УДК 621.9

В.Е. КАРПУСЬ, В.А. ИВАНОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКЕ СТАНКОВ С ЧПУ

У статті розглянута обробка корпусних деталей на багатоцільових верстатах та наведена класифікація корпусних деталей. Розроблено нову класифікацію переналагоджуваних установочно-затискних пристроїв та класифікацію механізмів регулювання установочних елементів пристроїв для верстатів з ЧПК. Отримані формули для визначення часу регулювання установочних елементів у залежності від їх параметрів.

This article describes the case-shaped part processing at machining centers and case-shaped part classification are presented. The new locate-and-clamp fixture classification and the adjustment mechanism classification of location elements for Direct Numerical Control machine tools are developed. The adjustment time laws of location elements against their parameters are received.

Многоцелевые станки (МС) составляют значительную часть парка металлорежущего оборудования. На них возможна комплексная последовательная обработка деталей различными инструментами с их автоматической сменой из инструментального магазина. В большинстве случаев станки сверлильно-фрезерно-расточной группы снабжаются поворотными или глобусными столами, позволяющими выполнять обработку сложных деталей с нескольких сторон при неизменном их закреплении. На выбор компоновки МС влияет масса, форма и габаритные размеры обрабатываемой детали.

МС вертикальной компоновки, т.е. станки с расположением оси шпинделя перпендикулярно плоскости стола, обеспечивают свободный подход режущего инструмента к обрабатываемой поверхности заготовки. Такие станки предпочтительно использовать для обработки деталей с одной стороны. МС горизонтальной компоновки, когда ось шпинделя станка параллельна плоскости стола, в основном, применяются для обработки крупногабаритных деталей, требующих обработки с нескольких сторон, например, корпусов коробок подач, картеров и головок двигателей и т.д. Такая компоновка МС обеспечивает хороший отвод стружки из зоны резания.

На многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ в основном обрабатывают плоские (43% от общего количества обрабатываемых деталей), фигурные (36%) и корпусные детали (21%), трудоемкость изготовления которых составляет 19%, 24% и 57% соответственно [1].

В большинстве изделий машиностроения корпусные детали (КД) занимают основное положение по весу, сложности, трудоемкости и себестоимости изготовления. С их помощью обеспечивается требуемое взаимное расположение входящих в узел или механизм деталей, их крепление и соединение. КД отличаются большим разнообразием конструкций, размерами, формой и пространственным расположением обрабатываемых поверхностей. К ним относятся корпусы редукторов, коробки скоростей и коробки подач станков,

блоки цилиндров двигателей автомобилей, тракторов, компрессоров, корпусы шпиндельных блоков многошпиндельных автоматов и полуавтоматов и др. Наиболее распространены КД, ширина которых составляет 400–700 мм [1]. Диаграммы распределения КД по различным параметрам приведены на рис. 1.

