

Инновационный  
потенциал  
материаловедения  
(в машиностроении)

Волков Георгий Михайлович

моб.: 8-925-0-692-693

e-mail: [recom@list.ru](mailto:recom@list.ru)

<http://nanoprom.info/>

# **Износ основных фондов отечественных предприятий достиг $\geq 80\%$**

**Выход из надвигающейся точки  
невозврата –  
в решении следующих**

## **Проблем машиностроения**

- А. Создание конкурентоспособной  
машиностроительной продукции**
- Б. Обеспечение работоспособности  
изношенной техники**

# Проблема А

## ПЕРВООРУЖЕНИЕ

### Часть 1

### Постановка задачи

Задача – многokратно повысить конструкционные свойства материалов по сравнению с мировым уровнем

Цель – создать предпосылки для разработки машиностроительной продукции со свойствами выше мирового уровня

# Проблема А

## ПЕРВООРУЖЕНИЕ

### Часть 2

### Постановка задачи

Конструкционное применение полимеров ограничивает низкий температурный предел работоспособности, который для большинства органических полимеров не превышает 200°C.

Для создания тепловых машин с техническими характеристиками выше мирового уровня необходимы полимеры, **многократно** превышающие достигнутый порог жаростойкости.

Проблему решают неорганические полимеры.



# Проблема Б

## САНАЦИЯ

### Постановка задачи

Обеспечение работоспособности изношенной  
техники

основано на регулярных ремонтных работах  
разной периодичности.

Технико-экономически эффективны  
ремонтные технологии нового поколения:

- холодная молекулярная сварка
- безразборный ремонт узлов трения

# Проблема А

## ПЕРВООРУЖЕНИЕ

### Часть 1

### Постановка задачи

Задача – многokратно повысить конструкционные свойства материалов по сравнению с мировым уровнем

Цель – создать предпосылки для разработки машиностроительной продукции со свойствами выше мирового уровня

# Состояние проблемы

Принципиальный недостаток традиционных способов упрочнения материалов

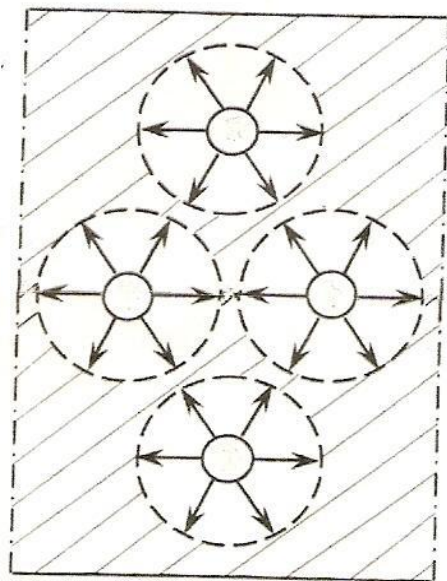


**Попытки многократного повышения  
прочности материала  
традиционными способами  
блокируются столь же резким  
снижением его пластичности.**

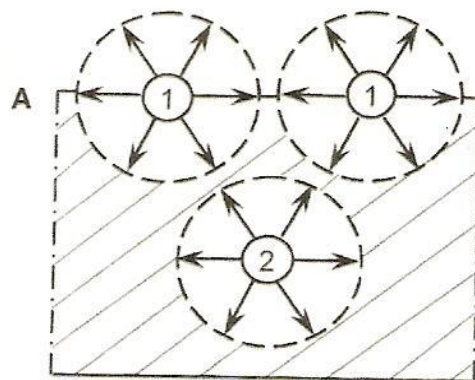
**Прогнозируемый выход из тупика -  
реализовать  
потенциальные возможности  
наноразмерного состояния вещества.**



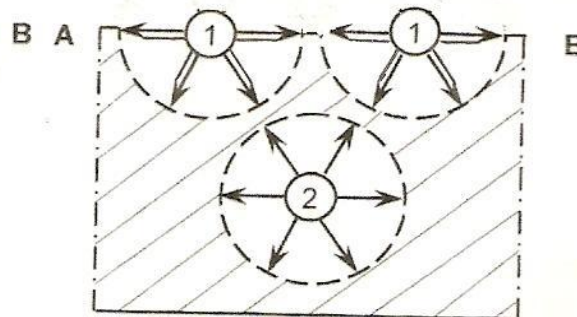
# Схема формирования поверхностного слоя вещества



а



б

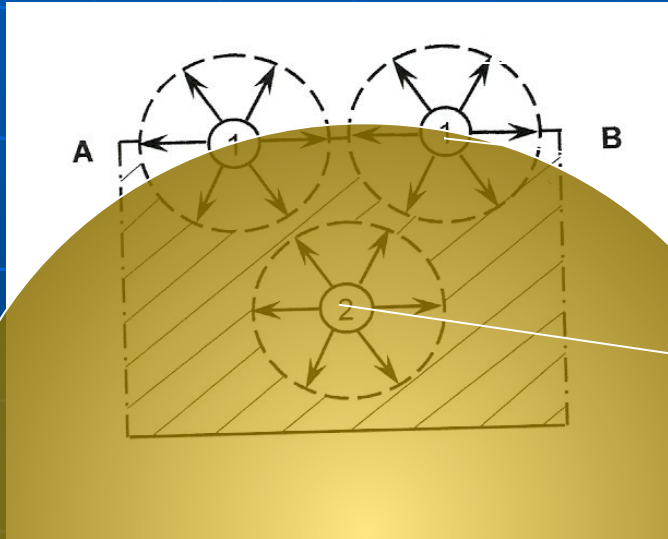


в

Ненасыщенные связи атомов на поверхности А-В раздела фаз создают огромное ( $\geq 11000$  атм) давление на поверхностный слой вещества

Это формирует его необычные свойства.

Maybe...  $F_a = F_c \rightarrow d \text{ crit.}$



Free valency ( $F$ )

$F$  of external atom ( $F_a$ )

$F$  of internal atom ( $F_c$ )

If  $F_a/F_c > 1$

**Nanoparticle**

Свойства частицы при  $\emptyset > d$   
кр.

= свойствам макрообразца  
(классическая физика)

Свойства частицы при  $\emptyset < d$   
кр.

# свойства макрообразца  
превышают их множественно  
(квантовая механика)

# **Выбор модельного вещества**

**□ Углерод, т.к.**

**количество его химических соединений  
многократно больше всех соединений  
всех остальных элементов таблицы Д.  
И. Менделеева**

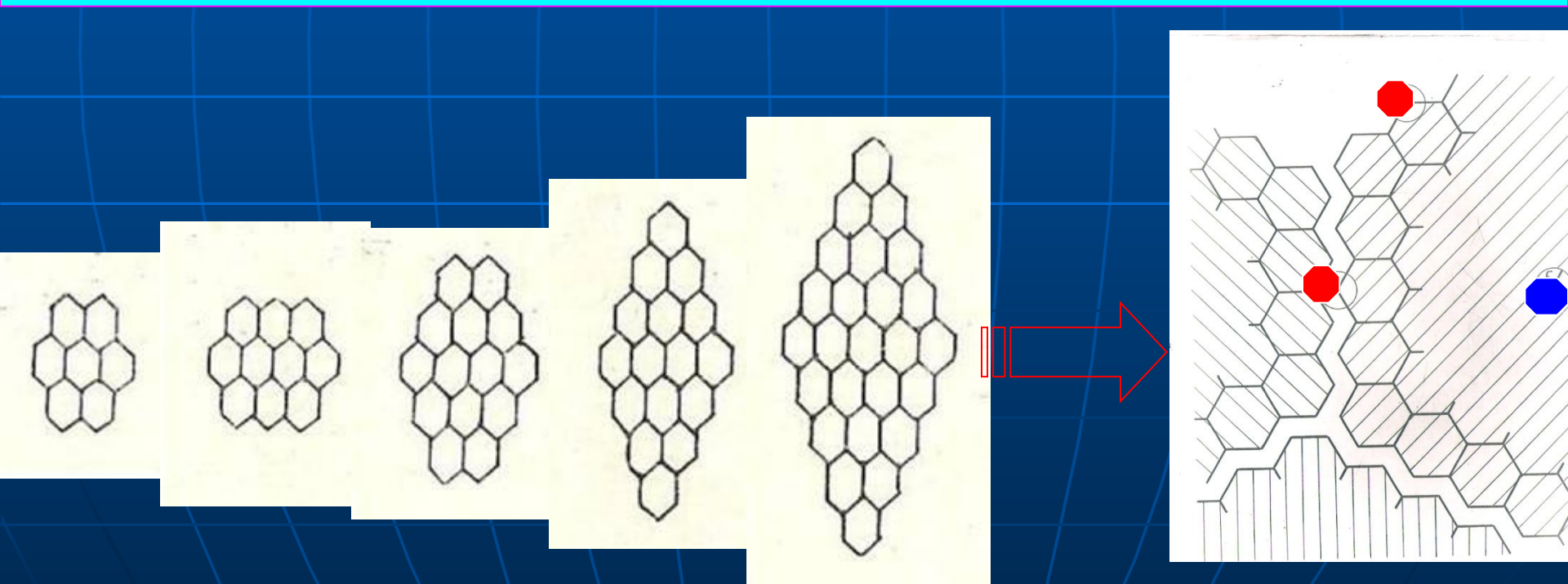
**□ В аллотропной модификации графита, т.  
к.**

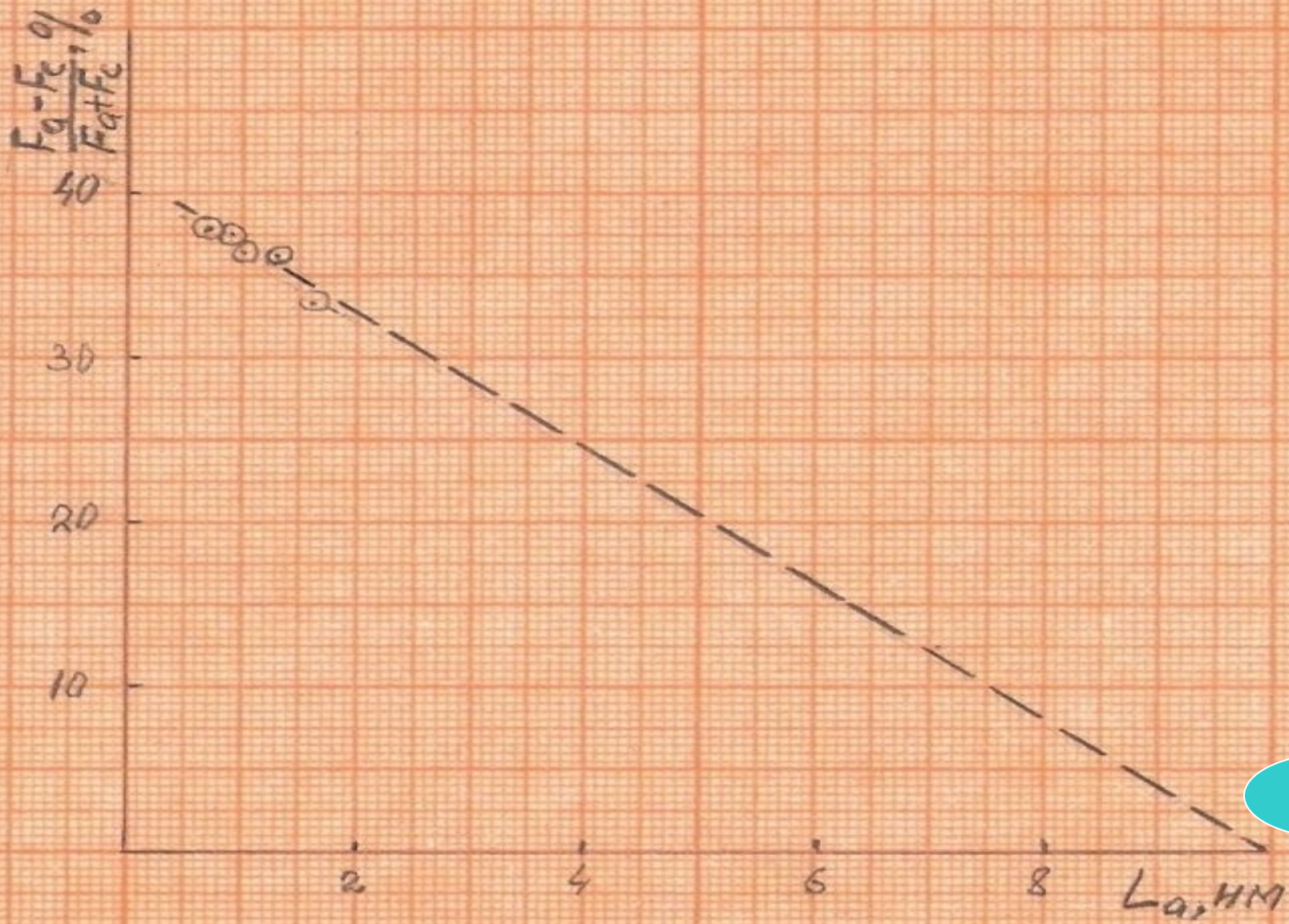
**- только он остается в твердой фазе  
при температурах свыше  $4000^{\circ}\text{C}$   
- только он освоен в крупнотоннажном  
производстве материалов конструкци-  
онного назначения**



# Графит как предельная степень конденсации углеводородов ароматического ряда

Отношение индексов свободной валентности периферийных  $\bullet$   $\bullet$  внутренних атомов углерода обратно пропорционально величине молекулы  
 $d$  кр. = теория  $\sim 10$  нм, эксперимент 9,2 нм

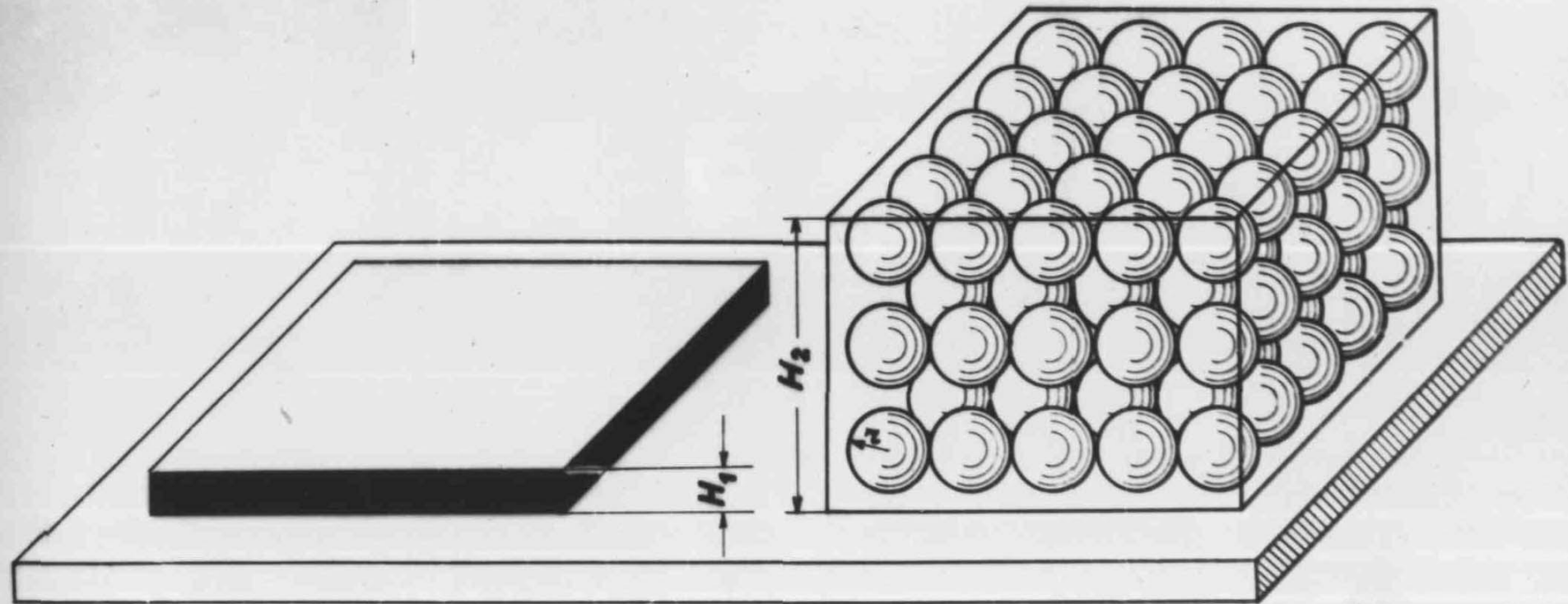




d кр.



