

## **ПРИМЕНЕНИЯ ВАКУУМНОЙ ОСНАСТКИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ. ПРИМЕРЫ ФИКСАЦИИ ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ОБРАБОТКИ**

### **1. АКТУАЛЬНОСТЬ**

В настоящее время в металлообработке вопрос закрепления деталей на технологическом оборудовании становится все более актуальным.

С учетом развития современных технологий и повышенного спроса на изделия в авиационной и приборостроительной отраслях, к которым предъявляются все более высокие требования по различным параметрам: геометрии, массе, эксплуатационным характеристикам, - разрабатываются новые материалы, инструменты для их обработки, применяются новые технологические методики.

Изделия, имеющие сложную геометрию и тонкостенные элементы, зачастую требуется закреплять таким образом, чтобы максимально обеспечить доступ ко всем обрабатываемым поверхностям за один установ без переставления элементов фиксации с учетом исключения вибрации в процессе обработки.

### **2. ПРОБЛЕМЫ**

При фиксации изделий на технологическом оборудовании чаще всего мы сталкиваемся со следующими задачами:

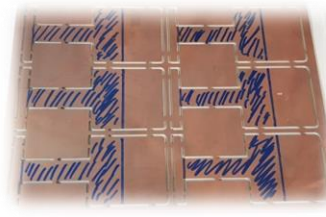
2.1 Обрабатываемый материал немагнитный и хрупкий (Рис.1), что не позволяет использовать магнитную плиту либо локальные механические элементы фиксации, которые могут нанести повреждения поверхности либо разрушить закрепляемый объект (шлифовка и фрезерование).



А) Оптическое стекло



Б) Графит



В) Материал для печатных плат

Рис. 1 Примеры хрупких немагнитных материалов

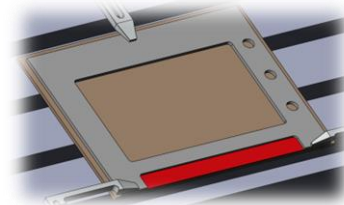
2.2 Геометрия детали имеет тонкостенные элементы (Рис.2), что не позволяет зажать ее механически, обеспечив требуемый результат. Механическая фиксация приводит к ее деформации и не исключает вибрацию в процессе обработки на незафиксированных плоскостях (шлифовка и фрезерование).



А) Лицевая панель



Б) Крышка



В) Обнижение в основании с тонкой стенкой

Рис. 2 Примеры тонкостенных изделий из алюминиевых сплавов

2.3 Зоны обработки находятся в недоступном для инструмента месте в области механического крепления (Рис.3), что не позволяет произвести обработку изделия за один установ и требуется перезакрепление детали, что в свою очередь увеличивает трудоемкость и снижает точностные параметры изделия в целом (отклонение формы и допуск на линейные размеры).

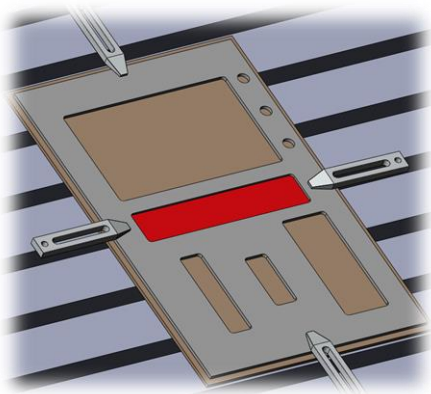


Рис. 3 Пример фиксации прижимами

2.4 Определение заготовки детали с учетом технологической прибыли по толщине, беря в расчет существующие толщины проката листов, обеспечивающей надежное закрепление в тисках и возвышение над элементами фиксации для беспрепятственного прохода режущего инструмента при обработке (Рис.4).

2.5 Поставляемый материал крупногабаритный и не обладает изначально ровной поверхностью, что вызывает потребность в подготовке плоскости и периметра заготовок для последующей фиксации после его раскроя.

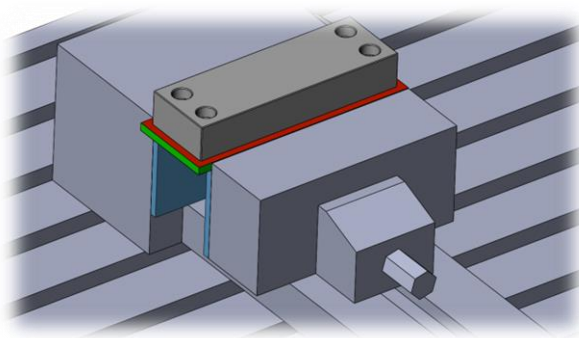


Рис. 4 Пример фиксации в тисках

2.6 Подбор параллельных опор с учетом вылета заготовки за пределы зоны фиксации (Рис.5). Незафиксированная часть детали, не имеющая опоры, подвержена вибрации, проблематично достичь требуемых значений по параллельности горизонтальных плоскостей.

2.7 Оптимизация режимов резания для исключения выкрашивания режущих кромок и полной поломки инструмента, не позволяющей восстановить его или переточить, с учетом возникающей вибрации при обработке деталей, имеющих незафиксированные части. Что в свою очередь снижает производительность и не исключает преждевременный износ инструмента.

