



## Разные судьбы

И.Н. Фридляндер  
*академик РАН*

Июнь 2001

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем 30 научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Вестник Российской академии наук», т. 72, № 1, 2002 г.

Электронная версия доступна по адресу: [www.viam.ru/public](http://www.viam.ru/public)

## Разные судьбы

И.Н. Фридляндер

*Всероссийский институт авиационных материалов*

### ***Печальная эпопея Ту-144***

В 60-х годах стало известно, что Англия и Франция решили создать сверхзвуковой пассажирский самолет, которому дали название «Конкорд» («Согласие»). Две страны договорились согласно работать над этой машиной. Самолет рассчитывался на скорость полета 2200–2300 км/ч. При такой скорости трение обшивки о воздух приводит к повышению температуры конструкции до 120–125°C, а кромок крыльев – до 150°C. Ресурс самолета – 30 тыс. ч. Перелет «Конкорда» из Европы в Америку должен был занимать три часа вместо семи-восьми на обычных самолетах.

Реакция Никиты Сергеевича Хрущева на это сообщение была молниеносной: «Мы должны сделать свой советский ультразвуковик, при этом летать он должен быстрее «Конкорда»». Вся работа была поручена Андрею Николаевичу Туполеву. Самолету присвоили марку Ту-144, строиться он должен был на Воронежском авиазаводе, а его появление на свет раньше «Конкорда» стало важнейшей политической задачей СССР. Денег на Ту-144 не жалели.

Сбор специалистов назначен в КБ Туполева. У Андрея Николаевича маленький, скромный кабинет, он в какой-то толстовке или спецовке. Женщин на совещании нет, они мешают Туполеву четко выразить свои мысли, перемежая литературную речь ненормативной. Первый вопрос: из какого сплава делать конструкцию? Если увеличить скорость полета Ту-144 до 2600–2800 км/ч, как этого требует партийное начальство, то температура конструкции повысится до 170–180°C. Алюминиевые сплавы такой температуры при ресурсе 30 тыс. ч не выдержат, надо переходить на сталь или титан, что сильно усложнит технологию.

Умудренный опытом Андрей Николаевич в узком кругу сподвижников рассуждал так: сделаем самолет, как и «Конкорд», на 2200–2300 км/ч, а официально объявим скорость 2600–2800 км/ч. Пока мы сделаем машину, все успеют забыть, что скорость немного занижена. Англичане и французы используют для «Конкорда» жаропрочный алюминиевый сплав AU2GN, легированный медью, магнием, железом и никелем. Два последних элемента дополнительно повышают жаропрочность. У нас из аналогичного сплава АК4-1 давно изготавливают жаропрочные детали авиадвигателей. Есть у нас и новый алюминийлитиевый сплав ВАД23. Литий – самый легкий металл, соответственно новый сплав намного легче АК4-1 и существенно превосходит его по прочности и другим характеристикам. Однако опыта применения ВАД23 нет.

Я договариваюсь с Туполевым широко опробовать этот сплав. Во Всесоюзном институте авиационных материалов (ВИАМ) работы со сплавом ВАД23 проводили З.К. Арчакова, О.А. Романова, В.С. Сандлер. И вот новая встреча с Туполевым по сплаву ВАД23. Главный металлург КБ И.Л. Головин говорит, что нужны очень большие плиты с высокими механическими свойствами. Таких плит мы раньше не делали.

Начальник Всесоюзного института легких сплавов (ВИЛС) А.Ф. Белов (позднее академик) и его заместитель В.И. Добаткин (позднее член-корреспондент АН СССР) вместе со мной возражают. Андрей Николаевич полушутливо замечает: «Вы оппортунизмом не занимайтесь, а то напущу я на вас Мао Цзэдуна». Я вам приказываю: «сделайте мне эти плиты». И хотя мы трое Андрею Николаевичу не подчиняемся, воздействие его имени таково, что мы больше не возражаем и подписываем соответствующую бумагу.

Через некоторое время французы увеличили число пассажиров на «Конкорде», соответственно, мы увеличили число пассажиров еще больше. В результате размеры полуфабрикатов колоссально возросли: площадь сечения каждой плиты и профиля – до 1400 см<sup>2</sup>, масса – до 3 т. (Если плиты и профили таких размеров сделать из стали, то их масса составит 9 т.) Мы

опять возражаем, говорим, что у французов максимальная площадь сечения  $140 \text{ см}^2$ , т.е. в 10 раз меньше. Но представители КБ Туполева уверяют, что нужны плиты именно такого размера. Почему столь сильное расхождение с «Конкордом», мы, металлурги, понять не можем. Узнать что-либо в КБ об их истинных мотивах невозможно, это будет известно лет через десять, но из сплава ВД23 нельзя получить хорошие полуфабрикаты подобного размера, и мы от него отказываемся.

