\sin v & \cos v & \operatorname{ctg} \varphi \\ -d(\operatorname{ctg} \psi \cos v + \sin v) - u \cos v & -d(\operatorname{ctg} \psi \sin v - \cos v) - u \sin v & H \end{vmatrix}.$$

Выполнив преобразования, получим окончательное значение нормального вектора к поверхности резания, который для удобства оперирования запишем в виде

$$N_p = \begin{pmatrix} H \cos v + d \operatorname{ctg} \varphi (\operatorname{ctg} \psi \sin v - \cos v) + u \operatorname{ctg} \varphi \sin v \\ H \sin v - d \operatorname{ctg} \varphi (\operatorname{ctg} \psi \cos v + \sin v) - u \operatorname{ctg} \varphi \cos v \\ d \operatorname{ctg} \psi + u \end{pmatrix}. \quad (10)$$

В практических целях наибольший интерес представляет поведение касательной плоскости к поверхности резания вдоль режущей кромки сверла, по которой и будет скользить нормальный вектор, меняя свое направление с осями координат. Для этого рассмотрим нормальный вектор к режущей кромке, находящейся в начальном положении, при этом случае общность исследований не нарушается, а анализ упрощается.

Действительно, начальное положение режущей кромки определяется значением параметра $v = 0$, подстановка которого в (10) дает нормальный вектор к поверхности резания, расположенный на режущей кромке сверла

$$\bar{N}'_p = \bar{i}(H - d \operatorname{ctg} \varphi) - \bar{j} \operatorname{ctg} \varphi (d \operatorname{ctg} \psi + u) + \bar{k}(d \operatorname{ctg} \psi + u).$$

Проведенные исследования геометрии поверхности резания станут основой для дальнейшего исследования нами геометрических параметров передней и задней поверхности сверла в процессе резания.

Список литературы: 1. Можаяев С.С. Аналитическая теория спиральных сверл. — Л.: Машгиз, 1948. — 136 с. 2. Геометрия режущей части спирального сверла. Родин П.Р. — К.: “Техніка”, 1971. — 139 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОВОРОТНОЙ ПОДКЛАДКИ УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНОГО РЕЗЦА.

Матюха П. Г., Скрынников В. С., Гринёв Ю. А. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

В условиях единичного производства, а также ремонтных организаций часто возникает необходимость обработки деталей различной формы, что требует использование резцов с различными углами в плане. Применение переналаживаемых резцов позволяет сократить номенклатуру, уменьшить металлоемкость инструментального обеспечения, сократить площади для хранения редко используемого инструмента. Универсализация резцов достигается за счет установки режущей пластины на поворотном базирующем элементе.

Резец (рис. 1) состоит из державки 1, подкладки 4, в гнездо которой установлены режущая пластина 5 и стружколом 6, Г-образного прихвата 7, зажимного винта 8 и штифта 3 с гайкой 2. Несовпадение оси отверстия в подкладке 4 с осью отверстия, в ко-

The technical drawing consists of two views of a mechanical part. The left view is a front view showing a component with a hexagonal base, a tapered section, and a circular feature. Two section lines, labeled 'A', indicate the location of the section view. The right view is a section view labeled 'A - A', showing the internal structure of the part. It includes a base (1), a tapered section (2), a circular feature (3), and a hexagonal base (4). The section view also shows a tapered section (5), a circular feature (6), and a hexagonal base (7). The section view is labeled with numbers 1 through 8, corresponding to the components shown.

$$P_{2c} = \frac{Q_u}{tg(\theta + \varphi) + tg\varphi}, \quad (1)$$

$$P_{2\phi} = \frac{Q_u \operatorname{tg}(\theta + \varphi)}{\operatorname{tg}(\theta + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi}, \quad (2)$$

$$P_{3z} = \frac{P_{2z} - P_{2\theta} \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \varphi}, \quad (3)$$

$$P_{3\theta} = \frac{(P_{2z} - P_{2\theta} \tan \varphi) \tan \beta}{1 + \tan \beta \tan \varphi}, \quad (4)$$

$$W_n = \frac{Q_e}{1 + 3 \frac{l}{H} f}, \quad (5)$$
$$r_5 = \frac{1}{3} \frac{d_n^3 - d_{o\partial}^3}{d_n^2 - d_{o\partial}^2}, \quad (6)$$

где d_n - диаметр описанной окружности пластины;

$d_{o.o}$ - диаметр отверстия в державке под штифт.