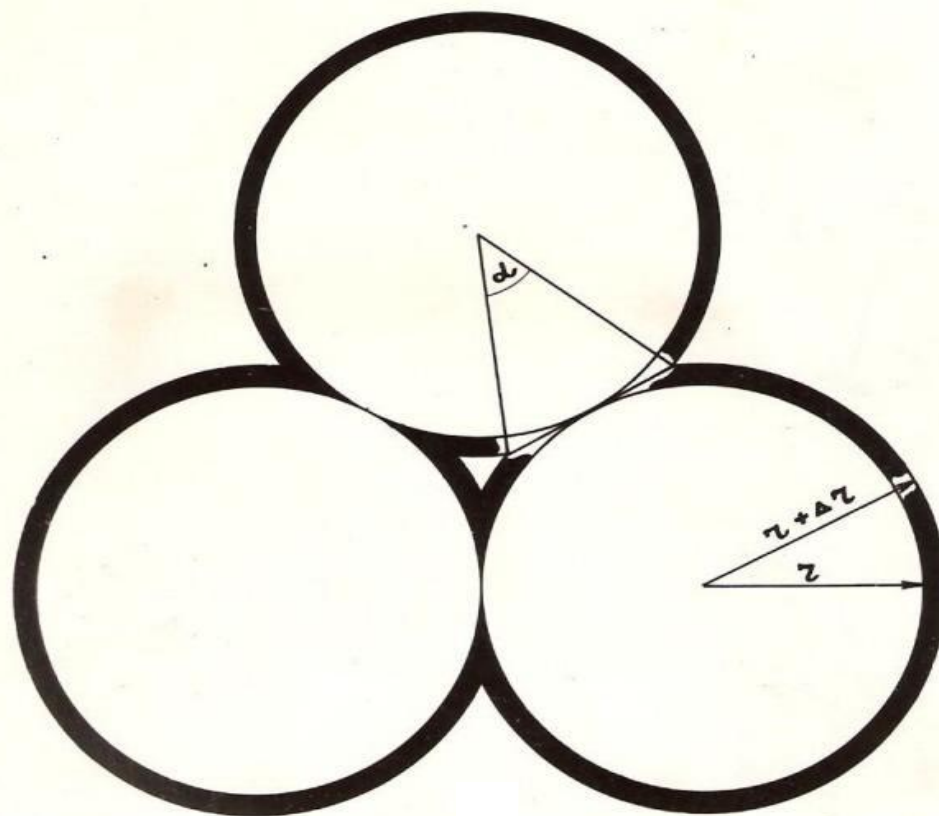
# Технология



ТЕОРИЯ

# Схема связывания наночастиц матрицей

Наноккомпозит = 100 %  
наноматериал





A black and white scanning electron micrograph (SEM) showing a highly porous, interconnected network of fibers or particles. The structure consists of numerous small, rounded nodules or clusters that are densely packed and interconnected by thin, fibrous strands, creating a complex, three-dimensional lattice. The overall appearance is that of a highly porous, sponge-like material. The image is framed by a blue border with a faint grid pattern.

**ЭКСПЕРИМЕНТ**

# Традиционная технология наноматериалов

Процессы получения и консолидации  
наночастиц

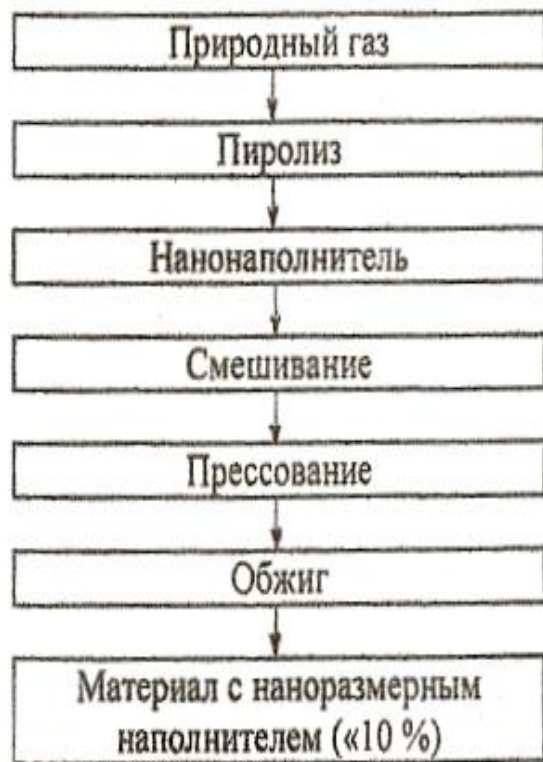
разделены в пространстве и во времени  
Технология, как минимум, двухстадийна

## Предлагаемая технология наноматериалов

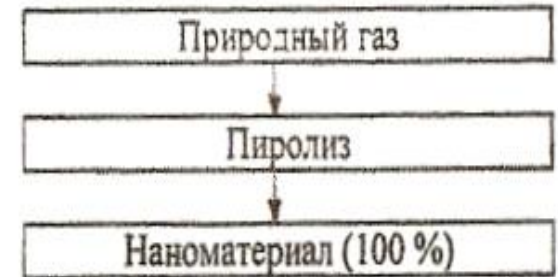
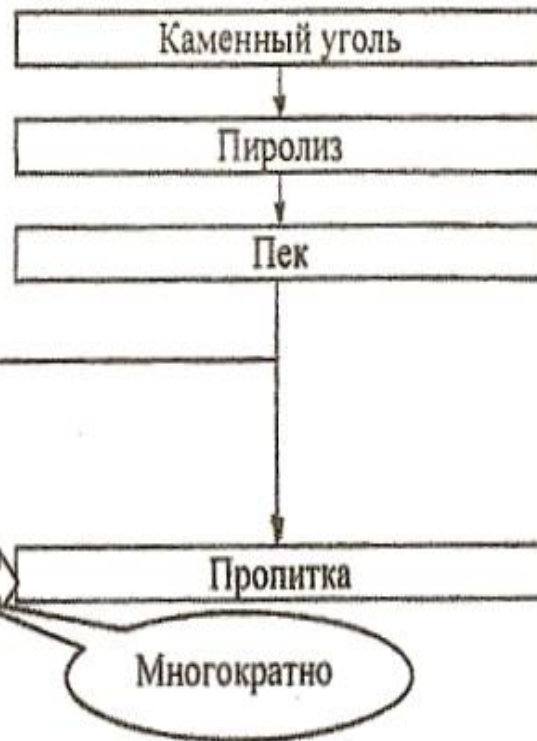
Наночастицы и связывающая их матрица  
формируются одновременно  
в одном химическом реакторе

Технология наноматериала одностадийна

# Технология объемных наноматериалов

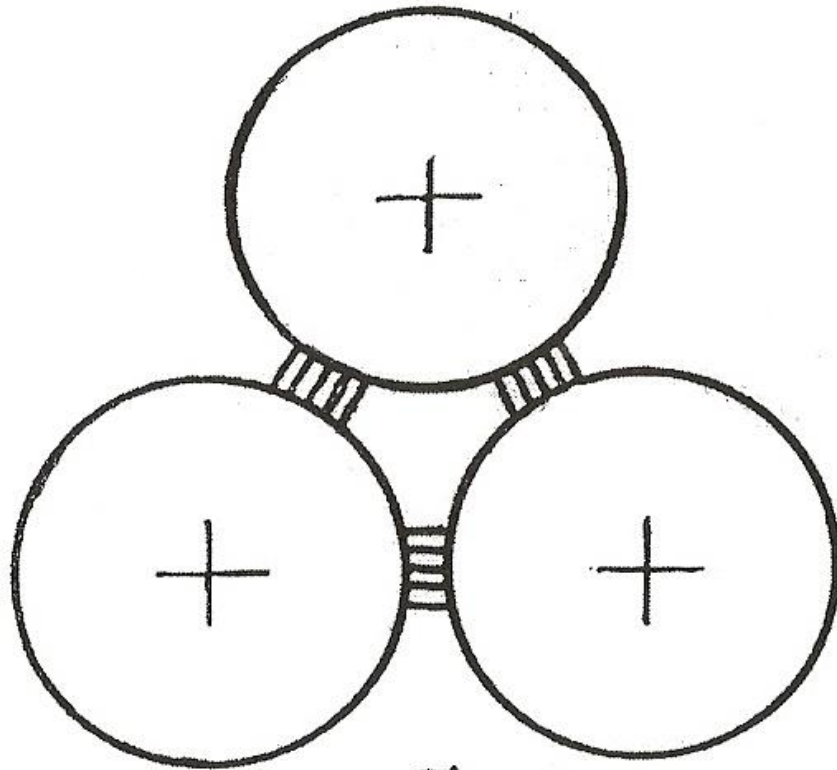


Традиционная

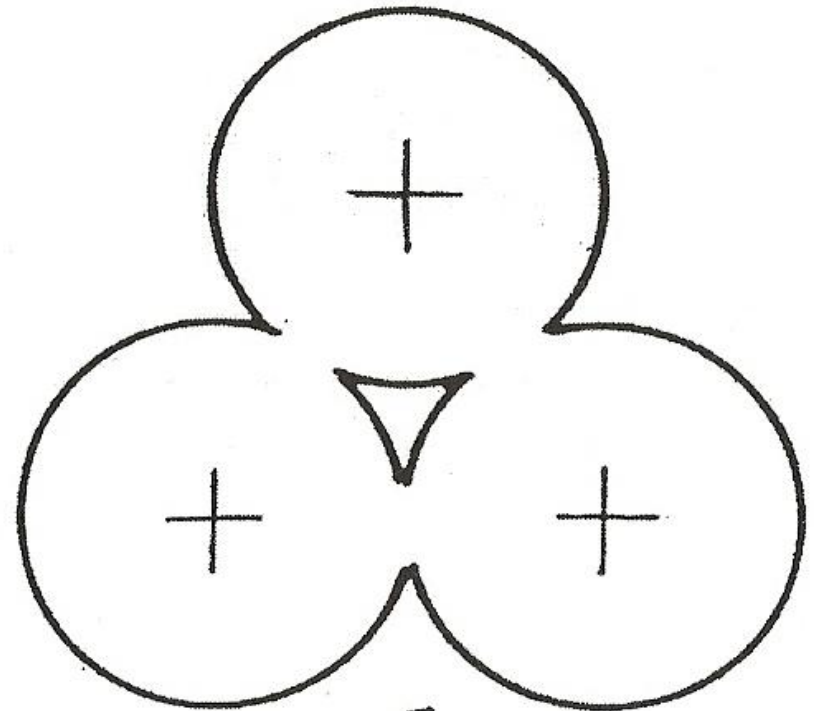


Предлагаемая

# Контакт наночастиц



**а**  
традиционной





**б**  
предлагаемой

**ТЕХНОЛОГИИ**



# Габариты

 Одностадийная технология наноматериала экспериментально отработана на пластинах, трубах и натуральных изделиях с габаритами до 200 мм

 Мировое сообщество считало - получить такой материал невозможно  
Зарубежный рекорд – тонкое покрытие толщиной до 250 мкм.

