

ГЛАВА 6.<sup>6</sup>**ЕВОЛЮЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ АГРЕГАТНИХ ФРЕЗЕРНИХ ГОЛОВОК  
ДЛЯ ОБРОБКИ ШИРОКИХ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ***THE EVOLUTION OF STRUCTURES OF AGGREGATE MILLING HEADS FOR PROCESSING  
WIDE FLAT SURFACES***DOI: 10.30888/2663-5569.2022-21-02-004****Введение**

Повышение эффективности обработки плоскостей заготовок, имеющих большие габариты, является актуальной задачей, поскольку подобных изделий с широкими или протяженными плоскими поверхностями существует достаточно большое количество и разнообразие. Торцовое фрезерование является одним из наиболее производительных методов обработки плоских поверхностей заготовок. Существует большое количество конструкций торцовых фрез и агрегатных фрезерных головок (АФГ), предназначенных для обработки плоскостей разной ширины [1, 2].

Обработка заготовок торцовыми фрезами диаметром 40 - 250 мм производится на широкой гамме станков фрезерно-расточной группы. Применение же фрез диаметром 315 мм и более влечет за собой необходимость использования соответствующего крупногабаритного оборудования, обладающего шпинделями больших размеров. Это не всегда экономически оправдано, поскольку такое оборудование является дорогостоящим и энергоемким. Также при установке фрезы в шпинделе станка на обычную оправку жесткость технологической системы как правило снижается, поскольку корпус фрезы испытывает значительные изгибающие деформации от сил резания (рис.1).

**6.1. Пути повышения жесткости при установке торцовой фрезы.**

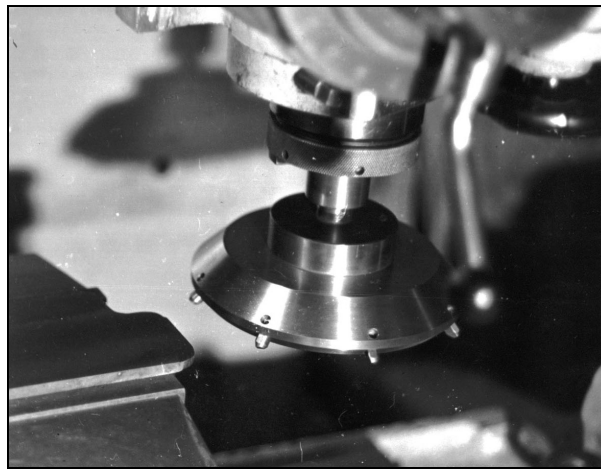
С целью повышения жесткости технологической системы, а именно –