В ВИАМ в лаборатории алюминиевых сплавов есть залы для испытания на длительную прочность и ползучесть. Конечно, промышленность не может ждать 30 тыс. ч (более трех лет), когда эти испытания будут закончены, поэтому используются ускоренные методы с прогнозированием на весь ресурс самолета. Установлено, что сплав АК4-1 имеет сопротивление ползучести ниже, чем уровень длительной прочности. Лимитирующим фактором является сопротивление ползучести, которое не должно превосходить 0,2%, чтобы не допустить значительного изменения геометрии самолета. Потоки воздуха по крылу, начиная от основания и до его окончания, должны продвигаться ламинарно, без образования вихрей или срыва потока, что может вызвать тряску машины и увеличить сопротивляемость полету. ВИАМ выдает КБ Туполева все расчеты свойств сплава АК4-1, а Воронежскому авиационному заводу – производственные инструкции. (Работы по сплаву АК4-1 выполнили О.А. Романова, В.Н. Бобовников, С.И. Кишкина, Е.И. Шилова, О.Г. Никитаева, Л.П. Ланцова.)

В ВИЛС прошло совещание с французскими авиаметаллургами. Мы направили во Францию слитки и плиты из АК4-1 и от них получили слитки и плиты из сплава AU2GN. И вот теперь обсуждались результаты исследования. Практически AU2GN и АК4-1 одинаковы. Сплав АК4-1, как и французский AU2GN, при хорошей жаропрочности имеет низкую вязкость разрушения.

Наши товарищи, ездившие во Францию на советско-французские семинары, вернулись с совершенно определенным впечатлением об

алюминиевом сплаве AU2GN. Один из них, А.З. Воробьев – главный идеолог Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) по алюминиевым сплавам, сделал в ВИАМ довольно длинный доклад. Он вынужден был признать, что вязкость разрушения у AU2GN меньше, чем у АК4-1. Может быть, она ниже потому, что мы применяем более мягкий режим старения, который, однако, несколько снижает коррозионную стойкость. Французы спрашивали: не боимся ли мы коррозии. На что наши отвечали – не боимся, ибо, мол, Франция страна морская, а мы сухопутная. Но я-то лично коррозию побаиваюсь. «Ну и как же, – спрашивал французов Воробьев, – вы обходитесь с такой низкой вязкостью?». – Те отвечали: «Приспосабливаемся».

Другой участник советско-французских семинаров, В.В. Сулеменков – ведущий прочнист КБ Туполева, сообщил мне в личном разговоре, что, по словам французского прочниста (фамилию он не помнил), они мучаются со сплавом AU2GN. Испытания «Конкорда» показали, что в лонжеронах довольно быстро появляются трещины, которые долго остаются маленькими, но потом бурно развиваются. Французы изготовили дефектоскоп на принципе вихревых токов со специальной формой головки, позволяющий контролировать труднодоступные места, где могут появляться трещины. Все «Конкорды» были проверены, и в одном случае обнаружили начало трещины. Регистр – государственный орган, следящий во Франции за безопасностью полетов, – обязал сделать накладки на каждом крыле, на каждом лонжероне. Всего их десять на «Конкорде». Из чего изготовлены накладки – Сулеменкову узнать не удалось, но размеры их солидные. Вообще-то, Вячеслав Васильевич Сулеменков – человек знающий, по мере возможности старающийся быть объективным.

31 декабря 1968 г. Ту-144 поднялся в воздух – на два месяца раньше «Конкорда» к великой радости Туполева и Министерства авиационной промышленности. 4 января 1969 г. во всех газетах было напечатано фото Ту-144 и официальное сообщение: «Впервые в мире 31 декабря 1968 г. в Советском Союзе совершил полет сверхзвуковой пассажирский самолет

Ту-144. Этот полет является новым достижением советской науки и техники».

Летом 1971 г. Ту-144 был показан на авиасалоне в Ле Бурже (Франция). Пролетел он очень хорошо, с меньшим шумом и без дымных хвостов от двигателей, как у «Конкорда». Советский салон посетил французский президент Жорж Помпиду и поздравил советскую делегацию с успехом. Вместе с министром авиационной промышленности П.В. Дементьевым он поднялся на борт Ту-144.

Вскоре после Ле Бурже в Воронеж вылетела мощная делегация авиационных специалистов (в основном начальники авиационных институтов), в которую входил и я. Туда же прилетел и министр Дементьев. Министру дела на заводе понравились. На собрании начальников цехов он сказал: «Ту-144 имеет большое значение, в том числе международное. К нам в Париже приходили руководители компартии Франции и Италии и говорили: „Своим Ту-144 вы помогаете нам”». Дементьев продолжил: «Вы должны хорошо организовать работу и наладить серийный выпуск Ту-144. Дадим дополнительно станки. Особое значение имеет машина номер пять, она предназначена для статических испытаний, после нее менять ничего нельзя». Выступал он по обыкновению без всяких записок, убежденно, энергично, со знанием дела.

