



Специальность – металл для авиации.  
К 100-летию со дня рождения академика  
С.Т. Кишкина

Е.Н. Каблов  
*член-корреспондент РАН*

Январь 2006

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. 76, № 6, 2006 г.

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

**Специальность – металл для авиации.**  
**К 100-летию со дня рождения академика С.Т. Кишкина**

Е.Н. Каблов

*Всероссийский институт авиационных материалов*

Академика Сергея Тимофеевича Кишкина по праву можно назвать одним из основателей науки об авиационном материаловедении. Новые методы исследования, эффективные технологии, предложенные ученым, послужили основой для разработки сталей и сплавов всех видов и типов, которые во многом определили уровень отечественного авиастроения. Открытие им явления распада мартенсита при пластической деформации позволило уточнить наши представления о причинах упрочнения сталей. Установленное им гетерофазное строение жаропрочных сплавов и предложенная гетерофазная теория жаропрочности явились основой создания жаропрочных сплавов для отечественных газотурбинных двигателей. Научная школа металловедения Кишкина стала уникальным исследовательским центром, в котором были решены многие проблемы упрочнения, фазового равновесия, дислокационной кинетики, изучены свойства фаз и фазовых переходов, тонкой структуры, оптимального легирования и микролегирования авиационных сталей и сплавов.

Родился С.Т. Кишкин 30 мая 1906 г. в Луганске (Ворошиловград) в семье кузнеца. Среднее образование получил в индустриально-технической профшколе Ворошиловграда, которую закончил в 1923 г. Проработав с 1923 по 1926 г. чертежником технического отдела завода №60, он в 1926 г. поступил в Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана (МВТУ). Незадолго до его окончания был мобилизован для участия в организации Московского высшего инженерно-педагогического института (взамен Высших педагогических курсов) при МВТУ. По завершении организации нового института Кишкин вернулся в МВТУ, где после

окончания учебы в марте 1931 г. был оставлен аспирантом на кафедре металловедения.

Учеба в аспирантуре была прервана для выполнения важного задания – изыскания брони для плавающих танков. Созданная броня повышенной стойкости (марка КО) не содержала дефицитного никеля и позволяла экономить до 50% молибдена. Сталь КО была внедрена на ряде броневых заводов в 1933 г. и принята на вооружение для изготовления танкеток Т-27 и плавающих легких танков (амфибий) Т-37.

В 1934 г. С.Т. Кишкин вместе с Н.М. Скляровым по приглашению профессора И.И. Сидорина перешел на работу во Всесоюзный институт авиационных материалов (ВИАМ) в отдел черных и цветных металлов, где возглавил броневую группу, которая впоследствии была реорганизована в лабораторию. Задачей лаборатории являлась разработка авиационной брони для защиты боевой авиации. Первые в истории советской авиации броневые стали для защиты летчиков были изготовлены на основе стали марки «П», предложенной Кишкиным совместно со Скляровым. Броня нашла широкое применение в боевой авиации времен Великой Отечественной войны, из нее изготовили более 100000 броневых спинок, надежно защищавших экипаж самолетов.

В это же время авиаконструктором С.В. Ильюшиным был создан новый тип боевой машины – бронированный штурмовик. В соответствии с проектом фюзеляж штурмовика должен быть изготовлен из брони, входящей в силовую схему самолета. Сложность аэродинамических форм деталей фюзеляжа и строгие требования в отношении веса машины исключали использование существовавших тогда марок броневой стали. Необходима была воздушно-закаливаемая сталь особо высокой прочности с технологическими свойствами, превосходящими все известные отечественные и зарубежные броневые стали. Кишкин и Скляров создали такую броню, и ВВС получили легендарный самолет-штурмовик Ил-2 –

летающий танк. Молодые тогда ученые стали первыми виамовцами, удостоенными за эту работу Сталинской премии.

Одновременно с изысканиями эффективной авиационной брони Сергей Тимофеевич активно занялся организаторской работой в институте. Он был назначен вначале заместителем начальника (1938), а затем и начальником отдела черных металлов. Успех работы на этом поприще дал основание для его назначения заместителем начальника ВИАМ по научной части (1938). Это было весьма ответственное поручение. Ситуация усугублялась сначала непростой предвоенной обстановкой, а затем трудными годами Великой Отечественной войны, тяжестью эвакуации. Осуществляя научно-техническое руководство лабораториями ВИАМ по черным металлам, Кишкин способствовал быстрейшему внедрению в промышленность результатов научных разработок. За достижения в области научных исследований во время Великой Отечественной войны Кишкин был награжден орденом Ленина, медалью «За доблестный труд во время Великой Отечественной войны», орденом Трудового Красного Знамени.

