

Инновационный
потенциал
материаловедения
(в машиностроении)

Волков Георгий Михайлович

моб.: 8-925-0-692-693

e-mail: 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

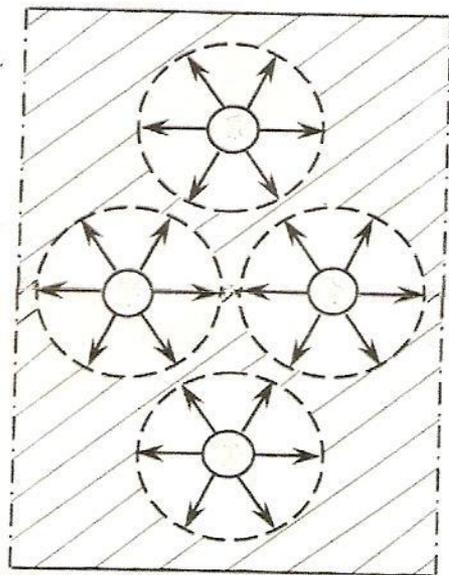
Принципиальный недостаток традиционных способов упрочнения материалов



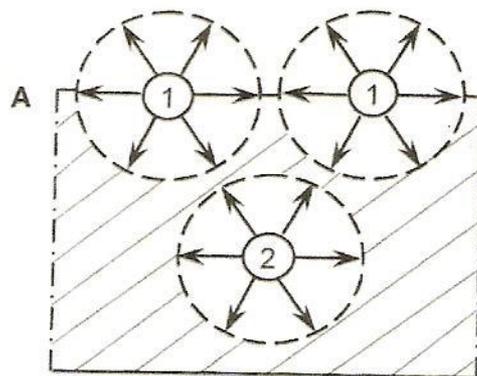
**Попытки многократного повышения
прочности материала
традиционными способами
блокируются столь же резким
снижением его пластичности.**

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

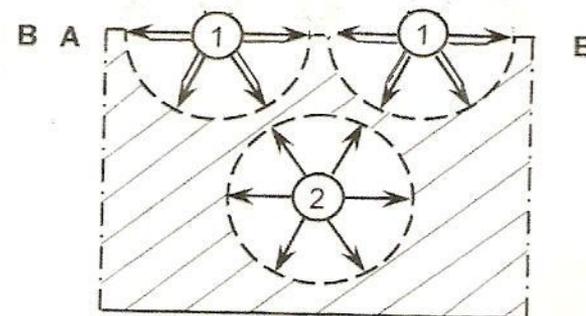
Схема формирования поверхностного слоя вещества



а



б

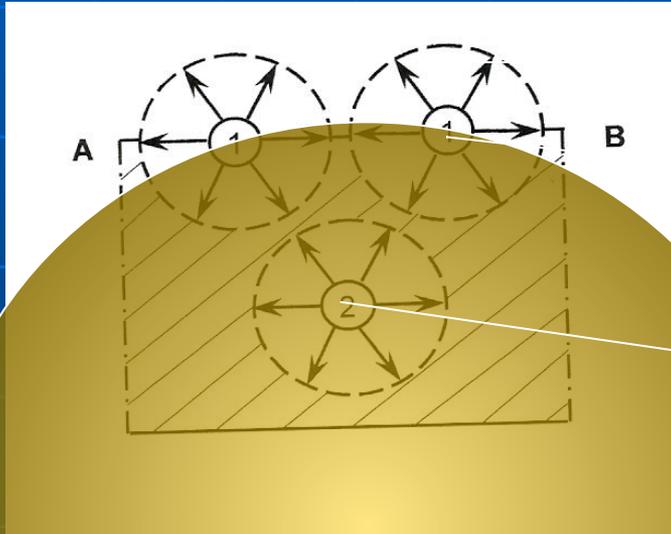


в

Ненасыщенные связи атомов на поверхности А-В раздела фаз создают огромное (≥ 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.

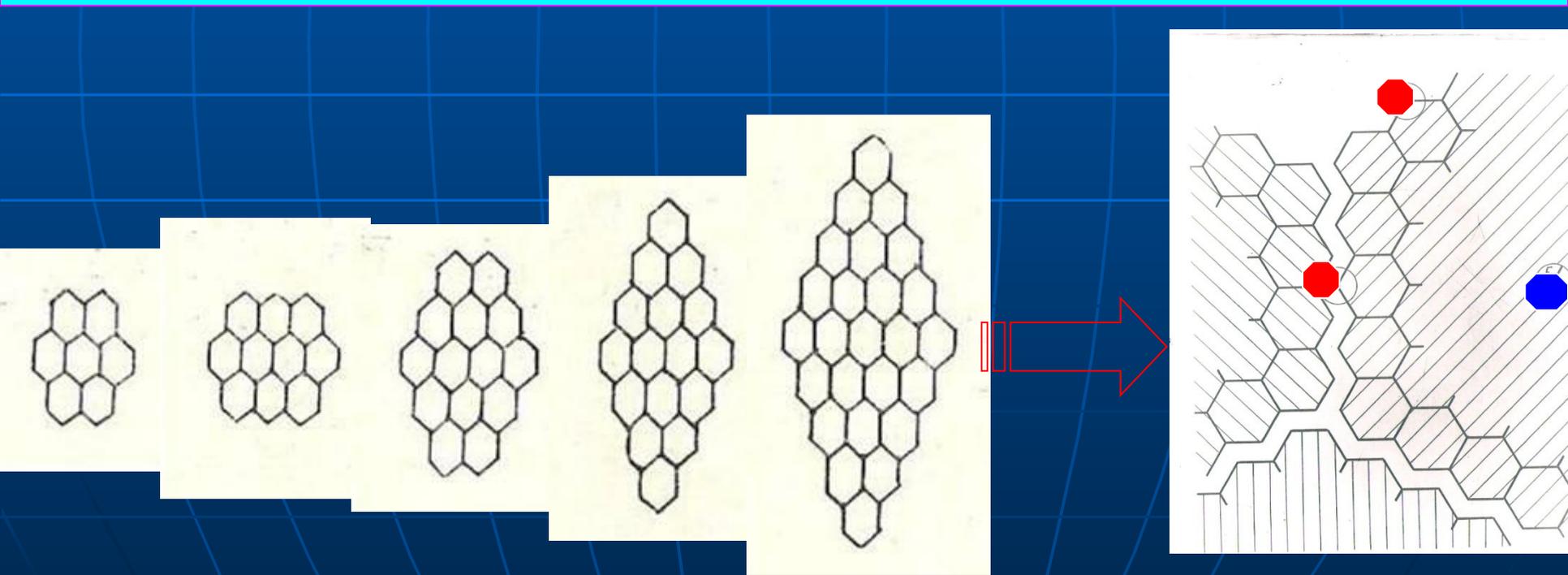
**количество его химических соединений
многократно больше всех соединений
всех остальных элементов таблицы Д.
И. Менделеева**