Вскоре 50-минутный полет успешно совершил второй Ту-144. Через какое-то время пришло сообщение об успешных полетах «Конкорда». Однако разрешения на полеты в США «Конкорд» сразу не получил. Причина отказа – производимый им шум. Действительно, шум при переходе через звуковой барьер подобен артиллерийскому залпу. Однако позднее в США разрешили регулярные рейсы «Конкорда» в Нью-Йорк и Вашингтон.

В 1973 г. на очередном авиасалоне в Ле Бурже Ту-144 разрушился на глазах у сотен тысяч зрителей, когда ему пришлось сделать крутой вираж, чтобы уйти от появившегося внезапно французского истребителя «Мираж». Экипаж погиб, несколько зрителей погибли под обломками самолета. Сразу



же были освобождены от работы главный конструктор КБ Туполева С.М. Егер, руководивший работой по Ту-144, и главный прочнист этого КБ И.Р. Бонин, новым главным прочнистом стал В.В. Сулеменков.

В Париже проводилось расследование причин катастрофы Ту-144. Общепринятый в авиации порядок: расследование ведет та страна, на территории которой произошла катастрофа. Расследование велось долго, к нему были привлечены советские специалисты, но ясных результатов оно не дало. Было составлено обтекаемое заключение: катастрофа вызвана действием ряда случайных факторов. Франция не была заинтересована в глубоком изучении причин и создании атмосферы подозрительности вокруг Ту-144, ибо это могло вызвать неуверенность и в надежности его близнеца – «Конкорда».

В 1975 г. начались полеты Ту-144 с грузом в Ташкент, Алма-Ату и Баку.

В 1976 г. Ту-144 проходил в ЦАГИ испытания на повторные нагрузки, потом дали статическую нагрузку. Самолет «сел» при нагрузке 70% от расчетной: разрушилась панель из АК4-1, сделанная из плиты толщиной 42 мм. Испытатели заметили появление трещины, но не успели добежать до пульта, чтобы прекратить испытания, и конструкция разрушилась. Трещина началась от ряда заклепок, которые крепили на верху самолета небольшой сигнальный фонарь. Он расположен вплотную к основному заклепочному шву. Таким образом, повышается местная концентрация напряжений, и довольно массивный фонарь вызывает местные изгибающие напряжения. Этих условий оказалось достаточно, чтобы появилась и стала катастрофически развиваться трещина.

На следующий день вместе с Софьей Исааковной Кишкиной – главным прочнистом ВИАМ по алюминиевым сплавам, еду в ЦАГИ. По лестнице взбираемся на крыло самолета. Какая же огромная поверхность! От тонкой перемычки, где появилась трещина усталости, в обе стороны идут огромные трещины длиной несколько метров. Мама Соня, как зовут ее сотрудницы,

вздыхает: «Какая же это безопасно повреждаемая конструкция, если от небольшой трещины сложился весь самолет».

Действительно, в последние десятилетия большие самолеты создаются по принципу безопасной повреждаемости. Самолеты дорогие. Чтобы они себя окупали, срок эксплуатации увеличили до 30 тыс. ч, а позднее – до 60 тыс. ч. Если рассчитывать такие самолеты, не допуская появления трещин, то сечения деталей и узлов настолько увеличиваются, что машины не могут поднять ни пассажиров, ни грузы. Приходится допускать появление трещин, но они не должны быстро развиваться и приводить к разрушению конструкции. К материалам предъявляются новые требования: они должны быть вязкими (не давать хрупкого разрушения), иметь очень малую скорость развития трещин. Кроме того, необходимо предусмотреть конструктивные меры, блокирующие рост трещины. Большие американские самолеты B747 с трещиной на крыле длиной 1 м и на фюзеляже длиной 400 мм сохраняют ресурс еще тысячу часов полета. Это не значит, что в эксплуатации такие трещины допускаются (как только ее обнаруживают, тут же блокируют), но приведенные цифры показывают гигантский запас надежности конструкции.

Вместе с Кишкиной составляем заключение по Ту-144. Мы считаем, что разрушение началось от небольшой усталостной трещины, но специалист по статике из ЦАГИ В.Ф. Кутыинов не согласен с нашей формулировкой. Он думает, что перемычка могла разрушиться и без начальной небольшой трещины усталости, ведь все были уверены, что после повторных нагрузок самолет должен был спокойно выдержать 100%-ное статическое нагружение, а он разрушился при 70%-ной нагрузке. Мы соглашаемся с Кутыиновым и формулируем: разрушение началось от тонкой перемычки при статической нагрузке 70% от расчетной. Наше заключение ставит под вопрос надежность конструкции. Кишкина подготавливает письмо на имя начальника ЦАГИ академика Г.П. Свищева, в котором отмечено, что напряжение в лонжеронах Ту-144 на 40% больше, чем в «Конкорде». Начальник ВИАМ А.Т. Туманов его подписывает.

