

Инженерный анализ материаловедческих проблем, часть 1.

Почему на рубеже веков Россия осталась без авиадвигателя? Что делать, чтобы он появился!

1. Взгляд назад

Материалы и технологии специальной прецизионной металлургии является основой любой отрасли высокотехнологичного машиностроения, включая авиапром и другие отрасли. Прогрессирующая технологическая деградация России в первую очередь отразилась на таких сферах как мощная СВЧ-электроника, авиаракетная техника, современная энергетика, транспорт. Прекращён выпуск многих критически важных для этих целей материалов, а качество ещё выпускаемых не обеспечивает необходимой надёжности соответствующих систем и изделий.

Многие направления спецметаллургии прошли точку не возврата и должны создаваться заново. В рамках существующих государственных структур это сделать невозможно. Исключающий конкуренцию идей монополизм головных институтов, коррупция и непрофессионализм чиновников и консультирующих их номенклатурных авторитетов, давно утративших связь с наукой, которая также коррумпирована, завели отрасль в тупик. Интересы личности правящих элит привели к кризису в науке и вступили в противоречие с народами и человечеством. Развал образования и утеря преемственности знаний привели к сильнейшему кадровому голоду. Квалифицированные и дееспособные кадры в основном находятся в частных структурах. Это всё отголоски парализовавшего жизнь кризиса, или интересы отдельных людей.

Поэтому без частно-государственного партнёрства (о котором много говорят, но ничего не делают) насущных проблем не решить. И никакое финансирование госпредприятий и росхолдингов без серьёзной реорганизации отрасли, предусматривающей коренное изменение мировоззренческих подходов и идеологии – не поможет.

Хорошим примером этому является деятельность ВИАМ – монополиста в области авиационных материалов. Это «базовые» технологии для компонентов (лопатка, диск, кольцо, вал, подшипник) разрабатывались в СССР в условиях сильной монополизации работ со стороны ВИАМ, ВИЛС, НЦВТ. Имея щедрое финансирование, но не имея дееспособной концепции, ВИАМ по сути повторяет сейчас работы прошлых лет. Тогда как многие альтернативные более прогрессивные технологии, развиваемые другими научными «не авиационными» материаловедческими школами остаются за бортом.

В результате технологии производства основных компонентов (деталей) не изменились за последние 20-25 лет. Оставаясь необоснованно трудоёмкими с низким коэффициентом использования металла, они давно перестали соответствовать современному мировому уровню и стали серьёзным тормозом в развитии авиации и не только.

Россия на рубеже веков осталась без собственного двигателя. Долгое время эта информация скрывалась. Сейчас она доступна любому читателю «Московского комсомольца» 01.03.2010 «России обещано царствие небесное».

Тем временем в смежных отраслях, а также и за рубежом, материаловедческие технологии совершенствовались на принципиально новом уровне и для разных приложений.

Наша компания сумела объединить лучший технологический опыт прошлых лет таких организаций как Институт физики твёрдого тела РАН г. Черноголовка, Институт физических проблем материаловедения СО РАН г. Томск, ЦНИИТМАШ, ВИАМ, ВИЛС, Институт металлофизики Украинской АН, г. Киев и др., что позволило нам сформулировать ответ на вопрос что делать?, изложенный далее по тексту.

2. Центр материалов и технологий

Но прежде ответим на вопрос: как мы предлагаем делать?

По форме – это создание научно-технологического Центра современных материалов и технологий для решения задач в кластере высокотехнологического машиностроения.

Источник ресурсов – частно-государственное партнёрство и социальное мировоззрение.