---

<sup>6</sup>*Автор: Кушніров Павло Васильович*

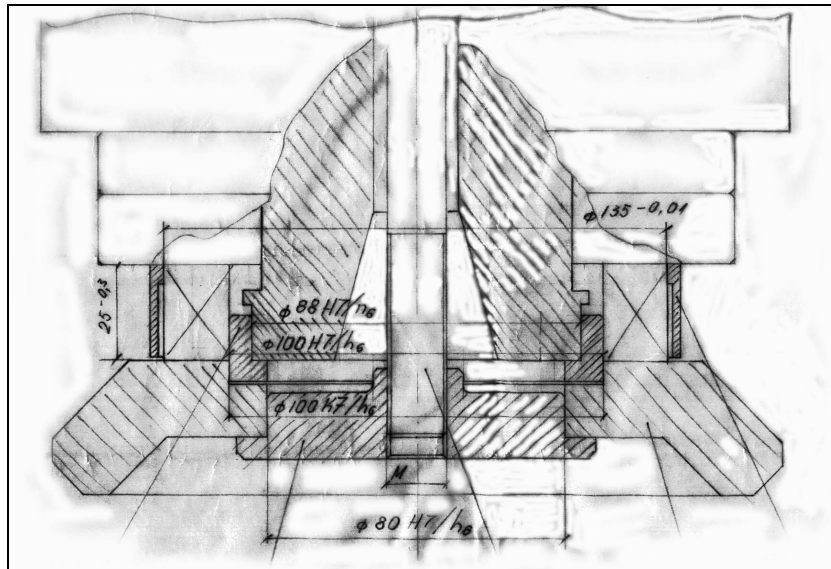


снижения податливости торцевой фрезы относительно металлорежущего станка, было предложено обеспечивать базирование корпуса фрезы по максимально возможному диаметру посадочного торца. Иными словами, необходимо минимизировать возможные изгибные деформации фрезы, обеспечив «замыкание» осевой составляющей силы резания непосредственно на жесткие элементы станка, например, на бабку или корпус. Данная идея прошла апробацию в ходе выполнения П.В.Кушнировым и О.А.Топоровым научно-исследовательской работы на болгарском предприятии «Будущность» в г.Чирпан.



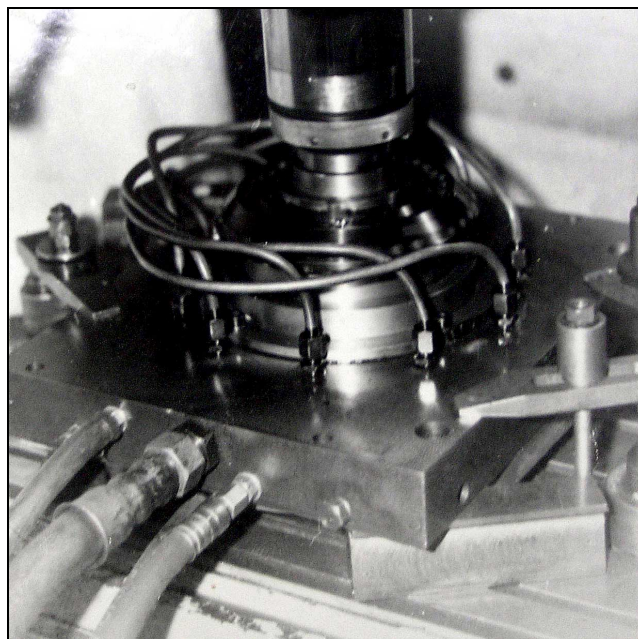
**Рисунок 1 - Пример нежесткой установки торцевой фрезы на оправке в шпинделе станка**

Экспериментально было подтверждено теоретическое положение, что результатом повышения жесткости будет улучшение шероховатости обработки, а также возможность работать с высокими режимами резания. В качестве заготовок выступали секции корпуса распределителя РХ346 из серого чугуна СЧ30. Инструмент – торцевая фреза с режущими вставками из сверхтвердых материалов, в частности композита 01 (эльбора-Р). Торцевая фреза устанавливалась на специальной высокоскоростной шпиндельной головке СГ200, что обеспечивало скорости резания более 2000 м/мин. Шероховатость обработки находилась в пределах Ra 0,4-0,8. Сохранился эскиз первого экспериментального узла базирования корпуса фрезы торцом по упорному подшипнику (рис.2).



**Рисунок 2 - Эскиз экспериментального узла базирования корпуса фрезы торцем по упорному подшипнику**

Поскольку чистовое фрезерование с применением сверхтвердых материалов предполагает необходимость обеспечения высоких скоростей резания и жесткости системы, то были проведены исследования по разработке конструкции шпиндельного узла для торцовых фрез на гидростатических подшипниках [3], (рис.3).