# Приоритет

Теоретические основы и технологические принципы одностадийной технологии конструкционных наноматериалов разработаны задолго до принятия (1974 г.) мировым сообществом термина «нано-...»:

Волков Г.М. и др. а.с. СССР, 1966

Волков Г.М. и др. а.заявка на открытие, 1967

Волков Г.М. и др. Доклады АН СССР, 1968

Волков Г.М. Теоретическая и экспериментальная химия, 1969

# Углеродный наноматериал

**многokrатно превосходит**

**углеродные материалы традиционной технологии:**

по

- коэффициенту трения в жидких средах - в 5 раз,
- коэффициенту катодного распыления - в 15 раз,
- окислительной стойкости - до 300 раз,

**вольфрам по**

**высокотемпературной удельной прочности - до 5 раз,**

**а также**

- химически и биологически инертен,
- газонепроницаем,
- радиационностоек,
- электрохимически близок золоту и платине

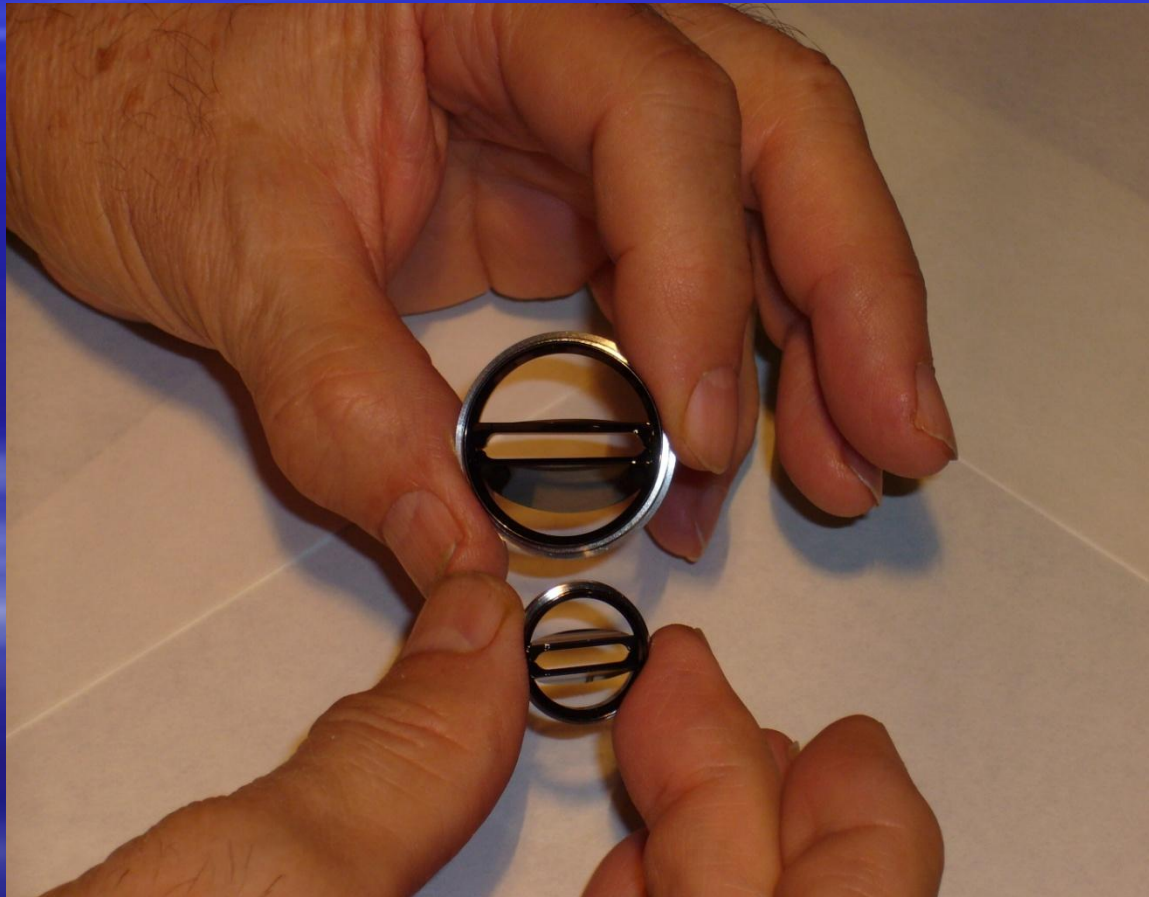
# Применение

Наличие промышленной технологии  
позволило реализовать уникальные свойства  
углеродного наноматериала  
как в самых смелых проектах человечества  
(ИКС, ТЯР)

так и в традиционном машиностроении  
(высокотемпературные торцевые уплотнения  
агрессивных сред,  
антифрикционные вкладыши  
газодинамических подшипников)

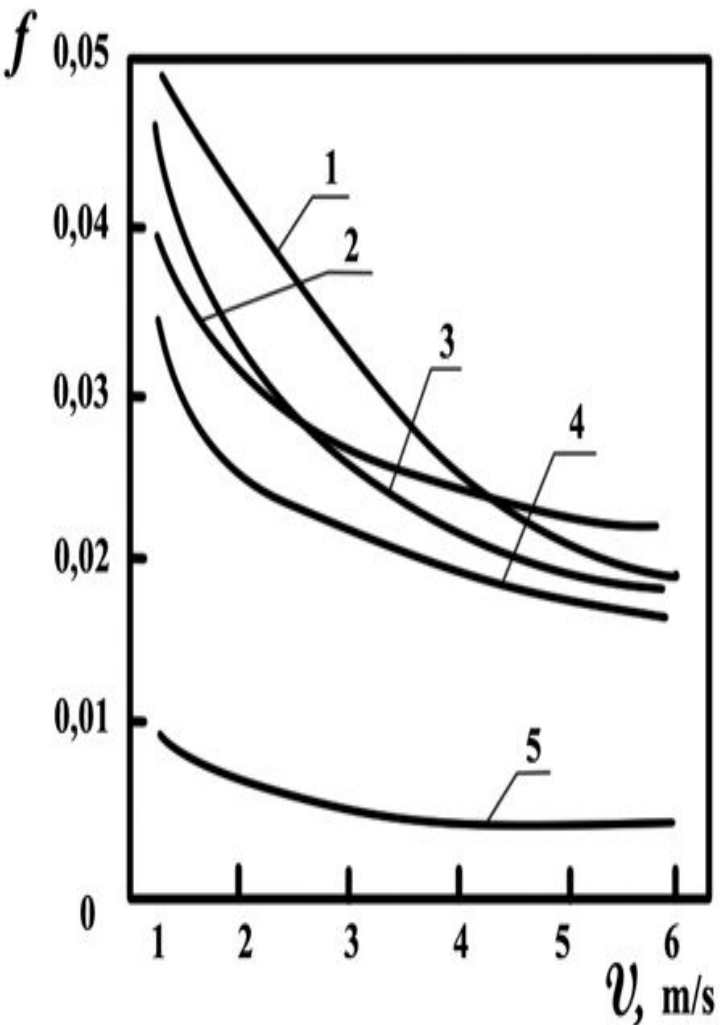
# Искусственный клапан сердца (ИКС)

Материалы ИКС испытывают  
40 млн двойных (открывание-закрывание)  
ударов в год





# Рабочие элементы всех ИКС российского производства изготавливают из НМ С-С



Рабочий ресурс ИКС из НМ С-С соизмерим с продолжительностью жизни человека с 5-ти кратным запасом

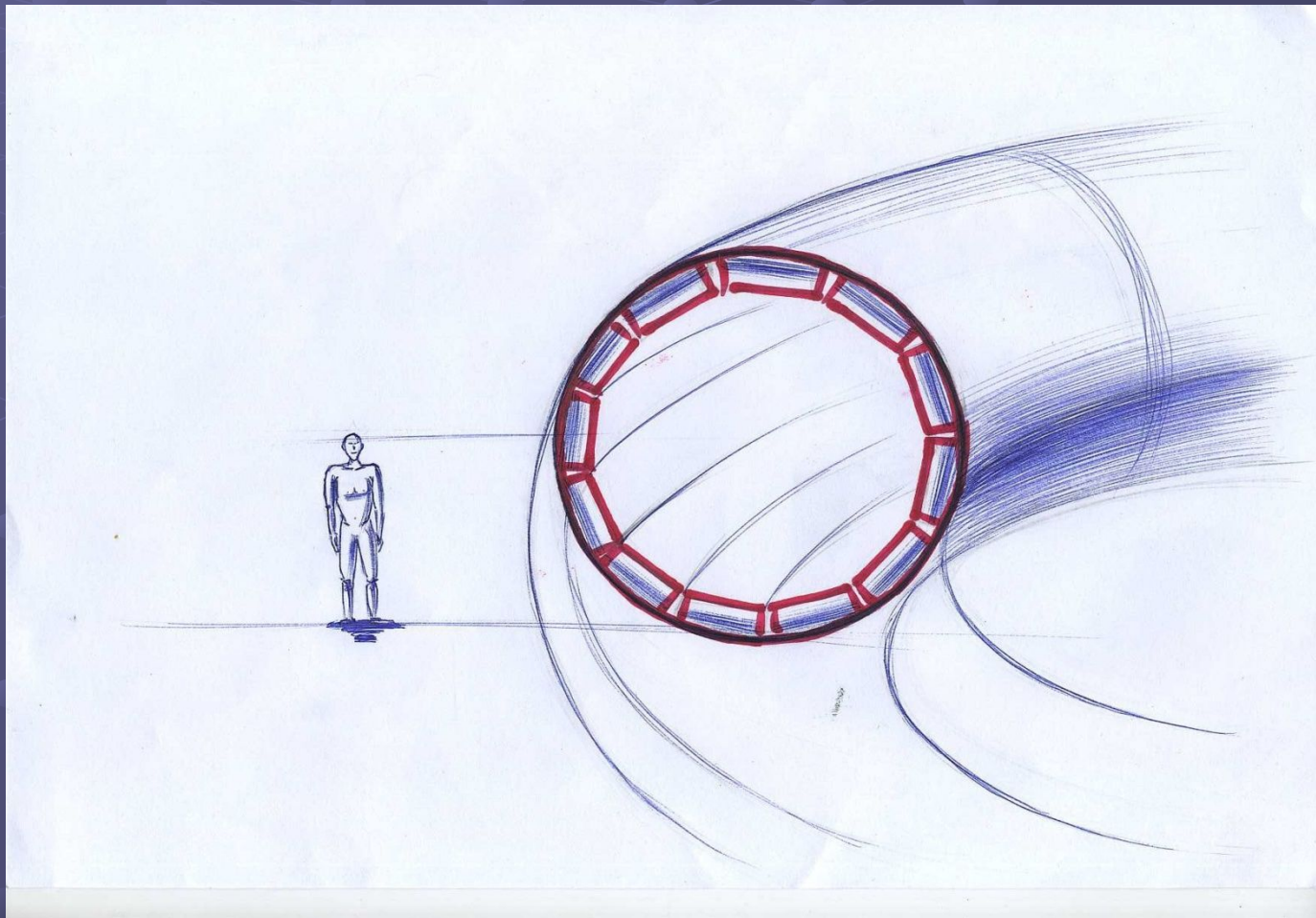
**Коэффициент трения в жидкой среде**

1÷4 – антифрикционные графиты

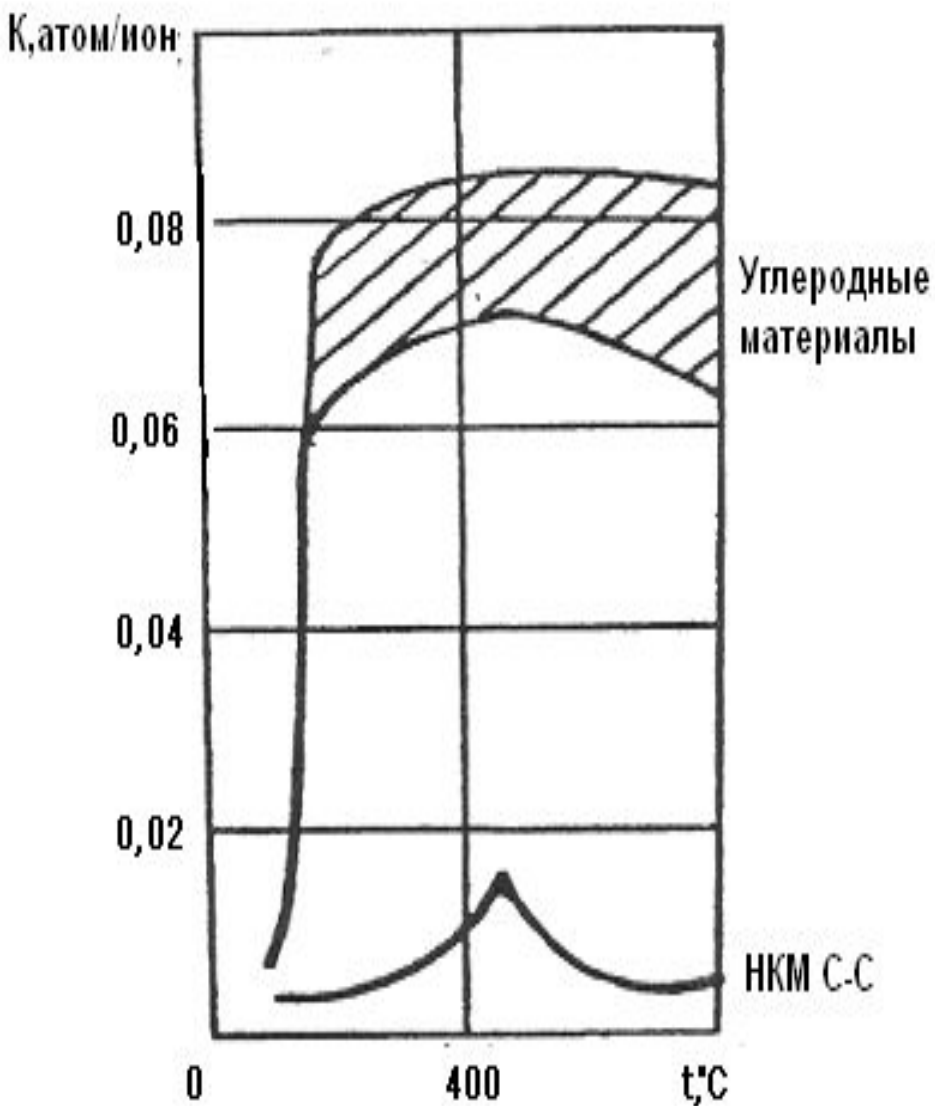
5 – углеродный наноматериал

# Диафрагма термоядерного реактора

Температура рабочего тела **100 млн град.**



# Токамак Т-3М, Т-4, Т-7 (диафрагма)



Замена сплава вольфрам-рений:

Потеря мощности на излучение плазмы  
уменьшилась в 3 раза

Количество полезных импульсов  
возросло в 5 раз

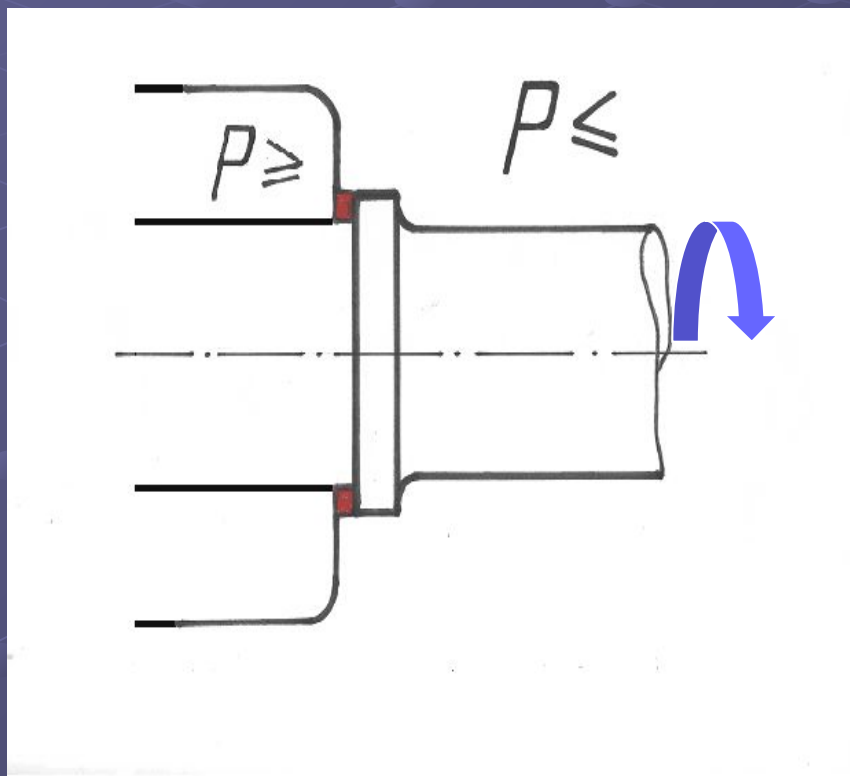
Интенсивность рентгеновского излучения  
снижена в 20 раз