Сергей Тимофеевич внес крупный вклад в организацию производства титановых сплавов в СССР. Работы в этом направлении были начаты в 50-х годах прошлого века, и тогда же Кишкин выступил с предложением организовать производство титана, чтобы использовать его в качестве авиационного материала. Министерство цветной металлургии СССР категорически заявляло, что в нашей стране можно выпускать не более 2000 т титана в год. По энергичному настоянию Сергея Тимофеевича была создана комиссия во главе с непререкаемым авторитетом – И.П. Бардиным (в то время вице-президент АН СССР), которая назвала цифру годового производства – 25000 т. В результате СССР в кратчайшие сроки вышел на первое место в мире по производству титана (100000 т в год), хотя впервые этот металл начал выплавляться в США.

К атомной проблематике Кишкин был привлечен в последний военный год. Поводом послужила катастрофическая ситуация, сложившаяся с

герметичностью алюминиевых блоков корпусов тепловыделяющих элементов реакторов (ТВЭЛ). Выполненные в полном соответствии с технической документацией ТВЭЛ давали протечки. Обнаружить брак по течи существовавшими методами не удавалось, он выявлялся только при эксплуатации. Кишкин с сотрудниками внес определяющий вклад в решение задачи герметичности и выявления брака. Решение было предельно простым (как «колумбово яйцо»): при погружении в кипяток воздух выходил легко замечаемыми пузырьками, выявлявшими брак.

Вторая проблема, решенная Сергеем Тимофеевичем применительно к атомной энергетике, – это промышленное производство изотопа уран-235. Он предложил использовать в качестве материала центрифуг высокопрочные алюминиевые сплавы. В итоге под руководством начальника лаборатории ВИАМ И.Н. Фридляндера (впоследствии академика) был создан уникальный сплав, прочность которого на 50% выше существовавших тогда сплавов. Именно этот сплав стал основным материалом центрифуг, что определило решение проблемы промышленного производства урана-235.

Если говорить о самой яркой черте Сергея Тимофеевича как ученого, то, пожалуй, надо сказать о его неустанных поисках новых оригинальных путей в науке. Он выбирал крупные народнохозяйственные задачи и неизменно находил возможности для их успешного решения. Так, Кишкин разработал и организовал производство тугоплавких сплавов на основе ниобия, молибдена, вольфрама и циркония для авиации, обосновал необходимость проведения геологической разведки ниобия как перспективного материала для авиационной техники. Он внес весомый вклад в организацию промышленного производства рения. Легирование рением позволило значительно поднять температурный уровень работы и жаропрочность никелевых сплавов для газотурбинных двигателей. И таких примеров проявления Кишкиным инициативы государственного масштаба можно привести немало.

Успешно осуществляя научное руководство институтом, Сергей Тимофеевич находил время и силы для собственной продуктивной творческой работы. Он проявил себя талантливым ученым-металловедом, обладающим даром научного предвидения, глубокой эрудицией и многосторонним опытом экспериментатора. Значительное место в круге его научных интересов занимали проблемы высокопрочных сталей. Достаточно сказать, что он непосредственно участвовал в разработке высокопрочной стали 30ХГСНА, принятой для серийного производства и примененной в наших истребителях. Эта сталь по прочности и технологическим показателям превосходила все известные отечественные и зарубежные специальные стали: она имела прочность 1600–1800 МПа, в то время как в США на самолетах-истребителях применялась хромомолибденовая сталь с прочностью 1100–1200 МПа.

Работая над созданием высокопрочной стали, Кишкин с помощью нового в то время метода фазового карбидного анализа открыл явление распада мартенсита при пластической деформации стали, предложил также теорию отпускной хрупкости специальных сталей. Но особенно велики его заслуги в создании и практическом освоении жаропрочных сплавов для газотурбинных и реактивных двигателей – основы современной авиации, космонавтики и ракетной техники. В конце 40-х годов прошлого века он приступил к исследованию жаропрочных сплавов для газотурбинных реактивных двигателей. История их создания охватывает не один год.

Еще до Великой Отечественной войны А.М. Люлька спроектировал первый отечественный авиационный газотурбинный двигатель (ГТД). Однако его разработка, как и разработки других конструкторов двигателей – В.В. Уварова и А.А. Микулина, не могла быть полностью реализована, поскольку отсутствовали материалы, способные длительное время функционировать при высоких температурах и напряжениях. Необходимы были жаропрочные сплавы, длительно работающие при температуре около 1000°С (при более низкой температуре эффективность ГТД недостаточна).