Допустимое усилие в стержне штифта из условия прочности на разрыв и прочности резьбы на срез [1]:

$$Q_{up} \leq \frac{\pi d_{1ш}^2 [\sigma_p]}{4}, \quad (7)$$

$$Q_{ш.ср} \leq \pi D_1 [\tau_{ср}] H_e k k_n, \quad (8)$$

где $d_{1ш}$ - внутренний диаметр резьбы штифта; $[\sigma]$ - допускаемое напряжение растяжения; D_1 - внешний диаметр резьбы гайки; $[\tau_{ср}]$ - допускаемое напряжение на срез; H_e - высота гайки; k - коэффициент полной резьбы; k_n - коэффициент неравномерности нагружения.

Аналогично допустимое усилие в стержне винта из условия прочности на разрыв и прочности резьбы на срез [1]:

$$Q_{вп} \leq \frac{\pi d_{1в}^2 [\sigma_p]}{4}, \quad (9)$$

$$Q_{в.ср} \leq \pi D_{1o} [\tau_{ср}] H_o k k_n, \quad (10)$$

где $d_{1в}$ - внутренний диаметр резьбы винта;

D_{1o} - внешний диаметр резьбы в державке;

H_o - длина резьбы в державке, с которой контактирует винт.

Введем систему координат XYZ с центром O , совмещенную с основанием подкладки и с осью поворота подкладки.

Условие равновесия подкладки описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \sum F_{iz} = 0; \\ \sum F_{iy} = 0; \\ \sum M_o = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Составим уравнения равновесия поворотной подкладки:

$$\sum F_{iz} = 0: 3N_5 - W_n - P_{2e} - P_{3e} = 0, \quad (12)$$

$$\sum M_o = 0: F_3 r_3 + 3F_5 r_5 + F_{ш} r_{ш} + F_n h_n - M_{cm} = 0, \quad (13)$$

Из уравнения (12) определим реакцию N_5 :

$$N_5 = \frac{W_n - P_{2e} - P_{3e}}{3}. \quad (14)$$

Силы трения в уравнении (13) определяются по зависимостям:

$$F_3 = \sqrt{P_{3e}^2 + P_{3z}^2} f; \quad (15)$$

$$F_5 = N_5 f; \quad (16)$$

$$F_{ш} = \sqrt{P_{2e}^2 + P_{2z}^2} f \cos \varphi; \quad (17)$$

$$F_n = W_n f. \quad (18)$$

После подстановки (15), (16), (17) и (18) в (13) и преобразований получаем статический тормозной момент:

$$M_{cm} = \left(\sqrt{P_{3e}^2 + P_{3z}^2} r_3 + N_5 r_5 + \sqrt{P_{2e}^2 + P_{2z}^2} \cos \varphi r_{ш} + W_n h_n \right) f. \quad (19)$$

Расчеты статического тормозного момента по формуле (19) были проведены на ПЭВМ и их результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты расчета статического тормозного момента подкладки УСР, оснащенного минералокерамической пластиной с диаметром вписанной окружности 9,525 мм

Сила затяжки штифта, Н	Сила затяжки винта, Н				
	$0.2Q_{\text{в}}=$ 678.87	$0.4Q_{\text{в}}=$ 1357.7	$0.6Q_{\text{в}}=$ 2036.6	$0.8Q_{\text{в}}=$ 2715.4	$1.0Q_{\text{в}}=$ 3394.3
	Статический тормозной момент $M_{\text{ст}}$, Н/м				
$0.2Q_{\text{ш}}=289.5$	1.24	1.60	1.95	2.31	2.66
$0.4Q_{\text{ш}}=579.0$	2.13	2.48	2.84	3.19	3.55
$0.6Q_{\text{ш}}=868.5$	3.01	3.37	3.72	4.08	4.44
$0.8Q_{\text{ш}}=1158.1$	3.90	4.25	4.61	4.97	5.32
$1.0Q_{\text{ш}}=1447.6$	4.79	5.14	5.50	5.85	6.21

Разработанная методика расчета сил закрепления поворотной подкладки универсально-сборного резца является первым этапом методики расчета сил закрепления в процессе точения и, после экспериментальной проверки, позволит уточнить значения коэффициента трения, который впоследствии будет использоваться при определении ограничивающих глубин резания резцом.

