

*Тарасюк А. П., д-р техн. наук,  
Самчук В. В., аспирант  
Украинская инженерно-педагогическая академия*

## О НАПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПКМ)

**prorekt\_ucheb@uipa.kharkov.ua**

*В статье авторы предлагают направление о проектировании оборудования для механической обработки полимерных композитных материалов, которое заключается в соблюдении некоторых законов механики, исключая возмущающие факторы, благодаря чему можно получить более эффективную обработку изделий (повысить качество обработанных поверхностей, увеличить производительность, обеспечить высокий уровень надежности работы механических систем оборудования и многое другое).*

**Ключевые слова:** *оборудование, механическая обработка, полимерные композитные материалы, законы механики.*

Машиностроение является фундаментом экономического потенциала страны и отыгрывает важнейшую роль в реализации достижений научно-технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства. Усовершенствование машиностроительной отрасли тесно связано с развитием механообрабатывающего станкостроения, поскольку эти станки вместе с некоторыми другими видами технологических машин обеспечивают изготовление любых новых видов оборудования.

Возрастающие требования у наибольших потребителей (аэрокосмическая, автомобильная, судостроительная, строительная отрасли) изделий из полимерных композитов к их высокому качеству и точности обработанным поверхностям,

Возрастающие требования у наибольших потребителей (аэрокосмическая, автомобильная, судостроительная, строительная отрасли) к все более высокой точности и качеству обработанным поверхностям изделий из полимерных композитов, ставит эту цель одну из приоритетных в механообрабатывающих цехах. Так как механическая обработка резанием на сегодняшний день является передовым методом обеспечения точности и качества поверхностей деталей из ПК, и остается универсальным методом размерной обработки, которая позволяет обрабатывать поверхности заготовок различной формы и размеров при этом имея малую энергоёмкость и достаточно высокую производительность с минимальной себестоимостью изделий, и на фоне надежности процесса, всё это ставит механический метод обработки на первое место, как наиболее используемый в промышленности процесс изготовления и достижения поставленных целей по эффективности обработки деталей машин из ПКМ.

Постоянный поиск новых решений для достижения прецизионности, высокой производительности, надежности работы, экономичности и других требований современного рынка, приводит к постоянному изменению моделей станков, к непрерывному появлению конкурирующих конструкций. Особую нишу, которых заняли станки для обработки ПКМ, обладающие особыми свойствами не присущие для традиционных металлических материалов. Например, в отличие от металлорежущих станков станки для обработки ПКМ должны быть по мощности уменьшены в несколько раз, при этом диапазоны чисел оборотов шпинделей должны быть увеличены в более чем 10 раз, а величины механических подач уменьшены в десяток раз.

Основные направления по модернизации физически и морально устаревшего отечественного станочного металлорежущего парка, которое вопреки всему продолжают эксплуатировать на отечественных предприятиях или создания абсолютно нового станка для обработки ПКМ сведены к:

- увеличение производительности, что является главной задачей при создании любых обрабатывающих станков или целых станочных систем. Ныне главное средство при достижении высоких показателей производства применяют автоматизацию процессов станочного оборудования с концентрацией операций, альтернативы которой на сегодняшний день пока нет;

- получение высокой точности изготовленных изделий, что является одним из основных показателей станка, который выражается в их способности обеспечить в готовом изделии заданную точность размеров, формы и взаимного положения обработанных поверхностей, их волнистость и шершавость, а также стабильность этих показателей в заданных границах. Традиционно точность механообрабатывающих стан-

ков обеспечивалась соответствующей точностью изготовления его основных деталей, точностью сборки и регулирования, а также жесткостью элементов, износостойкостью опор и направляющих, стабильностью формы и размеров базовых и корпусных деталей. Кроме того для повышения точности станков целенаправленно используют специальные устройства и системы для компенсации систематических погрешностей в конкретном экземпляре механообрабатывающего станка или для управления точностью обработки. В этих системах используют устройства микропроцессорного управления и высокоточные датчики линейных и угловых перемещений;

- переналаживаемость станков, что является одним из главных потребительских свойств оборудования и подразумевает возможность их переналадки на изготовление различных изделий или для выполнения различных операций касающихся конкретных требований непостоянной производственной ситуации у потребителей при серийном производстве;

- надежности работы, которая для современных станков является необходимым условием их использования. Прежде всего, это достигается путем повышения надежности функционирования механических элементов станков. И на первую ступеньку выходят подшипниковые узлы, направляющие, передачи. Широкое использование новых материалов и покрытий. Снижение динамических погрузок за счет уменьшения перемещающихся масс.