Предстояло изыскать новую матричную основу и принципиально иные системы легирования. Эту сложную научную материаловедческую задачу впервые решили в Англии. Ведущий специалист фирмы «Монд Никелькомпани» В.Т. Гриффитс предложил сплав нимоник на основе никеля. Никель, как известно, имеет бóльшую, чем железо, энергию активации деформации ползучести. За создание этого сплава королева Англии удостоила Гриффитса звания пэра.

Председатель Совета Министров СССР И.В. Сталин лично поручил заместителю начальника ВИАМ С.Т. Кишкину разработать сплав, лучше английского. Начиная с 1947 г. в ВИАМ были развернуты широкие исследования жаропрочных сплавов на никелевой основе.

Изыскания шли по двум направлениям. Первое, традиционное, заключалось в легировании твердого никель-хромового раствора тугоплавкими элементами при предельно малом легировании легкоплавкими компонентами. Второе, руководимое Кишкиным, направление базировалось на разработанной им гетерофазной теории жаропрочности. Методом фазового анализа Н.И. Блок показала, что жаропрочность никелевых сплавов определяется не только прочностью твердого раствора, но и содержанием в нем упрочняющей фазы, представляющей собой интерметаллид, в данном случае алюминид никеля  $\text{Ni}_3\text{Al}$ , – фаза  $\gamma'$ . Высокодисперсные частицы  $\gamma'$ -фазы тормозили сдвиговую деформацию. В лаборатории физики металлов, организованной и руководимой в течение шести десятилетий академиком Кишкиным, было установлено, что  $\gamma'$ -фаза препятствует движению дислокаций и мешает их стоку к границам зерен.

Кишкин первым в мире предложил изготовить лопатку газотурбинных двигателей методом точного литья по выплавляемым моделям. Исследования, выполненные в ВИАМ, показали, что сопротивление ползучести в значительной мере определяется протяженностью и состоянием границ зерен, их природой и термодинамической устойчивостью. На границах зерен скапливаются вредные примеси, ослабляющие сплав и

снижающие его сопротивление ползучести. Поэтому деформированный мелкозернистый материал при прочих равных условиях (состав, термическая обработка) уступает по длительной прочности литому. К тому же литой материал может содержать большее количество упрочняющей высокотемпературной интерметаллидной фазы, чем деформированный.

Следует выделить еще одно крайне важное обстоятельство: точное литье позволило изготовить лопатки ГТД с высокоэффективной и сложной системой охлаждения. У конструкторов появилась уникальная возможность за счет этого существенно повысить температуру газа перед турбиной и, как следствие, тягу двигателя. При этом детали такой сложной конструкции, как охлаждаемые лопатки, изготавливались почти со 100%-ным коэффициентом использования металла вместо 10%-ного у деформированного, т.к. отливались без припуска и не требовали механической обработки. Высокий коэффициент давал экономию дорогостоящего металла, поскольку исключались колоссальные затраты труда и электроэнергии на снятие стружки.

Предложение перейти от штамповки к литью встретило жесткие возражения у приверженцев облагораживания литой структуры деформацией. Для них вескими аргументами были малая пластичность (<1%) и ударная вязкость (<1 кгс·м/см<sup>2</sup>) первого литейного сплава ЖСЗ. Противники перехода на литье аргументировали свою позицию также тем, что рабочая лопатка ГТД – деталь исключительной ответственности, т.к. ее разрушение неминуемо ведет к катастрофе. Они утверждали, что Кишкин «тянет авиацию в авантюру», и предложение делать лопатку ГТД из литейного жаропрочного сплава называли вредительством. Понятно, к чему в то время могли привести эти обвинения, и где мог оказаться Кишкин. Потребовалась его исключительная настойчивость, чтобы убедить противников в правильности своего предложения. К счастью, нашлись конструкторы, которые трезво взвесили достоинства и недостатки литых лопаток. Генеральный конструктор Н.Д. Кузнецов (будущий академик) первым использовал литейный жаропрочный сплав для своего двигателя.

После полного успеха в эксплуатации литая лопатка была безоговорочно принята для всех газотурбинных двигателей гражданского и военного назначения.