Через некоторое время в Новосибирске при натуральных испытаниях фюзеляжа Ту-144 на сопротивление тепловым и технологическим нагрузкам, имитирующим реальные условия полета, фюзеляж разрушился досрочно. В громадную тепловую камеру, нагретую до 130–150°C, помещается фюзеляж, и он то расширяется, то сжимается, как это происходит в полете. На высоте 10 км внешнее давление воздуха значительно снижается, а давление внутри фюзеляжа изменяется мало, в результате фюзеляж расширяется. При посадке на землю фюзеляж сжимается и возвращается к прежним размерам. Поскольку самолет летит со сверхзвуковой скоростью, его обшивка нагревается до 125°C. Вот эти условия полета и имитируют испытания: расширение и сжатие фюзеляжа при одновременном температурном воздействии.

В Сибирь мы прилетели вдвоем с Сулеменковым. За несколько дней до нас Новосибирск посетил министр авиационной промышленности Дементьев. Он посмотрел, как идут испытания. Обычно при таких испытаниях конструкция оглушительно скрипит, поэтому Дементьев посочувствовал фюзеляжу и сказал: «Ну, конечно, вы его разрушите». Он и разрушился. Картина разрушения примерно та же, что и в Москве: в тонкой перемышке, являющейся частью большого фрагмента фюзеляжа, выфрезерованного из толстой плиты, возникла трещина и побежала в обе стороны на многие метры.

Мы с Сулеменковым сели в автобусик того типа, что именуется «коробочкой», и, благо погода была теплой, выехали из города. Расположились на опушке леса и выпили за «упокоей души» безвременно скончавшегося фюзеляжа. Казалось, обстановка располагала к откровенности. Я спросил Вячеслава Васильевича: «Почему все-таки КБ пошло на такие огромные сечения профилей и плит, в 10 раз больше, чем на «Конкорде»? Ведь какие трудности это создало для металлургии и насколько ухудшило качество металла». Сулеменков промолчал.

Причины катастрофы Ту-144 в Париже и преждевременных разрушений крыла и фюзеляжа оставались невыясненными, когда в 1977 г. начались полеты с пассажирами в Алма-Ату. Поскольку «Конкорды» летали, дабы не уронить престиж Ту-144, который взлетел раньше «Конкорда», он тоже не должен был сидеть на земле. Но в 1978 г. произошла катастрофа Ту-144 под Егорьевском, и полеты были прекращены, как оказалось, навсегда.

Почему же так бесславно закончилась история этого грандиозного проекта, который должен был продемонстрировать всему миру торжество советской науки и техники, мощь советской индустрии?

Одновременно с созданием Ту-144 КБ Туполева вело разработку массового пассажирского самолета Ту-154 и сверхзвукового бомбардировщика 22М, известного на Западе как «Бигфайер» – «Большой огонь». (У самолета два мощных двигателя, которые при взлете, при работе на форсированном режиме окружает ореол пламени. Американский спутник засек 22М в первом же полете, так и появилось обозначение «Бигфайер».) Все три машины должны были как можно быстрее появиться на свет, ибо это отвечало политической установке тех лет: быстрее всех, дальше всех, выше всех. Естественно, на КБ Туполева легла колоссальная нагрузка, с которой оно не справилось: был взят курс на использование высоких эксплуатационных напряжений, а при расчетах и конструировании допущены серьезные ошибки. Они проявились самым роковым образом при полетах и испытаниях Ту-144, а позднее и при создании Ту-154.

Обычно самолеты строятся из листов и профилей и клепаются. Число заклепок достигает двух-трех миллионов. Когда в такой конструкции появляется трещина усталости, она доходит до заклепочного отверстия, где заканчивает свое существование. Если повышенные напряжения продолжают действовать, может возникнуть новая трещина. Но для ее появления требуется длительное время и много циклов повторных нагрузок, и она прекращается на следующем заклепочном отверстии. Это – один из элементов концепции безопасной повреждаемости.

Ту-144 делался по-другому: из огромных плит шириной 120–140 см, длиной до 15 м, толщиной 30–80 мм путем механической обработки получалась готовая фигура крупного фрагмента крыла или фюзеляжа – наружная обшивка, внутренние продольные и поперечные ребра. Поскольку крыло имеет двоякую кривизну, а фюзеляж сложную форму, размеры плит и профилей должны вписываться в толщину исходной заготовки, отсюда их гигантские толщины – в 10 раз превосходящие по плоскости сечения плиты и профили для «Конкорда».

