

## Ротационная вытяжка в ФГУП «НИИМаш»

А.И. Дудин

В связи с потребностью в создании легких конструкций высокой прочности и точности для космических летательных аппаратов появилась потребность в изготовлении тонкостенных осесимметричных оболочек типа труб, полусфер, конусов с прямолинейной и криволинейной образующими, переменной и постоянной толщиной стенки.

Прогрессивным методом получения подобных деталей является ротационная вытяжка (РВ), которая, по сравнению с механической обработкой, обеспечивает малый расход металла и более высокую производительность, а относительно вытяжки на прессах позволяет получить детали с повышенной точностью по толщине стенки и более высокими прочностными характеристиками, и использовать оборудование меньшей мощности, достигая большей степени деформации.

На рисунке 1 представлена номенклатура деталей, изготавливаемых методом ротационной вытяжки (РВ). Обрабатываемые материалы сопел - жаропрочная сталь 12Х18Н10Т3, жаропрочный сплав 5В2МЦ, деталей баков - алюминиевые сплавы АД1 и АМг6, технический титан марки ВТ1-0.



**Рисунок 1. Номенклатура деталей, изготавливаемых РВ (сверхзвуковые части сопел жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРДМТ), теплозащитный кожух ЖРДМТ 11Д458М, полусферы и диафрагмы двухкомпонентного и однокомпонентного баков)**

Ротационная вытяжка в НИИМаш начала развиваться с начала 1980-х гг. В связи с расширением номенклатуры и увеличением объемов производства ЖРДМТ появилась потребность в изготовлении сверхзвуковых частей сопел наиболее экономичным способом – ротационной вытяжкой за один переход из листовой дисковой заготовки. Ранее сопла подвергались механообработке объемноштампованного полуфабриката. Следует отметить, что сопла с заданной переменной толщиной стенки никаким другим методом обработки давлением получить нельзя, только РВ.

Конечно, сопла можно получить методом токарной обработки листового или объемно-штампованного полуфабриката. Но для того, чтобы изготовить листовую или объемно-штампованную заготовку, необходимо провести несколько переходов штамповки с привлечением дополнительного оснащения и оборудования.

Так, например, для РВ сдвигом конкретной детали (например, сопла) нужна одна специальная оправка и один давящий ролик, а для штамповки-вытяжки той же детали - как правило, несколько комплектов весьма сложных вытяжных штампов, состоящих из матрицы, пуансона, прижима, съемника или выталкивателя. Также при токарной обработке штампованного полуфабриката значительно уменьшается коэффициент использования материала (до 10%).

Коэффициент использования материала при РВ может достигать 80-90 %. При токарной обработке штампованного полуфабриката происходит срезание волокна материала, образовавшегося в процессе штамповки, что снижает конструкционную прочность детали. Стенка сопла, изготовленного РВ, последующей токарной обработке не подвергается, происходит только шлифовка поверхности, волокна материала не перерезаются, а располагаются эквидистантно контуру детали, что повышает прочность и надежность детали.

В процессе РВ, благодаря локальному приложению нагрузки, вскрываются внутренние дефекты и пороки исходного материала, что исключает брак при последующей обработке. То есть технология РВ сопла значительно превосходит технологию его токарной обработки из штампованного полуфабриката как в экономическом, так и в техническом отношении.

В 1980-х гг. освоены технологии РВ сверхзвуковых частей сопел (рисунок 2) из жаростойкой и жаропрочной стали 12Х18Н10Т на станке мод. 1722 (рисунок 3).



**Рисунок 2. Сверхзвуковые части сопел ЖРДМТ**



**Рисунок 3. Фрагмент процесса РВ сверхзвуковой части сопла ЖРДМТ 11Д458 на гидрокопировальном полуавтомате мод. 1722**

В середине 1980-х гг. отработана технология ротационной вытяжки диафрагм Б82 из материала АД1 двухкомпонентных топливных баков (рисунок 4) на токарно-давальном станке КЖ9901Б. Диафрагмы, освоенные в тот период времени, эксплуатируются в составе двухкомпонентного топливного бака двигательной установки 11Д414НС спутника связи «Молния».