Список литературы: 1. Решетов Д. Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов.-4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989.-496 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСКОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Мишлаков Д.А., Чашко М.В.

(каф. Электромеханики и ТОЭ, ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

Работа посвящена транспортным средствам с подводом энергии магнитным потоком, путем электромагнитной индукции.

Задачи эксперимента - проверить принцип действия, возможность получения тяги электровоза при питании линии бесконтактно от сети 50 Гц и определить тяговые и энергетические характеристики электровоза.

Экспериментальное устройство включало в себя регулируемый источник напряжения промышленной частоты 1, тяговую линию 2 из кабеля ГРШЭ 3х50, энергоприёмник с магнитопроводом 3, из листов электротехнической стали. На магнитопроводе две обмотки: компенсационная 4 из семи витков сечением 440 мм² и нагрузочная 5 из двух витков сечением 50 мм². Первая подключалась к батарее конденсаторов, вторая к нагрузке через выпрямитель. В качестве нагрузки использовались резисторы и привод рудничного электровоза АМ8Д, состоящий из двух двигателей по 13 кВт, переключаемых контроллером.

При работе устройства ток в контуре из обмотки и конденсатора колеблется с частотой 50 Гц, создавая обмоткой магнитный поток в магнитопроводе, который охватывает тяговую линию, индуцируя в ней противоЭДС, направленную встречно напряжению источника. По виткам линии протекает ток, пропорциональный разнице

напряжения и противоЭДС. При увеличении нагрузки противоЭДС уменьшается, разница между ней и напряжением увеличивается и увеличивается ток. Магнитный поток индуцирует ЭДС в обмотке, которая питает нагрузку.

В эксперименте варьировались напряжение питания и нагрузка. Контролировались ток и мощность в тяговой линии и напряжение на нагрузке. Электровоз находился на катковом стенде (рис. 1.)

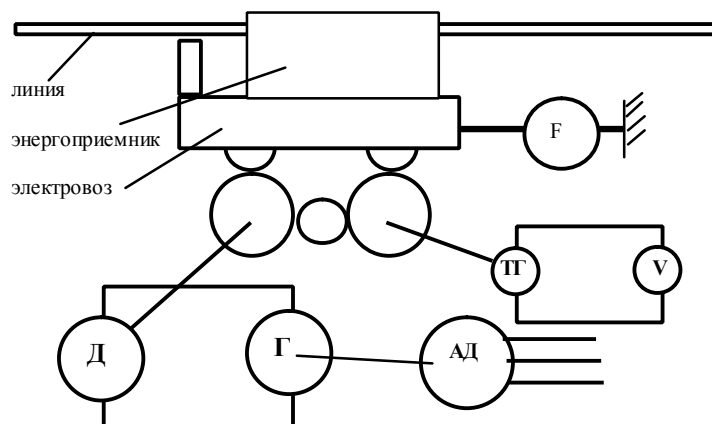


Рис. 1. Схема каткового стенда для испытания электровоза с индукционным питанием.

Стенд работает следующим образом. Когда имитируется режим тяги электровоза, его колеса вращаются от двигателей электровоза, энергия к которым подводится от тяговой линии индукционным способом через энергоприемник и выпрямитель. Колеса электровоза вращают катки, так что вращающий момент колес равен моменту сопротивления катков. Если привод катков отключен, катки не оказывают сопротивления и электровоз не развивает тяги. Когда привод катков включен, колеса электровоза вращают катки, катки вращают машину Д, которая работает в генераторном режиме и отдает энергию машине Г, которая работает в двигательном режиме, разгоняя АД до сверхсинхронной скорости. При этом АД отдает энергию в трехфазную сеть переменного тока. В результате электровоз развивает тягу, равную сопротивлению движению катков. Эта тяга управляется возбуждением машины постоянного тока.

Когда имитируется режим торможения электровоза, машина Г переводится в режим генератора, а машина Д – двигателя, который вращает катки и через них колеса электровоза. Двигатели электровоза переходят в режим динамического торможения, отдавая энергию специальным тормозным резисторам.