Центр специальной металлургии предполагает наличие трёх частей: оборудования, технологической инфраструктуры и мировоззренческой системы. Именно технологическая инфраструктура определяет способы использования установленного оборудования и возможности получения новых материалов и изделий. А мировоззренческий подход позволит понять куму это надо, в каких объемах и как защитить интересы каждого труженика с тем, чтобы объединить в единую *созидательную силу* интеллект каждого с могучими возможностями коллективов. При этом на основе формирования *частной* собственности людей в форме их труда, знаний и *общественной* собственности на природные ресурсы будем регламентировать оптимальные соотношения экономических затрат потребления, экологической безопасности природы сохраняя её девственную чистоту и красоту. Рассмотрим каждую из них:

1. Оборудование Центра:

- Вакуумные дуговые (тигельные и безтигельные), индукционные, электронные и электрошлаковые плавильные печи;
- Генераторы активных газов: O, H, N, CO;
- Линии порошковой металлургии (не путать с гранульной металлургией) как для получения конструкционных материалов, так и для производства расходных материалов, например, современных порошков для напыления лигатур;
- Деформационное оборудование на основе специализированных сверхмощных малогабаритных прессов и скоростных молотов, построенных с использованием техники высоких давлений.

2. Технологическая инфраструктура должна обеспечивать следующие техпроцессы:

- Глубокое рафинирование исходного сырья и сохранение чистоты материалов по всему технологическому циклу плавки и литья;
- Получение инертных к расплавам чистых высокотемпературных керамических материалов для тиглей, литейных форм и стержней;
- Плавка и литьё в глубоком и «чистом» вакууме, в активном газе или шлаках с применением воздействия физических полей и химических реакций, обеспечивающих чистоту расплавов и управление структурой и качеством отливок при кристаллизации металла;
- Сварка, пайка, наплавка и диффузионное насыщение поверхности. Эти процессы также должны проводиться в «чистом» вакууме или активных средах и гарантировать структурную стабильность и сохранение свойств металлов в зонах термического воздействия;
- Термопластическая обработка, позволяющая активно управлять структурой и текстурой, согласуя их с напряжённым состоянием при эксплуатации изделия;
- Тёплого и холодного гидромеханического формообразования в условиях всестороннего обжатия заготовки жидкостью или газом при давлении до 30–40кБар;
- Холодная калибровка пластической деформацией готовых термообработанных изделий, обеспечивающая финишную геометрию изделий, не требующая дальнейшей мехобработки резанием;
- Производство комбинированных и композиционных материалов;
- Производство покрытий, гарантирующих хорошую адгезию к поверхности.

3. Мировоззренческая система:

- Теория информационного общества, позволяющая создавать форму частной собственности в виде материализованных знаний и информации, а также форму общественной собственности на природные ресурсы. Частная собственность выражается в форме орудий труда из категории интеллекта. Они позволят автоматизировать производительные силы трудовых коллективов и общества в целом, позволят автоматизировать отношения людей, и обеспечат защиту интересов каждого человека его семьи и Рода.

- Человеко-машинная система с механизмами саморазвития и интеллектуально-информационной инфраструктурой. Она позволит учитывать все возможные ресурсы (знания и труд – как частную собственность каждого; природные ресурсы как общественную собственность) и соединять в единое ЦЕЛОЕ ограниченные возможности отдельно взятой личности с могучей силой коллективов;

Отечественные авиационные заводы и институты, безусловно, имеют плавильное и деформационное оборудование, которое после глубокой модернизации может производить качественные изделия. Однако правильно организованной технологической инфраструктуры у них нет. Нет на то соответствующих глубинных знаний, ведь они принадлежат людям труда.

Такую инфраструктуру мы предлагаем создать, объединив на договорных условиях те площадки, которые, по нашему мнению, наиболее для этих целей подготовлены. В частности, это ФГУП НПП «Торий», Институт Физики Твёрдого Тела РАН г.Черноголовка, Metallургический центр им. Юдина (Подольск), ОАО Технопарк «Слава» г.Москва, НИИ вакуумной техники им. С.Векшинского, НПФ «СКИБР» г.Мытищи, Ассоциация устойчивого развития Наукоград Дубна, фонд «Новид» и др.