Конструкция Ту-144 была полностью подчинена светлой технологической идее: поставил заготовку на автоматический станок с программным управлением – и больше не о чем беспокоиться: приходи через два дня или через неделю (в зависимости от объема механической обработки) – и огромный фрагмент крыла или фюзеляжа полностью готов. Сработала автоматика. При этом забывалось, что для огромных полуфабрикатов нужны очень большие слитки. Их сложно получать, и в них металл недостаточно проработан: сохраняются местные неоднородности и дефекты, ослабляющие металл. После механической обработки в реальной конструкции Ту-144, сделанной из плиты большой толщины, в отдельных местах остаются перемычки толщиной 2 мм, они и рвутся.

Концепция безопасной повреждаемости предусматривает помимо требований к материалу, также конструктивные меры, останавливающие рост трещин. Например, крыло гигантского самолета Антонова «Руслан» состоит из восьми прессованных панелей шириной 900 мм. Поперечная трещина доходит до конца панелей и останавливается. Даже при двух разрушенных панелях крыло работает и самолет не гибнет. В случае Ту-144 у выточенного из большой заготовки цельного фрагмента крыла или фюзеляжа ничто не останавливало трещину. К тому же Ту-144 изготовлен из жаропрочного сплава АК4-1, который хорошо сопротивляется длительному воздействию высоких температур, но, как и аналогичный французский сплав AU2GN, имеет пониженную вязкость разрушения и склонен к появлению

усталостных трещин и их быстрому распространению. Поэтому при создании конструкции требовалась особая предосторожность, что, кстати, было учтено при строительстве «Конкорда».

Как только для Ту-144 была принята технологическая концепция изготовления больших монолитных фрагментов конструкции из огромных плит, самолет был обречен. Гигантские усилия, направленные на обгон «Конкордов», ожидал крах. Вместо безопасно повреждаемой конструкции был создан ее антипод – опасно повреждаемая конструкция.

### *Послесловие*

В 1996 г. по контракту с НАСА Ту-144 совершил без больших перегрузок 35 полетов в качестве летающей лаборатории для уточнения некоторых параметров, необходимых для создания американского сверхзвукового пассажирского самолета нового поколения.

Осенью 2000 г. один Ту-144 был продан за 500 тыс. долл. США частному музею в Германии, отправившись туда водным путем.

### ***Как начиналась ракета-носитель «Энергия»***

В 70-х годах американцы успешно освоили многоразовую систему «Шаттл». Эти космические челноки выводят на орбиту могучие ракеты одноразового действия. После полета «Шаттлы» возвращаются на землю, приземляясь на специальном аэродроме, и затем готовятся к следующему полету.

В те годы СССР заметно уступал в космической гонке. С.П. Королева уже не стало. В такой ситуации академик В.П. Глушко, руководитель Конструкторского бюро жидкостных ракетных двигателей, который многие годы тесно сотрудничал с фирмой Королева, заявил на Политбюро ЦК КПСС, что берется сделать за три года ракету-носитель для вывода на орбиту космического корабля «Буран». Было принято решение объединить фирму Глушко с организацией Королева, дав ей название «Энергия». Так же назвали и грандиозную двухступенчатую ракету, которую предстояло создать.

Стартовая масса ракеты 2400 т. Все ее двигатели, разработанные в КБ академика Глушко, должны были работать со старта, создавая в начале полета суммарную тягу 3600 т, мощность двигателей в этот момент равна 130 млн. кВт (для сравнения: мощность Красноярской ГЭС – 6 млн. кВт). Руководство страны поддержало Глушко в его начинаниях.

Основой носителя является вторая ступень – бак, длина которого 60 м, диаметр 8 м. В качестве топлива для второй ступени используется жидкий водород, окислителем служит жидкий кислород. По своей теплотворной способности жидкий водород намного превосходит все органические топлива, поэтому, несмотря на огромные трудности при работе как с жидким водородом ( $-225^{\circ}\text{C}$ ), так и с жидким кислородом ( $-186^{\circ}\text{C}$ ), американцы, а вслед за ними и мы, перешли на криогенные компоненты топлива.