В эксперименте изменялась нагрузка на привод электровоза и контролировались тяговое усилие, скорость, ток двигателей и при различных положениях контроллера.

Эксперимент проводился в следующей последовательности. Тяговая линия подключалась к сети на нижний уровень напряжения. В качестве нагрузки подключались резисторы. Регистрировались значения контролируемых величин при пяти значениях резисторов. Затем линия подключалась на высший уровень напряжения, регистрировались контролируемые значения при тех же значениях резисторов. Затем через

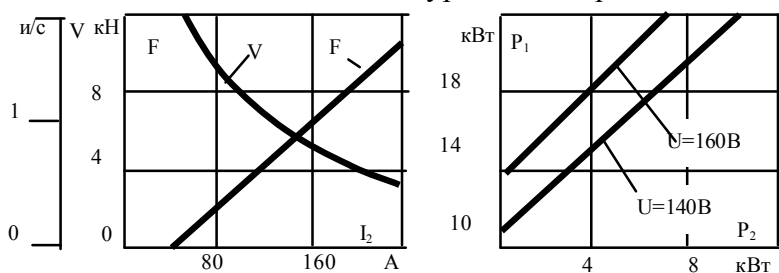


Рис. 2. Характеристики электровоза с индукционным питанием,

на катковом стенде (рис. 1.) Стенд представляет собой электровоз, колесами установленный на катках, соединенный через динамометр с неподвижным упором. Катки имеют собственный привод в виде двух машин постоянного тока, соединенных по системе генератор – двигатель.

Одна из машин (Д) через редуктор связана с катками, другая (Г) – с асинхронным двигателем (АД).

резисторы. Регистрировались значения контролируемых величин при пяти значениях резисторов. Затем линия подключалась на высший уровень напряжения, регистрировались контролируемые значения при тех же значениях резисторов. Затем через

выпрямитель к обмотке подключался привод электровоза.

Измерения повторялись при высшем и низшем напряжениях тяговой линии. Результаты в виде графиков представлены на рис. 2.

Зависимость тяги и скорости электровоза от тока энергоприёмника штатные: тяга - практически прямая линия, начинающаяся на оси абсцисс приблизительно при 40 А - токе, соответствующем силе сопротивления неподвижного электровоза. Скорость - круто спадающая кривая, такая же, что и при питании от аккумуляторной батареи.

Зависимость мощности, потребляемой от источника, от мощности нагрузки (рис. 2.б) представляют собой прямые линии, выходящие из точек, расположенных на существенном расстоянии от начала координат. Характеристика при высшем напряжении проходит выше, чем при низшем. Это объясняется наличием потерь холостого хода и зависимостью этих потерь от напряжения.

При построении графиков рис. 2,б были использованы измерения, выполненные с использованием в качестве нагрузки и резисторов и привода электровоза. Отсутствие большого разброса точек свидетельствует, что исследуемая система электропитания инвариантна к виду нагрузки - резистивная, индуктивная или ЭДС.

Из эксперимента сделаны выводы:

1. принцип действия электропитания синусоидальным магнитным потоком промышленной частотой 50 Гц подтвердился;
2. система электропитания синусоидальным магнитным потоком частотой 50 Гц способна обеспечить штатную работу привода электровоза;
3. существуют потери в магнитопроводе, зависящие от напряжения питания, как это было предусмотрено математической моделью.

БЕСКОНТАКТНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПОДВИЖНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Мурза Д.И., Пивень А.С., Чашко М.В.

(каф. Электромеханики и ТОЭ, ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

Бесконтактным электропитанием названо такое, при котором энергия неподвижного источника движущемуся потребителю передается электромагнитной индукцией - посредством магнитного потока, изменяющегося во времени.

Составными элементами электропитания являются тяговая линия, энергоприемник и источник энергии (рис.1). Тяговая линия представляет собой изолированный проводник (кабель), расположенный вдоль трассы движения транспортного средства (напри-

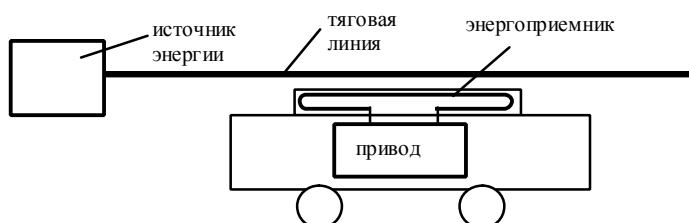


Рис. 1. Схема бесконтактного электропитания

мер, электровоза), над ним или в полотне дороги, по которой оно движется. Энергоприемник представляет собой витки изолированного провода, расположенные на электровозе или под ним, вытянутые вдоль электровоза.