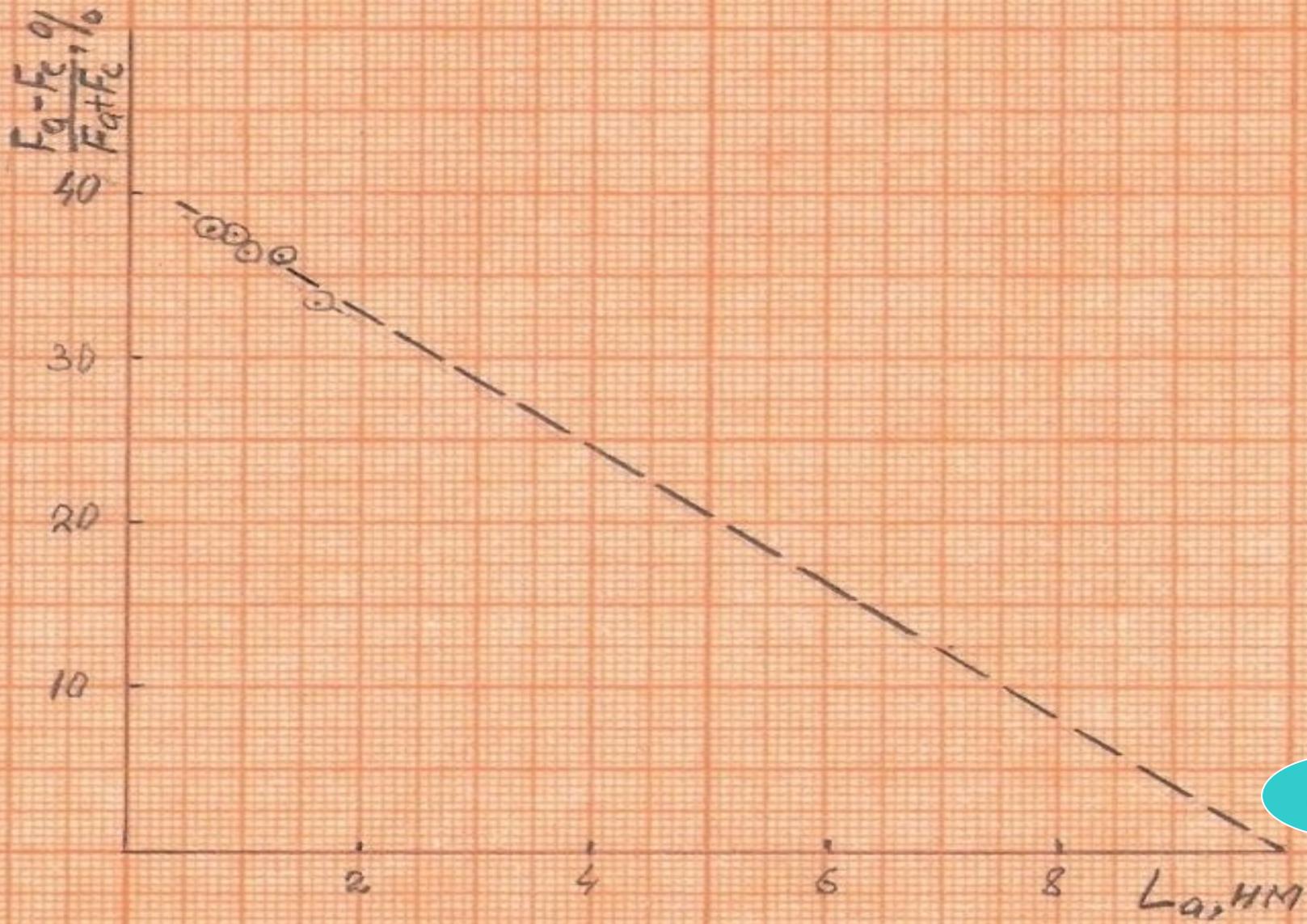
**□ В аллотропной модификации графита, т.
к.**

**- только он остается в твердой фазе
при температурах свыше 4000°C
- только он освоен в крупнотоннажном
производстве материалов конструкци-
онного назначения**