Методически работа Центра будет развиваться по трём направлениям:

1. Разработка материалов и технологий для улучшения качества продукции существующих металлургических заводов, которые можно освоить без больших капиталовложений в модернизацию оборудования и технологий;
2. Работы, которые обеспечивают производство материалов нового поколения, конкурентоспособных с западными аналогами.
3. Разработка интеллектуально-информационной инфраструктуры позволяющей автоматизировать работы на уровне принятия решений человеком.

При этом работы Центра в области основных жаропрочных компонентов авиационных, ракетных и энергетических турбин (лопатка, диск, вал, кольцо, подшипник) будут сильно отличаться по концепции и естественно конкурировать с работами ВИАМа и практикой в мире.

3. Материалы и технологии

3.1. Жаропрочные сплавы

Выполненное в 2008 году с участием наших коллег исследование по составлению основных эксплуатационных свойств американских и отечественных жаропрочных сплавов на основе Ni показано, что последние имеют большой разброс по свойствам. Это говорит о плохой управляемости технологическим процессом их приготовления и большой загрязнённости металлов примесями. В ряде случаев примеси могут повысить отдельные характеристики, например, прочность при высоких температурах. Однако, такие материалы склонны к быстрой деструкции и потере свойств в процессе эксплуатации.

Неоднородность структурного и фазового состава изделий из сплавов также указывает на плохую управляемость технологий. Высокая стоимость некоторых отечественных сплавов, связана с необоснованно большим содержанием в них Re, используемого в значительной мере как альтернатива оптимизации технологий получения сплава.

3.1.1. Управление процессами

Повышение свойств жаропрочных сплавов это комплексная задача, которая связана с совершенством всех стадий производства и особенно с хорошей очисткой основы сплава от примесей. Примеси могут входить как в твёрдый раствор с Ni, так и образовывать химические соединения с легирующими компонентами, формируя в металле дисперсные фазы.

Хотя упрочнение решётки твёрдого раствора является более устойчивым состоянием для повышения жаропрочности в сравнении с дисперсионным упрочнением вторыми фазами, склонными к коагуляции, однако, дисперсное упрочнение имеет большое применение для повышения жаропрочности. Поэтому продолжается поиск химических соединений и формы их присутствия в сплаве для улучшения его свойств.

Для того, чтобы этот механизм надёжно работал, мы предусматриваем глубокое рафинирование материала на всех последующих стадиях процесса. Существующие же

технологии решают этот вопрос по форме, а не по сути. Только полным игнорированием законов термодинамики можно объяснить существующее построение технологии рафинирования расплавов Ni сплавов, содержащих такие активные металлы как Ti, Zr, Mo, Nb, Re, W, Cr и др.

Никакой вакуумный переплав не в состоянии разрушить или восстановить химические соединения этих металлов с кислородом, азотом, углеродом и др. особенно при тех режимах переплава, которые применяются в отсутствие вакуумной гигиены плавки, на низкокачественных тигельных и формовочных материалах. Основные примеси, которые попадают в расплав, поступают с первичным Ni, поэтому в наших технологиях первичному рафинированию Ni мы придаём особое значение, чтобы исключить возможность перехода примесей к легирующим металлам, имеющим высокую химическую активность. Вакуумный тигельный переплав для этого мало пригоден, поэтому для рафинирования мы располагаем малозатратным и эффективным технологическим процессом, который является нашим ноу-хау.

3.1.2. Воздействие физических полей

Научный анализ и накопленный зарубежный и отечественных опыт показывает, что механические свойства сталей и сплавов имеют огромный недоиспользованный технологический ресурс, связанный с воздействием на расплав магнитных и электромагнитных полей, а также с высокоскоростным охлаждением расплава. Существенное от 10 до 1000 раз повышение степени очистки расплава от примесей и инородных включений достигается использованием магнитогидродинамических и помпоторных сил, образованных бегущим или вращающимся магнитным полем.