Рабочий ресурс 8000 циклов  
без разрушений

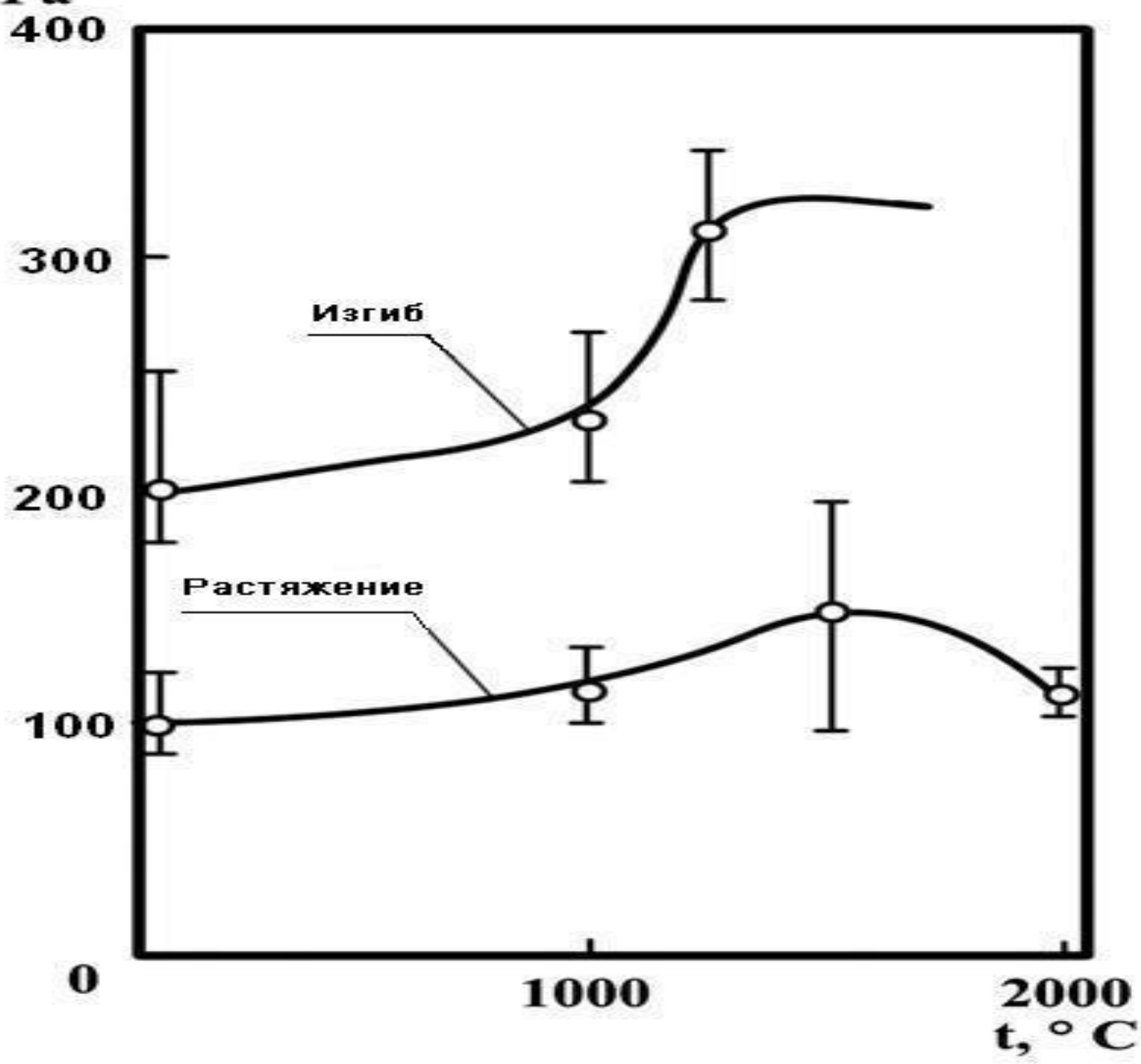
Для ГРЭС мощностью 5000 МВт =  
10 млрд кВт.ч электроэнергии в год

# Торцевые уплотнения валов энергонапряженных узлов трения

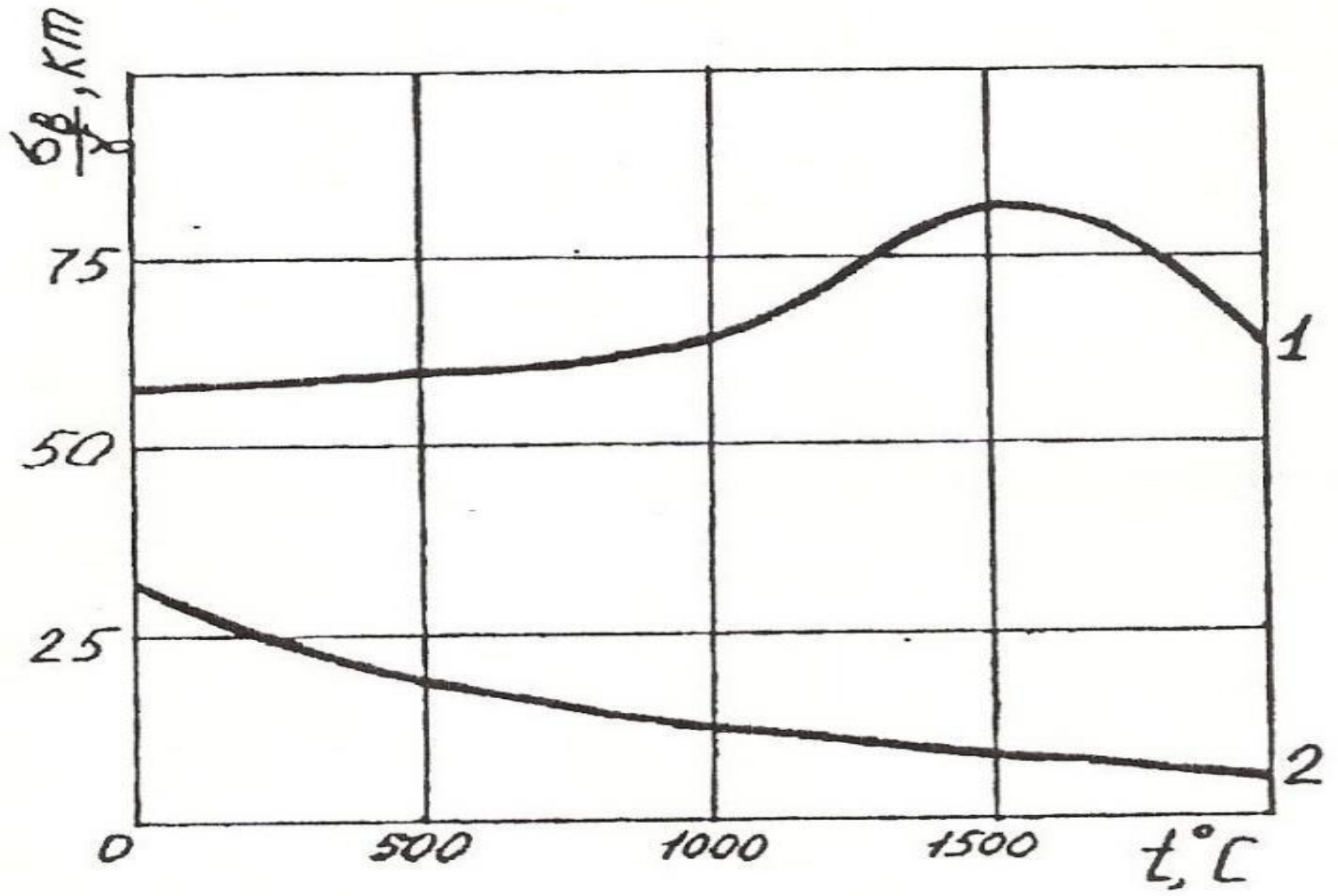
Углеродный наноматериал обеспечивает  
герметичность уплотнения при 2000°С



$\sigma$ , МПа



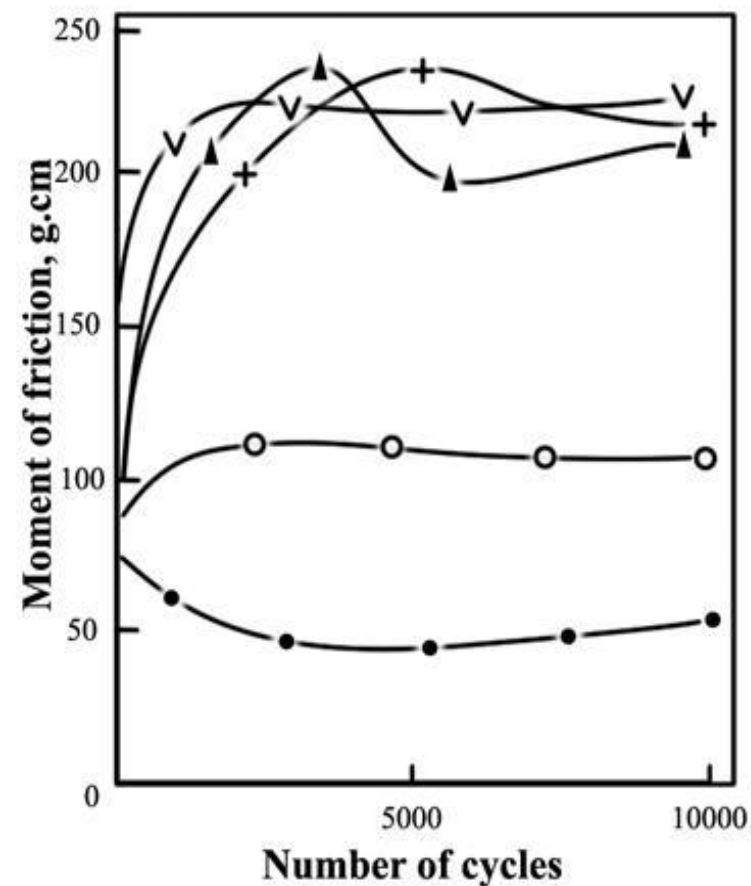




# Газодинамические подшипники

Масса ротора до 1 тонны

Скорость вращения до 1 млн об./мин



▲ -бронза

□ -антифрикционный сплав

V -корундовая керамика

□ -антифрикционный графит

● -углеродный наноматериал

Углеродный наноматериал  
не имеет следов износа  
после 5000 циклов пуск-стоп

# Направления

эффективной реализации свойств углеродного наноматериала при создании машиностроительной продукции с техническими характеристиками **выш**

## мирового уровня:

Высокотемпературные детали машин и оборудования

Торцевые уплотнения высокотемпературных агрессивных сред

Подшипники скольжения изделий точной механики

Токопроводящие детали электрических машин

Радиационностойкие детали атомной энергетики

Коррозионностойкие детали химического оборудования

Замена золота и платины в электрохимических устройствах

Элементы запорной арматуры агрессивных сред

Детали устройств для разливки цветных металлов

Инструмент для электроэрозионной обработки сверхтвердых материалов

Детали медицинской техники, контактирующие с жидкими средами организма

**(см. далее)**

# Биоинженерный потенциал

Показано отсутствие местного раздражающего общетоксического и канцерогенного действия углеродного наноматериала на организм.

По результатам многолетних исследований углеродный наноматериал рекомендован для клинического применения и с 1977 г. используется как основной конструкционный материал искусственного клапана сердца

# **Все материалы** **эндопротезов и имплантов** **взаимодействуют с живой тканью**

- Исключение – углерод в аллотропной модификации графита. Он химически и биологически инертен
- Однако конструкционные графиты пористы
- Импрегнаты (полимеры, металлы и др.) лишают графит биологической инертности

**УГЛЕРОДНЫЙ НАНОМАТЕРИАЛ  
РЕШАЕТ ЭТУ ПРОБЛЕМУ**



**Возможность заводского выпуска крупногабаритных заготовок углеродного наноматериала позволяет создавать медицинские изделия со свойствами выше мирового уровня**

- Все крупные и мелкие суставы
- Зубные имплантанты
- Набор изделий для
  - операций на позвоночнике,
  - челюстно-лицевой хирургии,
  - остеосинтеза
- Детали медицинской техники,  
контактирующие с кровью

# Узел трения тазобедренного сустава



# Хирургический крепеж





# Кейджи



# Зубные импланты





# Итоги работ МГТУ «МАМИ»

## ПРАКТИЧЕСКИЙ ВЫХОД

Теоретический расчет реализован в промышленной одностадийной технологии углеродного наноматериала со свойствами выше мирового уровня