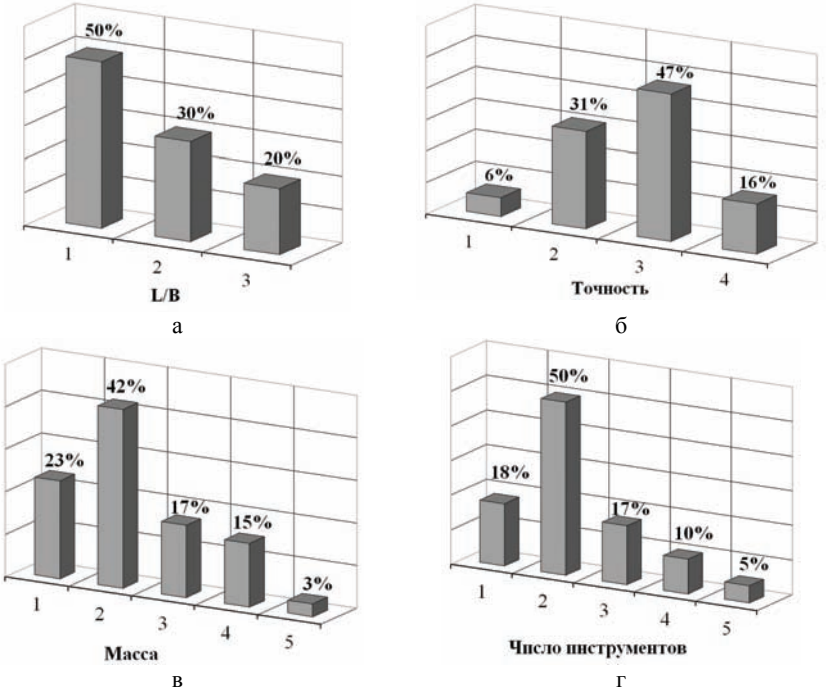


Рис. 1. Диаграммы распределения КД: а) по отношению длины детали L к ширине B: 1 – меньше 1,6; 2 – 1,6…2,5; 3 – более 2,5; б) по точности: 1 – 6 квалитет; 2 – 7 квалитет; 3 – 8 квалитет; 4 – 9 квалитет; в) по массе: 1 – до 40 кг; 2 – 40…160 кг; 3 – 160…500 кг; 4 – 500…1000 кг; 5 – свыше 1000 кг; г) по количеству используемого при обработке инструмента: 1 – до 10 инструментов; 2 – до 20; 3 – до 30; 4 – до 40; 5 – более 40

Из рис. 1, а следует, что 80% деталей имеют отношение длины детали к ширине не более 2,5. Распределение деталей по точности (рис. 1, б) показывает, что 78% деталей требуют обработки по 7–8 квалитету точности, при этом 82% от общего количества (рис. 1, в) составляют детали массой до 500 кг. Для обработки 85% КД требуется не более 30 инструментов (рис. 1, г) [2].

Таким образом, наиболее востребованы МС с шириной рабочего стола 500–800 мм для обработки КД по 7–8 квалитету точности. Станки с указанной шириной стола позволяют производить обработку деталей массой до 800 кг и относятся к легким станкам [1, 3]. Для указанных габаритных размеров и массы деталей в основном применяются МС с горизонтальным распо-

ложением шпинделя и поворотным или глобусным столом, допускающим обработку КД с нескольких сторон без переустановки.

На рис. 2 представлена классификация КД. По числу обрабатываемых сторон КД можно разделить на детали, обрабатываемые с одной стороны, с двух – четырех сторон, с пяти – шести сторон, а также с семи – восьми сторон. В зависимости от числа обрабатываемых сторон выбирается компоновка МС и тип стола.

Рис. 2. Классификация корпусных деталей

Расположение обрабатываемых поверхностей зависит от конфигурации КД. Корпуса бывают разъемными и неразъемными. Разъемным называется корпус, имеющий поверхность, которая делит его на две или более частей и проходит по оси одного или нескольких базовых отверстий. Корпус, представляющий собой целостную конструкцию, называется неразъемным.

Разъемные КД делятся на детали с одной или с двумя плоскостями разъема, которые могут быть как параллельные, так и непараллельные между собой.

Под установочными элементами в конструкции детали понимают специальные лапы для установки КД в изделии. Так, детали коробчатой формы относятся к деталям с установочной поверхностью. Примером деталей, не имеющих установочных поверхностей, могут служить крышки, кожухи.

Форма базовых поверхностей КД, влияющая на выбор схемы базирования, может быть плоской, цилиндрической или комбинированной.

Технологическая оснастка (ТО), применяемая на МС, является одним из важнейших элементов технологической системы, обеспечивающим требуе-

мую гибкость, высокую производительность и точность обработки. Гибкость – это способность ТО к переналадке для обработки заданной номенклатуры деталей путем замены или регулирования ее отдельных элементов. Производительность переналадки ТО отражает затраты вспомогательного времени, на величину которых большое влияние оказывает конструкция применяемой оснастки. От нее зависит время на установку и снятие детали, на переналадку и управление установочно-зажимным приспособлением (УЗП), очистку базовых поверхностей и т.д. Кроме того, обработка на МС связана с повышенными требования к гибкости, надежности, максимальной инструментальной доступности и т.д. Важным фактором сокращения вспомогательного времени является уменьшение времени переналадки ТО при переходе к обработке деталей другого типоразмера за счет оптимального выбора механизмов регулирования установочных и зажимных элементов УЗП.