Графит как предельная степень конденсации углеводородов ароматического ряда

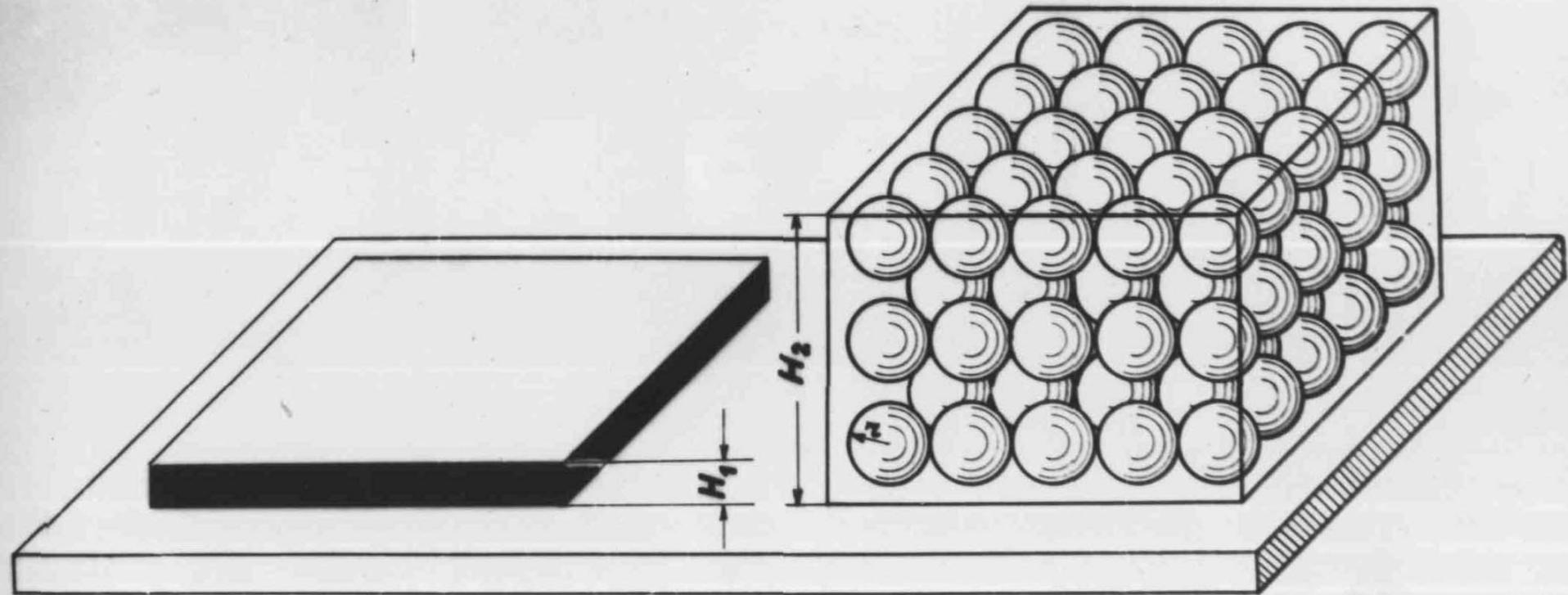
Отношение индексов свободной валентности периферийных \bullet \bullet внутренних атомов углерода обратно пропорционально величине молекулы
 d кр. = теория ~ 10 нм, эксперимент 9,2 нм





d кр.