Еще большую дискуссию вызвала гетерофазная теория жаропрочности. Представители школы академика Г.В. Курдюмова, в частности профессор Р.О. Энтин, отстаивали классический метод разработки сплавов на основе диаграммы Ле Шателье–Курнакова «состав–свойство», требуя максимальной очистки сплава от легкоплавких элементов и объявляя алюминий и магний врагами №1. Однако плавки Ступинского металлургического комбината, особо чистые по алюминию и магнию, оказались менее жаропрочными, чем более «грязные» по тем же металлам. За работы по созданию концепции гетерофазности и комплексного легирования сплавов для авиационных газотурбинных двигателей Кишкин был удостоен Ленинской премии (1984).

Как показало время, исключительно плодотворной зарекомендовала себя и разработанная Сергеем Тимофеевичем физико-химическая теория многокомпонентного легирования и микролегирования жаро- и высокопрочных сплавов, открывшая новые возможности для повышения эксплуатационных свойств материалов и уменьшения металлоемкости деталей. В результате напряженных усилий Кишкина и его сотрудников в относительно короткое время была разработана целая гамма высокопрочных, жаропрочных и специальных сплавов для авиационной техники.

Прогрессивный процесс получения литых охлаждаемых лопаток из новых жаропрочных сплавов позволил превзойти лучшие достижения США по температуре газа в газотурбинных двигателях на 50°C, Англии – на 80°C. Сегодня очевидно, что создание высокоресурсных газотурбинных двигателей конструкторов Н.Д. Кузнецова, А.М. Люлька, И.Т. Ивченко, П.А. Соловьева, С.К. Туманского и других было бы невозможно без сплавов ЖС6, ЖС6-К, а затем и еще более жаропрочных ЖС6У и ЖС6Ф, ЖС26У, ЖС32.

Дальнейшие исследования механизма высокотемпературного разрушения жаропрочных сплавов, выполненные Кишкиным и его учениками, позволили

сделать вывод о возможности значительного повышения их длительной прочности. Такая перспектива открылась благодаря «удалению» из структуры сплава «слабого звена» – поперечных границ зерен, по которым при высоких температурах и длительном воздействии нагрузок происходит разрушение материала путем отрыва, а не вязкого разрушения. Реализация этого важнейшего научного достижения стала возможной за счет применения метода направленной кристаллизации. Поликристаллическая структура материала лопатки формировалась таким образом, что границы зерен ориентировались параллельно направлению растягивающих напряжений от центробежных сил. Непосредственно для этого прогрессивного метода литья разработаны сплавы ЖС26, ЖС30, ЖС32.

Следующим этапом развития метода направленной кристаллизации и совершенствования структуры жаропрочных сплавов стало получение монокристаллической структуры лопаток турбины. Глубокие теоретические и экспериментальные исследования, которые привели к созданию таких материалов, были выполнены в лаборатории физики металлов, возглавляемой Кишкиным. Применялись самые современные методы: автордиографический (регистрация распределения радиоактивных веществ в объекте), рентгенографический, электронно-микроскопический, термический и др. Результаты оригинальных исследований по автордиографии сплавов, проведенных Сергеем Тимофеевичем в соавторстве с С.З. Бокштейном и Л.М. Мороз, были представлены на Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии. С помощью метода меченых атомов были определены константы диффузии по границам зерен и в объеме зерна, что имеет большое значение для теории и практики легирования и микролегирования жаропрочных сплавов. При этом был получен ряд важных выводов относительно оптимальных способов специального легирования, предназначенного только для сплавов с монокристаллической структурой. Например, из состава таких сплавов были исключены легирующие элементы-упрочнители границ зерен – бор,

цирконий, углерод, что дало возможность поднять температуру солидус сплава до 1300°C и выше. Первым отечественным сплавом данного класса стал ЖС30М, затем последовали сплавы ЖС36 и ЖС40. Заметим, что до настоящего времени уровень жаропрочности российских никелевых сплавов один из самых высоких в мире.

К 100-летию своего учителя академика Сергея Тимофеевича Кишкина ученые его школы достигли выдающихся результатов в создании жаропрочных сплавов нового поколения. С помощью компьютерного метода конструирования литейных жаропрочных сплавов разработаны аналитические модели для расчета физико-химических, структурно-фазовых и жаропрочных характеристик, что позволило создать сплавы с высоким содержанием рения и рутения. Монокристаллические супержаропрочные сплавы (ЖС47, ВЖМ-1, ЖС55, ВКНА-25, ВКЛС-20Р и др.) III и IV поколений превосходят по жаропрочности, термической стабильности, усталостной прочности зарубежные аналоги. Предложенный технологический процесс – высокоградиентная направленная кристаллизация литых лопаток ГТД с монокристаллической структурой, – по мнению зарубежных экспертов, в 30 раз эффективнее лучших известных технологических процессов.