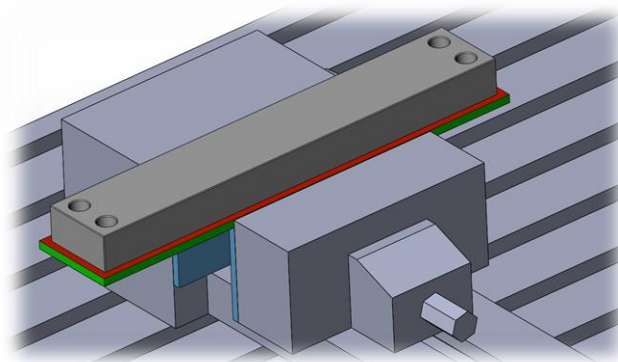


Рис. 5 Пример фиксации детали в тисках с незафиксированными участками

2.8 Неравномерность распределения усилия зажима и неполный контакт параллельных граней детали с плоскостью губок тисков при фиксации коротких изделий, длина которых меньше половины контактной линии, из-за возникновения крутящего момента и присутствия люфтов в узлах оснастки (Рис.6). Также затрудняет достижение требуемых значений по параллельности горизонтальных плоскостей.

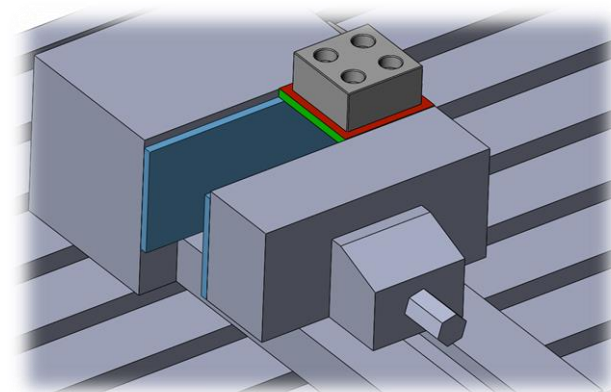


Рис. 6 Пример фиксации короткой детали в тисках со смещением от силовой оси

2.9 Вибрации и отсутствие обеспечения равномерности фиксации детали по всей обрабатываемой площади. Незафиксированные и не имеющие опорной поверхности локации детали при обработке подвержены вибрации и упругой деформации (Рис.7). Это в свою очередь не позволяет получить равномерную толщину нижней стенки «кармана», ухудшает качество обрабатываемой поверхности, увеличивая значение шероховатости.

2.10 Недостаточный расход тисков для фиксации заготовки. Требуется набор УСП либо дополнительные тиски, рассчитанные на габариты обрабатываемой детали (Рис.7). Потребность в дополнительных приспособлениях сопровождается материальными затратами, сроками их поставки. При переналадках затрачивается время на монтаж/демонтаж приспособлений и на их выставление на столе технологического оборудования.

2.11 Невозможность исключения человеческого фактора, а именно: позиционирование детали от установочной базы (параллельные опоры и упор), регулировка усилия зажатия, наличие монтажных приспособлений в зоне обработки после закрепления детали.

2.12 Поломка инструмента при возможном столкновении с механическими элементами фиксации.

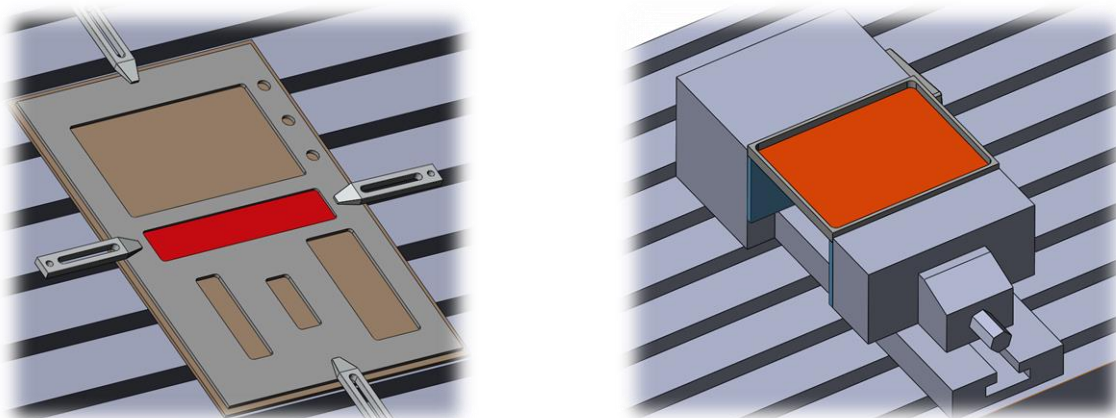
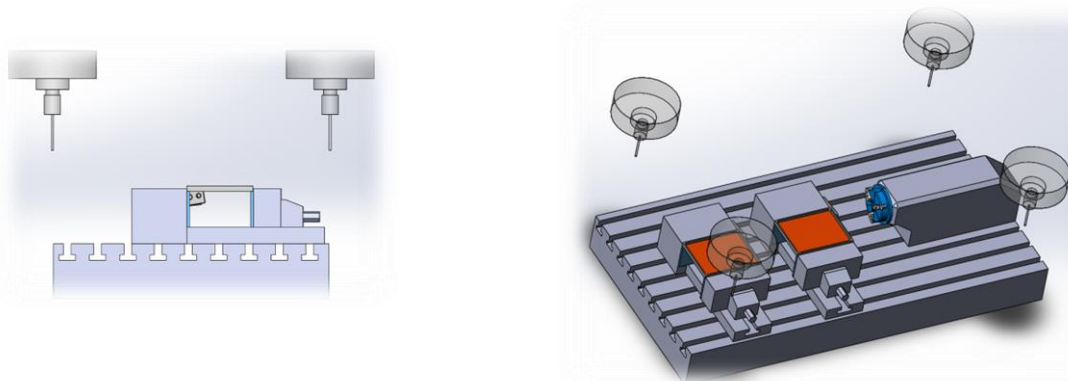


Рис. 7 Детали с незафиксированной обрабатываемой поверхностью

2.13 Неэффективное использование перемещений рабочих узлов станка при обработке деталей с учетом конструктивных особенностей механических элементов фиксации (Рис.8 А). При постоянной работе в одной и той же малой зоне перемещений образуется неравномерная выработка подвижных узлов станка, точность технологического оборудования снижается локально и не позволяет в дальнейшем производить точные детали больших габаритов.