## ПЕРСПЕКТИВЫ

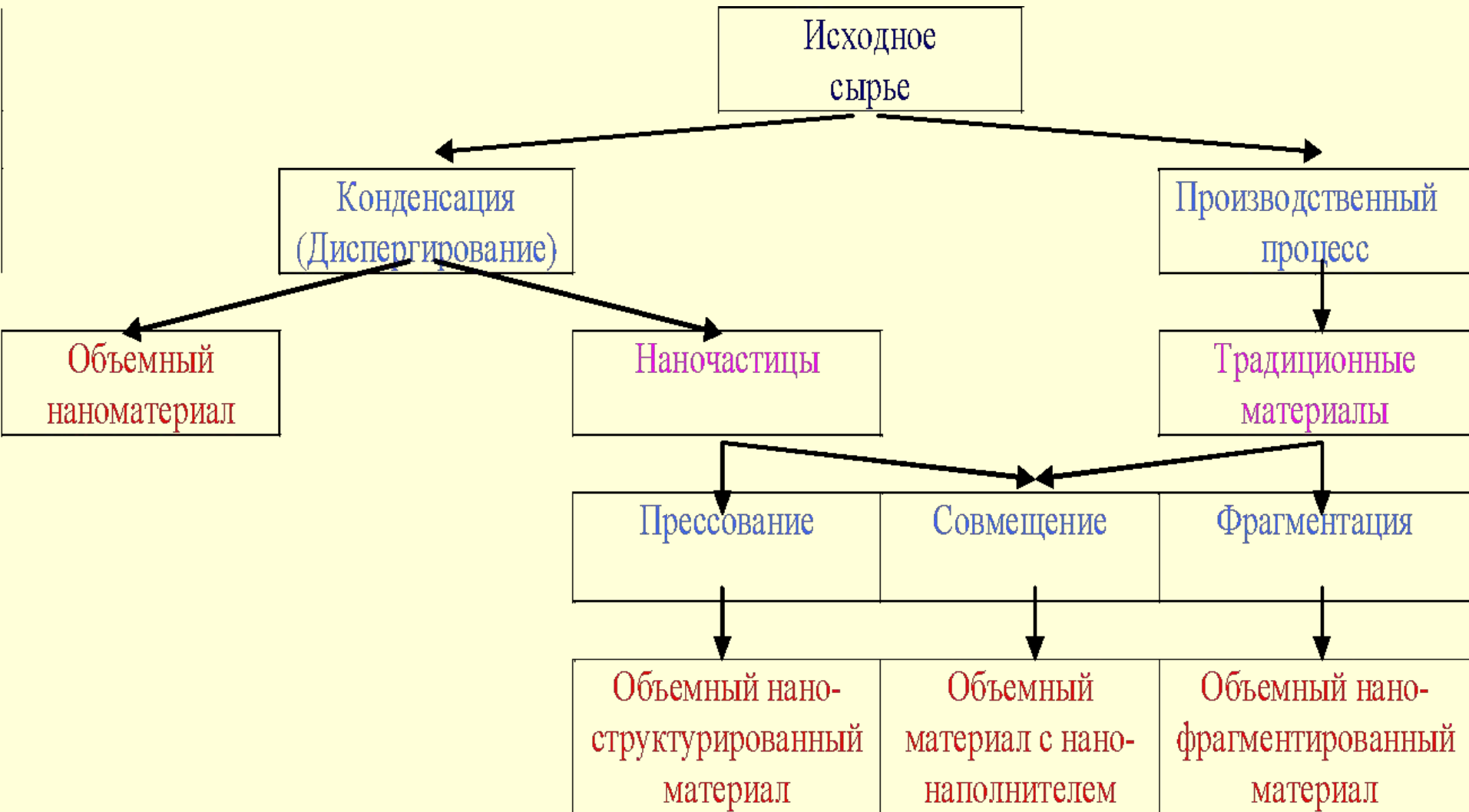
Теоретические положения могут быть использованы для получения широкой гаммы наноматериалов как на основе углерода, так и другого химического состава

Рассмотрим инновационный  
потенциал разработок других  
авторов в области нанотехнологии

применительно к созданию  
объемных материалов со  
свойствами

**многократно** выше достигнутого  
уровня

# Технологическая классификация объемных наноматериалов



# Нанопорошки

- Россия – «урановый проект» 50-е г.г. XX века.
- XX1 век - мировое производство 55 тыс.т/год.
  - Россия 2 т/год (потенциал 10 тыс.т).

Номенклатура: 70 % оксиды, 15 % металлы.

Использование: 1. Прессование

Гальванобатареи с наноэлектродами превосходят традиционные: емкость в 2, напряжение в 3 раза.

2. Наполнитель

Многократное улучшение свойств при добавке менее 1 % наночастиц.

# Нанобетон

канд.техн.наук Пономарев А.Н. «НТЦ прикладных нанотехнологий»(СПб)

Вводят углеродные наночастицы (астрален)

до 10 г на 1 т цемента. **Ударная прочность выше в 2-3 раза.**

- мост через Волгу (г.Кимры Тверской обл.),

**мостовые конструкции облегчены в 4 раза.**

- высотное строительство,

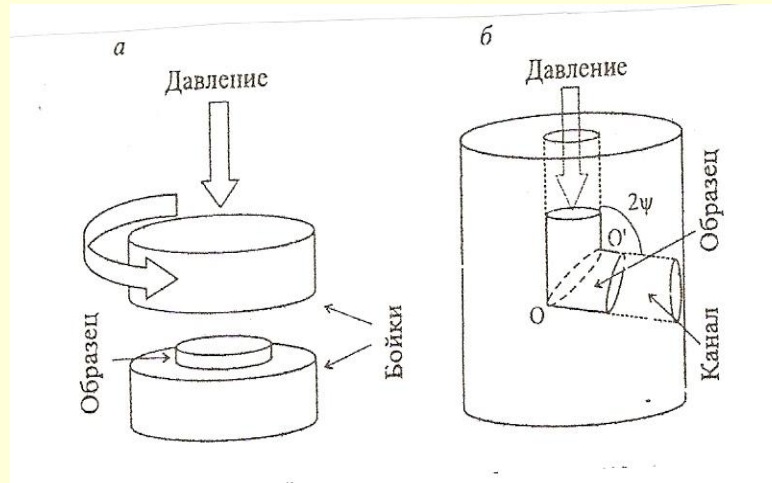
- пуленепробиваемые сооружения.



# Нанофрагментация металлов

ч-корр. БАН Валиев Р.З. 80-е годы XX века(УАУ)

Интенсивная пластическая деформация (ИПД). Принципиально новые свойства при  $\varepsilon > 1$ .



а – наковальня Бриджмена.  $n \geq 5$ . Размер зерен 10-20 нм.

Образец  $\varnothing 20 \times 1$  мм.

б – равноканальное угловое прессование. Размер зерен  $\leq 70$  нм.

Длиномерные прутки  $\varnothing 12$  мм. **Прочность выше в 2,5 раза.**

# Нанофрагментация металлов

акад. РАН Горынин И.В. ФГУП ЦНИИ «Прометей»

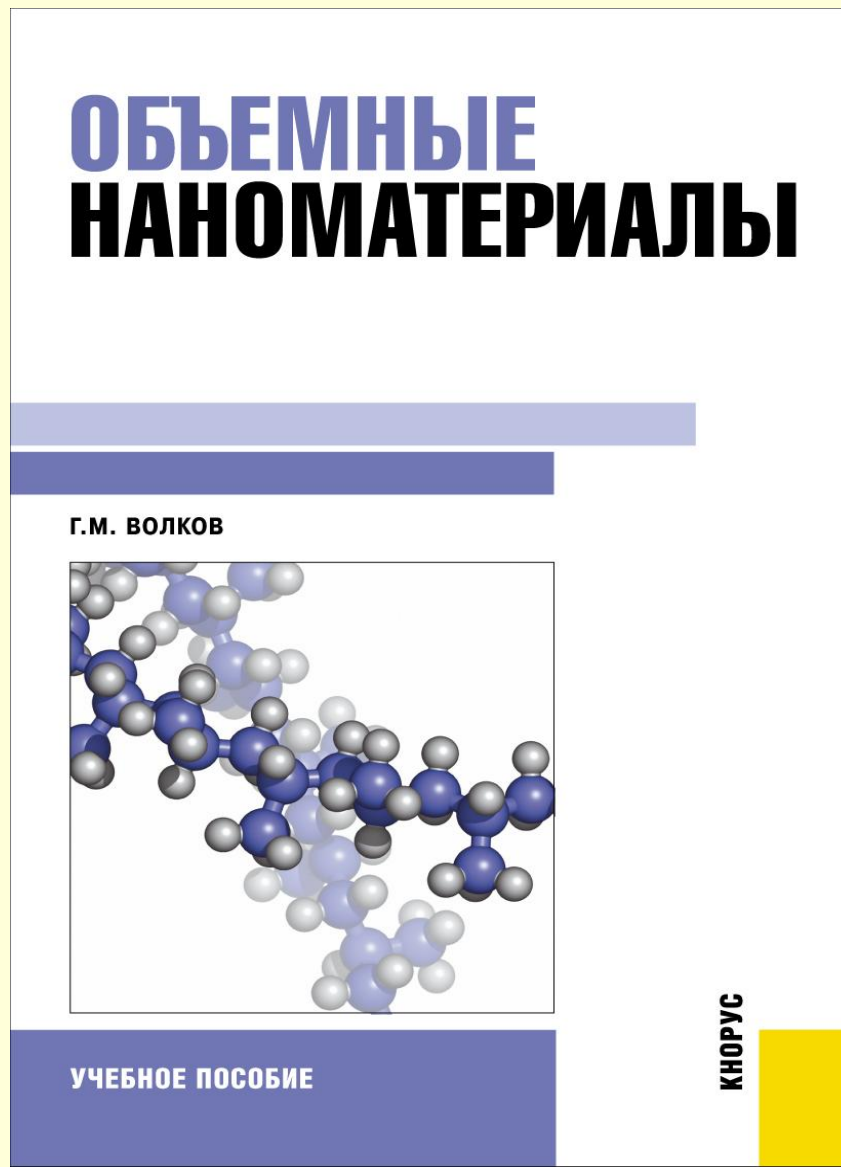


В промышленных условиях производства магистральных газо- и нефтепроводов большого диаметра для Крайнего Севера и Восточной Сибири размер зерна 10-50 нм, **конструкционные свойства выше в 4 раза.**

# Нанотрагментация металлов

Зарубежные компании Европы, США и Японии освоили производство заготовок с толщиной стенки более 200 мм из высокоуглеродистых легированных сталей с размером структурных элементов не более 40 нм. **Конструкционные свойства наноструктурированных сталей многократно превышают уровень свойств аналогичных марок традиционной технологии.**

Более подробно проблема многократного улучшения  
конструкционных свойств машиностроительных материалов  
рассмотрено в нашем учебном пособии



# Проблема А

## ПЕРВООРУЖЕНИЕ

### Часть 2

## Постановка задачи

Конструкционное применение полимеров ограничивает низкий температурный предел работоспособности, который для большинства органических полимеров не превышает 200°C.

Для создания тепловых машин с техническими характеристиками выше мирового уровня необходимы полимеры, **многократно** превышающие достигнутый порог жаростойкости.

Проблему решают неорганические полимеры.



# ЖАРОСТОЙКИЙ ПОЛИМЕР

Волков Георгий Михайлович

МГТУ «МАМИ»

тел./факс (495) 306-31-88

e-mail: [recom@list.ru](mailto:recom@list.ru)

<http://highpol.com/>

# Основные свойства

- **Химическая инертность в окислительных средах при нормальной и повышенных температурах. Рабочая температура до 2000°C**
- **Низкая плотность. Он легче алюминия и его сплавов в 1,5 раза**
- **Затвердевание не требует последующей термической обработки**
- **Его компоненты не токсичны, технология экологически безопасна**

# Технология

- **Негорючий полимер является полимером принципиально нового класса. Связующее на его основе (НПС) скомпоновано в двух упаковках. Смесь компонентов (порошок + наноразмерные добавки +жидкость) затвердевает в результате химической реакции при цеховой температуре.**
- **Материалы с использованием НПС изготавливают по традиционной технологии композиционных материалов на стандартном оборудовании.**
- **Материалы изготавливают прессованием в виде панелей, блоков различной конфигурации и труб. Трубы могут быть изготовлены также путем намотки волокнистого наполнителя. Литьевые составы на основе НПС позволяют изготавливать более широкий ассортимент продукции, включая крупногабаритные конструкции.**





12.10.2004

# Преимущества

- Связывая НПС неорганический волокнистый наполнитель получаем жаростойкий машиностроительный материал нового поколения – композиционный материал системы неорганика-неорганика (КМ Н-Н).

Рекомендуется в качестве высокотемпературного конструкционного материала для создания тепловых машин с техническими характеристиками выше мирового уровня.

- Связывая НПС неорганический порошковый наполнитель исключаем из технологического цикла керамики операцию спекания, которая занимает много времени и требует больших затрат энергии.

Это снижает производственные расходы в 2 раза.



# Машиностроение

- Большинство машин имеет тормозные устройства, работоспособность которых определяется характеристиками фрикционных материалов. Наиболее распространенные фрикционные материалы на полимерном связующем работоспособны до 200°C. Материалы системы углерод-углерод сохраняют фрикционные свойства до более высоких температур, но в воздушной среде горят и поэтому требуют специальной защиты.

Использование НПС в производстве фрикционных материалов позволит исключить температурный предел работоспособности тормозных систем и создать тормозные устройства с характеристиками выше мирового уровня.

# Машиностроение

- **На основе НПС созданы высокотемпературные клеи. Потребителями являются предприятия, эксплуатирующие тепловое оборудование.**
- **Предлагаемая технология позволяет восстановить разрушенные огнеупорные детали путем связывания НПС измельченного материала аварийной детали.**

**Ремонт выполняется в цеховых условиях по месту нахождения аварийного оборудования.**

# Негорючие материалы

- **Негорючие пластики на основе НПС. Замена ими используемых в настоящее время органопластиков позволит обеспечить полную экологическую безопасность в процессе эксплуатации, а при пожаре - исключить жертвы от воздействия ядовитых продуктов пиролиза органопластиков.**

**Наиболее массовое применение ожидается в строительстве для интерьера зданий гражданского и промышленного назначения. Не менее эффективно применение негорючих материалов для интерьера воздушных, наземных и подземных транспортных устройств.**

# Негорючие материалы

- **Негорючие пластики на основе НПС. Замена ими используемых в настоящее время органопластиков позволит обеспечить полную экологическую безопасность в процессе эксплуатации, а при пожаре - исключить жертвы от воздействия ядовитых продуктов пиролиза органопластиков.**

**Наиболее массовое применение ожидается в строительстве для интерьера зданий гражданского и промышленного назначения. Не менее эффективно применение негорючих материалов для интерьера воздушных, наземных и подземных транспортных устройств.**

# Экология

- Замена фенолформальдегидных смол на НПС исключит экологическое загрязнение окружающей среды ядовитыми фенолом и формальдегидом в процессе производства и эксплуатации ДСП, например, в качестве интерьера помещений и мебели
- Способность НПС нейтрализовать диоксины решает некоторые актуальные проблемы мегаполисов: утилизация золы мусоросжигательных заводов, исключение утечки диоксинов из городских свалок.