Вокруг водородного бака разгорелись ожесточенные споры. До «Энергии» все ракетные баки изготовлялись в СССР из пластичного алюминиевого сплава средней прочности, содержащего 6% магния, – сплав АМгб. Однако было известно, что американцы применили для баков «Шаттла» новый, более прочный, но менее пластичный алюминиевый сплав 2219, содержащий около 6% меди. В ВИАМ были выполнены лабораторные плавки, которые показали, что сплав, обозначенный нами 1201, действительно прочнее АМгб. С понижением температуры он не только не охрупчивается, как, например, сталь, а наоборот, приобретает удивительную способность к повышению и пластичности, и прочности (криогенное упрочнение). Состав сплава 1201 был нами взят в точности американский, чтобы в случае каких-либо неприятностей избежать обычных в таких ситуациях обвинений в адрес сплава. Мы обнаружили также, что при неоднократных повторных охлаждениях до температуры жидкого водорода сплав АМгб расслаивается, поэтому он не годился для материала ракеты, работающей на жидком водороде. Все эти особенности двух сплавов я сообщил Глушко, когда он советовался со мной о металле для водородного бака.

В ВИАМ был проведен научный совет с моим докладом. На нем присутствовал Глушко. Было принято решение рекомендовать для материала водородного бака сплав 1201. Однако исследовательский институт ЦНИИМВ, входивший в состав Министерства общего машиностроения, выступил с категорическими возражениями против сплава 1201. В заключении института отмечалось, что в нашей стране нет никакого опыта работы с этим сплавом, что технологически он гораздо сложнее сплава АМгб, и, сделав ставку на него, мы обречем на провал создание ракеты «Энергия». Мнение института поддерживало ракетное КБ «Южное» в Днепропетровске.

Обычно конструкторские бюро, работая с каким-то сплавом, привыкают к нему, создают устойчивую технологию его обработки и применения, справедливо рассматривают сплав как собственное детище и не хотят с ним расставаться. Конечно только в том случае, если сплав их не подвел. Со сплавом АМгб был накоплен огромный успешный опыт, понятно, что многие КБ и исследовательские институты за него держались. Тем не менее, такую ракету, как «Энергия», с жидким водородом в качестве топлива надо было делать из сплава 1201.

Серьезным испытанием для этого сплава стало качество первых полуфабрикатов, изготовленных на Куйбышевском (ныне Самарском) металлургическом заводе. Сплав 1201, выпускаемый этим заводом, при плавке загрязнялся пленами и другими неметаллическими примесями. Надо было срочно повысить чистоту металла, избавиться его от окисных плен, газов, шлаковых включений, чтобы обеспечить надежность сварного соединения. Я передал наши рекомендации по этому поводу Глушко. Когда на совещании у секретаря ЦК КПСС Д.Ф. Устинова, отвечавшего за всю оборонную промышленность, обсуждался ход работы по ракете «Энергия», Глушко довольно долго сидел молча, а потом заявил: «Дмитрий Федорович, мне баки делать не из чего, металлурги вместо металла дают поролон». Этих слов, подкрепленных соответствующими репликами Устинова, оказалось



достаточно, чтобы на Куйбышевском металлургическом заводе в кратчайшие сроки провели капитальную перестройку плавильного оборудования. Футеровку плавильных печей сделали из глинозема вместо шамота, который быстро разъедается жидким алюминием, загрязняя его. Вместо асбеста применили керамическую бумагу и установили керамические фильтры на пути переливки жидкого металла из печи в кристаллизатор. В результате металл по чистоте стал отвечать требованиям американских норм ультразвукового контроля.

В конце июня 1977 г. еду к Глушко. Со мной вместе едут коллеги по ВИАМ А.Н. Гулин и Н.Б. Кондратьева, а также Чаюн – молодой сотрудник академика Б.Е. Патона. Везем с собой раскатную сварную обечайку – свернутый из листа пустотелый цилиндр, диаметром 500 мм и длиной 1500 мм из сплава 1201 – работа Куйбышевского филиала ВИАМ. Сваренный продольный шов обечайки прокатывался на специальных станках под толщину основного материала. Прочность бывшего шва и основного металла 48 кгс/мм<sup>2</sup>. Везем также с собой два отчета: о раскатной обечайке и сравнение свойств сплава 1201 и АМгб нагартованного (АМгбн), прокатанного в холодную на 20%.

Незадолго до этой поездки Гулин купил мне книжку А.П. Романова «Ракетам покоряется пространство». Из аннотации узнал, что это – первая книжка об академике Валентине Петровиче Глушко, основоположнике отечественного ракетного двигателестроения. Предисловие самого Глушко, что несколько странно. Правда, предисловие написано в плане ответа на вопрос: «Вы спрашиваете, какова главная черта человека, посвятившего себя науке. Их несколько: влюбленность в избранную область знаний, желание безраздельно принадлежать ей и только ей, умение вовремя отказаться от всего, что может увести в сторону, понимание общественной полезности той области знаний, которой посвятил свою жизнь. В таком случае труд становится источником вдохновения и радости, как бы он ни был сложен. И еще одно качество, без которого не мыслю себе подлинного ученого, –

прозорливость, умение смотреть хотя бы на два поколения вперед. Всеми этими качествами обладал Константин Эдуардович Циолковский. Он нам пример». Мысли высказаны очень хорошие, за исключением «умения смотреть... на два поколения вперед». Это чересчур для Циолковского, но, может быть, не для Глушко? Самомнение, ничего другого не скажешь; то ли тщеславие, то ли такая уверенность в себе, которая позволяет делать большие дела. Книжку я захватил, чтобы между делом показать ее Глушко, вероятно, ему это будет приятно. Кондратьева предложила взять у него автограф.