Точность ТО – это способность придавать заготовке определенное положение в системе координат станка и сохранять его в течение всего процесса обработки, тем самым обеспечивая высокую точность обработки, которая в большой степени зависит от точности изготовления оснастки, точности ее установки на рабочем столе станка, погрешности установки заготовок в УЗП и т.д.

Учитывая высокую гибкость и производительность современных МС, на них целесообразно применять УЗП, обеспечивающие обработку широкой номенклатуры деталей. По общности способов обеспечения гибкости УЗП можно объединить в две группы: переналаживаемые и сборные. К первой группе относятся универсально-безналадочные приспособления (УБП), переналадка которых осуществляется регулированием положения установочно-зажимных элементов; универсально-наладочные приспособления (УНП), обеспечивающие установку заготовок другого типоразмера при помощи специальных сменных наладок; специализированные наладочные приспособления (СНП), которые также состоят из специализированного по схеме базирования и виду обработки типовых групп обрабатываемых деталей базового агрегата и сменных наладок, и предназначены для установки и закрепления близких по конфигурации заготовок различных габаритных размеров с общей схемой базирования; специализированные безналадочные приспособления (СБП), отличающиеся от УБП меньшей универсальностью.

К сборным приспособлениям относятся универсально-сборные (УСП); сборно-разборные (СРП); универсально-сборные механизированные приспособления для станков с ЧПУ (УСПМ-ЧПУ), являющиеся развитием системы УСП; универсально-сборная переналаживаемая оснастка (УСПО). В основу всех видов сборных приспособлений положен агрегатно-модульный принцип построения, предполагающий рациональное разделение УЗП на агрегаты, которые могут многократно использоваться при создании различных модификаций УЗП одного или различных типов.

Каждая система станочных приспособлений имеет свою область применения, а также точность обработки деталей. Например, по данным [4, 5],

применение УНП и СНП позволяет получить 8–9 квалитет точности обработки поверхностей деталей, УСП – 8–10 квалитет, а СРП – 7–9 квалитет.

В справочнике [6] указано, что системы УНП и СНП по рациональной величине коэффициента загрузки оборудования перекрывают диапазоны, характерные для УСП, СРП и специальных приспособлений.

Основные достоинства УБП, УНП, СБП и СНП следующие: близость по точности, габаритным размерам, массе и удобству в работе к неразборным УЗП; жесткость конструкций; минимальные погрешности установки заготовок; возможность механизации зажима заготовок. Достоинства сборных приспособлений связаны с тем, что они обеспечивают: возможность получения специализированной технологической оснастки, наиболее полно отвечающей решению конкретной технологической задачи; сокращение трудоемкости проектирования и изготовления за счет высокой степени унификации и стандартизации элементов и узлов конструкции; увеличение надежности за счет совершенствования конструктивных параметров деталей и узлов; улучшение условий эксплуатации и ремонтопригодности за счет уменьшения разнообразия конструкций элементов УЗП; удешевление производства [7].

Анализ современного украинского производственного опыта показывает, что большая комплектность систем станочных приспособлений УСП, УСПО, СРП, обуславливающие их высокую стоимость, не соответствует экономическим возможностям машиностроительных предприятий. Так, например, стоимость комплекта элементов приспособлений УСП-8 на сегодняшний день составляет более 400 тысяч гривен. Поэтому применение систем приспособлений УНП, УБП, СНП, СБП предпочтительнее, так как не требуют крупных предварительных капитальных вложений.

Переналадка безналадочных систем приспособлений осуществляется путем регулирования положения установочно-зажимных элементов. В наладочных приспособлениях при переходе на обработку новой детали проектированию и изготовлению подлежит только сменная наладка.

Классификация переналаживаемых приспособлений представлена на рис. 3. Инструментальная оснастка в сочетании со стандартным режущим инструментом обеспечивает выполнение различных технологических операций; непрерывную работу оборудования за счет быстросменности и предварительной настройки режущего инструмента вне станка; повышение эффективности эксплуатации станков с ЧПУ.