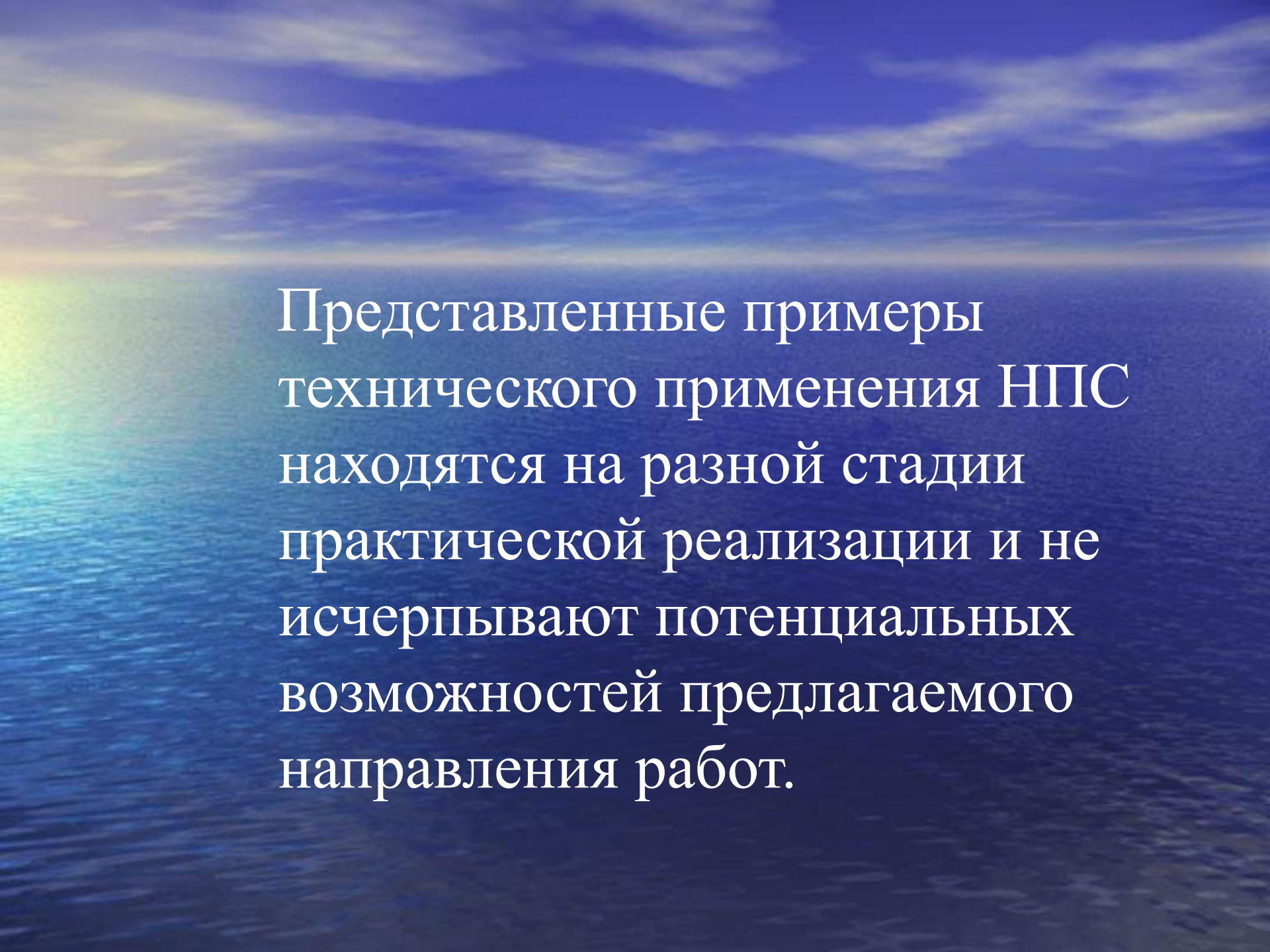
# Экология

- Предлагаемая технология нечувствительна к качеству сырья, что позволяет утилизировать почти все промышленные отходы независимо от их химического состава, влажности, консистенции и др.

Это позволяет перерабатывать промышленные отходы в огнеупорные материалы различного назначения и широкий ассортимент строительных материалов (стенные и крупногабаритные изделия, высокопрочный кирпич, кислотоупорные покрытия, теплоизоляционные материалы, огнезащитные краски, ультралегкий наполнитель, легкие бетоны, высокотемпературные клеи, ремонтные составы, негорючие пластики и многое другое...)

# Экология

- **Состав на основе НПС заменяет канцерогенный битум в производстве асфальта. Это концентрированная многокомпонентная эмульсия. Из концентрата прямо на линии готовят рабочий раствор. После механического уплотнения обработанные раствором слои дорожного покрытия приобретают плотность, прочность и водоотталкивающие свойства.**

The background of the slide features a serene sunset over a vast ocean. The sky is a deep, vibrant blue, transitioning into a lighter, hazy blue near the horizon. A soft, multi-colored rainbow arches across the sky, with its colors ranging from purple and blue to yellow and orange. The ocean below is a dark, textured blue, with gentle ripples visible on its surface. The overall atmosphere is calm and expansive.

Представленные примеры  
технического применения ИПС  
находятся на разной стадии  
практической реализации и не  
исчерпывают потенциальных  
возможностей предлагаемого  
направления работ.

# Проблема Б

## САНАЦИЯ

### Постановка задачи

Обеспечение работоспособности изношенной  
техники

основано на регулярных ремонтных работах  
разной периодичности.

Технико-экономически эффективны  
ремонтные технологии нового поколения:

- холодная молекулярная сварка
- безразборный ремонт узлов трения



# Холодная Молекулярная Сварка

Волков Георгий Михайлович

тел./факс: (495) 306-31-88

e-mail: [recom@list.ru](mailto:recom@list.ru)

<http://rekom.su/>



Почему молекулярная

Молекулярное взаимодействие  
(функциональные группы полимера-металл)

Почему холодная

Цеховая температура взаимодействия

Почему сварка

Неразъемное соединение сопрягаемых  
деталей

*Расходные материалы ХМС -*

**ремонтные композиционные материалы  
(Реком)**

Рекомы состоят из клеевой основы, в которую введено большое количество дискретного наполнителя различной природы и формы.

Технологически компоненты Рекомов скомпонованы в двух упаковках, смешивание которых в кратных долях образует самоотвердеющую смесь.

Такой состав обеспечивает технологическое и эксплуатационное преимущества использованию Рекомов перед традиционными способами ремонта.

## ***Преимущества ХМС*** ***(сравнение с термической сваркой)***

- не требует нагрева
- исключает деформацию детали
- не требует повторной ТО
- не расходует э/энергию
- не использует оборудование
- не требует высокой квалификации исполнителя
- выполняется на воздухе вне защитной среды
- допускает полевой ремонт
- позволяет ремонт в пожаро- и взрывоопасных цехах
- экологически безопасна
- соединяет разнородные металлы
- позволяет соединение металл-неметалл

## ***Преимущества ХМС (сравнение с клеевыми соединениями)***

- **не требует давления**
- **обладает объемными свойствами**
- **не требует геометрической подгонки деталей**
- **заполняет выработку деталей глубиной 10 и более мм**
- **позволяет изготавливать цельковую деталь**

# Реком-Б (базовый)

ремонтный композит универсального назначения

## Гарантируемые показатели:

- Предел прочности при сдвиге по стыку со сталью – не менее 200 кг/см<sup>2</sup>
- Предел прочности при сжатии – не менее 1000 кг/см<sup>2</sup>

## Факультативные показатели:

- Предел прочности при изгибе 700 кг/см<sup>2</sup>
- Предел прочности при растяжении 300 кг/см<sup>2</sup>
- Рабочая температура 150°С, кратковременно 200°С
- Коэффициент трения в масле 0,06
- Плотность 2,1 г/см<sup>3</sup>
- Время жизни смеси при (20÷30)°С не менее 1 час
- Время полного набора прочности при (20÷30)°С 24 час



**Реком-Б** рекомендуется для устранения дефектов корпусных деталей (трещины, вырывы и др.) и брака литья (раковины, пористость и др.) чугуновых и силуминовых деталей, восстановления посадочных мест на валу и в корпусе агрегата, восстановления фланцевых соединений и плоскостей разъема агрегатов, а также для ремонта радиатора, бензобака, кузовных работ и косметического ремонта автомобиля, для устранения течи теплообменников, емкостей ГСМ, трансформаторов и др. энергооборудования.

# **Реком-И (износостойкий)**

**ремонтный**

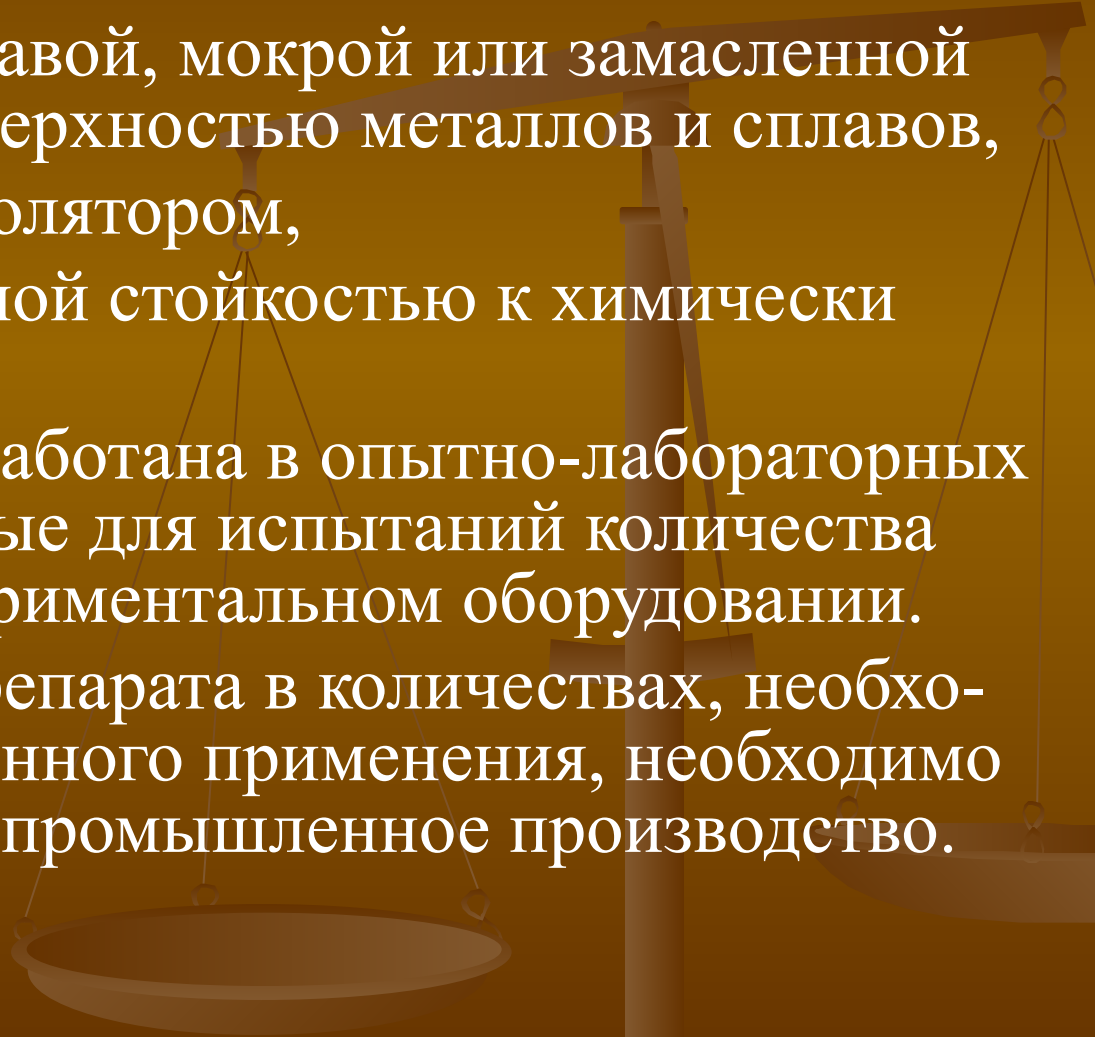
**композит специального назначения**

- **Коэффициент трения по стали в масле 0,037.**
- **Твердость по Бринеллю 220 НВ.**
- **Предел прочности при сжатии не менее 800 кг/см<sup>2</sup>.**
- **Механическая обработка производится твердосплавным резцом.**
- **По износостойкости в 5 раз превосходит углеродистые стали.**
- **Рекомендуется для устранения царапин и задиров поверхностей трения, восстановления подвижных посадок на валу и в корпусе агрегата, ремонта шпоночных, шлицевых и резьбовых соединений.**

# Рекомы специального назначения

- схватывающиеся со ржавой, мокрой или замасленной нефтепродуктами поверхностью,
- для полевых условий при любых плюсовых температурах в туман и дождь,
- электроизолятор для ремонта в стационарных условиях токонесущих деталей машин и оборудования,
- абразивостойкий для восстановления деталей, работающих в абразивной среде,
- химстойкий для ремонта деталей машин и оборудования химических производств.
- Ремкомплекты аварийные с минутными временами отверждения; маркируются РА.

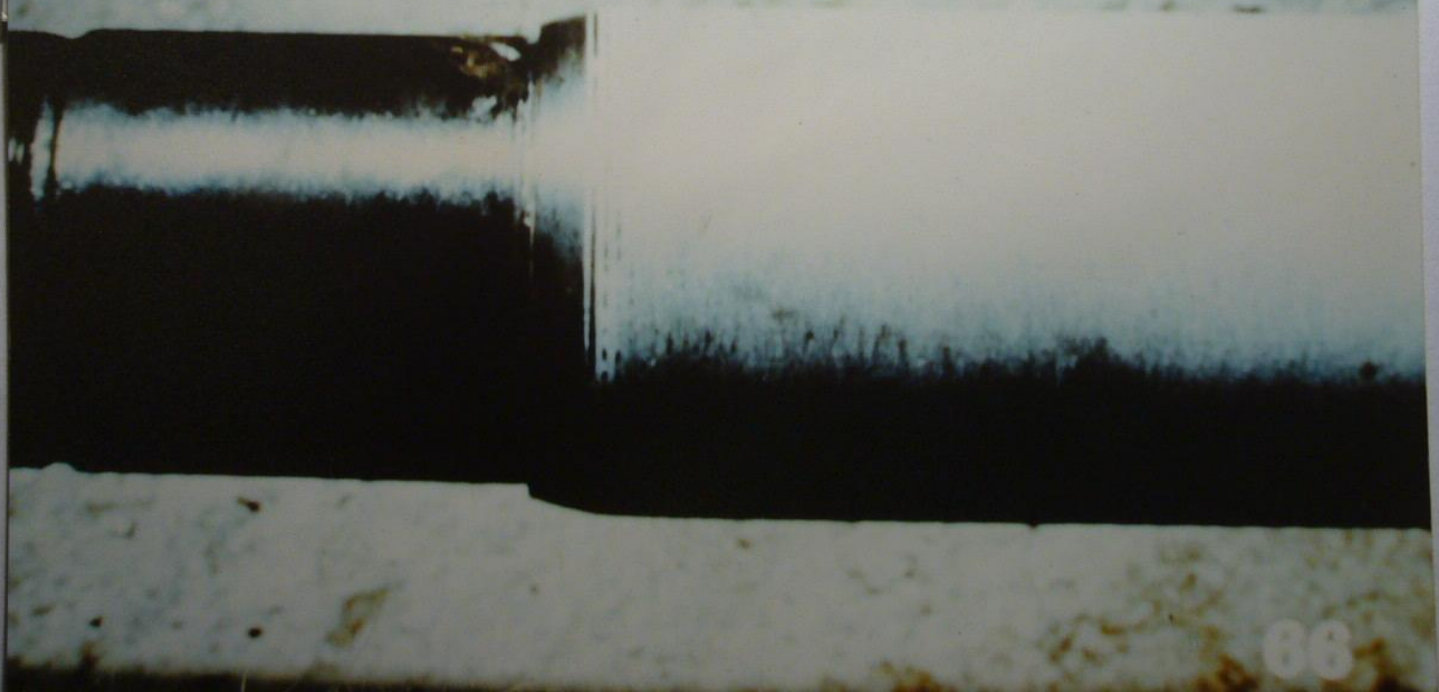
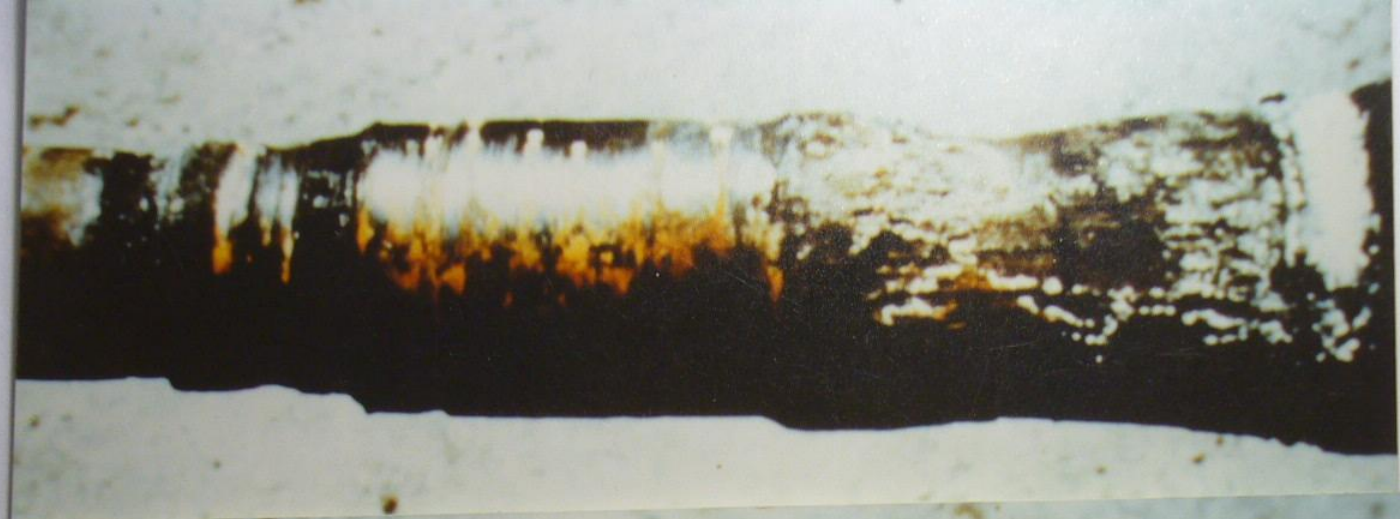
# Ремкомплект аварийный универсального назначения (РА-У)