- нормам промышленной санитарии. Так как большая часть ПКМ при их механической обработке выделяют вредные вещества (пыль, газы), которые негативно воздействуют на организм человека, то станки оснащают средствами местной вентиляции.

Анализ современного оборудования по механической обработке ПКМ показал, что достижение всех этих важных критериев в одной рабочей единице и при дальнейшем сохранении их высоких начальных параметров очень сложно, так как в процессе эксплуатации механообрабатывающее оборудование, протекают в нем статические и динамические процессы, вызванные возмущающими факторами в роли которых выступают силы и крутящие моменты, существенно влияют на его важнейшие качества.

В роботах [1, 2, 3] авторы рассматривают одно из направлений уменьшения вынужденных колебаний и упругих деформаций технологической системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь) механообрабатывающего оборудования, которые в большинстве вызваны

статической и динамической нагрузкой результирующей силой резания.

Также был запатентован ряд полезных моделей [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], конструкции которых направлены на уравнивание возмущающих источников, в роли которых выступают составные силы резания.

Силы и крутящие моменты, которые возникают в процессе работы механообрабатывающего станка, разделяют на следующие группы:

- силы и моменты, вызванные работой двигателя. Силы и моменты приложены к ведущим звеньям приводов станка.

- силы и моменты полезного сопротивления – силы резания и прочие силы и моменты рабочих процессов. Приложенные в зоне резания или в рабочей зоне к инструменту и заготовке, а через них – к звеньям станка, которые называют ведущими (шпиндель, суппорт, стол).

- силы и моменты вредного сопротивления – силы трения, сопротивление среды и т.п. Приложены в местах контакта звеньев станка со средой или с другими звеньями и направлены против движущихся сил.

- силы взаимодействия между звеньями станка или механизмами (в кинетических парах).

- динамические силы, в том числе силы инерции и моменты инерционных сил, роль этих сил возрастает с ростом ускорения.

Все эти группы сил и крутящих моментов, которые вызваны рабочими процессами, деформируют упругую систему станка и в той или другой мере становятся основными причинами типичных погрешностей формы деталей обрабатываемых на станках: эксцентricность тел вращения; не круглость; конусность; не прямолинейность образующих; не плоскостность; не перпендикулярность или не параллельность осей отверстий базовым поверхностям; погрешности шагу обрабатываемых винтов; погрешности зубчатых колес; волнистость; шершавость поверхности и возникновение вибраций, шума и т.п.

Для уменьшения упругих перемещений необходимо при конструировании оборудования для механической обработки ПКМ придерживаться:

1. Закона сохранения движения центра масс. Из теоремы о движении центра масс механической системы ( $m\bar{a}_c = \sum \bar{F}_k^e$ ) можно получить следующее:

- если сумма внешних сил, которые действуют на систему, равняется нулю ( $\sum \bar{F}_{ke} = 0$ )

), тогда ускорение центра масс равняется нулю ( $\bar{a}_c = 0$ ) или  $\bar{V}_c = const$ .

Итак, если сумма всех внешних сил, которые действуют на систему, равняется нулю, то центр масс этой системы движется с постоянной по модулю и направления скоростью, то есть равномерно и прямолинейно. В частности, если сначала центр масс был в покое, то он и останется в покое. Действие внутренних сил, как мы видим, движение центра масс системы изменить не может.

- если сумма внешних сил, которые действуют на систему, не равняется нулю, но эти силы такие, что сумма их проекций на какую-нибудь ось (например, ось  $\hat{I}\bar{o}$ ) равняется нулю ( $\sum F_{kx}^e = 0$ ), тогда из уравнения

$$m\ddot{x}_c = \sum F_{kx}^e = 0,$$

следует, что  $\ddot{x}_c = 0$  или  $V_{cx} = const$ .

Итак, если сумма проекций всех действующих внешних сил на какую-нибудь ось равняется нулю, то проекция скорости центра масс системы на эту ось есть величина постоянная. В частности, если в начальный момент  $V_{cx} = 0$ , то и в любой следующий момент  $V_{cx} = 0$ , то центр масс системы в этом случае вдоль оси перемещаться не будет ( $x_c = const$ ).

Все эти результаты выражают собою закон сохранения движения центра масс системы.