Структура УЗП показывает назначение и взаимодействие отдельных структурных элементов, часть из которых непосредственно связана с объектом обработки и оказывает влияние на точность обработки, а другие – обеспечивают переналадку и необходимые вспомогательные функции. Каждый элемент УЗП должен обладать необходимым уровнем переналаживаемости, чтобы в совокупности обеспечить требуемую гибкость всего приспособления.

Рис. 3. Классификация переналаживаемых установочно-зажимных приспособлений для станков с ЧПУ

В структуре УЗП (рис. 4) можно выделить следующие основные элементы. Корпус УЗП объединяет в одно целое отдельные узлы и детали приспособления. Установочные элементы (УЭ) обеспечивают реализацию теоретической схемы базирования. К ним относятся все детали, на которые осуществляется установка объекта обработки в приспособлении. Зажимные элементы (ЗЭ) прижимают объект обработки к УЭ и обеспечивают его жесткую фикса-

цию. Вспомогательные элементы реализуют в УЗП функции, связанные с выгрузкой деталей, управлением приводом приспособления, дополнительным поддержанием детали и т.п. Сменные и регулируемые наладки предназначены для установки деталей другого типоразмера.

Рис. 4. Структура установочно-зажимного приспособления

Механизмы регулирования наладок, УЭ, ЗЭ и перемещения узла зажима обеспечивают изменение положения регулируемых наладок, УЭ и ЗЭ в системе координат приспособления относительно корпуса и других элементов, обеспечивая высокую гибкость УЗП.

В результате анализа переналаживаемой оснастки предлагается классификация механизмов регулирования установочных элементов УЗП для станков с ЧПУ (рис. 5).

Рассмотрим представленную классификацию на примере опор. Основные опоры служат для базирования заготовки в приспособлении, то есть они определяют положение обрабатываемой заготовки в рабочей зоне станка относительно режущего инструмента. Вспомогательные опоры применяют для повышения устойчивости и жесткости обрабатываемой заготовки в приспособлении при обработке на станке. Их вводят в соприкосновение с заготовкой после ее установки на основные опоры и таким образом они превращаются в дополнительные жесткие опоры.

По виду установочных элементов опоры разделяются на регулируемые, самоустанавливающиеся и подводимые. Регулируемые опоры применяют для установки заготовок по обработанным и необработанным базовым поверхностям при больших колебаниях припуска на механическую обработку, при выверке заготовок по разметочным рискам, а также при переходе к обработке другой детали. Они устанавливаются в корпусе приспособления по резьбе и стопорятся контргайкой.

Для регулирования опор применяются винтовые (рис. 6, а-в), клиновые (рис. 6, г) и клиноплунжерные (рис. 6, д) механизмы регулирования. В зависимости от степени автоматизации процесса переналадки УЭ могут регулироваться вручную, механизированно или автоматически.

Рис. 5. Классификация механизмов регулирования установочных элементов УЗП для станков с ЧПУ

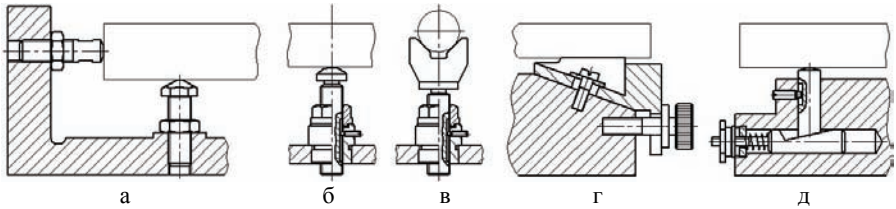
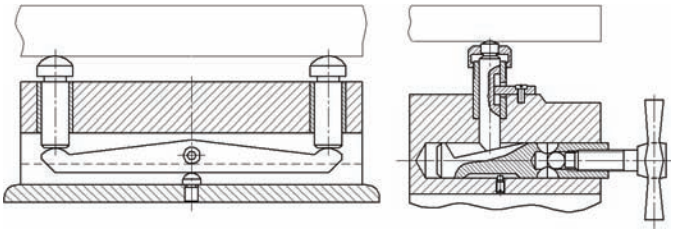