- позволяет выполнять аварийный ремонт в полевых условиях,
  - схватывается со ржавой, мокрой или замасленной нефтепродуктами поверхностью металлов и сплавов,
  - является электроизолятором,
  - обладает повышенной стойкостью к химически активным средам.
- Технология РА-У отработана в опытно-лабораторных условиях. Необходимые для испытаний количества изготовлены на экспериментальном оборудовании.
- Для изготовления препарата в количествах, необходимых для промышленного применения, необходимо организовать опытно-промышленное производство.
- 



# Восстановление изношенной техники



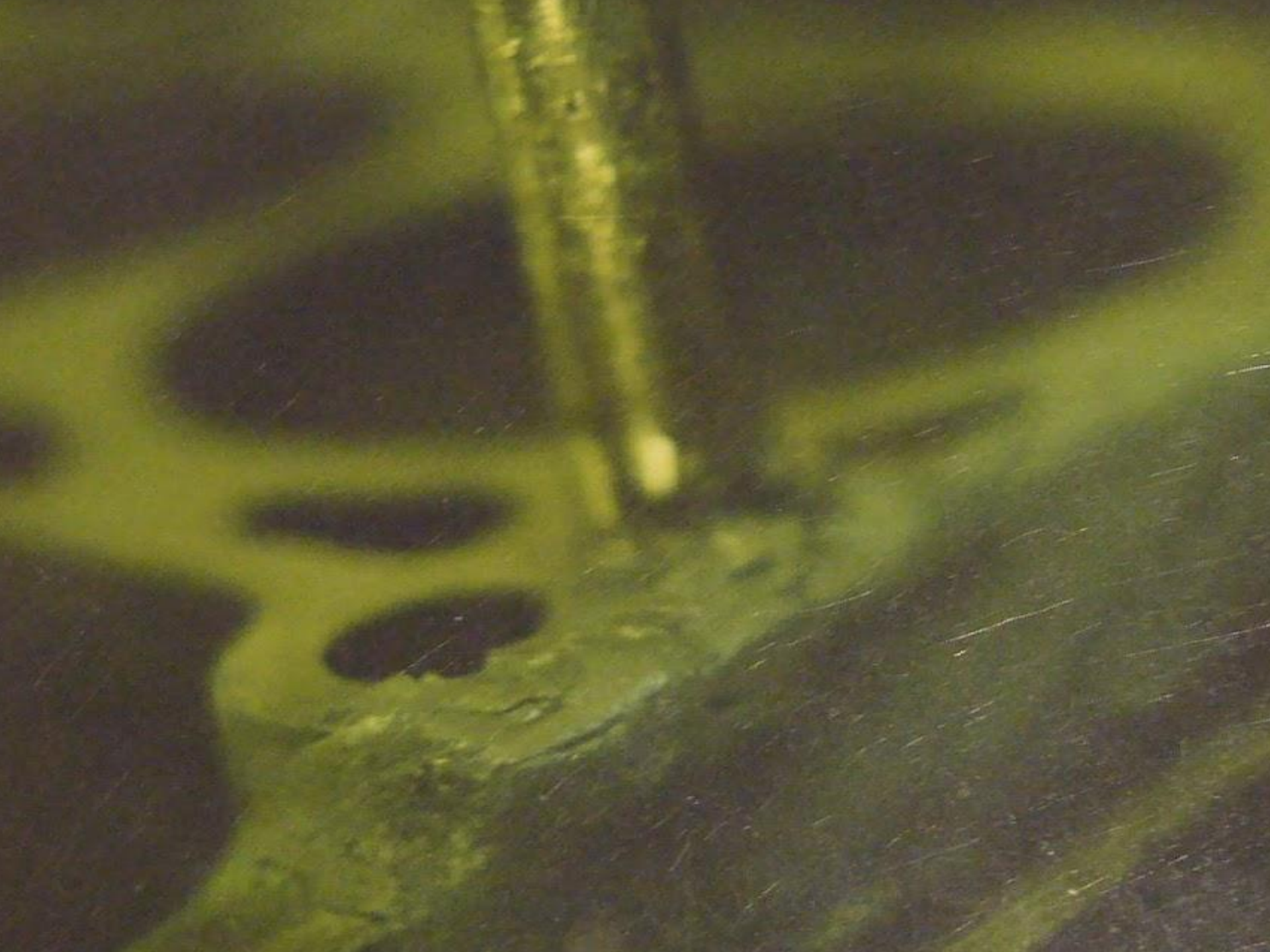




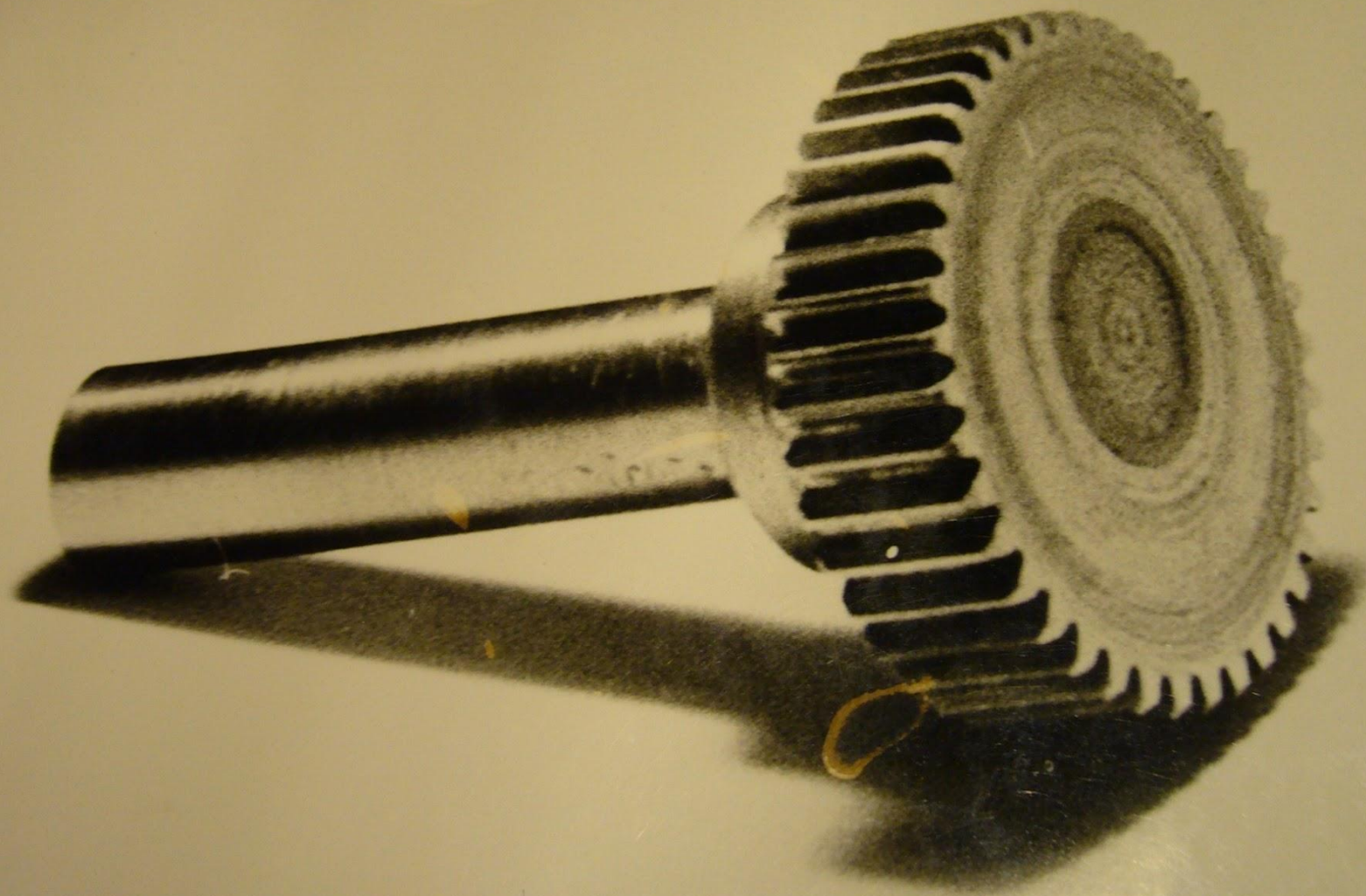




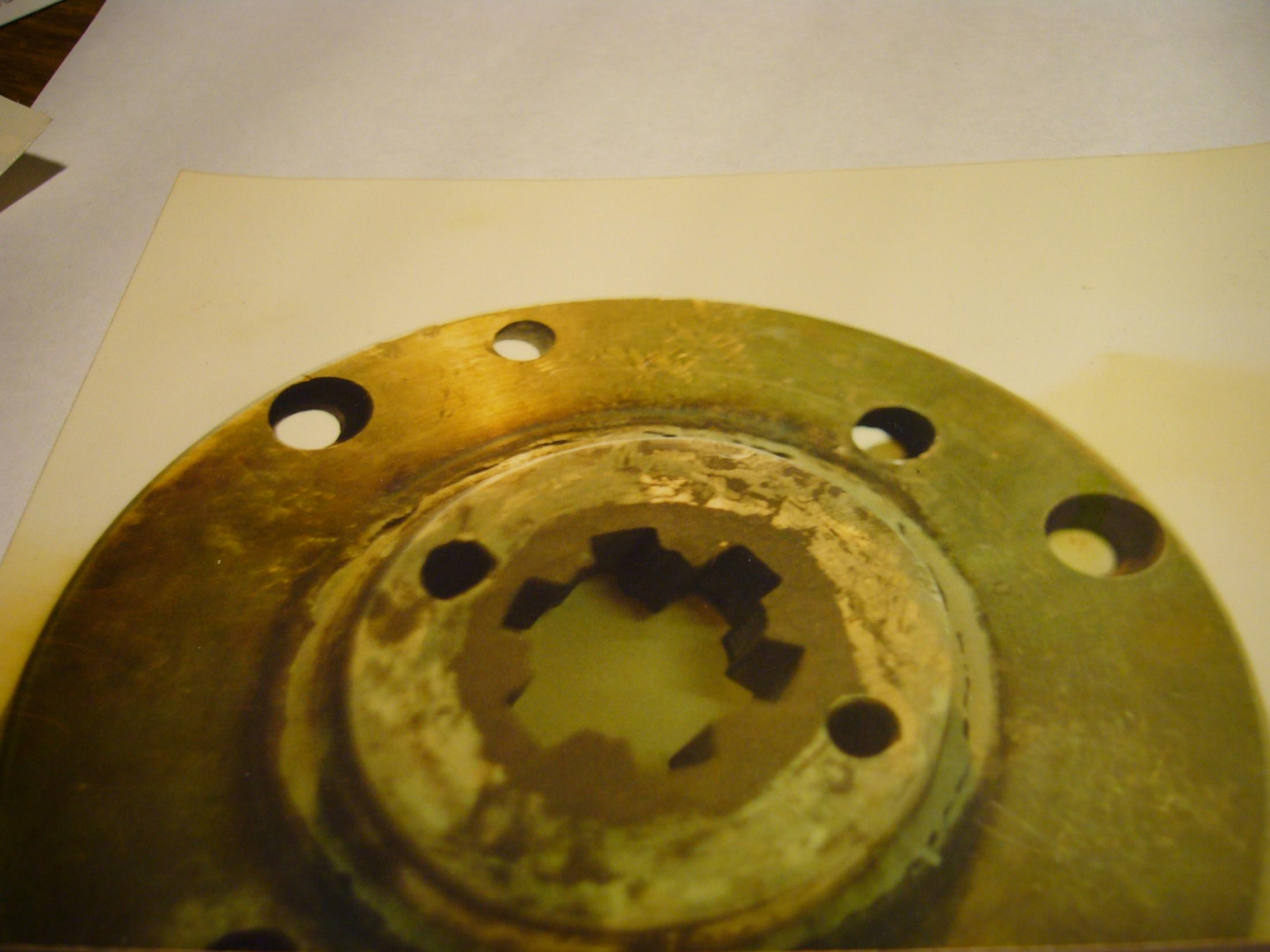








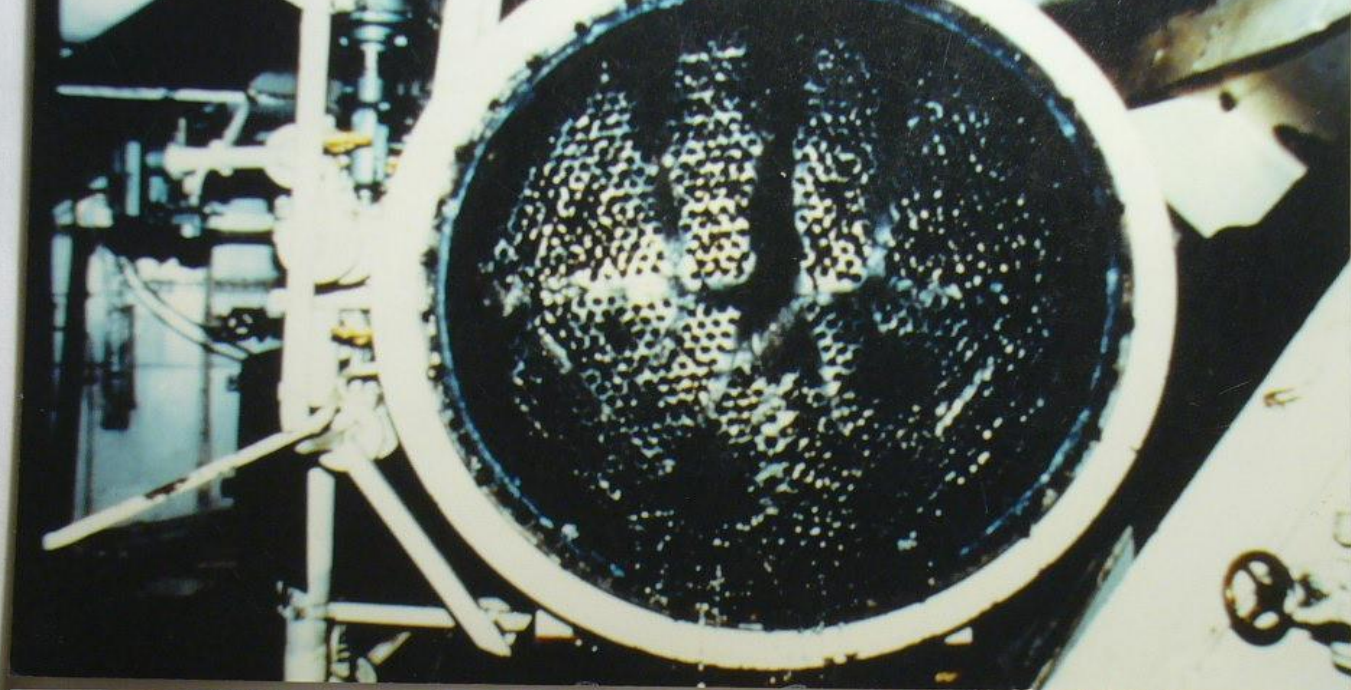




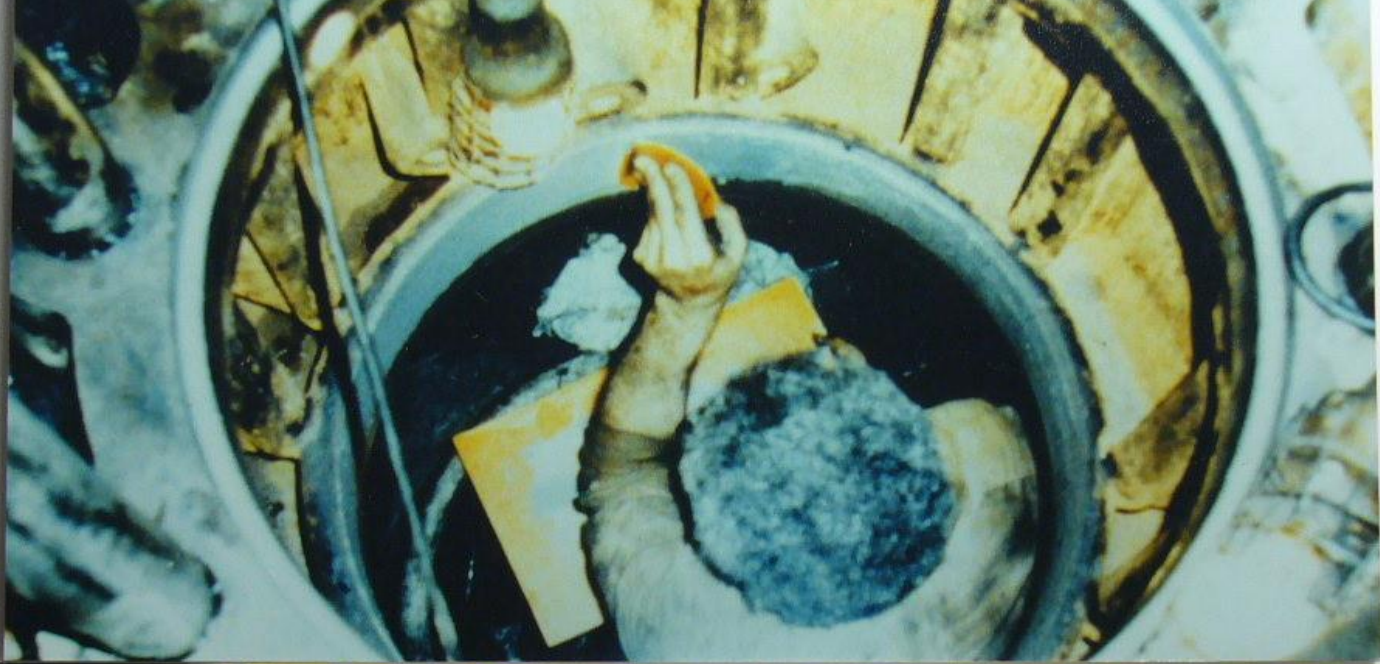


















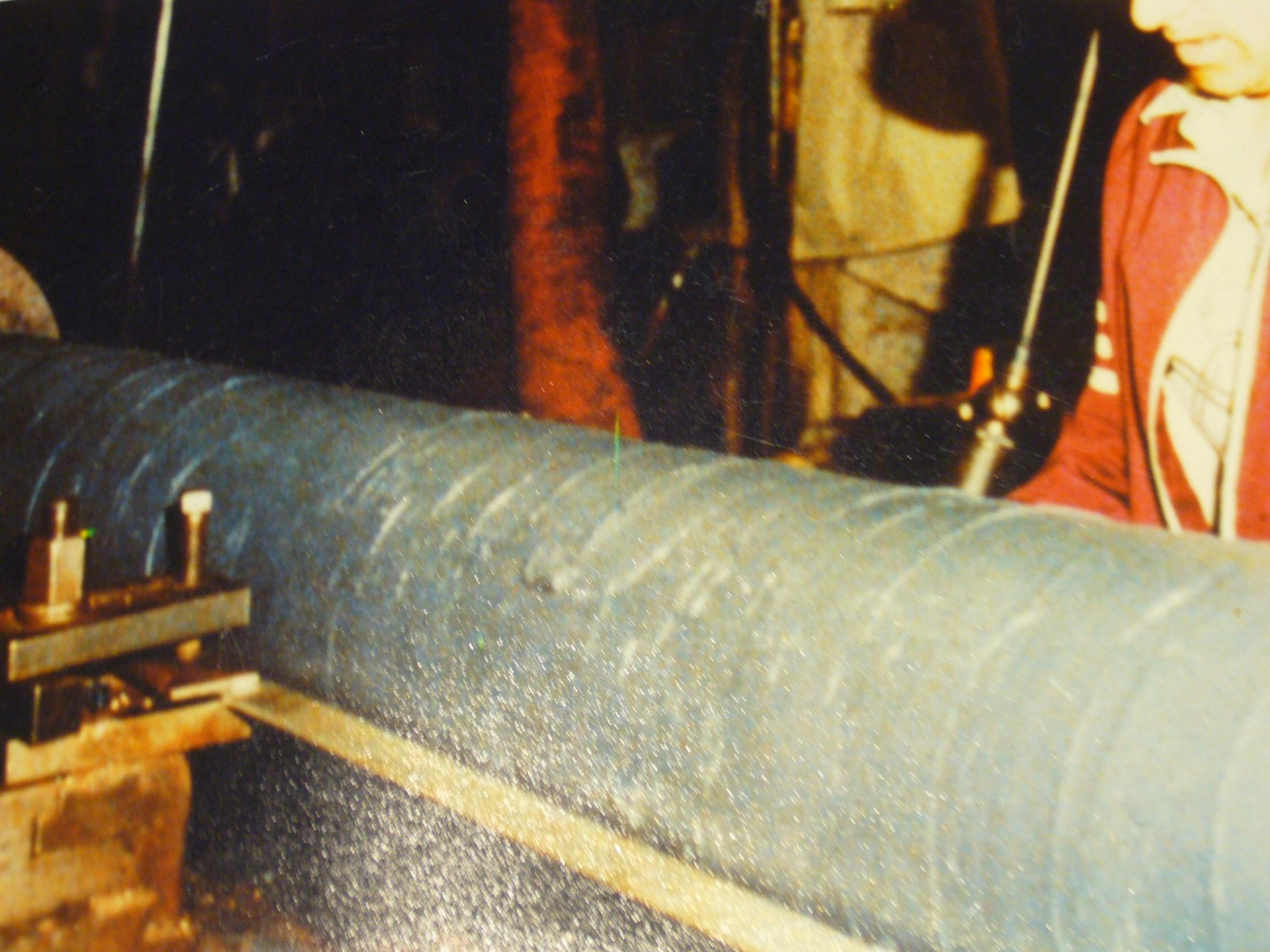
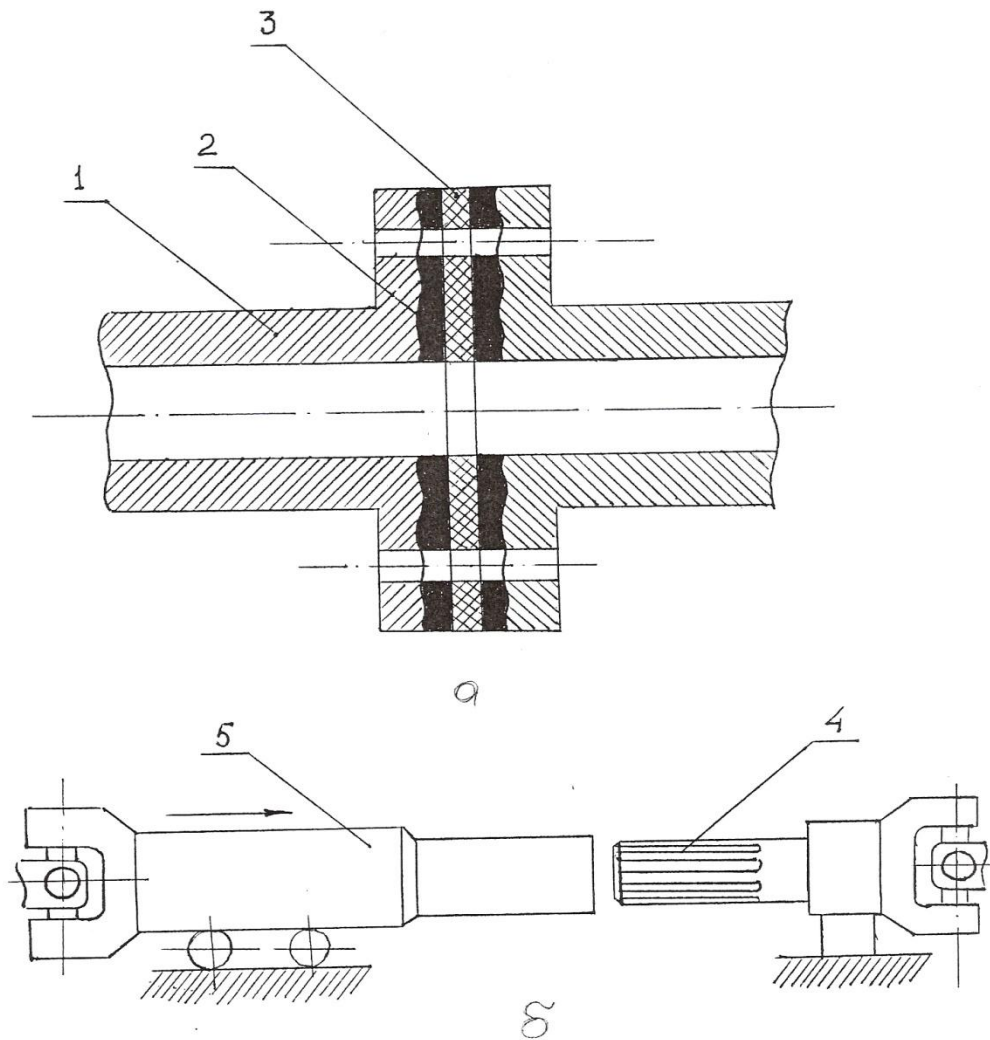






Рисунок. Схема восстановления методом холодной молекулярной сварки фланцевых (а) и шлицевых (б) соединений:

- 1 - трубопровод,
- 2 - композит,
- 3 - формообразующая прокладка,
- 4 - вилка,
- 5 - формообразующая розетка.