Источник энергии представляет собой, в общем случае, устройство, преобразующее трехфазный ток промышленной частоты в однофазный ток высокой частоты

($10^4 - 10^5$ Гц). В нашей работе в качестве источника используется непосредственно сеть тока промышленной частоты. Тяговая линия подключена к источнику питания, энергоприемник подключен к приводу электровоза.

При работе устройства ток от источника проходит по тяговой линии, создавая около нее магнитный поток, переменный во времени. Этот магнитный поток индуцирует в энергоприемнике электродвижущую силу (ЭДС), которая используется как источник энергии для движения электровоза. В результате электровоз способен совершать транспортную работу без электрического контакта с тяговой линией.

Прохождение тока по тяговой линии сопровождается потерями мощности в ее сопротивлении и в окружающем пространстве, например, в крепи выработки или в горных породах, так как в них также индуцируется ЭДС.

Идея передачи энергии на подвижный объект электромагнитной индукцией появилась сразу после изобретения генератора переменного тока и трансформатора - в 80-х годах прошлого века. Она была забыта, затем снова появилась в 20-х годах, снова была забыта, и наконец, в 1938 г. А.А. Пистолькорс подошел к проблеме по научному, проделал количественный анализ возможностей электропитания магнитным потоком высокой частоты. В 40-х годах Г.И. Бабат реализовал эту идею в виде тележки с индукционным высокочастотным электропитанием от кабеля, расположенного под землей. В конце 40-х годов рассматривалась возможность перевода городского транспорта г. Киева на индукционное высокочастотное электропитание. В этой связи было выполнено несколько исследовательских работ. Несмотря на обнадеживающие опубликованные результаты высокочастотное индукционное электропитание как коммунальное не стало развиваться, а стало развиваться как электропитание, альтернативное аккумуляторному для шахтных электровозов.

В 50-х - 80-х годах Н.А. Староскольским, затем Г.Г. Пивняком выполнены теоретические и организованы опытно - конструкторские работы, результатом которых стали несколько опытных партий электровозов с высокочастотным индукционным электропитанием.

За рубежом об этих работах, по-видимому, не известно, так как Министерство энергетики США заказало Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса анализ технической осуществимости индукционного электропитания. Результатом работы лаборатории было утверждение о его осуществимости и целесообразности и развертывание научно-исследовательских работ по проблеме электромотоцикла с индуктивным подводом энергии от подземного кабеля. Был создан в 1988 г электробус с индукционным электропитанием. Линия, заключенная в разомкнутый магнитопровод, обтекается током 800 Гц от специального преобразователя, магнитный поток линии замыкается через воздушный зазор и магнитопровод энергоприемника.

В 90-х годах в Германии (Технический Университет, г.Брауншвейг, Мейнс Й.) создана система индукционного электропитания, в которой тяговая линия состоит из секций длиной 20-30 м, каждая питается от преобразователя частоты 60 Гц / 20 кГц.

В ДонГТУ проблемой индукционного электропитания занялись в 80-х годах с намерением осуществить его непосредственно от сети переменного или постоянного тока, чтобы исключить из системы электропитания преобразователь частоты. Были созданы теоретические основы и экспериментальный образец, испытанный в шахтных условиях. Поскольку плотность потока мощности при синусоидальном токе частотой 50 Гц сравнительно невелика, энергоприемник имел большие габариты.

Поэтому в систему электропитания были введены полупроводниковые ключи на не запираемых тиристорах, которые создавали импульсы с крутым фронтом и частотой,

кратной 50 Гц, что обеспечило увеличение плотности потока мощности.

Появление запираемых тиристоров и IGBT транзисторов позволило передавать энергию так, что в большей части линии она передается на частоте 50 Гц или постоянном токе и не рассеивается в пространство. На участке, где находится транспортная машина, полупроводниковые ключи образуют импульсы, способные передать энергию через воздушный промежуток в энергоприемник транспортной машины (рис. 2.).