2.14 Неэффективное использование стола технологического оборудования при закреплении на нем нескольких станочных приспособлений для групповой обработки изделий (Рис.8 Б): поворотная ось + тиски, несколько тисков.



А) Закрепление детали в тисках на столе технологического оборудования

Б) Использование нескольких станочных приспособлений для фиксации деталей

Рис. 8 Визуализация зон перемещения узлов станка и обработки деталей

2.15 Разработка индивидуальных оправок для фиксации изделий с малыми габаритами в рамках выпуска в мелкосерийных и опытных производствах. Разработка ложементов для групповой обработки изделий в рамках крупносерийного производства (Рис.9 А,Б).

2.16 Закрепление деталей со сложной геометрией на плоскости, которую не представляется возможности зажать в тисках или с применением УСП (Рис.9 В,Г,Д).

2.17 Сокращение вспомогательного времени при фиксации детали, требующей человеческого участия и контроля (Рис.9).

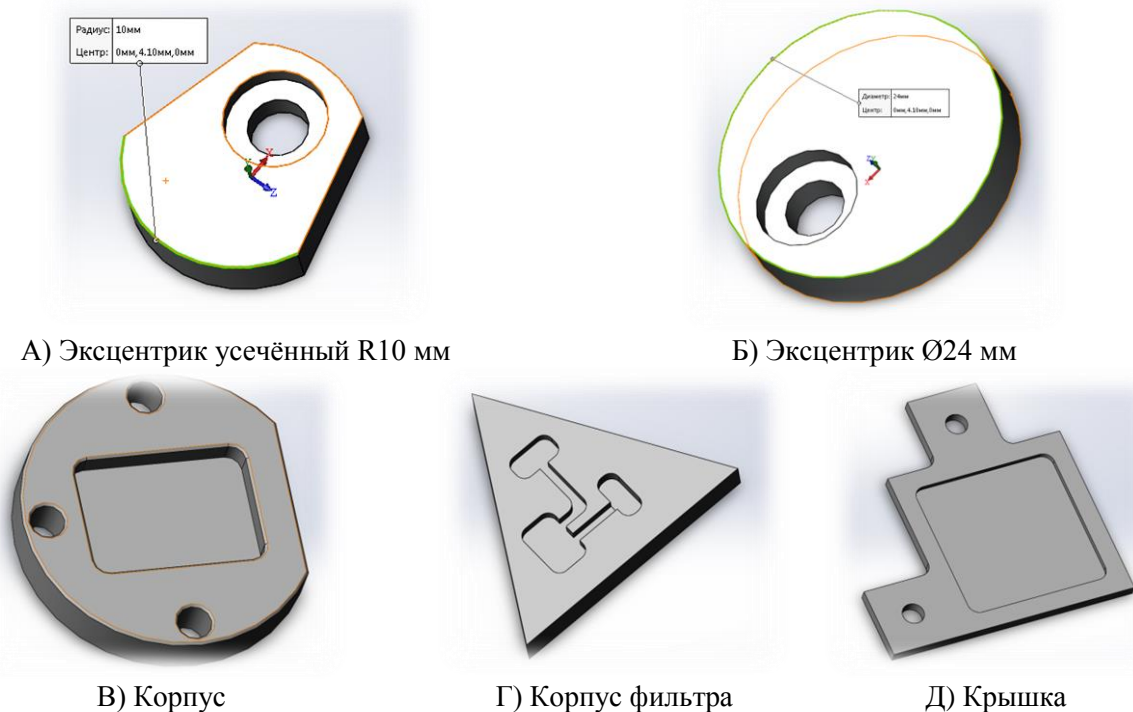


Рис. 9 Примеры деталей с малогабаритными размерами и сложной геометрией на плоскости

2.18 Сокращение технологического цикла для сокращения суммарного времени выпуска продукции.

2.19 Совмещение технологических операций, выполнение 2-х и более операций предназначенных для технологического оборудования. Обработка с нескольких сторон 2-х деталей и более одновременно (1-я и 2-я стороны).

### 3. РЕШЕНИЕ ВЫШЕПЕРЕЧИСЛЕННЫХ ПРОБЛЕМ.

#### КРИТЕРИИ ВЫБОРА СПОСОБА ФИКСАЦИИ ДЕТАЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Основная задача при разработке технологии изготовления деталей для любого вида промышленности состоит в правильном выборе способа ее обработки с учетом требуемых точностей и сроков выполнения программы их выпуска. Для соблюдения этих 2-х важных параметров (сроки и качество) при выпуске деталей требуется оптимально определить вид обработки, тип оборудования, стратегию обработки, инструмент, тип заготовки и систему ее фиксации на технологическом оборудовании.

Геометрия деталей и ее материал зачастую являются основополагающими факторами при выборе системы крепления: УСП и другие механические системы фиксации, магнитные и вакуумные системы. Примеры деталей представлены на Рис. 10.