Традиционный металлургический аналог этого процесса – выстаивание расплава, когда примеси оседают на дно тигля под воздействием Архимедовых сил в жидком расплаве, находящихся в поле гравитационных сил. Эффективность традиционного метода не велика в силу малости ускорения свободного падения в 1g, тогда как электромагнитный аналог – фактор разделения 1000g – обеспечивает быструю очистку с ощутимым результатом.

3.1.3. Легирование

Другим важным направлением улучшения свойств существующих сплавов является оптимизация технологии легирования. В зависимости от химической активности легирующего элемента и его температуры плавления он вводится на различных стадиях технологического процесса. Так в России отсутствует производство качественных (хорошо усваиваемых) лигатур методом порошковой металлургии (как это принято в мировой практике). Одновременно мы применяем комплексные лигатуры чтобы они «тонут» в расплаве никеля, входят такие активные раскислители как Mg или Ca, создающие барботажа в ванне перемешивая её, начиная с донной части тигля.

Введение легирующих добавок производится только на завершающей стадии плавки в высокоррафинированный расплав. Хотя для некоторых сплавов мы применяем электрошлаковые или вакуумные индукционные печи оригинальной конструкции с глазурованной рабочей поверхностью тигля (инертной к активности расплава), основным плавильным агрегатом мы считаем вакуумную дуговую плавку с керамическим или гарнисажным тиглем.

3.1.4. Управление кристаллизацией

Другой важной составляющей в повышении свойств сплавов является управление процессом кристаллизации. Так как направленное затвердевание отливки (для сплавов с широким интервалом кристаллизации) является эффективным приемом улучшения её питания в процессе кристаллизации и этим главным образом можно объяснить эффект повышения свойств монокристаллической лопатки, а не её монокристаллическостью, которая по классическим положениям кристаллографии не является таковой, поэтому нами разработаны эффективные технологии улучшения питания как с оптимизацией теплового поля отливки с поддержанием в жидком состоянии её прибыльной части, так и с введением в прибыль различных силовых воздействий, создающих давление на жидкую часть металла отливки. Одновременно нами разрабатываются приёмы воздействия физических полей на кристаллизующуюся отливку для управления размером зерна и дисперсностью формирующейся в ней фаз.

Таким образом, принципиальное улучшение свойств жаропрочных сплавов мы планируем получить по следующим направлениям работы:

- Сплавы, получаемые методом порошковой металлургии, позволяющим в широком диапазоне управлять размером зерна и его термодинамической устойчивостью, создавать композиционные материалы на основе дисперсных фаз с их газовым легированием, на основе внутренней арматуры или объемно-пористых систем, позволяющий в максимальной степени реализовать ресурс свойств;
- Экономнолегированные сплавы на основе Ni и интерметаллидов, в частности Ni, Al, упрочнённые термодинамически устойчивыми фазами, составы хорошо зарекомендовали себя в сплавах на основе тугоплавких металлов;
- Сплавы на основе хрома, свойства которых можно принципиально улучшить применением современных технологий рафинирования и аппаратурного оформления процессов получения деталей;
- Биметаллические изделия на основа хрома и никеля.

Планируемые нами работы по совершенствованию технологии получения турбинных лопаток будут включать вышеуказанные направления по улучшению свойств сплавов, а также принципиально новые работы по керамическим материалам для тиглей, форм и стержней. Применяющиеся сейчас керамические материалы, как правило, содержащие в своём составе SiO₂ и находящиеся в термодинамическом состоянии, устойчивом при литейных технологиях. Наряду с этим мы продолжим наши работы по литью лопаток под давлением, центробежному литью и др.

4. Производство материалов нового поколения

4.1. Лопатки (конкретные примеры из области авиастроения)

Некоторые западные двигателестроительные фирмы развивают технологии получения лопаток с поверхностным охлаждением и считают это направление перспективным. Хотя ВИАМ также проводит такие исследования, но его технологии, и это можно показать, не позволят достичь результата, сопоставимого по технико-экономическим показателям с американскими аналогами.

