



Аэрокосмический колледж СибГАУ им. Академика М. Ф. Решетнева



**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО  
ФРЕЗЕРОВАНИЯ  
ВАФЕЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК**

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛИ:  
ПОДДУБСКАЯ Т.И  
ГУЛЯЕВ А.А

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:  
ГЕРЮКОВ А.Ш.



Целью нашей научной работы является:

- Получение ячеек вафельного фона для усиления силовых и прочностных характеристик корпусов ракетоносителей.
- Возможные виды брака при выполнении операции вафельного фона.
- Способы контроля качества изделий с вафельным фоном.
- Применение автоматизированного ультразвукового контроля в процессе изготовления и обработки вафельного фона
- Экономическая эффективность применения данной гибридной технологии



## Что такое вафельный фон

## Основной способ обработки ячеек

Вафельные оболочки (ВО) представляют собой оболочки цилиндрической, конической и сферической формы, являющиеся основными несущими элементами корпусов специальных изделий. Для большинства ВО материалами служат легкие сплавы на алюминиевой или магниевой основе. В производстве ВО обычно применяют алюминиевый сплав АМгб, упрочненный холодным деформированием (обжатием с нагартовкой) в листах при их прокатке. Иногда применяют термоупрочняемые алюминиевые сплавы, механические свойства которых аналогичны свойствам нагартованных сплавов АМгб.

Основным способом обработки ячеек вафельного фона оболочек является механическое фрезерование на специальных фрезерных станках с ЧПУ, обеспечивающих получение заданных в соответствии с конструкторской документацией размеров сетки ребер. При этом заготовка оболочки (лист, плита) может либо иметь заданную форму (цилиндр, конус и т.п.), либо находиться в исходном плоском виде.

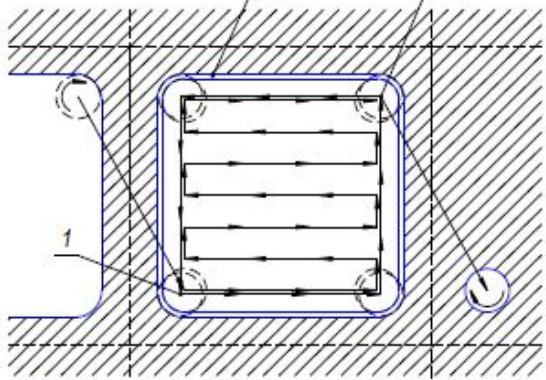


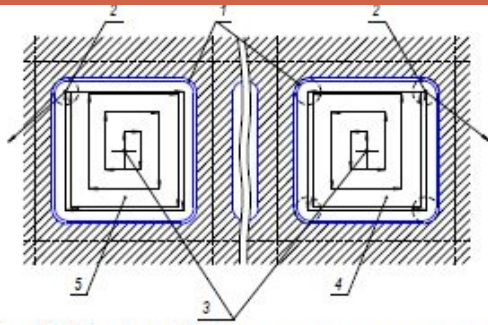
Рис. 1. Типичный цикл фрезерования ячейки: 1 – начало обработки (врезание); 2 – слой обработки по контуру; 3 – конец обработки (отвод фрезы).

Типичный цикл фрезерования ячейки складывается из следующих переходов: врезание инструмента на глубину ячейки, выбор основной массы металла ячейки, обход по контуру ячейки, отвод инструмента, переход инструмента к следующей ячейке [\(рис. 1\)](#).

Переход врезания на глубину ячейки может выполняться двумя способами:

1. Осевым перемещением фрезерной головки при неподвижной заготовке;
2. Комбинированным, состоящим из осевого перемещения фрезы и одной из её рабочих подач (круговой или линейной).

## Цикл фрезерования ячейки



**Рис. 2.** Циклы обработки ячеек раскруткой:  
 1 – слой обработки по контуру; 2 – конец обработки; 3 – начало обработки;  
 4 - попутное фрезерование; 5 – встречное фрезерование.

Переход выборки основной массы металла ячейки можно осуществлять по различным схемам: фрезерованием «строчками», начиная обработку в одном из углов ячейки, или фрезерованием по схеме «возрастающих квадратов», или раскруткой. (рис. 2)

При фрезеровании по строчкам происходит чередование характера подач, встречной и попутной, при возрастающих квадратах можно установить одну неизменную подачу, встречную или попутную. Обход ячейки по контуру всегда проводится с пониженной подачей и только при попутном фрезеровании.

**Фрезерование  
по строчкам**



Типовыми режущими инструментами для обработки ячеек ВО являются концевые твёрдосплавные фрезы диаметром до 16 мм с числом зубьев 2 или 3.