# Рекомендация

поддержание в работоспособном состоянии изношенной инфраструктуры и основного производственного оборудования предприятий любого профиля обеспечивается использованием всего трех марок Реком в следующем соотношении Реком-Б 80 %, Реком-И 10 %, РА-У 10 %

---

**Волков Г.М. Ремонт, восстановление и модернизация, № 8, 2002**

# Проблема Б

## Безразборный ремонт

НИИ «Механобр»(СПб) 90-е годы XX века  
- самовосстановление бурового инструмента  
при обработке серпентинитовых горных пород  
Серпентин – минерал  $(MgO)_x(SiO_2)_y(H_2O)_z$   
Составы на его основе – геомодификаторы  
восстанавливают изношенные поверхности в  
режиме штатной эксплуатации узла трения



# Эффективность геомодификаторов

- ◆ Коэффициент трения < до 2 раз
  - ◆ Ресурс узла трения > до 3 раз
  - ◆ Эксплуатационные расходы < до 2 раз
  - ◆ Экономический эффект = 500÷800 %
- 

Балабанов В.И. и др. Безразборный сервис

автомобиля / М.: «Известия», 2007



**Благодарю за внимание!**

# Перспективы материаловедения (в машиностроении)

---

Волков Георгий Михайлович

моб.: 8-925-0-692-693

e-mail: [recom@list.ru](mailto:recom@list.ru)

<http://nanoprom.info/>