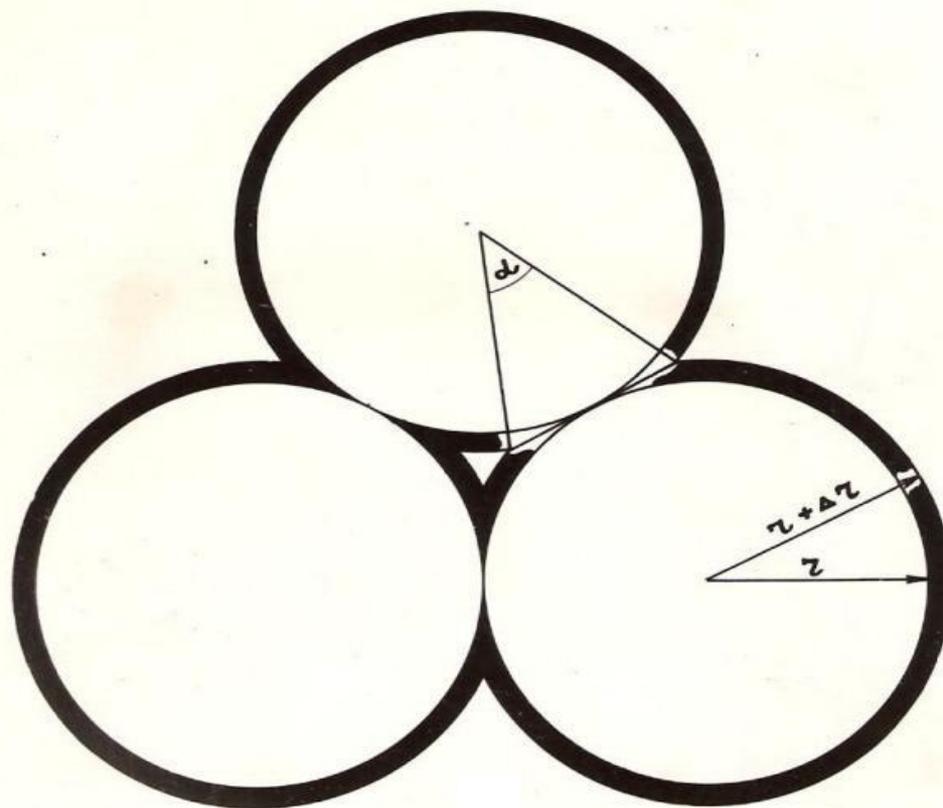
Технология

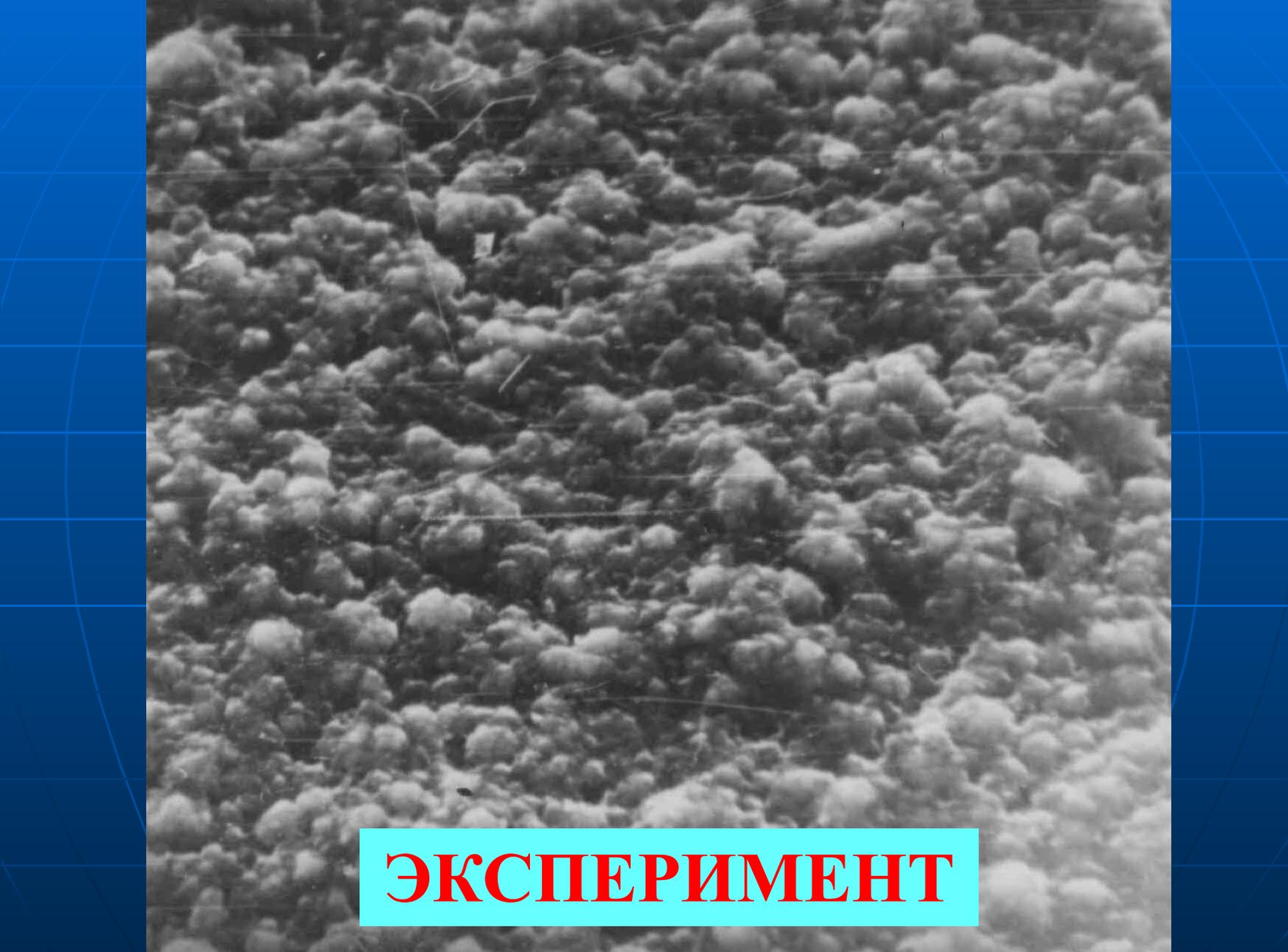


ТЕОРИЯ

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

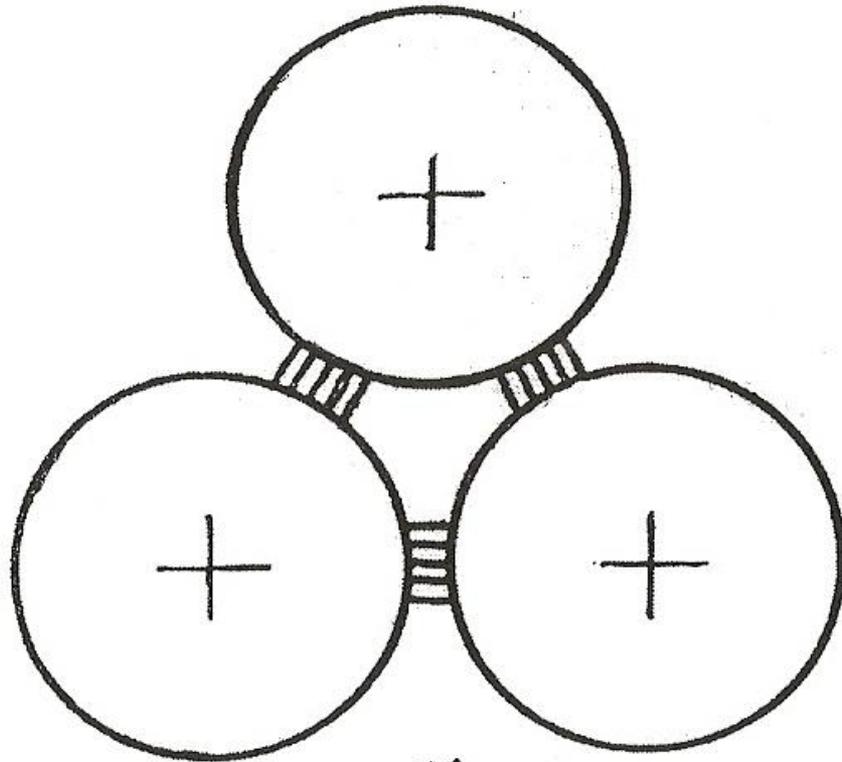
разделены в пространстве и во времени
Технология, как минимум, двухстадийна