2. Закон сохранения количества движения. Пусть сумма всех внешних сил, которые действуют на систему, равняется нулю  $\sum \bar{F}_k^e = 0$ .

Тогда из уравнения  $\frac{d\bar{Q}}{dt} = \sum \bar{F}_k^e$  следует, что при этом  $\bar{Q} = const$ .

Таким образом, если сумма всех внешних сил, которые действуют на систему, равняется нулю, то вектор количества движения системы будет постоянный по модулю и направления.

Пусть внешние силы, которые действуют на систему, такие, что сумма их проекций на какую-нибудь ось (например  $\hat{I}\bar{o}$ ) равняется нулю  $\sum F_{kx}^e = 0$ . Тогда из уравнения  $\frac{dQ_x}{dt} = \sum F_{kx}^e$ , следует, что при этом  $Q_x = const$ .

Таким образом, если сумма проекций всех действующих внешних сил на какую-нибудь ось равняется нулю, то проекция количества движения системы на эту ось есть величина постоянная.

3. Закон сохранения кинетического момента системы. Если главный момент внешних сил системы относительно неподвижного центра  $\hat{I}$

равняется нулю, то есть  $\bar{M}_O^e = 0$ , то кинетический момент системы  $\bar{K}_O$ , относительно этого центра остается постоянным по модулю и направления, то есть  $\bar{K}_O = const$ .

Если сумма моментов всех внешних сил системы относительно некоторой неподвижной оси  $Ox$  равняется нулю ( $\sum M_x(F_x^e) = 0$ ), то  $K_x = const$ .

Итак, кинетический момент системы относительно любой координатной оси постоянный, если сумма моментов внешних сил относительно этой оси равняется нулю, что, в частности, наблюдается, если внешние силы параллельны, или оси пересекают ее. В частном случае для тела или системы тел, что все вместе могут вращаться вокруг неподвижной оси, и если при этом  $\sum M_z(F_z^e) = 0$ , то  $K_z = J_z\omega = const$  или  $J_z\omega = J_{z0}\omega_0$ .

Выше указанные законы, на примере можно применить при изготовлении резьбовой шпильки из ПКМ (рис. 1). Необходимо чтобы изделие было не подвижно, а угловая скорость и соответственно моменты инерции режущих элементов должны быть постоянны и одинаковы величины ( $^2_1 = ^2_2 = const$ ,  $\omega_1 = \omega_2 = const$ ); масса режущих элементов одинаковой величины ( $m_1 = m_2 = const$ ); подача режущих элементов должны направляться одна на встречу другой и иметь одинаковую величину ( $S_1 = S_2 = const$ ) и равная скорость резания ( $V_1 = V_2 = const$ ).

Для понимания уравнивания сил и моментов, которые действуют на изделие, например, резьбовую шпильку со стороны режущих элементов (резьбовых головок), составим шесть уравнений равновесия, определив реакции и моменты возникающие в зажимном приспособлении:  $\sum F_x = 0: X_A = 0; \sum F_y = 0: Y_A = 0; \sum F_z = 0: Z_A = 0; \sum M_x = 0: M_\delta = 0; \sum M_y = 0: M_y = 0; \sum M_z = 0: M_z = 0$ . Как мы видим, что все усилия приравниваются к нулю.

Сопоставив полученные практические результаты после проведения вышеуказанного эксперимента с результатами классического нарезания резьбы на заготовках из ПКМ, можно утверждать о том, что значительно повышается эффективность механической обработки ПКМ по ряду качественных показателей.

Также можно применить некоторые из этих законов, как один из вариантов, при механической обработке концов труб из ПКМ, являясь очень ответственной операцией, так как от из-

бранного метода и технологии обработки зависит качество дальнейшего монтажа этого изделия и будущей эксплуатации.

Устройство для комплексной обработки концов труб из ПКМ (рис. 2) работает следующим образом. С вращением приводного кониче-

ского колеса 19 (рис. 2, а) оно передает вращение внутренней 4 и внешней 17 режущим головкам, а они в свою очередь предоставляют движение режущим элементам 7, 8, 21, 22, метчику 20 и плашке 6.