Рис. 6. Схемы установки заготовок на регулируемые опоры

Самоустанавливающиеся опоры (рис. 7, а) применяются для установки крупногабаритных заготовок по обработанным или необработанным поверхностям, а также для установки тонкостенных заготовок с целью повышения их жесткости в процессе обработки. Опорная точка самоустанавливающихся опор находится выше основной базовой плоскости приспособления, но под действием веса заготовки она утопает, занимая положение основных опор приспособления, и фиксируется. Подводимые опоры (рис. 7, б) применяются для повышения жесткости заготовки в процессе обработки на станке. У подводимых опор опорная точка находится ниже основных опор приспособления и после установки и закрепления подводится к заготовке и фиксируется в необходимом положении. Регулируемые призмы (рис. 8) применяют для базирования заготовок по наружным цилиндрическим поверхностям. Преимуществом регулируемых призм является возможность установки и закрепления на двух регулируемых призмах обрабатываемой заготовки с базовыми поверхностями разных диаметров.



а б

Рис. 7. Схемы установки заготовок на вспомогательные опоры

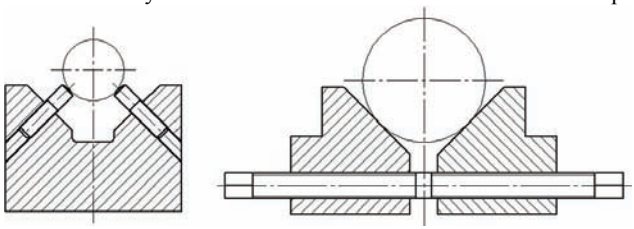


Рис. 8. Схемы установки заготовок на регулируемые призмы

Опорные пластины и постоянные опоры применяют для базирования заготовок в приспособлении по плоским поверхностям. Опорные пластины бывают двух исполнений (рис. 9): плоские, устанавливаемые на вертикальных стенках корпуса УЗП, и с косыми пазами, устанавливаемые на горизонтальных поверхностях корпуса приспособления. Постоянные опоры изготавливают с плоской, сферической или насеченной головками (рис. 10). Опорные пластины и постоянные опоры регламентируются стандартами [8-11]. Опоры с плоской головкой и опорные пластины применяются при обработке заготовок с обработанной базовой поверхностью, а на опоры со сферической или насеченной головкой устанавливают заготовки с необработанной базовой поверхностью. Предельные нагрузки на постоянные опоры и опорные пластины представлены в [12].

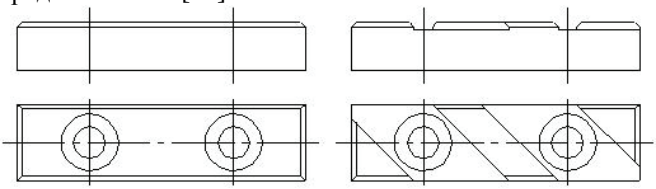


Рис. 9. Опорные пластины

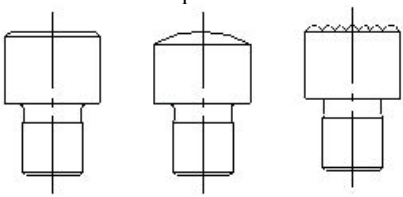


Рис. 10. Постоянные опоры

При базировании КД по плоскости и двум отверстиям или по двум плоскостям и отверстию в качестве УЭ применяют установочные пальцы. Стандарты [13-16] предусматривают постоянные и сменные установочные пальцы, а также цилиндрические и срезанные. Примеры установочных пальцев приведены на рис. 11.