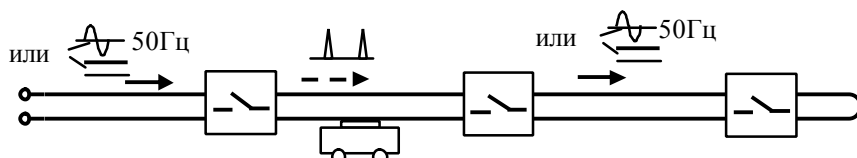


Рис. 2. Бесконтактное электропитание импульсами магнитного потока

Из приведенного сделаны выводы:

1. Для индукционного бесконтактного электропитания существует ниша в электроэнергетике. Это условия, при которых электрический

контакт ненадежен, или неизолированная линия может вызвать травматизм или пожар, условия, при которых неизолированная линия невозможна из-за высокой электропроводности среды.

2. Основными проблемами индукционного бесконтактного электропитания, препятствующими его широкому распространению, являются повышенные потери энергии в тяговой линии при передаче ее током высокой частоты и необходимость в преобразовании тока 50 Гц или постоянного в ток высокой частоты.

3. Идеальная система индукционного электропитания должна иметь: минимальную длину участка линии, в которой ток имеет высокую частоту; минимальное количество преобразователей частоты; минимальное количество параллельных каналов энергии (на высокой частоте, на промышленной частоте, на постоянном токе).

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОТС

Нечепаяев В.Г., Гнидько А.Н. (каф. ТМ, ДонГТУ, г.Донецк, Украина)

Одним из основных условий высокопроизводительной и точной обработки заготовок в условиях автоматизированного производства является наличие эффективной системы своевременной эвакуации стружки из зоны резания. Невыполнение этого условия накладывает существенные ограничения на производительность и точность обработки.

Особую важность этот вопрос приобретает при фрезеровании глубоких и профильных пазов, фрезеровании лабиринтов и т.д. Известно, что отделенная стружка может иметь твердость, большую по сравнению с твердостью обрабатываемого материала вследствие наклепа и закаливания. Поэтому в случае, когда образующаяся в процессе резания стружка повторно затягивается в зону резания (циркулирует), это может приводить к существенному снижению ресурса режущего инструмента и даже к разрушению его режущих кромок, снижению точности и повышению шероховатости обрабатываемых поверхностей, повышению затрат энергии.

В настоящее время в автоматизированном производстве используются, в основном, два способа эвакуации стружки из зоны резания - пневмоотсос и гидросмыв. Оба

способа неэффективны для удаления элементной и витой металлической стружки из глубоких и профильных пазов, лабиринтов. В то же время в существующих металлорежущих системах уже имеются предпосылки создания высокопроизводительных систем эвакуации стружки.

Во-первых, в условиях работы автоматических линий достаточно широко применяется гидравлическая система уборки и транспортирования стружки. Гидротранспорт, в котором в качестве транспортного средства используют жидкость, позволяет избавиться от громоздких механически конвейеров, снизить эксплуатационные расходы и увеличить надежность транспортных систем. Безнапорным гидротранспортом убирают стальную, чугунную стружку и стружку цветных металлов. Для гидросмыва стружки из-под автоматических линий используются и направленные струи жидкости под давлением.

Во-вторых, в последнее время в практике металлообработки широкое применение находит подача смазочно-охлаждающей жидкости напорной струей в зону резания. Тонкая струя направляется в зону контакта режущей кромки инструмента с обрабатываемой заготовкой со стороны задней грани лезвия. Подача СОЖ осуществляется высоконапорной струей под давлением не менее 1,5-2,0 МПа через сопла с выходными отверстиями диаметром до 0,8 мм.

Многочисленными исследованиями и опытом промышленного применения доказаны существенные преимущества подачи смазочно-охлаждающей жидкости высоконапорной струей на операциях точения, строгания, фрезерования, протягивания и при обработке деталей из высоколегированных сталей, жаропрочных сплавов и чугунов. Поэтому в агрегатных станках и автоматических линиях, состоящих из этих станков, применяют системы высокого давления, в которых подача смазочно-охлаждающей жидкости осуществляется шестеренными насосами ($Q=12\ldots 125$ л/мин, $p=2,5$ МПа). Эти системы применяются для подачи углеводородных жидкостей напорной струей и через инструмент.