Предлагаемая технология наноматериалов

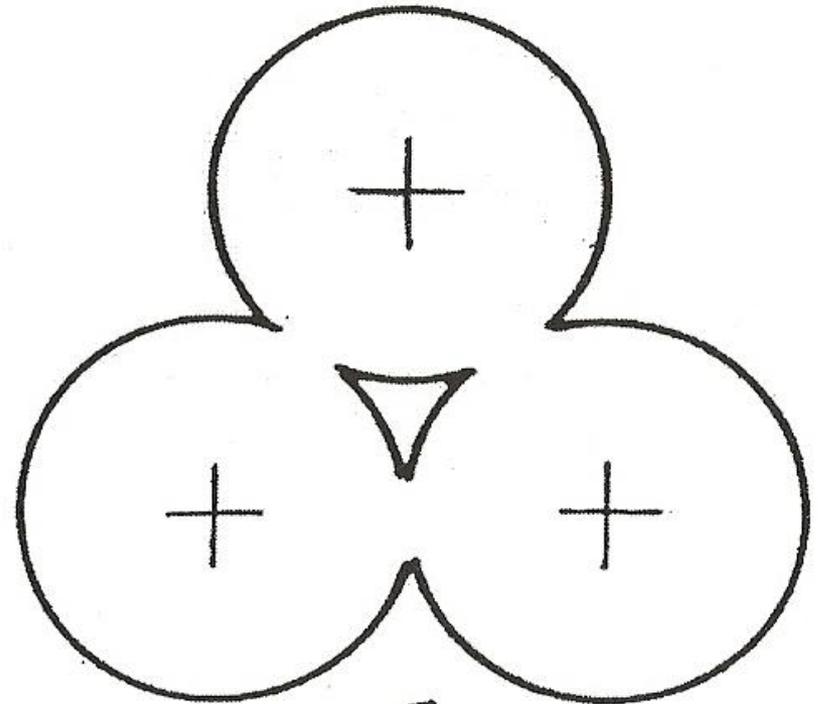
Наночастицы и связывающая их матрица
формируются одновременно
в одном химическом реакторе