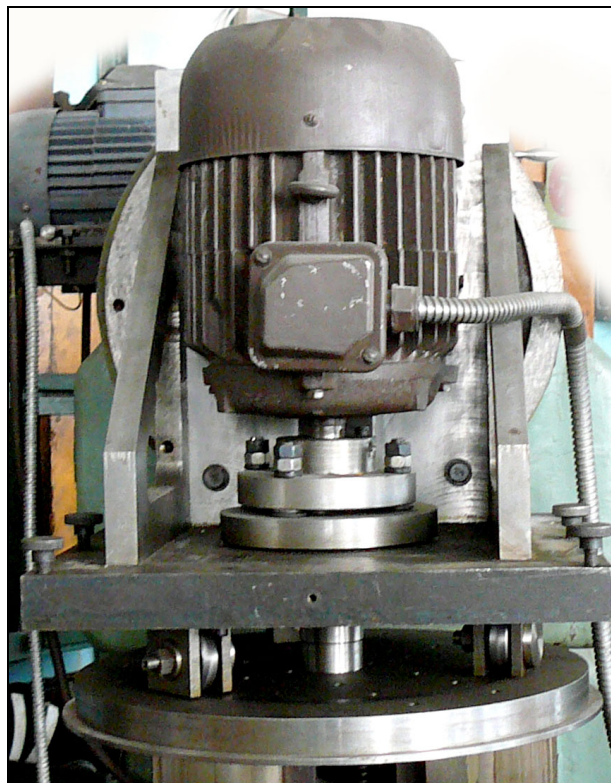


**Рисунок 3 - Шпиндельный узел повышенной жесткости с гидростатическим подшипником**



Разработанный шпиндельный узел позволяет автоматически регулировать толщину масляного слоя при высокой жесткости системы. Шпиндель показал хорошие результаты, однако в связи с необходимостью обеспечивать его достаточно громоздкой гидравлической аппаратурой, более приемлемым вариантом оказались конструкции агрегатных фрезерных головок на подшипниках качения.

В частности разработана и исследована конструкция АФГ, содержащая радиальные подшипники для базирования корпуса фрезы по торцу [4], (рис.4).



**Рисунок 4 - АФГ с радиальными подшипниками качения для базирования корпуса фрезы по торцу**

АФГ с базированием торца фрезы в осевом направлении по периферическим поверхностям как минимум трех радиальных (радиально-упорных) подшипников позволяют повысить в 1,5-2,5 раза допустимую частоту вращения фрезы по сравнению с вариантом, показанным на рисунке 2. Это дает возможность в более полной мере использовать рекомендуемые скорости резания для инструмента, оснащенного сверхтвердыми материалами.





## 6.2. АФГ с упорными и радиальными подшипниками качения.

Исследования коснулись дальнейшего развития конструкций АФГ с узлом базирования корпуса фрезы торцом по упорному подшипнику (рис.2). Именно такая схема позволяет обеспечить достаточную жесткость технологической системы наряду с экономической целесообразностью разработки. Также данная схема позволяет реализовать и расширить способы обработки широких плоских поверхностей.

Было определено, что возможность применения торцовых фрез большого диаметра на станках как крупных, так и сравнительно небольшой мощности, может быть обеспечена установкой на них специальных АФГ с индивидуальным приводом вращения, обладающих повышенной жесткостью шпиндельного узла. Такие головки компактны по габаритам, конструктивно просты и экономичны в эксплуатации. АФГ подобного типа могут монтироваться на станинах, направляющих, лобовинах станков или фрезерных бабках, при необходимости не мешая выполнению работ основным шпинделем станка. В зависимости от конструкции, размеров и типа опор качения, данные АФГ обладают высокой осевой жесткостью (порядка 250 Н/мкм) и обеспечивают длительный режим работы с высокими частотами вращения шпинделя (более 1500 об/мин.). Примером такой конструкции может служить АФГ с базированием торца фрезы по упорному подшипнику качения и с центрированием по радиальному подшипнику качения. Подобные АФГ (рис.5, б) представляют собой жесткое Г-образное соединение двух плит (шпиндельной и подмоторной) с боковыми ребрами жесткости.