Применение подачи смазочно-охлаждающей жидкости высоконапорной струей требует решения некоторых проблем:

- 1) трудность обеспечения в производственных условиях нужного направления струи на режущую кромку инструмента;
- 2) необходимость тщательной очистки смазочно-охлаждающей жидкости, чтобы исключить засорение сопла механическими примесями;
- 3) необходимость оснащения станка специальной насосной станцией;
- 4) сильное разбрызгивание.

Очевидно, что эти проблемы могут быть относительно легко преодолены при создании современных металлорежущих систем.

Учитывая накопленный опыт эксплуатации систем с высоконапорными струями, логично предложить эффективный метод удаления стружки из зоны резания, основанный на использовании энергии высоконапорных струй жидкости, с целью исключения циркуляции и вытекающих из этого последствий. Предлагаемый метод, по-видимому, может найти применение для эвакуации стружки при различных видах и схемах обработки. Наиболее очевидной областью его применения является фрезерование глубоких и профильных пазов, различного рода лабиринтов.

Суть метода заключается в том, что устройство для излучения высоконапорных струй жидкости располагается в непосредственной близости от зоны резания, не препятствуя основному процессу. Устройство “привязано” к системе координат станка и перемещается эквидистантно траектории движения режущего инструмента. В более

сложных вариантах устройство может иметь собственный привод и управляться от системы ЧПУ станка. Возможно также неподвижное закрепление устройства на столе станка, либо на конструктивных элементах зажимного приспособления.

При возникновении опасности затягивания отделенной стружки в зону резания вследствие подпора при заполнении паза или лабиринта, включается подача высоконапорной струи жидкости, направленной в зону скопления стружки. С достаточной точностью этот момент может быть установлен при помощи светочувствительных элементов (например, фотосопротивлений), по увеличению момента сил сопротивления резанию и т.д. Конструктивно более простым вариантом является циклическая кратковременная подача высоконапорной струи заданной длительности. Параметры высоконапорной струи определяются из условия полного удаления стружки из опасной зоны.

При этом подача жидкости для охлаждения и смазки и для удаления стружки может осуществляться при циклической работе одного и того же устройства. Причем параметры струй (давление, расход жидкости и др.) с целью оптимизации режимов могут быть различными для охлаждения-смазки и для удаления стружки.

Наиболее перспективным представляется комплексный подход к решению проблемы охлаждения-смазки, промывки базовых поверхностей заготовок, удаления стружки из зоны резания и дальнейшего ее транспортирования за счет использования энергии высоконапорных струй. В этом случае для решения всех перечисленных проблем может использоваться единая силовая и насосная установка, работающая циклически в импульсном режиме. В качестве теоретической базы для определения рациональных параметров насосных установок могут быть использованы зависимости, разработанные впервые в [1] применительно к гидромониторным установкам. Изменение силы гидродинамического воздействия потока жидкости на отделенную стружку P как функция конструктивных и режимных параметров струеформирующего механизма описывается зависимостью

$$P = (\pi d_o^2 / 4)(\mu / K_o)(p_o / p_{cp})^{0,5} \rho_{cp} v_{cp}^2, \quad (1)$$

где d_o - диаметр отверстия насадки струеформирующего механизма;

μ - вязкость жидкости;

K_o - коэффициент, равный отношению расхода жидкости в неаэрированной струе к расходу смеси в аэрированной струе струеформирующего механизма;

p_o - динамическое давление струи при выходе из насадки;

p_{cp} - среднее динамическое давление струи на расстоянии L от насадки;

v_{cp} - средняя скорость струи на расстоянии L от насадки;

ρ_{cp} - средняя плотность аэрированной жидкости струи на расстоянии L от насадки.

Для практических расчетов по формуле (1) разработаны также зависимости для определения всех ее компонентов.

Однако непосредственное использование формулы (1) для определения параметров установок, осуществляющих удаление и транспортирование стружки, существенно затрудняется тем обстоятельством, что зависимости для определения величин K_o , p_{cp} , v_{cp} , ρ_{cp} составлены только для относительно узкого диапазона изменения значений d_o и p_o . Причем этот диапазон весьма далек от области значений, перспективных для применения в установках для удаления и транспортирования стружки.