Технология наноматериала одностадийна

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

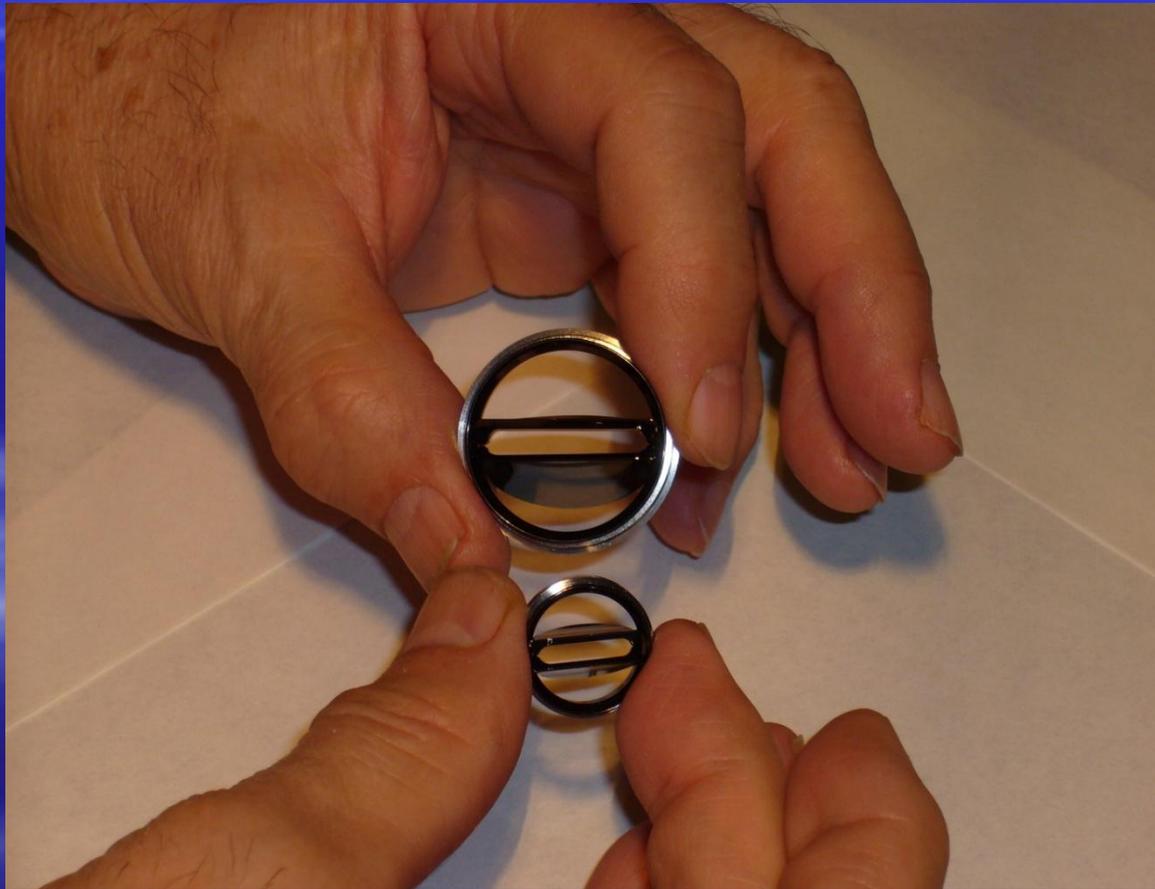
Применение

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

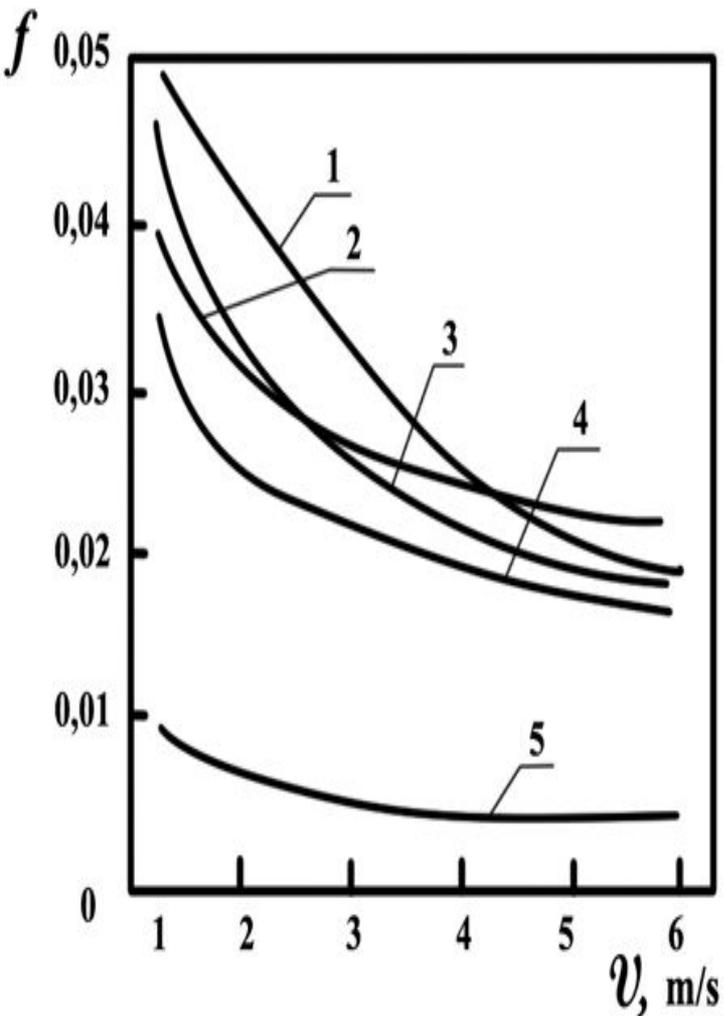
так и в традиционном машиностроении (высокотемпературные торцевые уплотнения агрессивных сред, антифрикционные вкладыши газодинамических подшипников)