Вакуумные системы фиксации способны закрыть потребность в креплении до 70% номенклатуры выпускаемой продукции, для изготовления которой требуется механическая либо магнитная фиксация, исключить изготовление специализированных оправок, обеспечить заданные точности. Повысить выход годной продукции за счет исключения проблемных факторов, возникающих при обработке описанных выше, снизить общее время изготовления деталей за счет

минимизации либо полного исключения подготовительного и максимального сокращения вспомогательного времени.

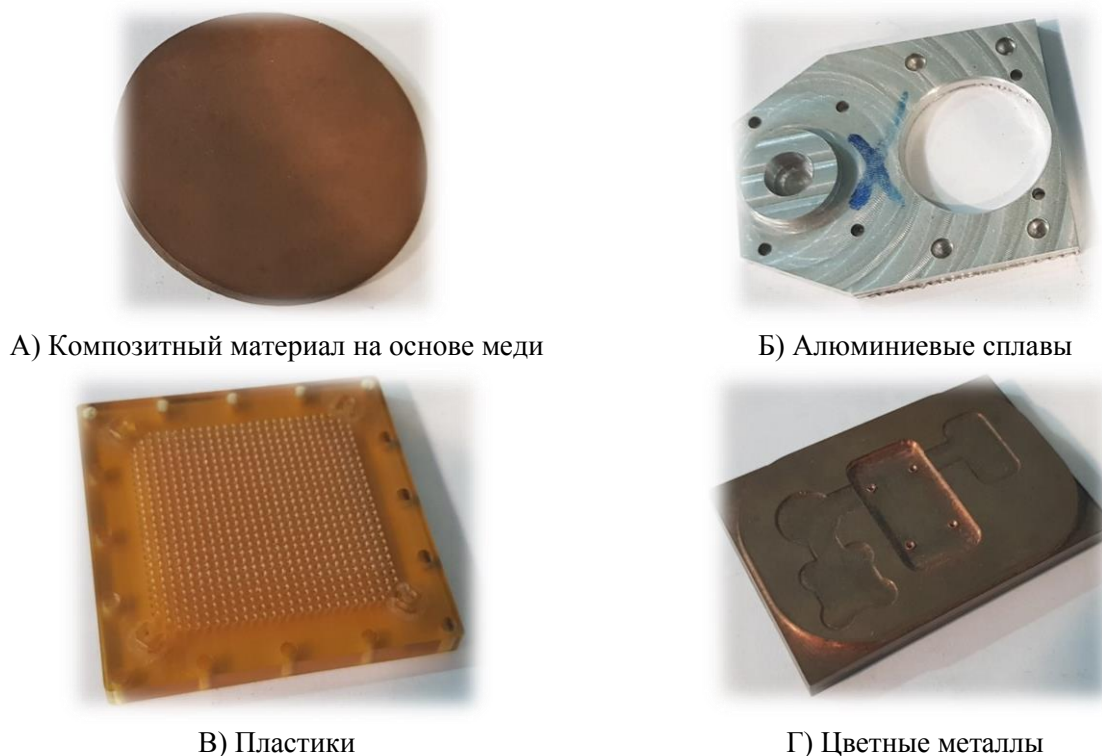


Рис. 10 Примеры деталей из немагнитных материалов с различной геометрией на плоскости

В связи с тем, что на вакуумной оснастке мы можем закрепить любой материал с различными физическими свойствами, то основным критерием при выборе способа фиксации заготовки будет геометрия конечной детали. При определении метода обработки и технологии будем руководствоваться габаритами детали.

### 3.1 ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ИЗДЕЛИЯ НА ВЫБОР СПОСОБА ВАКУУМНОЙ ФИКСАЦИИ

#### 3.1.1 Фиксация деталей с простой геометрией в плоскости без сквозной обработки.

Изделие, геометрию которого можно поделить на сегменты прямоугольной формы, не требующего сквозной обработки крепят на решетчатый стол.