Особое внимание уделял Кишкин проблемам глубокого металлургического рафинирования металла от вредных примесей и газов. Цель такого рафинирования состоит в получении после промышленной вакуумной выплавки металлического слитка ультравысокой чистоты (на уровне 0,001%) по примесям кислорода, азота, серы. Создание современной технологии рафинирования потребовало привлечения научного потенциала академических институтов для разработки новейших расчетных методов термодинамического и кинетического анализа химических реакций, протекающих в расплаве. Ученики академика Кишкина создали для газотурбинного двигателя V поколения научно-технический задел (жаропрочные сплавы с высоким содержанием рения и рутения и

минимальным уровнем примесей, высокоградиентная направленная кристаллизация лопаток ГТД с монокристаллической структурой заданной аксиальной и азимутальной ориентацией, технология получения в лопатке транспирационной системы охлаждения со степенью охлаждения 0,85 вместо 0,65), который обеспечит уже в ближайшей перспективе появление авиационной турбины с температурой газа 2000–2100 К.

Учитывая большой вклад С.Т. Кишкина в решение научных проблем, Высшая аттестационная комиссия Всесоюзного комитета по делам высшей школы при СНК СССР своим решением от 29 декабря 1940 г. утвердила его в ученой степени доктора технических наук без защиты диссертации, а 8 мая 1943 г. – в звании профессора по специальности «металловедение». В 1957 г. ему было присвоено почетное звание Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, в 1960 г. его избрали членом-корреспондентом АН СССР по специальности «металлургия и металловедение», в 1966 г. – действительным членом Академии наук СССР по специальности «конструкционные материалы и их обработка».

В течение длительного времени Кишкин вел большую педагогическую и научно-организационную работу: с 1948 по 1960 г. – в должности заведующего кафедрой (по совместительству) Московского авиационного института, с 1963 по 1987 г. – заместителя академика-секретаря Отделения физикохимии и технологии неорганических материалов АН СССР и председателя Научного совета АН СССР по конструкционным материалам для новой техники. Он участвовал в работе нескольких ученых советов, с 1947 г. был членом Научного совета Министерства авиационной промышленности СССР.

Доброжелательность и живой интерес к людям, озабоченность их судьбой, готовность прийти на помощь, отстаивать правое – это, пожалуй, наиболее яркие черты Сергея Тимофеевича. Умение доступно и эмоционально рассказывать, увлеченность делами многих единомышленниками его идей, замыслов, научных устремлений. Его

бескорыстная щедрость на научные идеи, советы как магнит притягивала к нему молодежь. С большим вниманием и тактом он относился к работе своих учеников и соратников. Сергей Тимофеевич воспитал много видных ученых, преданных науке и обществу, подготовил не одну сотню молодых специалистов для авиационной промышленности.

Его вклад в материаловедение, в подготовку научных кадров, в организацию и развитие ВИАМ отмечен многочисленными государственными наградами: двумя Сталинскими премиями (1942 и 1948), Государственной премией СССР (1968), Ленинской премией (1984), двумя премиями Совета Министров СССР (1950 и 1981), благодарностью Президента РФ (1999), премией Правительства РФ (2000). Он награжден орденами Ленина (1945), Октябрьской революции (1971), четырьмя орденами Трудового Красного Знамени (1949, 1950, 1957, 1975), орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2002), двумя благодарностями руководства 1-го Белорусского фронта во время Великой Отечественной войны. Его научная деятельность удостоена золотой медали им. А.А. Чернова АН СССР. В 2001 г. благотворительный Фонд содействия отечественной науке при Президиуме РАН, компаниях «Сибнефть» и «Русский алюминий» присудил академику Кишкину годовой грант в области естественных и гуманитарных наук по номинации «Выдающийся ученый».

За свою долгую и яркую жизнь академик Кишкин (скончался 3 мая 2002 г.) внес огромный вклад в отечественную и мировую науку и очень много сделал для развития авиационного материаловедения, авиационной, ракетно-космической и специальной техники и укрепления обороноспособности нашей Родины. Многогранная творческая деятельность Сергея Тимофеевича, его безграничная преданность науке, гражданская позиция ученого-патриота, доброжелательное отношение к людям всегда будут примером для тех, кто посвятил себя служению науке.