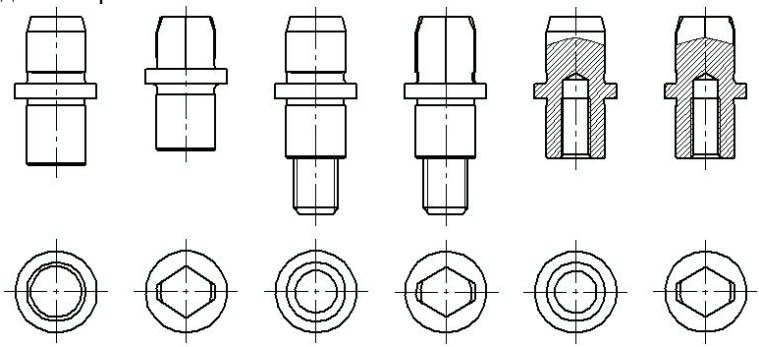


Рис. 11. Установочные пальцы

Время регулирования установочных элементов в УЗП зависит от их конструкции и параметров. Например, для винтовой регулируемой опоры основными параметрами, влияющими на время регулирования, являются диаметр опоры d, шаг резьбы P и длина регулирования L.

Диаметр опоры выбирается в зависимости от массы заготовки. Расчет на прочность позволяет определить предельную нагрузку на опору, которая не вызывает деформаций последней и обеспечивает ее нормальную эксплуатацию. Учитывая силу зажима, можно определить максимальную массу заготовки, устанавливаемой на рабочем столе МС. Результаты расчета (табл.) и данные [1] позволяют сделать вывод, что регулируемые опоры диаметром более 24 мм применять на МС нецелесообразно, так как грузоподъемность стола большинства МС не превышает 1500 – 2000 кг.

Таблица – Основные характеристики винтовых регулируемых опор

Диаметр регулируемой опоры, мм	6	8	10	12	16	20	24
Предельная нагрузка на одну опору, кН	1	1,4	2	2,8	5	7,5	16
Максимальная масса заготовки при установке на три опоры, кг	50	120	200	340	800	1000	2500

Шаг резьбы зависит от диаметра опоры и существенно влияет на точность регулирования. Для опор диаметром 6…10 мм рекомендуется применять резьбы с шагом 0,5…1,5 мм, для опор диаметром 12…20 мм – 0,5…2,5 мм, а для опор диаметром 24 мм – 0,5…4 мм [17].

Величина погрешности, которая возникает при установке регулируемой опоры, зависит от погрешностей базирования, закрепления, износа, а также установки приспособления на станке. Износ установочной поверхности регу-

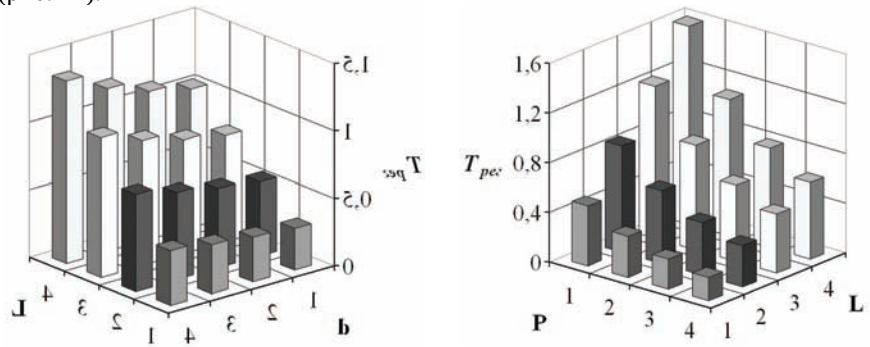
лируемой опоры неравномерен во времени. График, отображающий характер износа, и формулы для его расчета приведены в [12]. Погрешность установки приспособления на станке выражается осевым зазором, возникающим между профилями витков метрической резьбы, и может быть рассчитана по формуле, приведенной в [18].

Длина регулирования устанавливается в зависимости от выбранной схемы базирования и конструкции детали.