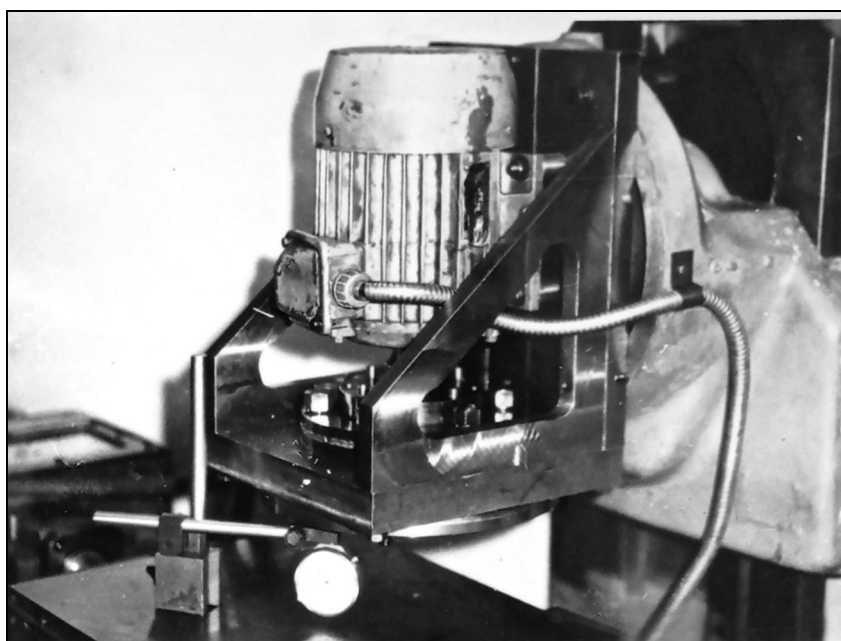
Длительную промышленную эксплуатацию прошла АФГ, содержащая торцовую фрезу диаметром 315 мм (рис.7, б) [5]. АФГ была установлена на лобовине продольно-фрезерного станка мод.6М616Ф11 таким образом, чтобы не мешать работе основному шпинделю станка. Использование данной АФГ позволило исключить операцию чистового строгания крупногабаритных заготовок столов бумагорезательных машин и сохранить от преждевременного



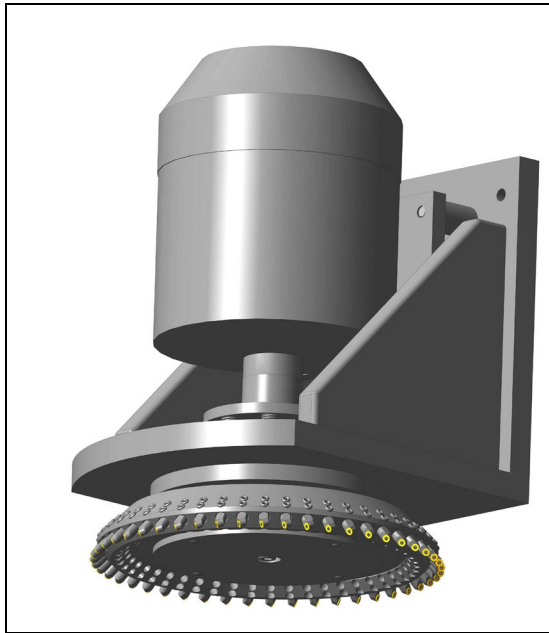
изнашивания основной шпиндель станка (не требовалось работать на максимальных предельных частотах вращения шпинделя). Конструктивно торцовая фреза в осевом направлении установлена на упорный подшипник качения особолегкой серии №8144, а сверху через полумуфту установлен упорный подшипник качения особолегкой серии №8122. В радиальном направлении фреза базируется по радиальному подшипнику качения легкой серии №220.



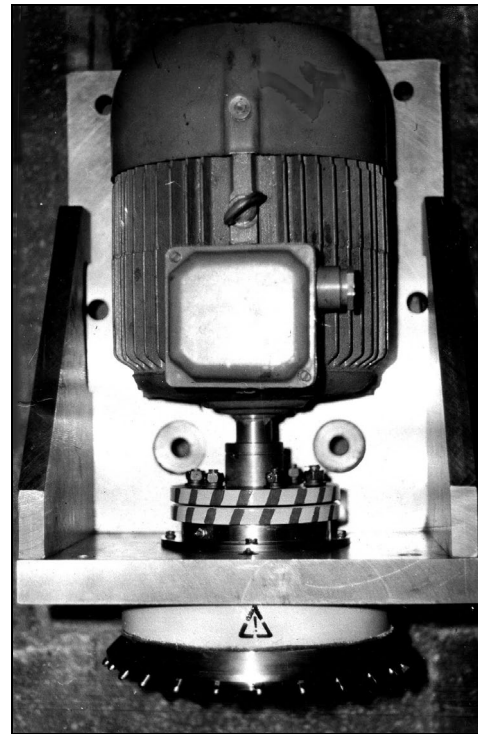
**Рисунок 5 - Вариант АФГ с базированием торца фрезы по упорному подшипнику и с центрированием по радиальному подшипнику качения**