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

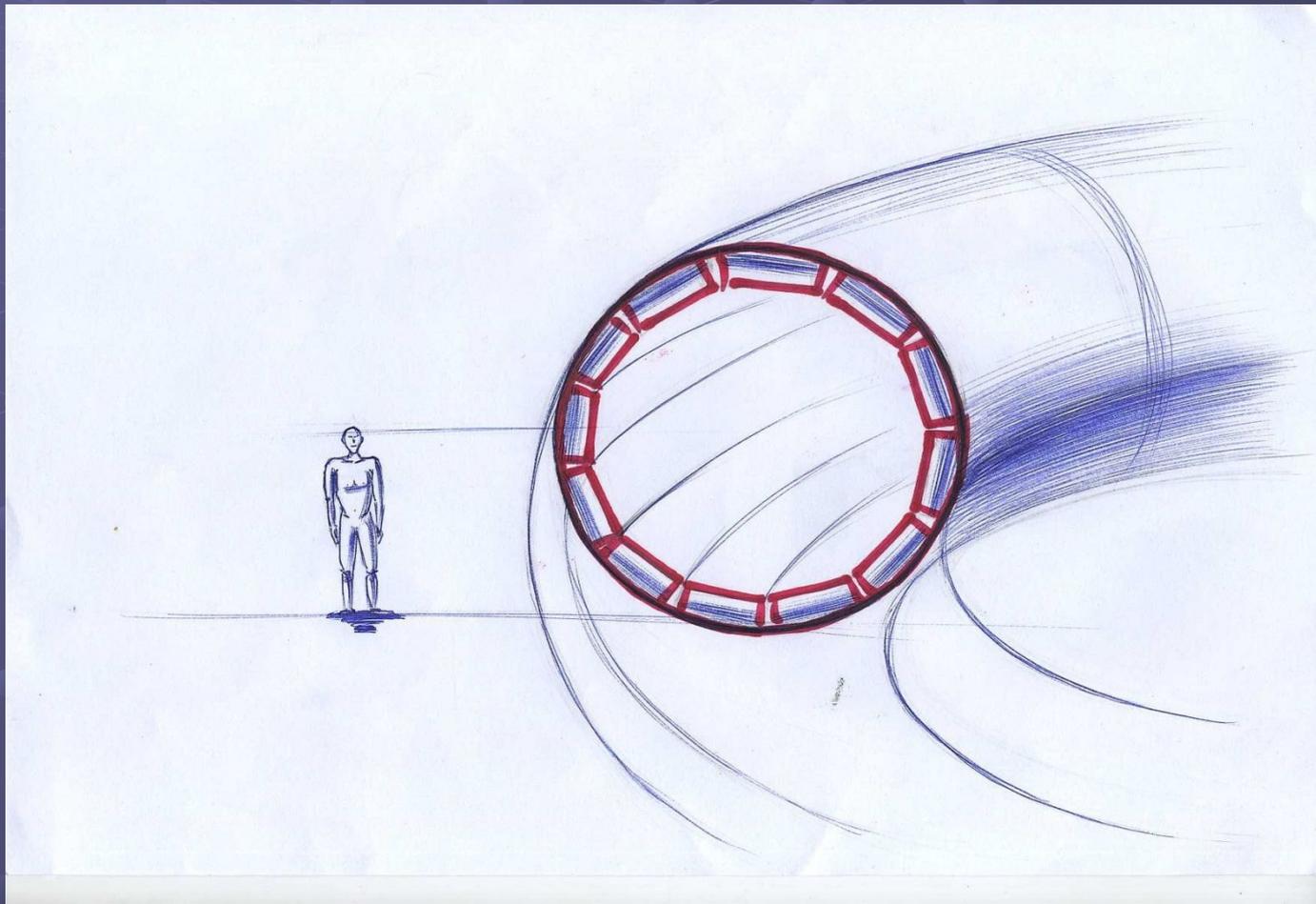
Коэффициент трения в жидкой среде

1÷4 – антифрикционные графиты

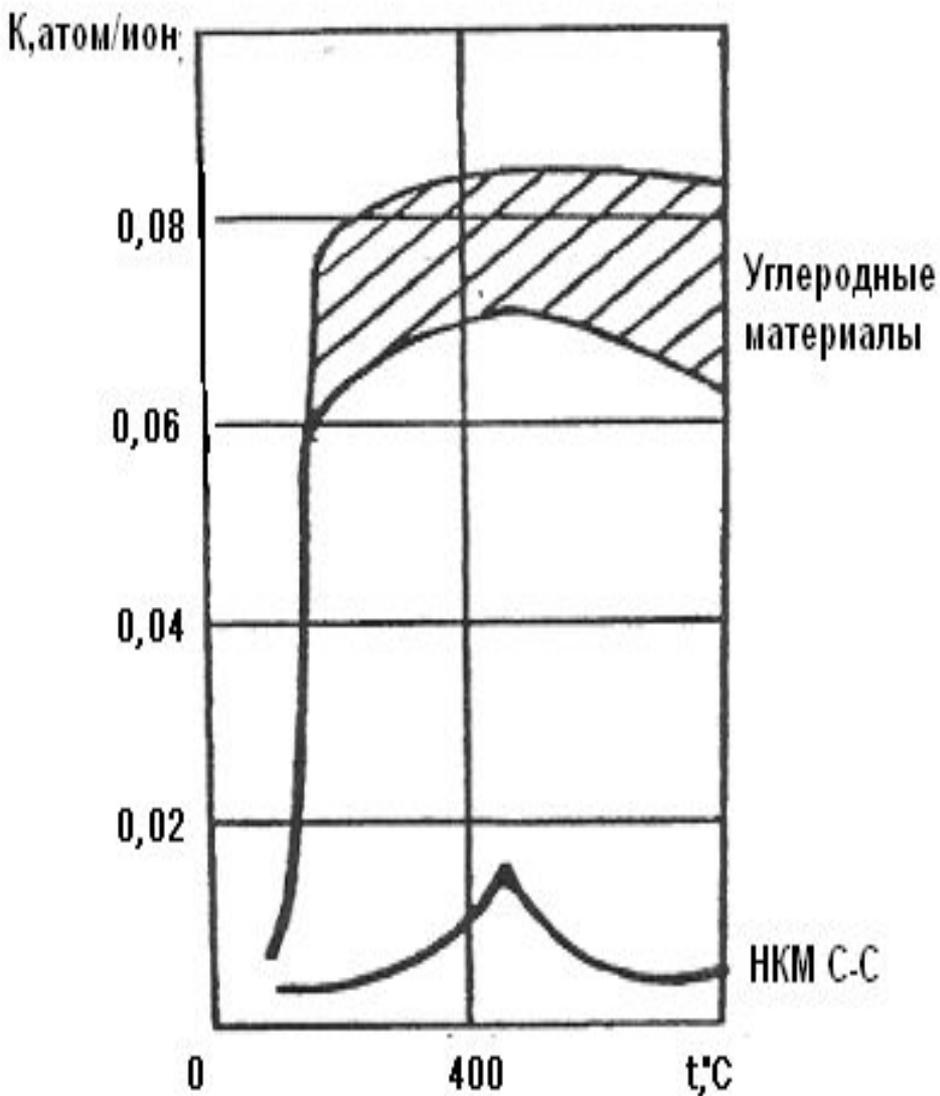
5 – углеродный наноматериал

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