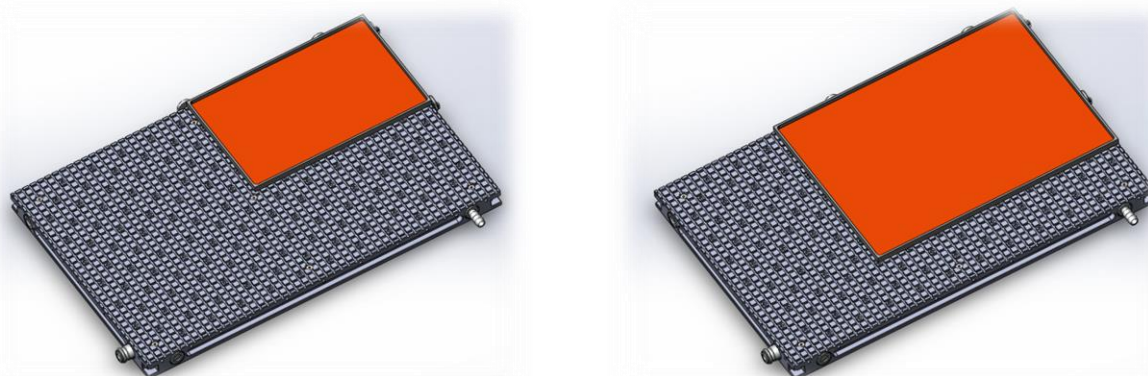


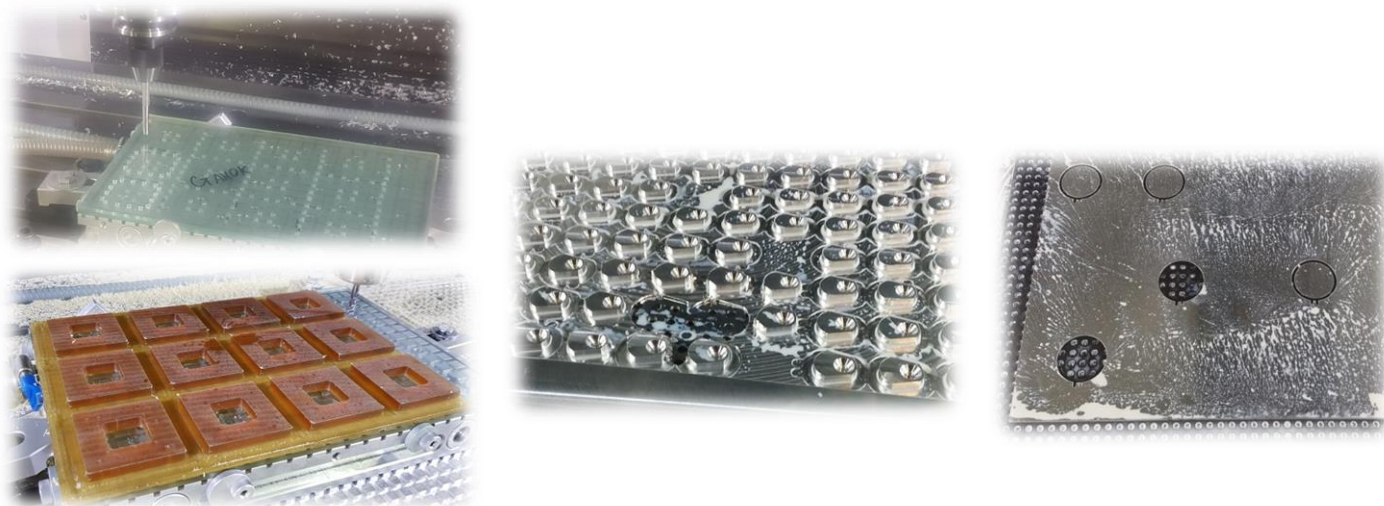
Рис. 11 Примеры фиксации деталей с простой геометрией в плоскости без сквозной обработки

Преимущества данной фиксации:

- Равномерное распределение усилия прижима по всей площади изделия исключает вибрацию на обрабатываемых поверхностях, как следствие снижается значение шероховатости, повышается точность обрабатываемых линейных размеров.
- Оперативная переналадка на различные габариты выполняемых деталей.
- Исключение проблем описанных выше в пунктах: 2.1-2.14.

3.1.2 Фиксация деталей со сложной геометрией в плоскости, подразумевающих также возможность сквозной обработки.

Изделие, геометрию которого сложно поделить на сегменты прямоугольной формы кратные растру решетчатого стола, требующего сквозной обработки крепят на решетчатый стол по средствам полимерных матов и матов VAC-MAT, которые так же позволяют вести сквозную обработку. Кроме этого подобные изделия возможно закрепить на перфорированном вакуумном столе.



А) Корпус платы процессора

Б) Эксцентрик усечённый R10 мм

В) Крышка-диск

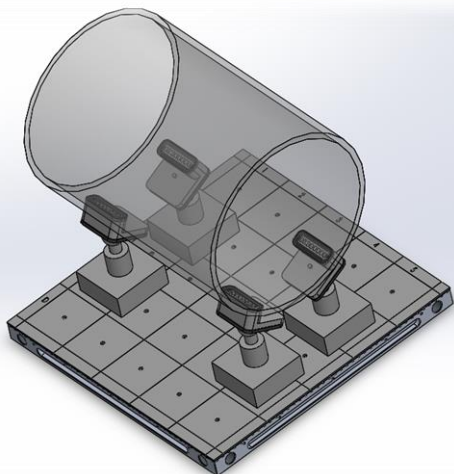
Рис. 12 Примеры деталей со сложной геометрией в плоскости, подразумевающих также возможность сквозной обработки

Преимущества данной фиксации:

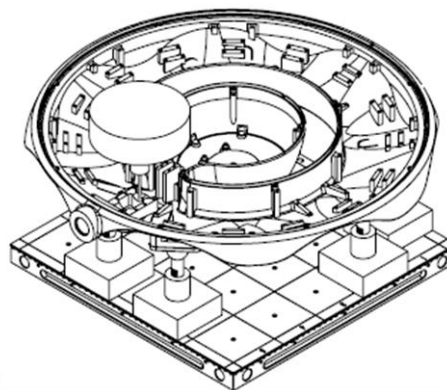
- Равномерное распределение усилия прижима по всей площади изделия исключает вибрацию на обрабатываемых поверхностях, как следствие снижается значение шероховатости, повышается точность обрабатываемых линейных размеров.
- Обеспечение доступа режущего инструмента до всех 5-ти сторон детали при ее фиксации единоразово.
- Обработка изделий с геометрией в плоскости любой сложности, независимо от его габаритов, за счет подготовки полимерного мата индивидуально под специфику детали.
- Оперативность переналадки в рамках опытного и мелкосерийного производства при использовании сплошных полимерных матов.
- Полное исключение переналадки из технологического процесса при использовании полимерных матов VAC-MAT и перфорированного вакуумного стола (метод крепления выбирается в зависимости от геометрических особенностей деталей).

### 3.1.3 Фиксация деталей со сложной пространственной геометрией.

Изделие, имеющее сложную пространственную геометрию, закрепляют посредством вакуумных блочных присосок, в том числе с применением 3D модулей, в зависимости от геометрических особенностей изделия.



