

УДК 629.7.023.5:533.6.071.4:621.7.044.3/629.7.0-52

Анализ формы аэродинамических решетчатых рулей и возможные технологии изготовления

Михель Леонид Евгеньевич

mikhelleonid@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Аэродинамические решетчатые рули применяются в различной ракетной технике. Геометрия изделия зависит от ее назначения и необходимых режимов полета. Для выбора оптимальной формы решетчатых рулей важно понимать характер обтекания потоком различных конфигураций изделия. Снижение трудоемкости изготовления рулей можно добиться, рассмотрев существующие современные технологии, их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: решетчатые рули, ракета-носитель, аэродинамический поток, 3D-печать

Analysis of the shape of aerodynamic grid fins and possible manufacturing technologies

Mikhel Leonid Evgenyevich

mikhelleonid@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. Aerodynamic grid fins are used in various rocket technologies. The geometry of the conforming unit depends on its purpose and the required flight modes. To choose the optimal shape of the grid fins, it is important to understand the flow characteristics of different product configurations. By considering the advantages and disadvantages of existing modern technologies, it is possible to reduce the labor intensity of grid fins manufacturing

Keywords: grid fins, launch vehicle, aerodynamic flow, 3D printing

Решетчатые рули ракетной техники различного назначения отличаются по габаритным размерам, плотности внутренней решетки и форме ребер. Эти характеристики влияют на эффективность торможения, воспринимаемые нагрузки и точность траектории полета [1, 2].

Примерами военной техники, оснащенной решетчатыми рулями, являются ракеты 9М79 ракетного комплекса «Точка-У», и 91РЭ1 ракетного комплекса «Калибр-ПЛЭ» [1]. У первой рули имеют плоскую форму, перегородки имеют прямоугольный профиль. У ракеты 91РЭ1 можно наблюдать изгиб рулей, вогнутость которых направлена навстречу набегающему при полете потоку воздуха. Рули данной техники представлены на рис. 1.

На рулях РН «Союз-2.1а» (рис. 2) можно видеть изгиб боковых пластин рулей, сама решетка имеет большую ячеистость. В модификациях возвраща-

емой ступени РН Falcon 9 использовались решетчатые рули разной формы. На ранних моделях рули характеризовались только изогнутостью профиля, в настоящее время применяются рули с волнистостью в профиле решетки. Отличие форм показано на рис. 3.

*а**б*

Рис. 1. Рули у военной техники:
а — комплекс «Точка-У»; *б* — ракета 91РЭ1



Рис. 2. РН «Союз-2.1а»



Рис. 3. Решетчатые рули FH Falcon 9:
а — ранние конфигурации; б — поздние

Провести эксперимент аэродинамического обдува можно в программном обеспечении SolidWorks, применив функцию «Flowsimulation». Были созданы две 3D-модели ячеек подобные по форме решетке на аэродинамических рулях у FH Falcon 9. Режимы набегающего воздушного потока одинаковы. На рис. 4 стрелками изображена скорость потока, а градиентом на зеленом фоне — плотность воздуха. При сравнении результатов, можно заметить, что рассеивание потока у ячейки сложной формы немного шире, а плотность воздуха перед ней выше. Наличие плотного воздуха приведет к лучшей управляемости ракеты, и в то же время к более высоким температурным нагрузкам.

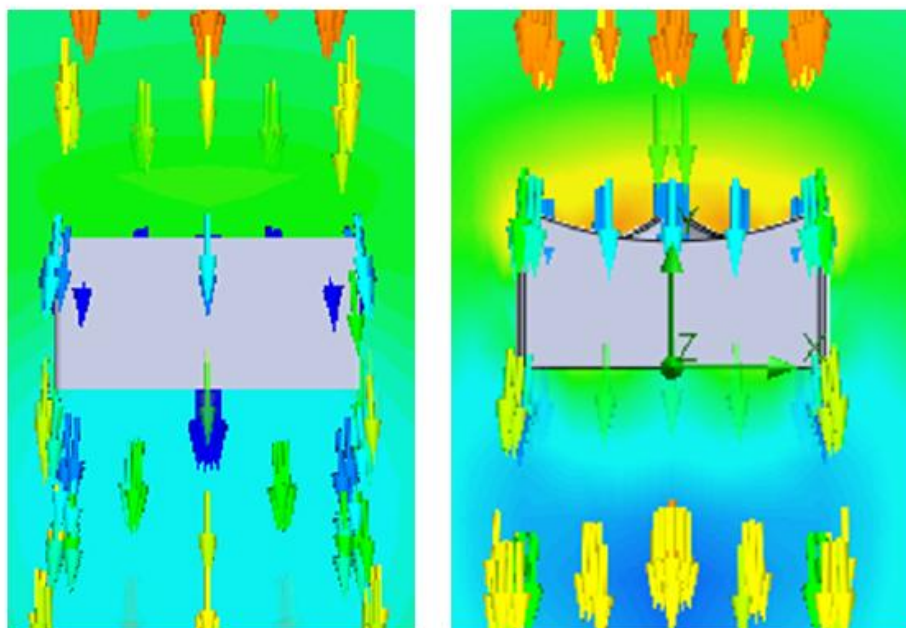


Рис. 4. Результаты эксперимента

Традиционными методами изготовления аэродинамических рулей является литье или поэлементная сварка. Для снижения трудоемкости технологии стоит рассмотреть направление 3D-печати металлом. Это позволит снизить затраты на технологическую оснастку (литейные формы, сварочная оснастка), уменьшить отходы производства [3].

В технологиях DMLS и SLM в качестве сырья применяют металлический порошок. Их отличие в том, что в технологии SLM порошок полностью расплавляется под действием лазера, а в DMLS происходит спекание частиц, что может приводить к большей пористости материала. Оборудование для печати этими методами не отличается большими размерами рабочей зоны, так как требует проведения процесса в специальной газовой камере. В технологии печати проволокой WAAM нагревательным элементом служит плазменная дуга. Обычно для печати используются роботы-манипуляторы, что позволяет изготавливать изделия больших габаритов. Технология WAAM применялась компанией Relativity Space для создания ракеты-носителя Terran 1. Данное изделие на 85 % состояло из деталей, напечатанных на 3D-принтере.

Список источников

- [1] Белоцерковский С.М., Одновол Л.А., Сафин Ю.З. *Решетчатые крылья*. Москва, Машиностроение, 1985, 320 с.
- [2] *Противолодочные ракеты 91РЭ1 и 91РЭ2*. URL: <https://missilery.info/missile/91re> (дата обращения 20.06.2025).
- [3] Шкуро А.Е., Кривоногов П.С. *Технологии и материалы 3D-печати*. Екатеринбург, Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017, 101 с.