**Рисунок 6 - Другой вариант АФГ с подшипниками качения**



а)



б)

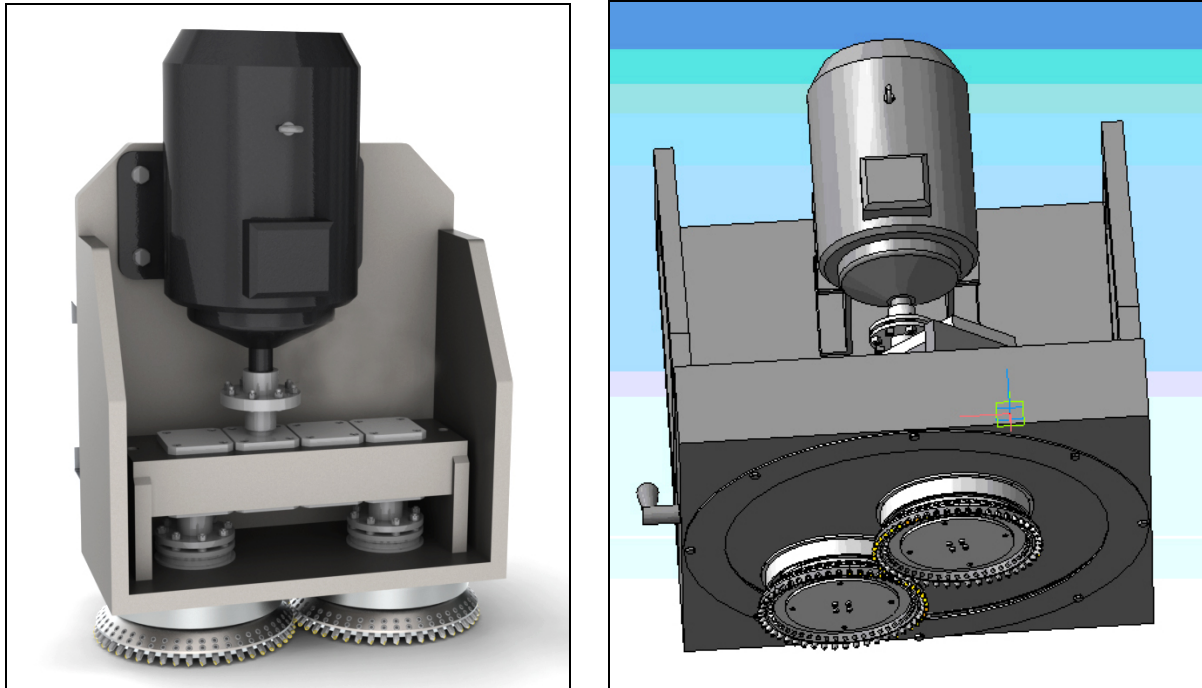
**Рисунок 7 - 3D-модель АФГ (а) и заводской вариант АФГ (б),  
содержащей торцовую фрезу диаметром 315 мм**

Одним из вариантов решения проблемы обработки крупногабаритных плоскостей является использование АФГ, содержащих как минимум две торцовые фрезы с пересекающимися траекториями режущих элементов [6, 7, 8, 9]. Такое техническое решение позволяет получать при обработке непрерывную плоскую поверхность за один проход, при этом диаметры используемых торцовых фрез меньше ширины обработки. Торцовые фрезы размещают таким образом, чтобы оси шпинделей, на которых фрезы установлены, находились в одной плоскости, перпендикулярной направлению рабочей подачи. При этом режущие ножи одной фрезы располагаются между ножами другой (рис.8, а).

Для обработки «закрытых» пазов или поверхностей с ограничениями в виде боковых буртов разработана конструкция АФГ, имеющая возможность регулирования рабочей ширины фрезерования. При этом шпиндельный блок, содержащий две торцовые фрезы с пересекающимися траекториями режущих ножей, может поворачиваться на угол в диапазоне 0-360°. При таком повороте



изменяется возможная ширина обработки от номинальной (равной примерно сумме диаметров фрез) до минимальной (равной одному диаметру фрезы). Указанный настроечный поворот с последующей фиксацией данного взаимного углового положения пары фрез осуществляют до начала обработки (рис.8, б). Таким образом, наличие механизма поворота шпиндельного блока расширяет технологические возможности АФГ.