А) Фиксация полого цилиндра



Б) Медицинский плафон (отливка)

Рис. 13 Примеры деталей с со сложной пространственной геометрией

Преимущества данной фиксации:

- Фиксация деталей со сложной пространственной геометрией, в том числе закрепление криволинейных поверхностей.
- Обеспечение доступа режущего инструмента до максимально возможного количества зон обработки без промежуточного перемещения элементов фиксации.
- Оперативность переналадки в рамках большого разнообразия изделий.
- Локальное исключение вибрации обрабатываемых поверхностей.
- Простота описания переналадки в технологическом процессе для обслуживающего персонала.

## 3.2 ВЛИЯНИЕ ГАБАРИТОВ ИЗДЕЛИЯ НА ВЫБОР МЕТОДА И ТЕХНОЛОГИИ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

При определении метода обработки и технологии будем руководствоваться габаритами детали. Выделим три типа групп деталей: малые – обрабатываются групповым методом, средние – требуют дополнительной фиксации для сопротивления сдвигу в процессе обработки и большие – не требующие дополнительных изысканий. Значение фиксируемой площади позволяет рассчитать усилие прижима и силу сопротивления сдвигу, с учетом специфики обрабатываемого материала (режимов обработки и сил резания) деталь можно отнести к одной из выше перечисленных групп.

### РАСЧЕТ СИЛ УДЕРЖАНИЯ ДЕТАЛИ НА ВАКУУМНОЙ ОСНАСТКЕ ПРИ ЕЕ ОБРАБОТКЕ

Сила сопротивления сдвигу детали ( $F_{сп}$ ) должна быть больше силы резания. Зная ее значение, подбираются режимы обработки и метод изготовления деталей.

$$F_{сп} = \mu * N,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения материалов (справочные данные),  $N$  – сила нормальной реакции опоры (поверхности вакуумного стола).

$$N = P \cdot S + m \cdot g,$$

где  $P$  – разница давлений (атмосферного и остаточного, зависящее от параметров вакуумного насоса),  $S$  – площадь детали, ограниченная вакуумным контуром,  $m$  – масса детали.

Для простоты и оперативности расчетов вес заготовки не учитывают, в связи с тем, что зачастую это значение мало и незначительно (зависит от габаритов и материала изделия). Значение атмосферного давления составляет 0,1МПа.

Отсюда можно упростить формулу:

$$N = K_v \cdot F(S),$$

где  $K_v$  – значение вакуума в % (показания вакуумметра),  $F(S)$  – значение силы в зависимости от площади.

### **Пример:**

Вакуумный насос создает вакуум 95% от абсолютного значения. Габаритные размеры детали, фиксируемой на решетчатом столе, по площади составляют: 150 мм x 100 мм. Материал детали: сплав на основе алюминия, значение коэффициента трения между алюминиевыми поверхностями составляет  $\mu=0,2-0,4$ .

Сила реакции опоры будет составлять  $N=0,95 \cdot 0,1 \text{ МПа} \cdot 0,015 \text{ м}^2 = 1425 \text{ Н}$ .

ила сопротивления сдвигу соответственно  $F_{\text{сд}} = 0,3 \cdot 1425 \text{ Н} = 427,5 \text{ Н}$ .

## **ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ, ОТНОСЯЩИХСЯ К РАЗЛИЧНЫМ ГАБАРИТНЫМ ГРУППАМ, УЧИТЫВАЮТ СЛЕДУЮЩЕЕ:**

- 3.2.1 При обработке крупногабаритных деталей, как правило, сила сопротивления сдвигу превосходит силу резания и проблем в процессе съема материала не возникает, сдвиг заготовки исключен.

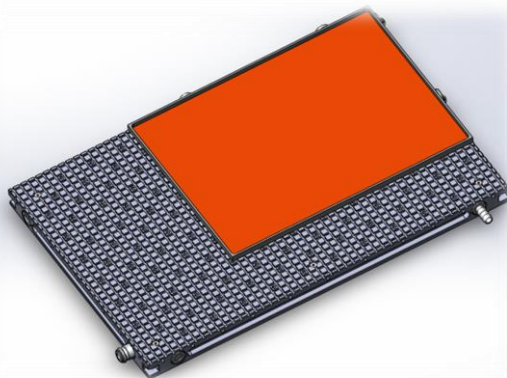


Рис. 14 Пример фиксации крупногабаритной детали с простой геометрией в плоскости без сквозной обработки

- 3.2.2 При обработке деталей с размерами неподходящих под описание крупно- либо малогабаритных возможно смещение заготовки в процессе съема материала. Для исключения данной проблемы используют дополнительные упоры (проставки, закреплённые на вакууме, дополнительные механические упоры либо технологические прилипы, фиксирующиеся в пазах стола). Предпочтителен метод групповой обработки.

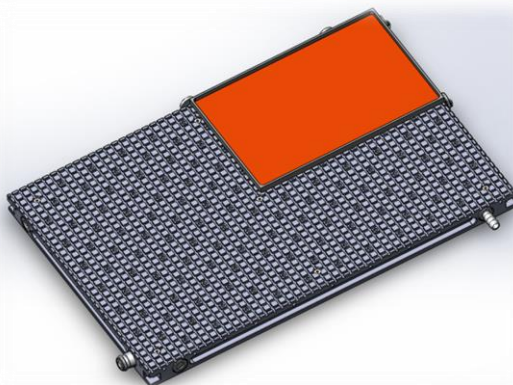


Рис. 15 Пример фиксации детали с недостаточной площадью для фиксации только посредством вакуума

3.2.3 При обработке деталей с малыми габаритными размерами, где сила сопротивления резанию меньше сил, возникающих в процессе съема материала, применяют метод групповой обработки. Основной задачей при разработке стратегии обработки является сохранение максимальной площади заготовки.