Итак, мы у Глушко. Он, как всегда, в легком свитере, стройный, подтянутый, пружинящая походка, хотя ему 69 лет плюс несколько лет отсидки. Наверняка каждый день занимается спортом, память прекрасная – помнит все до мелочей. Проходим в его маленький кабинет. Глушко вежлив, с каждым здоровается за руку. Я рассказываю ситуацию со сплавами АМгбн и 1201. Если АМгбн при температуре  $-196^{\circ}\text{C}$  дает расслоение, то 1201 в выпущенной крупной партии подтвердил высокую технологическую пластичность. Попытки раскатать АМгбн не удались из-за быстрого упрочнения сплава. Институт Патона освоил сварку разных толщин сплава 1201 различными методами, в том числе при самом неблагоприятном расположении волокна (когда волокно идет параллельно сварному шву, легче появляется трещина).

От имени ВИАМ, который назначен ВПК головной организацией по выпуску сплава для ракеты «Энергия», я высказал возражение против решения КБ «Южное» использовать АМгбн для ракеты, работающей на жидком кислороде. Предварительно с представителями начальника ЦНИИМВ Г.Г. Конради я обсуждал вопрос о АМгбн – они выставили два соображения: 1) решение ВПК о головной роли ВИАМ касается только «Энергии», а не КБ «Южное»; 2) в одном из нормативных документов КБ «Южное» указано, что силы, действующие в высотном направлении, не превышают  $1 \text{ кгс/мм}^2$ , что по нашему мнению невозможно, к тому же

возникают всякие монтажные и особенно термические напряжения при заливке жидкого кислорода.

Глушко очень внимательно рассмотрел раскатную обечайку. Попросил испытать свойства этого раскатанного материала при температуре  $-253^{\circ}\text{C}$ . Его интересовало, сохраняет ли материал криогенное упрочнение. Я заметил, что равнопрочность сварного шва при всех условиях сохранится. Глушко поддержал наше предложение готовить полуфабрикаты из сплава 1201 (примерно 500 т) не на Куйбышевском, а на Каменск-Уральском металлургическом заводе, где можно добиться большей чистоты сплава и получить штампованные заготовки.

Я показал Глушко книжку «Ракетам покоряется пространство».

– Хорошо бы получить автограф.

– Кому?

– Мне.

Он написал: «Дорогому Иосифу Наумовичу Фридляндеру на добрую память о совместной работе. Глушко. 30.06.1977». Затем пригласил нас приехать к нему завтра на совещание к девяти часам утра.

На следующий день в восемь сорок пять мы снова у Глушко. Большой сбор. Первый вопрос: надо ли строить испытательный корпус, чтобы испытывать каждый натурный бак в жидком водороде. Сооружение очень сложное, обойдется в 40 млн. руб. Обычно испытывают каждый бак, но бак для второй ступени ракеты «Энергия» испытать при комнатной температуре нельзя, ибо он рассчитан с учетом криогенного упрочнения. Обсуждение идет часа два-три. Глушко внимательно всех выслушивает. Из публикаций и особых источников известно, что американцы испытывают баки в охлажденном до  $-196^{\circ}\text{C}$  газообразном азоте.

Я спрашиваю:

– А сколько раз будут испытания?

– До девяти.

– Не страшно?

Говорят, что баки испытывали в жидком водороде по несколько раз. Первый зам Глушко, которого я не знаю, высказался за американскую схему. Глушко спросил меня:

– Какое криогенное упрочнение при жидком кислороде?

– Примерно половина, – ответил я и поддержал его зама.

Но Глушко все же счел, что надо испытывать в натуральных условиях – в жидком водороде при полном упрочнении. Договорились: всем институтам еще раз проработать вопрос и через декаду дать предложения.

Второй вопрос: как делать днище бака – сводить все лепестки к одному полюсу, который будет диаметром 2–3 м, или набирать конструкцию в виде прямоугольников. Тут важно обеспечить хорошую стыковку. У американцев поверхность бака эллиптическая, а не шаровая, они все лепестки сводят к полюсу. После долгих и тщательных обсуждений остановились на полюсном варианте. Договорились: за неделю еще раз проработать вопрос и дать предложения.