С использованием общемашиностроительных нормативов [19] нами получена формула для определения времени регулирования $T_{рег}$ положения опоры приспособления в зависимости от ее диаметра (6…42 мм), шага резьбы (0,5…4 мм) и длины регулирования (8…40 мм). Погрешность расчета не превышает 9%.

$$T_{рег} = (0{,}563 + 0{,}011 \cdot d) \cdot (0{,}114 + 0{,}038 \cdot L) \cdot \left(1{,}881 \cdot e^{-1{,}009 \cdot P} + 0{,}312\right).$$

С увеличением диаметра опоры и длины регулирования, а также с уменьшением величины шага резьбы время регулирования увеличивается (рис. 12).



а б

Рис. 12. Диаграммы зависимости времени регулирования $T_{рег}$ винтовой регулируемой опоры: а) от диаметра опоры и длины регулирования при P = 1 мм: 1 – d = 6 мм; 2 – d = 10 мм; 3 – d = 16 мм; 4 – d = 24 мм; 1 – L = 10 мм; 2 – L = 20 мм; 3 – L = 30 мм; 4 – L = 40 мм; б) от шага резьбы и длины регулирования при d = 10 мм: 1 – P = 0,5 мм; 2 – P = 1 мм; 3 – P = 1,5 мм; 4 – P = 2 мм; 1 – L = 10 мм; 2 – L = 20 мм; 3 – L = 30 мм; 4 – L = 40 мм

Если необходимо изменить положение опоры в пределах 10 мм, целесообразно использовать клиновой механизм регулирования (рис. 13). При угле скоса $\alpha \le 10^{\circ}$ он является самотормозящим [12].

При переналадке клиновой регулируемой опоры основными параметрами, которые влияют на время регулирования, являются шаг резьбы P регулировочного винта, высота регулирования H, на которую производится переналадка, и угол скоса клина α.

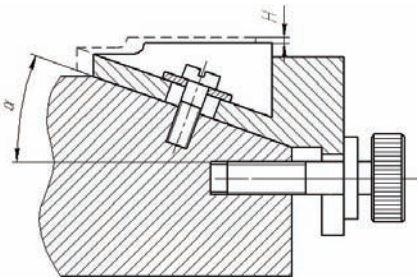
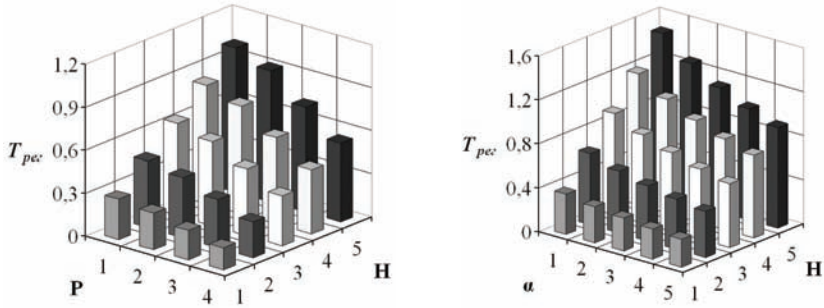


Рис. 13. Основные параметры клиновой регулируемой опоры

Проведен анализ и получена зависимость времени регулирования клиновой опоры от шага резьбы регулировочного винта, высоты регулирования и угла скоса клина. Погрешности расчета не превышают 10%.

$$T_{рег} = (2{,}132 - 0{,}61 \cdot P) \cdot \left(0{,}061 + 0{,}019 \cdot \frac{H}{tg\alpha}\right).$$

Диаграммы, приведенные на рис. 14, свидетельствуют о том, что время регулирования увеличивается при увеличении высоты регулирования и уменьшении величины шага резьбы и угла скоса клина.



а б

Рис. 14. Диаграммы зависимости времени регулирования $T_{рег}$ клиновой регулируемой опоры: а) от шага резьбы и высоты регулирования при угле скоса α = 10°: 1 – P = 0,75 мм; 2 – P = 1 мм; 3 – P = 1,5 мм; 4 – P = 2 мм; 1 – H = 1 мм; 2 – H = 2 мм; 3 – H = 3 мм; 4 – H = 4 мм; 5 – H = 5 мм; б) от высоты регулирования и угла скоса клина при шаге резьбы P = 1 мм: 1 – $\alpha = 6^\circ$; 2 – $\alpha = 7^\circ$; 3 – $\alpha = 8^\circ$; 4 – $\alpha = 9^\circ$; 5 – $\alpha = 10^\circ$; 1 – H = 1 мм; 2 – H = 2 мм; 3 – H = 3 мм; 4 – H = 4 мм; 5 – H = 5 мм

Перспективным направлением развития конструкций УЗП для станков с ЧПУ является разработка систем автоматической переналадки установочных и зажимных элементов УЗП путем регулирования их положения по трем осям координат при смене объекта обработки по управляющей программе.