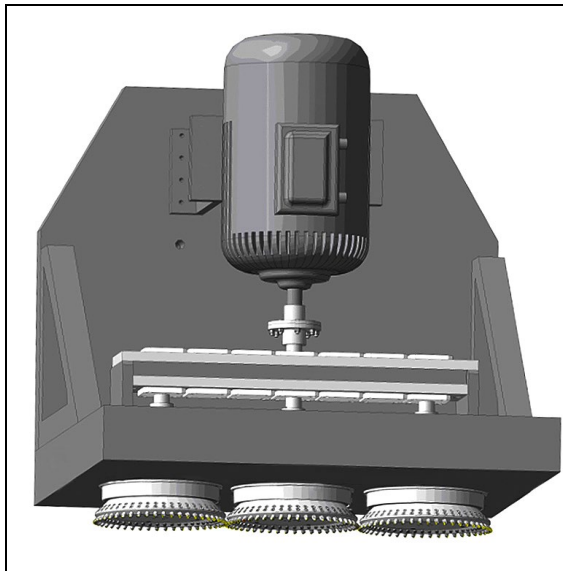
а)

б)

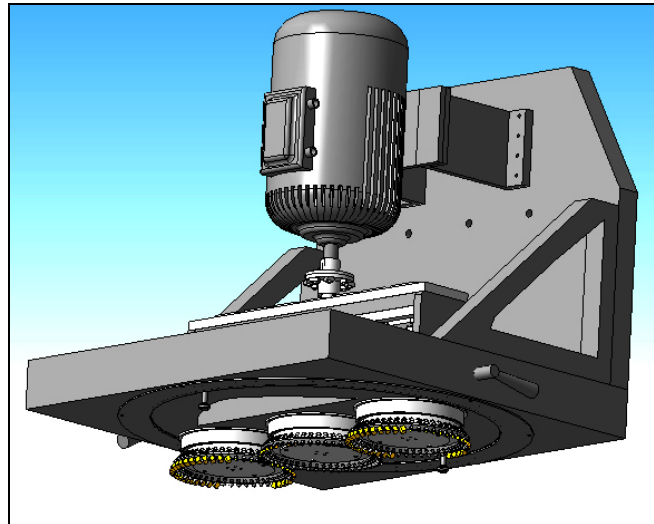
**Рисунок 8 - 3D-модель АФГ, содержащей две торцевые фрезы с пересекающимися траекториями режущих элементов (а), и аналогичный вариант АФГ с поворотным шпиндельным блоком (б)**

Похожие задачи решаются с помощью конструкции АФГ, содержащей три торцевые фрезы с пересекающимися траекториями режущих ножей [10, 11]. Данная АФГ также позволяет получать при обработке непрерывную плоскую поверхность за один проход. На рисунке 9 (а) представлена 3D-модель АФГ, содержащей три торцевые фрезы без возможности поворота шпиндельного блока, а на рисунке 9 (б) – показана 3D-модель АФГ с тремя торцевыми фрезами с поворотным шпиндельным блоком.