Наши работы в этом направлении позволяют получить новые перспективные технологии получения лопаток. Их отличительной особенностью применение новых керамических масс как для формирования внутренней полости лопаток, так и для охлаждающих каналов. Эти материалы абсолютно инертные по отношению к расплаву и формоустойчивы до температур 1900°С.

Для получения охлаждающих каналов кроме специальных технологий литья мы применяем оригинальные методы обработки металла, а также эффект «Киркендаля». Для «потеющих» лопаток, имеющих сквозную пористость, мы планируем провести технико-экономическую оценку технологии.

Наш технологический опыт, подтверждённый публикациями иностранных исследователей, указывает на то, что технологический ресурс получения высокотемпературной неохлаждаемой лопатки далеко не исчерпан.

Именно здесь наиболее успешно применимы как новые литевые и порошковые сплавы, так и новые композиционные материалы на основе высокожаропрочной внутренней арматуры, дисперсных фаз объемно-пористых наносистем с применением газового легирования металлов.

Особые надежды мы связываем с применением наших специальных методов литья для получения комбинированных биметаллических лопаток, где жаропрочность будет определяться присутствием в изделиях тугоплавких металлов (сплавы Cr, Mo, Nb и др.). при этом соединение различных металлов протекает в процессе литья, что обеспечивает идеальных диффузионный контакт.

В программу технико-экономического сравнительного исследования мы включаем также ранее успешно проверенные технологии по литью лопаток для танковых турбин: под давлением в молибденовые кокили, в замороженные формы и метод «выжимания». Эти технологии позволяют эффективно управлять тепловым полем кристаллизующееся отливки и тем самым оптимизировать её структуру и свойства. При этом идеально реализуется золотое правило литейщика «плавь горячее – лей холоднее».

4.2. Валы, диски, кольца

Существующие технологии производства турбинных дисков не предусматривают возможность оптимального набора свойств через эффективное управление его деформационным упрочнением через создание нужной текстуры и микроструктуры конечного изделия, включая его дислокационную структуру.

Хорошо известно, что деформационное упрочнение может проводиться только за один нагрев (вынос из печи), а сама деформация должна заканчиваться в строго контролируемых температурных и силовых условиях, формирующих оптимальное дислокационное состояние, а именно, равномерную тонкооболочную структуру вместо «леса» дислокаций.

В этой связи, существующая технология гранульных дисков не отвечает указанным принципам, не устраняет образования в гранулах термоусадочной пористости и неконтролируемого дефектообразования. Гранульный микрослиток затвердевает без компенсации жидким расплавом, что приводит к образованию пор и локализации в них выделяющихся при кристаллизации газов.

Наши технологии не имеют указанных недостатков. Мы начинаем управлять структурным состоянием и свойствами диска, начиная с рафинирования расплава и его кристаллизации с определенной ориентацией роста. Это относится и к триметаллическим дискам. Для набора деформации и текстурирования применяем угловое равноканальное деформирование, а формообразование завершаем при строго контролируемых режимах термомеханической термообработки оптимизирующей дислокационную структуру изделия. При этом на последней стадии деформирования выводим оптимальное кристаллографическое направление по вектору растягивающих напряжений в диске при его эксплуатации.

Большую перспективу имеют наши технологии получения «облопаченных» дисков больших диаметров. Задел в этих работах был получен в 70-е годы при работе под руководством А.М. Люлька. Сегодняшний технологический уровень позволяет производить такие диски методом точного центробежного литья практически любых диаметров. При этом мы не используем выплавляемые модели, а применяем специальную, в том числе многообразную, керамическую или металлическую форму с компенсаторами усадки металла при его затвердевании.

Другой альтернативной и эффективной технологией является диффузионное закрепление лопатки в диске, не использующее сварку плавлением и не образующее зону термического влияния. Это разные приёмы сварки трением, ударом и др.