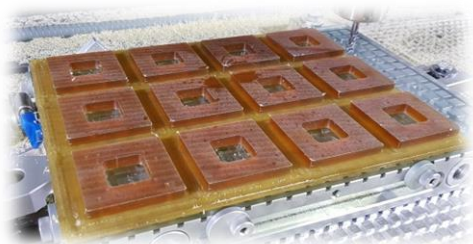


Рис. 16 Примеры групповой обработки

#### **4. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЩНОСТЕЙ ЦЕХА**

При применении вакуумной оснастки, в ряде случаев, возможно повысить эффективность производства за счет технических и технологических преимуществ, по сравнению с применением механических элементов фиксации.

##### **4.1 ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА**

4.1.1 Фиксация изделий осуществляется независимо от вида обрабатываемого материала, позволяет учесть его хрупкость и отсутствие магнитных свойств.

- Позволяет сократить количество применяемой оснастки, как следствие минимизировать время на монтаж и демонтаж таких приспособлений как тиски, магнитный стол и УСП.

4.1.2 Исключение вибрации за счет равномерного усилия прижима.

- Как следствие улучшается качество выполняемых деталей, снижается значение шероховатости обрабатываемой поверхности, повышается точность получаемых линейных размеров.
- Повышается производительность за счет исключения фактора, заставляющего занижать режимы обработки.
- Исключается преждевременная поломка инструмента и выкрашивание режущей кромки (на данный фактор останется влияние, зависящее только от качества обрабатываемого материала и самого инструмента).

4.1.3 Исключение подготовительного времени, затрачиваемого на замену крепежного приспособления при изменении габаритов заготовки.

- Позволяет закреплять детали в различном размерном диапазоне, исключая замену стола.
- Позволяет эффективно использовать рабочие перемещения оборудования, учесть ранее не задействованные области (смыкающиеся механизмы тисков) и предотвратить неравномерный износ ШВП.
- Исключение специализированных оправок для фиксации деталей малых габаритов при использовании метода групповой обработки.

4.1.4 Сокращение подготовительного времени на установку детали на технологическом оборудовании.

- Деталь фиксируется моментально, не затрачивается время на локальную механическую фиксацию.

## **4.2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА**

4.2.1 Унификация заготовок по толщине.

- Эффективное использование материала при назначении заготовок за счет минимальной технологической прибыли по толщине, необходимой для удаления лакирующего слоя проката.
- Унификация режимов резания на заготовительном оборудовании, сокращение времени на переналадку.

4.2.2 Сокращение технологического цикла за счет применения метода групповой обработки (изготовление нескольких деталей из листа).

- Разгрузка заготовительного участка за счет унификации заготовок по формату и снижения требований к точности их выполнения.
- Сокращение потребности в разнообразии заготовительного оборудования (гидроабразивная резка, лазерная резка и т.п.).
- Отказ от дополнительных технологических операций по подготовке заготовки к фиксации на технологическом оборудовании (подготовка параллельных сторон для зажатия в тиски).

4.2.3 Сокращение времени, затрачиваемого на разработку и изготовление специализированных оправок.

- Разгрузка технического и технологического бюро при опытном производстве.

4.2.4 Повышение точностных параметров изготавливаемой детали.

- Доступ режущего инструмента со всех 5-ти сторон детали позволяет выполнить ее за один установ без пережатия, тем самым исключив сдвиг (дополнительную выверку и корректировку ноля) и переходы в зонах перекрытия обработки.

4.2.5 Сокращение брака и предотвращение поломки инструмента за счет сокращения сопутствующих факторов при изготовлении деталей.

- Отсутствие механических элементов крепления в зоне обработки позволяет программисту-технологу забыть о проблеме зон безопасности.

4.2.6 Минимизация и исключение человеческого фактора позволяет привлечь к работам на технологическом оборудовании менее квалифицированных операторов.

- Исключение повреждений узлов станка, порчи детали и инструмента из-за забытого монтажного инструмента в зоне обработки.
- Исключение фактора, связанного с чрезмерным (упругая либо пластическая деформация геометрии) или недостаточным (подрыв заготовки) усилием фиксации детали.

## 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Все заводы, связанные с металлообработкой, в настоящее время ориентируются на обрабатывающие центры и станки с ЧПУ. Преимущества данного оборудования: повышение производительности, повышение качества выпускаемого изделия и снижение его себестоимости.

В совокупности с применением вакуумной оснастки и применением оптимальных методов и стратегий обработки изделий позволяют максимально повысить экономическую эффективность выпуска конечной продукции.