**Рис. 4. Диафрагмы и полусфера двухкомпонентного топливного бака Б82**

В связи с повышением требований к удельному импульсу тяги ЖРДМТ научились создавать сопла из жаропрочного сплава 5В2МЦ, являющегося труднообрабатываемым и из-за своей высокой вязкости склонным к налипанию на давальный ролик с появлением чешуйчатости на наружной поверхности сопла. Поэтому к инструменту предъявляются повышенные требования по твердости (HRC 63-65) и чистоте поверхности (0,32-0,16 мкм). В 1996 г. была отработана технология РВ сверхзвуковой части сопла из материала 5В2МЦ для ЖРДМТ 11Д428А-14 и 11Д428А-16.

С началом конверсии начались работы по товарам народного потребления. В течение десяти лет (1996-2006 гг.). НИИМаш поставлял УПП ВОС (г. Ревда) плафоны светильников (материал 08кп; АД1), получаемые РВ из дисковой листовой заго-



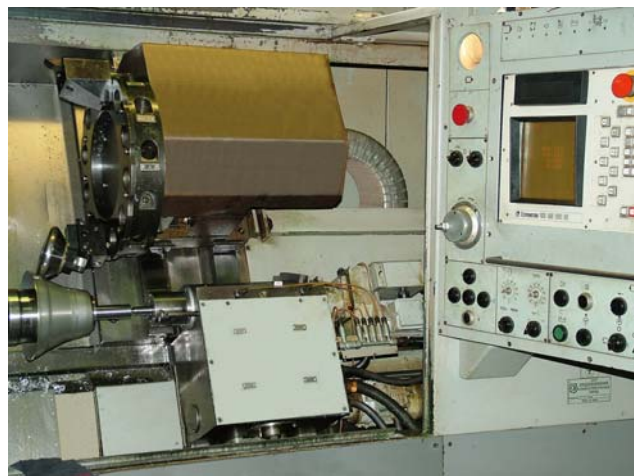
товки на токарных станках РТ724Ф3 и 1716 с ЧПУ (рисунки 5, 6, 7). Было освоено и внедрено в производство 8 наименований плафонов. Опыт показал, что для РВ без каких либо переделок могут быть использованы многие типы токарных станков с ЧПУ при условии смены программы, оснащения и инструмента.



**Рисунок 5. Плафоны для светильников, изготовленные РВ**



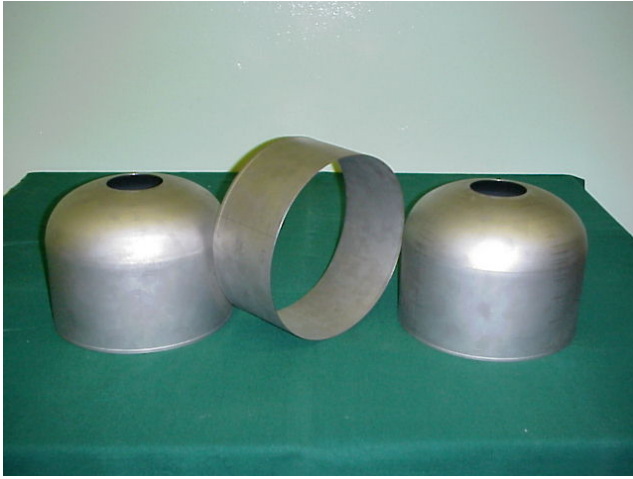
**Рисунок 6. Фрагмент РВ отражателя на токарном станке РТ724 Ф3 с ЧПУ**



**Рисунок 7. Фрагмент РВ корпуса патрона на токарном станке 1716 с ЧПУ**

Наиболее интенсивное развитие технология РВ получила применительно к ЖРДМТ нового поколения и топливным бакам двигательных установок. В 2000 г. освоена и внедрена в производство технология РВ полусфер двухкомпонентного топливного бака из материала АМгб на токарно-давильном станке КЖ9901Б за четыре перехода в подогретом состоянии (рисунок 4).

В 2003 г. на том же станке реализована технология РВ в холодном состоянии титановых полусфер (материал-ВТ1-0) лейнера МВСК50.110.000 для баллонов газа наддува с силовой оболочкой из композиционного материала (рисунки 8, 9).



**Рисунок 8. Полусферы и кольцо**



**Рисунок 9. Фрагмент РВ титановой полусферы на токарно-давилном станке КЖ9901**

В 2004 г. на станке мод.1722 освоена двухпереходная РВ сверхзвуковой части сопла из материала 5В2МЦ с геометрической степенью расширения  $f=100$  ЖРДМТ нового поколения 11Д458М (рисунок 10).