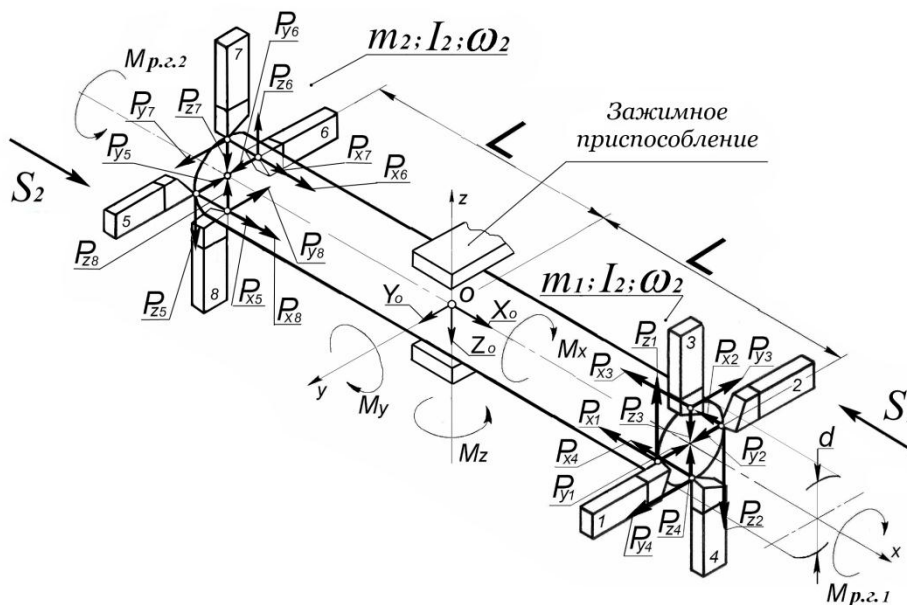


Рис. 1. Расчетная схема нарезания резьбы на неподвижной заготовке из ПКМ резьбовыми головками с восемью режущими элементами

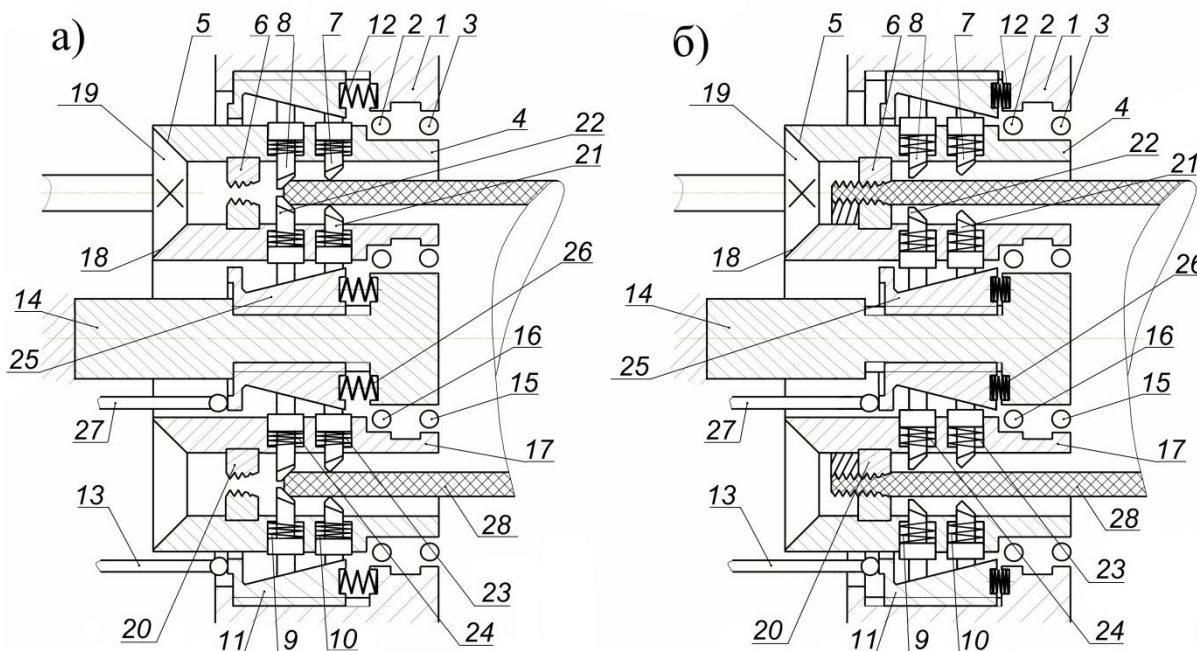


Рис. 2. Устройство для механической обработки концов труб из ПКМ:  
а) продольный разрез устройства в момент розточки и нарезания фасок; б) в момент нарезания резьбы

