

# МАТЕРИАЛЫ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

СВЕРХОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

# Серебро

Драгоценный металл, известный человечеству с древности. Металл, без которого не обойтись нигде. Как гвоздь, которого не оказалось в кузнице в известном стихотворении, он держит на себе все.

Именно он связывает медь со сталью в жидкостном ракетном двигателе, и в этом, пожалуй, проявляется его мистическая сущность. Ни один из других конструкционных материалов не имеет никакого отношения к мистике — мистический шлейф веками тянется исключительно за этим металлом. И так было в течение всей истории его использования человеком, существенно более долгой, чем у меди или железа. Что

уж говорить об алюминии, который был открыт только в девятнадцатом столетии, а стал относительно дешевым и того позже — в двадцатом.

За все годы человеческой цивилизации у этого необыкновенного металла было огромное количество применений и разнообразных профессий. Ему приписывали множество уникальных свойств, люди использовали его не только в своей технической и научной деятельности, но и в магии. К примеру, долгое время считалось, что «его боится всевозможная нечисть».

Главным недостатком этого металла была дороговизна, из-за чего его всегда приходилось расходовать экономно, точнее, разумно — так, как требовало очередное применение, которое ему придумывали неугомонные люди. Рано или поздно ему находили те или иные заменители, которые с течением времени с большим или меньшим успехом вытесняли его.

А пятьдесят (или около того) лет назад он стал утрачивать позиции в одном из древнейших ремесел — чеканке монет. Конечно, монеты из этого металла выпускают и сегодня — но исключительно для нашего с вами развлечения: они давно перестали быть собственно деньгами и превратились в товар — подарочный и коллекционный.



# Медь

Все дело в чудовищной теплопроводности меди — она больше в десять раз по сравнению с дешевой сталью и в сорок раз по сравнению с дорогой нержавеющей сталью. Алюминий тоже проигрывает меди по теплопроводности, а заодно и по температуре плавления. А нужна эта бешеная теплопроводность в самом сердце ракеты — в ее двигателе. Из меди делают внутреннюю стенку ракетного двигателя, ту, которая сдерживает трехтысячеградусный жар ракетного сердца. Чтобы стенка не расплавилась, ее делают составной — наружная, стальная, держит механические нагрузки, а внутренняя, медная, принимает на себя тепло.

В тоненьком зазоре между стенками идет поток горючего, направляющегося из бака в двигатель, и тут-то выясняется, что медь выигрывает у стали: дело в том, что температуры плавления отличаются на какую-то треть, а вот теплопроводность — в десятки раз. Так что стальная стенка прогорит раньше медной. Красивый «медный» цвет сопел двигателей Р-7 хорошо виден на всех фотографиях и в телерепортажах о вывозе ракет на старт.

В двигателях ракеты Р-7 внутренняя, «огневая», стенка сделана не из чистой меди, а из хромистой бронзы, содержащей всего 0,8% хрома. Это несколько снижает теплопроводность, но одновременно повышает максимальную рабочую температуру (жаростойкость) и облегчает жизнь технологам — чистая медь очень вязкая, ее тяжело обрабатывать резанием, а на внутренней рубашке нужно выфрезеровать ребра, которыми она прикрепляется к наружной. Толщина оставшейся бронзовой стенки — всего миллиметр, такой же толщины и ребра, а расстояние между ними — около 4 миллиметров.



# Медь

Чем меньше тяга двигателя, тем хуже условия охлаждения — расход топлива меньше, а относительная поверхность соответственно больше. Поэтому на двигателях малой тяги, применяемых на космических аппаратах, приходится использовать для охлаждения не только горючее, но и окислитель — азотную кислоту или четырехокись азота. В таких случаях медную стенку для защиты нужно покрывать хромом с той стороны, где течет кислота. Но и с этим приходится смиряться, поскольку двигатель с медной огневой стенкой эффективнее.

Справедливости ради скажем, что двигатели со стальной внутренней стенкой тоже существуют, но их параметры, к сожалению, значительно хуже. И дело не только в мощности или тяге, нет, основной параметр совершенства двигателя — удельный импульс — в этом случае становится меньше на четверть, если не на треть. У «средних» двигателей он составляет 220 секунд, у хороших — 300 секунд, а у самых-пресамых «крутых и навороченных», тех, которых на «Шаттле» три штуки сзади, — 440 секунд. Правда, этим двигателям с медной стенкой обязаны не столько совершенству конструкции, сколько жидкому водороду. Керосиновый двигатель даже теоретически таким сделать невозможно. Однако медные сплавы позволили «выжать» из ракетного топлива до 98% его теоретической эффективности.