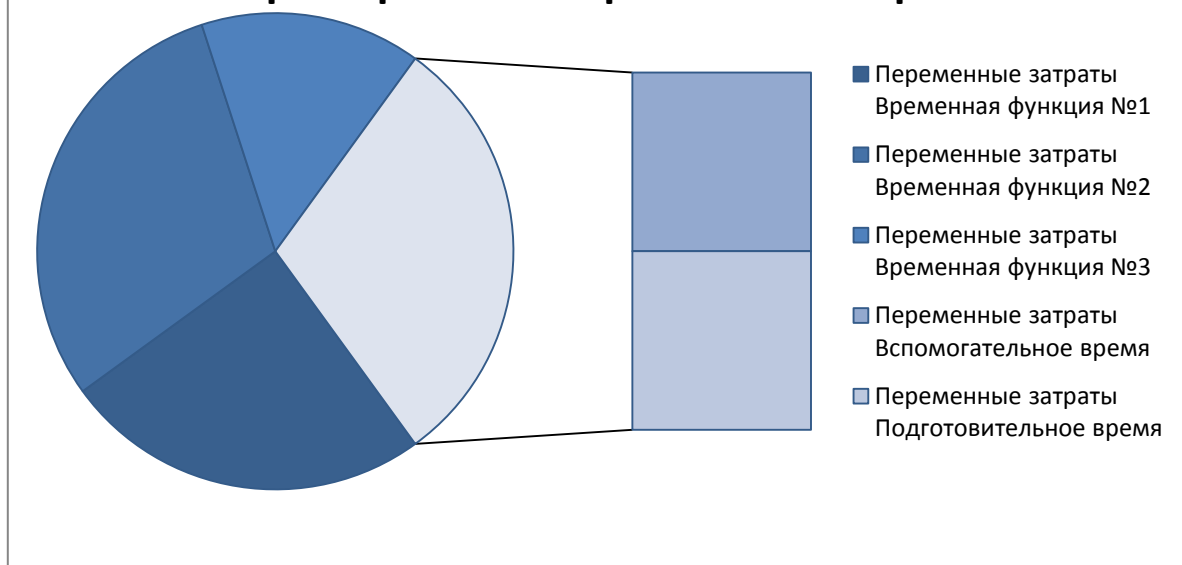
Себестоимость изделия можно представить в виде двух составляющих:

- Постоянные затраты, на которые нельзя повлиять за счет изменения технологии либо повышения производительности, факторы которые не зависят от времени (стоимость сырья, инструмента, амортизация оборудования и т.п.). Они составляют примерно 30-40 % от конечной стоимости изделия, снизить их можно незначительно и не суммарно, а применительно к конкретной области затрат: 3-5% от стоимости сырья, до 10% от инструмента и т.п. Как следствие постоянную часть затрат суммарно возможно снизить на 2-3%.



- Переменные затраты, являющиеся временными функциями (заработная плата персонала, аренда помещения, потребление энергоресурсов для обеспечения работоспособности технологического оборудования во время его **простоя** и функционирования) составляют оставшиеся 60-70%. На данные затраты можно существенно повлиять и снизить их в 2-3 раза за счет снижения общего времени выпуска деталей. Пример: производительность при использовании старой технологии 1 дет/час, при новой - 3 дет/час.

## Пример состава временных затрат



Рассмотрим упрощенный вариант основных временных затрат при выпуске продукции и факторы позволяющие его сократить.

Суммарное время выпуска детали включает в себя машинное время ( $T_m$ ), подготовительное время ( $T_p$ ) и вспомогательное ( $T_v$ ):  $T_o = T_m + T_p + T_v$ .

- На машинное время оказывает влияние производительность обработки (обороты шпинделя станка, материал и геометрия режущего инструмента), ограничивающаяся только параметрами обрабатываемого материала (скорость резания).
- Подготовительное время затрачивается на переналадку (монтаж/демонтаж) крепежных приспособлений, изготовление специализированных оправок (дополнительные материальные и временные ресурсы), подготовку режущего инструмента. Сокращение данного параметра зависит от величины партии выпускаемых деталей. *При применении рациональных методов обработки данные временные затраты возможно максимально сократить либо исключить полностью ( $T_p \rightarrow 0$ ).*
- Вспомогательное время затрачивается на монтаж/демонтаж детали в зоне обработки и ее пережим при необходимости (фиксация в тиски, УСП, применение локальных механических прижимов). При унификации систем крепления и исключения механических элементов фиксации данный параметр сокращается максимально, за счет моментальной фиксации заготовок ( $T_v \rightarrow 0$ ).

В итоге приближаем суммарное время выпуска детали к машинному  $T_o = T_m + (T_p \rightarrow 0) + (T_v \rightarrow 0)$   
 **$T_o \rightarrow T_m$**

При использовании группового метода обработки также возможно добиться сокращения технологического цикла изготовления деталей. Исключить заготовительный цикл, цикл подготовки поверхностей, используемых для фиксации заготовок на технологическом оборудовании. Как следствие разгрузить оборудование цеха и использовать его по необходимости для изготовления других деталей. Полностью исключить время на транспортировку деталей между участками, которые ранее участвовали в технологическом цикле.

Все это в совокупности существенно позволяет сократить время на изготовление продукции и повлиять на переменные затраты, снизив их до 3-х раз.

## **6. ВЫВОДЫ**

Применение вакуумных систем крепления позволяет вывести производство изделий на новый, более высокий качественный уровень и положительно повлиять на рентабельность выпускаемой продукции.

- Повысить качество выпускаемых деталей.
- Исключить преждевременную поломку инструмента, вызванную вибрацией.
- Снизить влияние человеческого фактора на качество изделий и на процент брака.
- Улучшить условия труда оператора за счет применения оснастки, сделанной с применением требований правил эргономики.
- Разгрузить оператора, обеспечив возможность многозадачности (промежуточная подготовка и более частый контроль деталей из серии, обслуживание нескольких единиц оборудования и т.п.).
- Сократить технологический цикл изготовления деталей.
- Минимизировать общее время, затрачиваемое на изготовления деталей, и приблизить его к машинному.
- Снизить себестоимость продукции.
- Система пригодна для выпуска серийной продукции и выполнения опытных деталей.

*ООО «ПТЦ «ВЕКТОР»*