При подаче трубы 28 в рабочую зону ее одновременно начинают обрабатывать расточные режущие элементы 21 и внешние проходные режущие элементы 7, после того, как труба 28 подойдет к подрезным режущим элементам 8, 22 и они нарежут внутреннюю и внешнюю фаски, то в тоже время кулачки 13 и 27 передвигают

конические втулки 11 и 25 сжимая пружины 12, 26. Так как все режущие элементы 7, 8, 21, 22 прижаты пружинами 9, 10, 23, 24 к конической поверхности втулок 11, 25, то при их передвижении режущие элементы 7, 8, 21, 22 отходят от поверхностей трубы 28, которая при дальнейшем движении попадает на метчик 20, которое

нарезает внутреннюю резьбу и на плашку 6, которое нарезает внешнюю резьбу.

После нарезания резьбы, приводному коническому колесу 19 предоставляется вращение в противоположную сторону, для вывинчивания трубы 28 из метчика 20 и плашки 6 (рис. 2,б).

После того как труба выйдет из рабочей зоны, кулачки 13, 27 отходят от конусных втулок 11, 25, которые под давлением пружин 12, 26 становятся в свое начальное положение и благодаря этому режущие элементы 7, 8, 21, 22 становятся в свое начальное положение.

Использование предложенного устройства для обработки концов труб из ПКМ даёт возможность выполнения шести операций с одной установки, что увеличивает производительность труда; повышает качество поверхностей обработанного изделия; возможность обрабатывать тонкостенные трубы из ПКМ и уменьшить усилия ее зажима за счет компенсирования крутящих моментов действующие на трубу со стороны режущих элементов.

Итак, предлагаемое направление проектирования оборудования для механической обработки полимерных композитных материалов, которое заключается в соблюдении закона сохранения движения центра масс, закона сохранения количества движения и закона сохранения кинетического момента системы, можно получить более эффективную механическую обработку детали (увеличит производительность, обеспечит высокий уровень надежности работы механических систем оборудование, снизит уровень вибрации механических систем и шума и т.п.).

Также было предложено устройство для механической обработки концов труб, которое позволяет выполнения шести операций с одной установки, что увеличивает производительность труда; повышает качество поверхностей обработанного изделия; возможность обрабатывать тонкостенные трубы из ПКМ и уменьшить усилия ее зажима за счет компенсирования крутящих моментов действующие на трубу со стороны режущих элементов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сичов Ю.І. Один з напрямків розробки безвібраційних обробних комплексів / Ю.І. Сичов, Б.Г. Лях, В.І. Неко, В.В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Х.: Технологический Центр. 2010. № 2/5 (44) с. 38-41.
2. Сичов Ю.І. Розробка безвібраційних обробних комплексів / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический Центр. 2011. № 3/7 (51) с. 46-49.
3. Сичов Ю.І. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.І. Неко, В.В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический Центр. 2010. № 5/5 (47) с. 24-29.
4. Патент на корисну модель UA 49739 U. МПК В23В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 16.11.2009; Оpubл. 11.05.2010, Бюл. № 9. 2010р. – 3с.
5. Патент на корисну модель UA 57132 U. МПК В23В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 26.07.2010; Оpubл. 10.02.2011, Бюл. № 3. 2011р. – 4с.
6. Патент на корисну модель UA 61435 U. МПК В23В 5/12. Пристрій для безцентрової обробки циліндричних деталей / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 09.11.2010; Оpubл. 25.07.2011, Бюл. № 14. 2011р. – 4с.
7. Патент на корисну модель UA 61430 U. МПК В23В 29/00. Пристрій для розточування отворів / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 09.11.2010; Оpubл. 25.07.2011, Бюл. № 14. 2011р. – 4с.
8. Патент на корисну модель UA 61433 U. МПК В23D 45/00. Пристрій для розпилювання матеріалу / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 09.11.2010; Оpubл. 25.07.2011, Бюл. № 14. 2011р. – 4с.
9. Патент на корисну модель UA 63270 U. МПК В23В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, М.К. Кравцов, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 21.01.2011; Оpubл. 10.10.2011, Бюл. № 19. 2011р. – 4с.
10. Патент на корисну модель UA 71147 U. МПК В23В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, М.К. Кравцов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 09.11.2011; Оpubл. 10.07.2012, Бюл. № 13. 2011р. – 6с.
11. Проников А.С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т. 1: 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. – 444с.