Применение наших технологий литья и пластической деформации для производства полых валов обеспечивает рекордные механические и эксплуатационные свойства и одновременное многократное увеличение коэффициента использования металла. Это достигается использованием технологии гидромеханического формообразования (ГМФО) в условиях всестороннего обжатия заготовки жидкостью высокого давления порядка 30 тыс. бар. Исходная трубная заготовка подготовлена центробежным литьём с обеспечением мелкозернистой структуры и высокой геометрической точности.

Указанная технология является предметом «ноу-хау» и обеспечивает изготовление наиболее ответственных изделий, например, кольцо подшипника, буровые трубы и штанги, железнодорожная пара, бесшовные трубы большого диаметра и др. Таким образом, именно чистота металла по примесям, его структурное состояние, интенсивная деформация с помощью теплого и холодного ГМФО обеспечивают наивысшие прочностные и пластические свойства равномерно по всему сечению изделия авиационных компенсаторов «лопатка-диск-вал-кольцо-подшипник» КИМ увеличивается с 0,15-0,2 до 0,8-0,9, прочность и ударная вязкость увеличивается на 40% и в 10 раз соответственно. Технологии и оборудование ГМФО на основе специализированных сверхмощных малогабаритных прессов СПК будут рассмотрены в следующем материале.

4.3. От ремонта к инновациям

На организованных площадках Центра после некоторой модернизации установленного оборудования можно незамедлительно приступить, во-первых, к восстановлению российской

авиаремонтной базы на заводе 123 АРЗ, Старая Русса Ейском АРЗ. Эта работа может быть эффективно налажена на основе списанных авиадвигателей Минобороны.

Во-вторых, актуальным является освоение производства авиакомпонентов двигателя пятого поколения (см. часть 2 «Инженерная записка»).

Технологический и кадровый потенциал по вышеуказанным работам будет предоставлен нашей стороной (группой организаций).

5. Технологии интеллекта (интеллектуально-информационной инфраструктуры открытого общества открытого общества)

Технологии категории интеллекта базируются на графы и бесконечные множества двух видов структур, которые выражаются затем в реализациях замысла автора, это:

- Объектные структуры;
- Процессные структуры.

Объектные структуры это достигнутый результат: изделия, технологии, НТП и т.д. – всё то, что в итоге завершения работ и замыслов выражается физическими объектами.

Процессные структуры это: знания, труд, информация, процессы и т.д., которые должны представляться в форме компьютерной среды человеко-машинной системы. Они формируют интеллектуальный компьютерный ресурс человеко-машинной системы.

Человеко-машинная система в свою очередь будет определяться механизмами саморазвития социума, в котором не будет контроля и управления со стороны правящих классов и со стороны элиты всех видов. В этом социуме базовыми понятиями станут: самоорганизация, самоуправление, самофинансирование. Эти задачи решает среда СКИБР (среды компьютерные интегрированные в быту и работе). СКИБР позволит создать открытое информационное общество (ОИО), основой которого станет частная собственность на материализованные человеком знания и на труд, которые накапливаются по соответствующим технологиям в компьютерной среде СКИБР. Это фундамент для автоматизации производительных сил.

Нами достигнуто понимание такого общества. ОИО опирается на защиту интересов каждой личности, а также на собственность и на автоматизированные производительные силы этого общества. Это ОИО обосновано более чем десятью открытиями. Они сделаны в рамках проекта СТКС, тема «Перспектива». Вопросы создания ОИО изложены автором основ теории информационного общества Хайченко Владимиром Алексеевичем на семинаре в Наугограде Дубна. Информация о докладе дана на портале СТКС: раздел – АССОЦИАЦИЯ, СЕМИНАРЫ (ссылка: http://skibr.ru/ass_Dub.php?lang=ru&page=seminar&open=5).

Заместитель генерального директора по науке ЗАО «НТЦ»,

Хайченко Владимир Алексеевич,
тел. 8(916) 323-4233, 971-6096