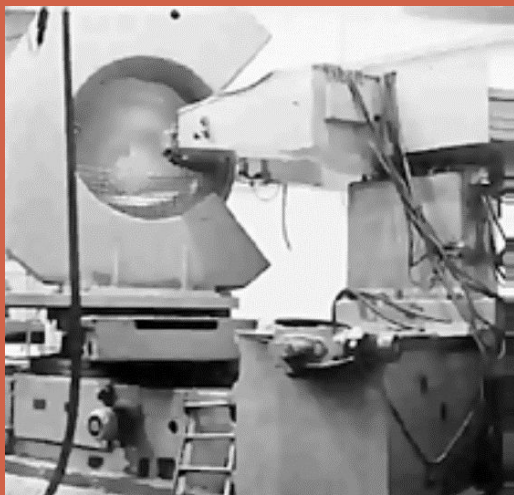
Изготовление ВО с использованием станков СВО позволяет избежать трудностей, связанных с гибкой плоских вафельных оболочек и получить корпусные детали с точностью по геометрии обводов лучше, чем 1,0мм на 1000мм и точность по толщине полотна и ребер на уровне  $\pm 0,1 \dots 0,2$ мм, что удовлетворяет требованиям отраслевого стандарта.



Технологический процесс изготовления ВО, построенный на применении станков систем высокоточной обработки (СВО) признают основным. Использование схемы обработки по спирали с радиусами исключает точки останова фрезы в углах, улучшая условия ее работы. Поэтому, внедрение схемы обработки по спирали с радиусами и назначение рациональных режимов фрезерования в 2,5 раза повысили производительность чернового фрезерования типовых ячеек.

Одним из важных факторов при ВСО является не только снижение величины крутящего момента в зоне высоких скоростей, но и перераспределение тепла в зоне резания. При небольших сечениях среза в данном диапазоне скоростей основная масса тепла концентрируется в стружке, не успевая переходить в заготовку. Поэтому считается, что высокоскоростное фрезерование базируется на сокращении количества тепла, возникающего при обработке резанием, которое обычно и является причиной износа инструмента.

Исследования, проведенные во время ВСО с правильно подобранными параметрами, показали, что 75% произведенного тепла отводится со стружкой, 20% – через инструмент и 5% – через обрабатываемую деталь.



В связи с уменьшением сил резания при ВСО, на качество обрабатываемой поверхности и на износ режущего инструмента большее влияние начинают оказывать биение фрез, вибрации и инерционные нагрузки, соизмеримые с силами резания. Биение инструмента сильно влияет на его износ. Это подтверждается многочисленными экспериментальными данными. Зависимость износа инструмента от его биения при высоких скоростях резания практически линейная. Высокие скорости резания выдвигают высокие требования к балансировке инструмента. Для этого могут использоваться специальные зажимные патроны с возможностью балансировки или предварительно сбалансированные оправки для термозажима. Специально для высокоскоростной обработки спроектированы конусы HSK, которые обеспечивают более высокую жесткость зажима.





## Процесс создания вафельного фона в цилиндрической обечайке ДСЕ ракетоносителя

Преимущество ВСО получается также за счет обработки в надкритическом диапазоне колебаний: при высоких частотах вращения, которые используются при ВСО, значительно превышаются частоты собственных колебаний детали, инструмента и компонентов станка. Благодаря небольшим поперечным сечениям среза, силы резания невелики, что благоприятно сказывается на точности обработки. Отмечается высокое качество получаемой поверхности, отсутствие дробления при резании, возможность обработки тонкостенных изделий.

Для снижения динамических нагрузок при ВСО во время резкой смены направления движения инструмента необходимо, чтобы он двигался по гладкой траектории. При наличии углов в траектории движения инструмента, где изменяется направление движения, он вынужден остановиться. Снижение нагрузки в этот момент вызывает врезание инструмента в тело детали и, как следствие, на поверхности детали остаются следы.



Традиционная строчная обработка не может быть признана оптимальной для ВСО. Предпочтение должно отдаваться спиральным траекториям движения, где инструмент однажды врезавшись, сохраняет непрерывный и равномерный контакт с заготовкой. Рекомендуются также стратегии эквидистантного смещения контура, которые сохраняют контакт инструмента с заготовкой длительное время с одним заходом и выходом. Это же правило равномерных нагрузок диктует технику обработки внутренних скруглений.

При ВСО надо стремиться исключать обработку фрезами с радиусами равными радиусам скругления на детали. При фрезеровании ячеек, в местах скруглений, как видно на [рис. 4](#), это вызывает резкое увеличение сечения среза и соответственно нагрузки на инструмент, и если он будет ломаться, наверняка он будет ломаться именно в этих местах.



## Заключение

Освоение на предприятии технологий высокоскоростной обработки позволит производить обработку деталей, добиваясь высокой точности расположения и высокого класса чистоты поверхностей, что позволит исключить из технологического процесса дополнительные финишные операции ручной полировки.

Из анализа состояния вопроса фрезерования вафельных оболочек различного вида, являющихся основным несущим элементом корпусов специальных изделий, следует, что существующая технология обработки требует усовершенствования с целью повышения ее эффективности. Решение этой задачи может быть достигнуто за счет выбора наиболее рационального метода обработки с обеспечением заданного уровня качества поверхностного слоя деталей, а именно – применением высокоскоростной механической обработки.

# Фрезерование ячеек



# Готовая продукция с вафельным фоном