Основными направлениями развития переналаживаемых приспособлений являются: повышение жесткости и точности установки заготовок; повышение производительности за счет сокращения затрат времени на переналад-

ку, а также применения быстродействующих механизированных прижимных устройств; применение переналаживаемых устройств, расширяющих технологические возможности обработки заготовок без изменения их базирования; повышение надежности приспособлений; автоматизация и механизация процесса переналадки УЗП; обоснованное уменьшение разнообразия конструкций УЗП и повышение степени унификации их элементов; определение условий эффективного применения различных типов УЗП в конкретных производственных условиях.

Выводы: 1) Для оснащения металлорежущего оборудования в украинском машиностроении целесообразно применять переналаживаемые безналадочные и наладочные приспособления, учитывая большие капитальные затраты на внедрение комплектов сборных приспособлений; 2) На станках с ЧПУ необходимо использовать механизированные переналаживаемые приспособления с быстродействующими зажимными устройствами, развивая подходы к разработке систем автоматической переналадки УЗП; 3) Актуальной является разработка системы выбора конструкции приспособления, оптимально сочетающего его функциональные характеристики на основе прогнозирования показателей производительности и точности обработки при условии обеспечения требуемой гибкости.

Список литературы: 1. Брон А.М. Обработка корпусных деталей на многоцелевых станках с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1986. – 47 с. 2. Прокопенко В.А., Федотов А.И. Многооперационные станки/ Под общ. ред. А.И. Федотова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 180 с. 3. Автоматизация технологической подготовки производства. Учебн. пособие по курсам «Автоматические системы ТПП» и «Автоматизация конструкторского и технологического проектирования». – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2002. – 33 с. 4. Коваленко А.В. Точность обработки на станках и стандарты. – М.: Машиностроение, 1992. – 160 с. 5. Сакович А.А. Станочные приспособления многократного применения: Учебно-методическое пособие по дисциплине «Проектирование технологической оснастки» для студентов специальности 12.01 – Технология машиностроения. – Минск, 1992. – 50 с. 6. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т./ Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – Т.2. – 4-е изд., перераб. и доп. – 496 с. 7. Обратимая технологическая оснастка для ГПС/ Н.Д. Жолткевич, И.Я. Мовшович, А.С. Кобзев и др. – К.: Техніка, 1992. – 216 с. 8. ГОСТ 13440-68. Опоры постоянные с плоской головкой для станочных приспособлений. Конструкция. 9. ГОСТ 13441-68. Опоры постоянные со сферической головкой для станочных приспособлений. Конструкция. 10. ГОСТ 13442-68. Опоры постоянные с насеченной головкой для станочных приспособлений. Конструкция. 11. ГОСТ 4743-68. Пластины опорные для станочных приспособлений. Конструкция. 12. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с. 13. ГОСТ 12209-66. Приспособления станочные. Пальцы установочные цилиндрические постоянные. Конструкция. 14. ГОСТ 12209-66. Приспособления станочные. Пальцы установочные срезанные постоянные. Конструкция. 15. ГОСТ 12211-66. Приспособления станочные. Пальцы установочные цилиндрические сменные. Конструкция. 16. ГОСТ 12212-66. Приспособления станочные. Пальцы установочные срезанные сменные. Конструкция. 17. ГОСТ 16093-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором. 18. Блаер И.Л. Взаимодействие витков затянутой резьбы// Вестник машиностроения. – 2005. – №7. – С. 3-8. 19. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Мелкосерийное и единичное производство. – 2 изд. – М.: Машиностроение, 1974. – 220 с.

Поступила в редколлегию 26.06.07