**Рисунок 10. Сверхзвуковая часть сопла ЖРДМТ нового поколения 11Д458М**

В связи с созданием в НИИМаш двигательной установки возвращаемого аппарата и двигателей перелетного модуля по программе «Фобос-Грунт» в 2006г. освоена технология двухпереходной РВ сверхзвуковой части сопла (материал 5В2МЦ) ЖРДМТ 11Д457Ф и в 2007 г. усовершенствована технология получения полусфер (материал АМг6) однокомпонентного топливного бака МВСК80.190.000, которая заключалась в однопереходной РВ полусфер в подогретом состоянии из профилированного полуфабриката в штампе (рисунок 11).



**Рисунок 11. Фрагмент РВ полусферы**

При сдвиговом механизме деформации материал исходной заготовки упрочняется и меняется его микроструктура: зерна измельчаются и вытягиваются в направлении течения, повышая предел текучести, прочности и выносливости материала.

В том же 2007 г. освоена технология РВ диафрагм (материал АД1) однокомпонентного топливного бака (рисунок 12). Процесс протекает за один переход из профилированного полуфабриката в штампе. Требования к изготовлению диафрагм значительно выросли в части обеспечения монотонности и плавности уменьшения толщины стенки. Ужесточен допуск на толщину стенки диафрагмы в связи с введением требования по разновыработке при синхронном испытании диафрагм.



**Рисунок 12. Диафрагма и полусфера однокомпонентного топливного бака**

В сентябре 2007 года освоена технология РВ теплозащитного кожуха ЖРДМТ 11Д458М на станке 1722 (рис. 13). Толщина исходной заготовки составляет 0,75 мм, а раскатанной детали - 0,35мм (материал 12Х18Н10Т). С такими малыми толщинами работы проводились впервые.



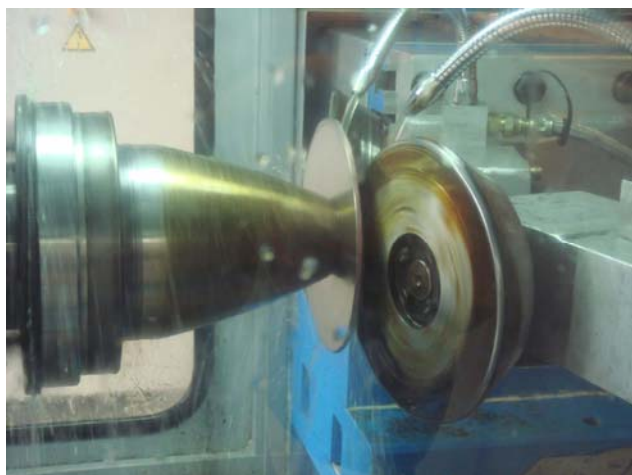


**Рисунок 13. Теплозащитный кожух ЖРДМТ 11Д458М**

С приобретением нового двухроликowego токарно-давилъного станка RLE-400 с системой ЧПУ (рисунок 14) с повышенной точностью стали изготавливать тонкостенные оболочки (рисунок 15).



**Рисунок 14. Токарно-давилъный станок RLE-400 CNC**



**Рисунок 15. Фрагменты РВ сверхзвуковой части сопла ЖРДМТ**

Применение системы ЧПУ в процессе РВ дает следующие преимущества:

- при разработке программы можно добиться максимального использования пластических свойств материала и создать самые благоприятные условия деформирования, поскольку на каждом участке траектории можно задавать определенные режимы обработки (подачу, скорость, зазоры);
- скорость вращения заготовки, скорость подачи и ускоренные перемещения можно изменять на каждом переходе, добиваясь заданной шероховатости поверхности и высокой производительности труда;
- при разработке технологии и программы имеются условия точного выбора допустимых степеней деформации каждого элемента детали;
- в связи с тем, что программа задается в числовом виде, подготовка производства осуществляется главным образом в сфере инженерного труда.

Выводы:

1. Благодаря выше указанным работам был сделан большой прорыв в развитии технологии РВ в НИИМаш.
2. Типизированы технологические процессы РВ сопел ЖРДМТ, полу-сфер и диафрагм топливных баков.
3. Освоена обработка основных материалов применяемых в ракетном двигателестроении.
4. Ротационная вытяжка изготавливаемых деталей сведена к сдвиговому механизму деформации, как к наиболее выгодному в энергетическом отношении, позволяющему обеспечить наибольшую способность к формообразованию.