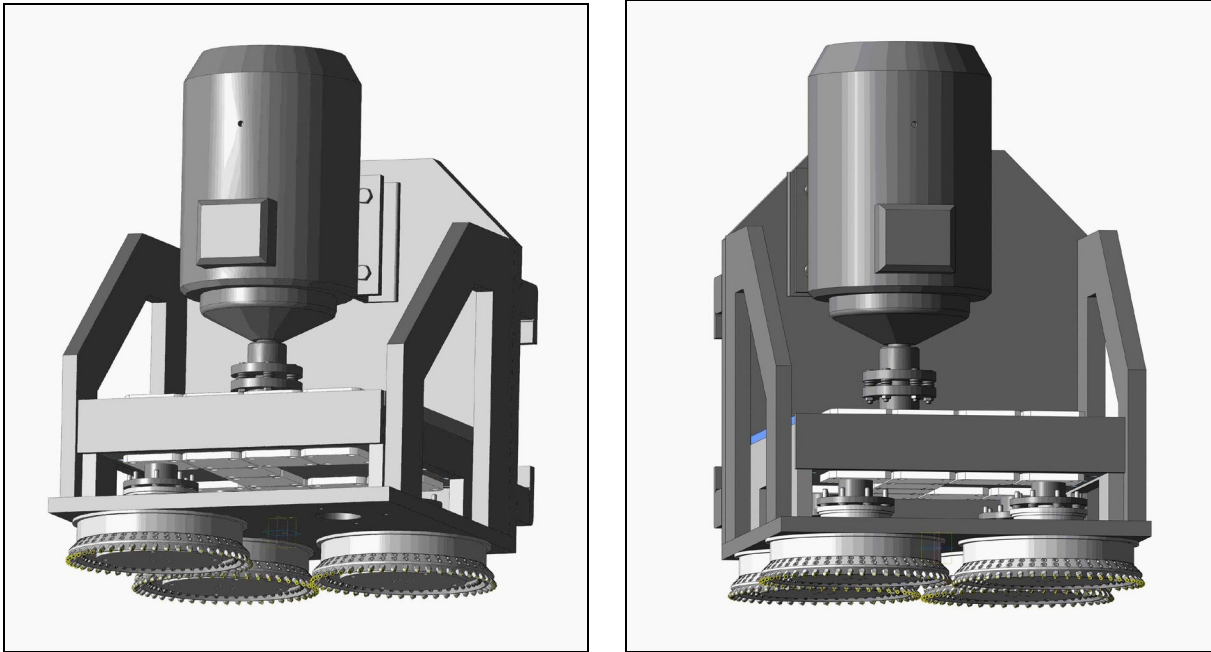
а)



б)

**Рисунок 9 - 3D-модель АФГ, содержащей три торцевые фрезы с пересекающимися траекториями режущих элементов (а), и аналогичный вариант АФГ с поворотным шпиндельным блоком (б)**

Чтобы осуществить фрезерование широких плоскостей в двух взаимно перпендикулярных направлениях не меняя позиции заготовки, предложена конструкция АФГ, содержащая три («АФГ-триплет», рис.10, а) или четыре («АФГ-квадро», рис.10, б) торцевые фрезы. Отличительной особенностью данных АФГ является взаимно перпендикулярное расположение торцевых фрез. При этом каждая пара соседних фрез установлена таким образом, чтобы обеспечивалось пересечение соответствующих траекторий режущих ножей [12, 13]. Эти АФГ позволяют производить обработку плоских поверхностей заготовок с шириной фрезерования, равной удвоенному диаметру торцевой фрезы за вычетом небольшой величины перекрытия траекторий ножей. Причем «АФГ-квадро» может вести фрезерование при любом относительном перемещении АФГ и заготовки (вперед, назад, влево, вправо). Практически теми же качествами обладает и «АФГ-триплет», только в одном из перпендикулярных направлений она требует дополнительное перемещения на величину перебега, равную диаметру фрезы.



а)

б)

**Рисунок 10 - 3D-модель АФГ с тремя (а) и четырьмя (б) торцовыми фрезами для фрезерования широких плоскостей в двух взаимно перпендикулярных направлениях**

## **Выводы**

Исследование посвящено вопросам обработки широких плоских поверхностей торцовым фрезерованием. Для повышения жесткости системы предложено устанавливать корпус фрезы по максимально возможному диаметру посадочного торца. Рассмотрены конструкции шпиндельного узла на гидростатических подшипниках, а также АФГ с радиальными подшипниками качения для базирования корпуса фрезы по торцу. Также представлены варианты АФГ с базированием торца фрезы по упорному подшипнику и с центрированием по радиальному подшипнику качения. Показано, что рассмотренные АФГ обладают высокой осевой жесткостью порядка 250 Н/мкм.

Также плоскости широких заготовок предложено обрабатывать с помощью АФГ, содержащих две, три или четыре торцовые фрезы с пересекающимися траекториями режущих ножей. Конструкции данных АФГ могут иметь поворотный шпиндельный блок для регулирования ширины фрезерования, что позволяет расширить технологические возможности АФГ, в частности, по



обработке разных по ширине плоскостей заготовок, в том числе «закрытых», с ограничениями в виде боковых буртов.