Во время обсуждения появился академик Владимир Федорович Уткин, главный конструктор КБ «Южное». Глушко встал, проводил его в свой кабинет, через несколько минут вернулся в зал. Приход Уткина несколько не отразился на ходе обсуждения, всем желающим была предоставлена возможность высказаться, обосновать свою точку зрения. Уткин ждал окончания совещания часа полтора-два.

После совещания Глушко представил нас Уткину. Я его видел первый раз. Высокий мужчина, вероятно старше 50 лет, со мной поздоровался довольно прохладно. Глушко принялся излагать ситуацию с АМгбн. «Дорогой мой», – обращался он к Уткину самым любезным тоном, излагая все наши данные о сплавах АМгбн и 1201, привел подробные расчеты потерь при переходе со сплава 1201 на АМгбн и просто на АМгб, поскольку АМгбн для кислородных баков применять нельзя. Потом я перечислил все доводы, которые КБ «Южное» выдвигало против сплава 1201: неосвоенность, нетехнологичность. Что касается неосвоенности сварки, то институт Патона

обещал выдать рекомендации осенью. Чаюн подтвердил мои слова. Я сообщил, что готовится к выпуску первая партия полуфабрикатов сплава 1201, примерно 500 т, и, если нужно, в августе мы можем сделать 200–300 т для КБ «Южное». Не решен лишь один сложный вопрос: нужны ванны для травления (анодирования и пр.) для КБ «Южное». Но разве можно из-за нескольких ванн не использовать те преимущества, которые имеют американцы от своего сплава 2219, ведь 1201 – его аналог. Разговор шел примерно час. Уткин молчал, он только спросил, сколько времени мы держали образцы в жидком азоте. Я не понял его вопроса. Потом сообразил, что в КБ «Южное» образцы, вероятно, захолаживались, а потом испытывались при комнатной температуре. Уткин пообещал на следующей неделе прислать своих людей в институт Патона и в ВИАМ.

Спор между фирмой «Энергия» – ВИАМ и ЦНИИМВ на тему, как ведут себя сплавы АМгб и 1201 при повторных охлаждениях и приложении вибрационных нагрузок, продолжается. Ракета хоть и одноразовая, но требует нескольких повторных контрольных заливок топлива и окислителя. Лабораторные испытания в ВИАМ проводит профессор С.И. Кишкина. При температуре  $-196^{\circ}\text{C}$  (жидкий азот) дается 1000 нагружений, затем нагрев до  $200^{\circ}\text{C}$  и повторение нагрузок при  $-196^{\circ}\text{C}$ . Это реальный температурно-динамический график полета ракеты «Энергия» ( $200^{\circ}\text{C}$  соответствует разогреву ракеты при прохождении атмосферы). Сплав АМгб выдержал 500 циклов, сплав 1201 – 20000 циклов. Мне звонит Глушко, я ему сообщаю эти цифры, он едет отстаивать сплав 1201 в высшие инстанции, ибо все споры каждый раз выходят на уровень ЦК КПСС и правительства.

Мы также показали, что прочность плит из сплава 1201 можно дополнительно повысить, если их нагартовать. Это можно сделать на прокатном стане с длиной валков 5 м. Такой стан – сложное дорогостоящее устройство, весящее многие тысячи тонн. Его изготавливает Новокраматорский завод. Глушко берется продвинуть этот проект, но со станом происходят казусы, как в каком-нибудь авантюрном романе. Было принято решение

правительства установить его на заводе в городе Белая Калитва Ростовской области, и туда пошли первые железнодорожные эшелоны с деталями стана. Но в это время министр авиационной промышленности Дементьев посетил строящийся металлопрокатный завод в Красноярске. Первый секретарь крайкома Федирко попросил его направить этот стан в Красноярск. Аргументы: в Сибири производится алюминий, зачем тащить его в Ростов. Дементьев согласился, и новые эшелоны с оборудованием пошли в Красноярск. Когда Дементьев умер, секретарь Ростовского обкома Бондаренко настоял, чтобы стан установили в Белой Калитве. Доводы: потребители широкого листа – авиационные заводы – в основном находятся в Европейской части СССР. С этим согласились, и новые эшелоны пошли в Калитву.

Пока шла вся эта перепалка, началась перестройка Горбачева. О стане забыли, и он превратился в тысячи тонн железного лома, лежащего в Красноярске и Белой Калитве. И теперь, в начале XXI столетия, чтобы прокатать широкие листы, нам приходится обращаться на завод фирмы «Хуговенс» в Германии.

Между тем первые водородные баки из сплава 1201 были изготовлены и успешно прошли земные испытания. Как говорится, не так страшен черт, как его малюют. В дальнейшем все водородные баки ракеты «Энергия», как и некоторых других ракет, изготавливались из сплава 1201.

15 ноября 1988 г. состоялся успешный старт «Энергии» с орбитальным самолетом «Буран».