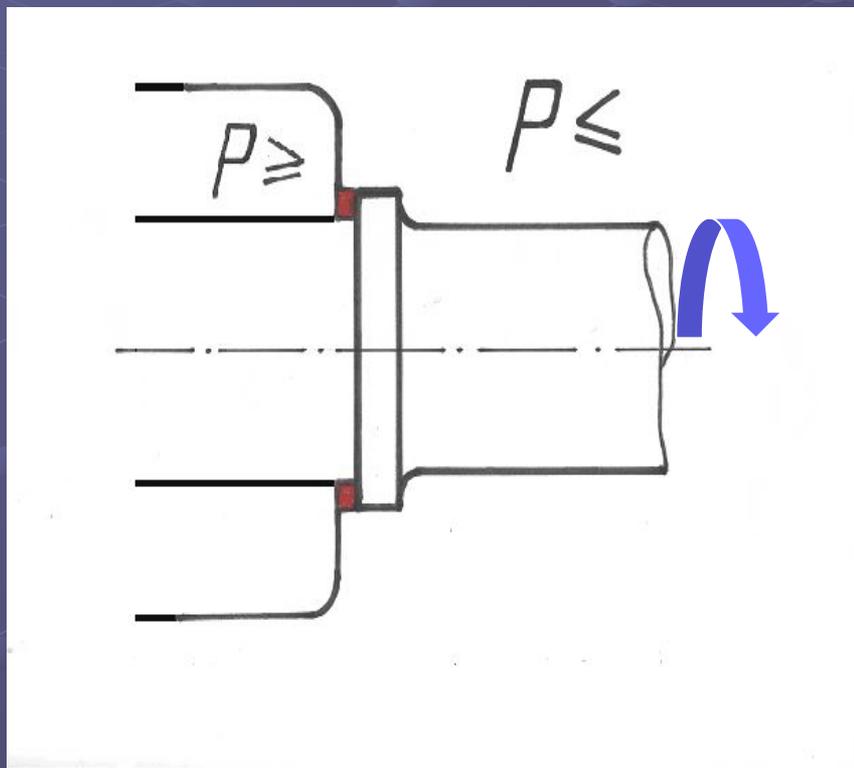
Интенсивность рентгеновского излучения
снижена в 20 раз

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



σ , МПа

400

300

200

100

0

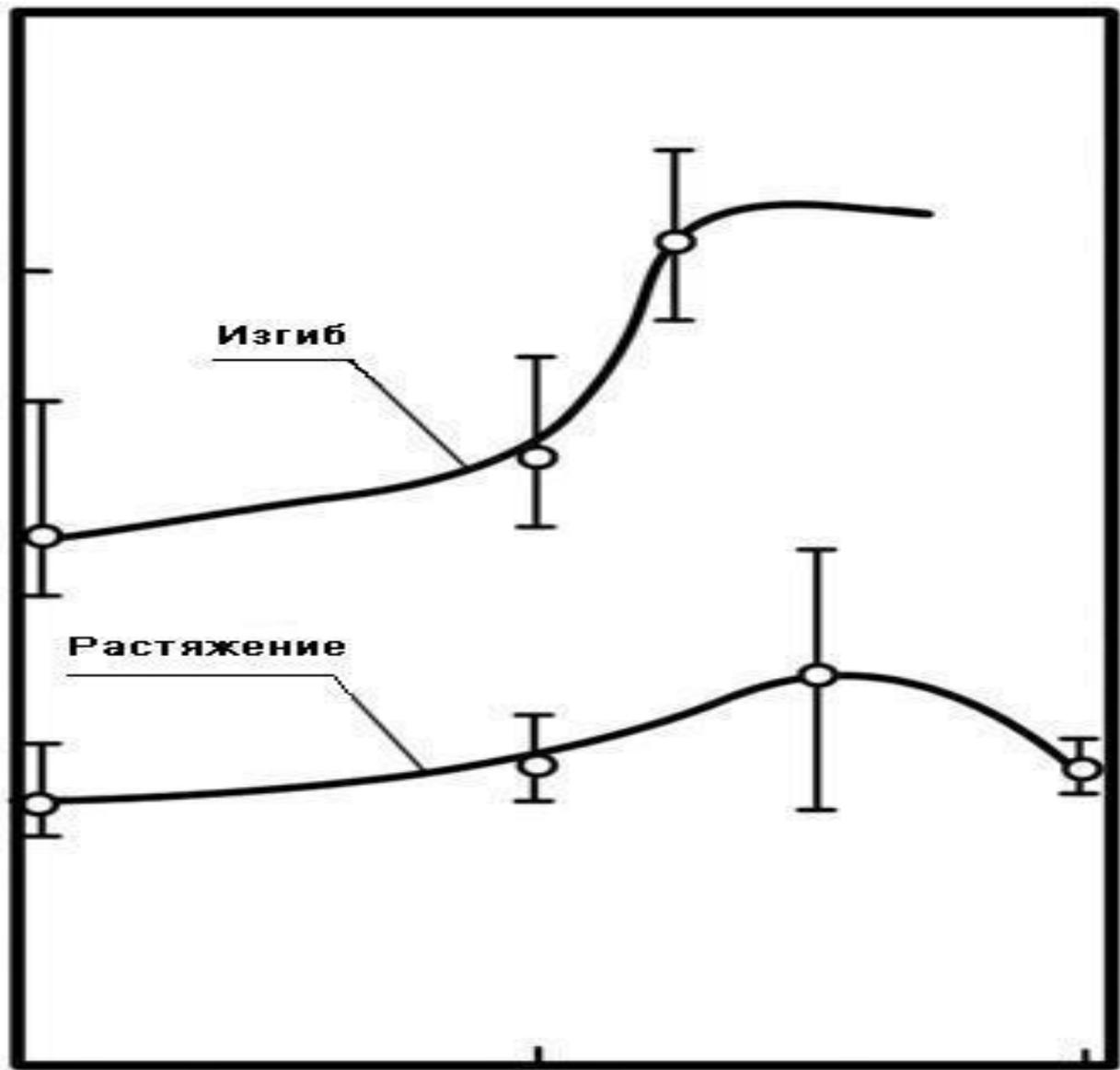
1000

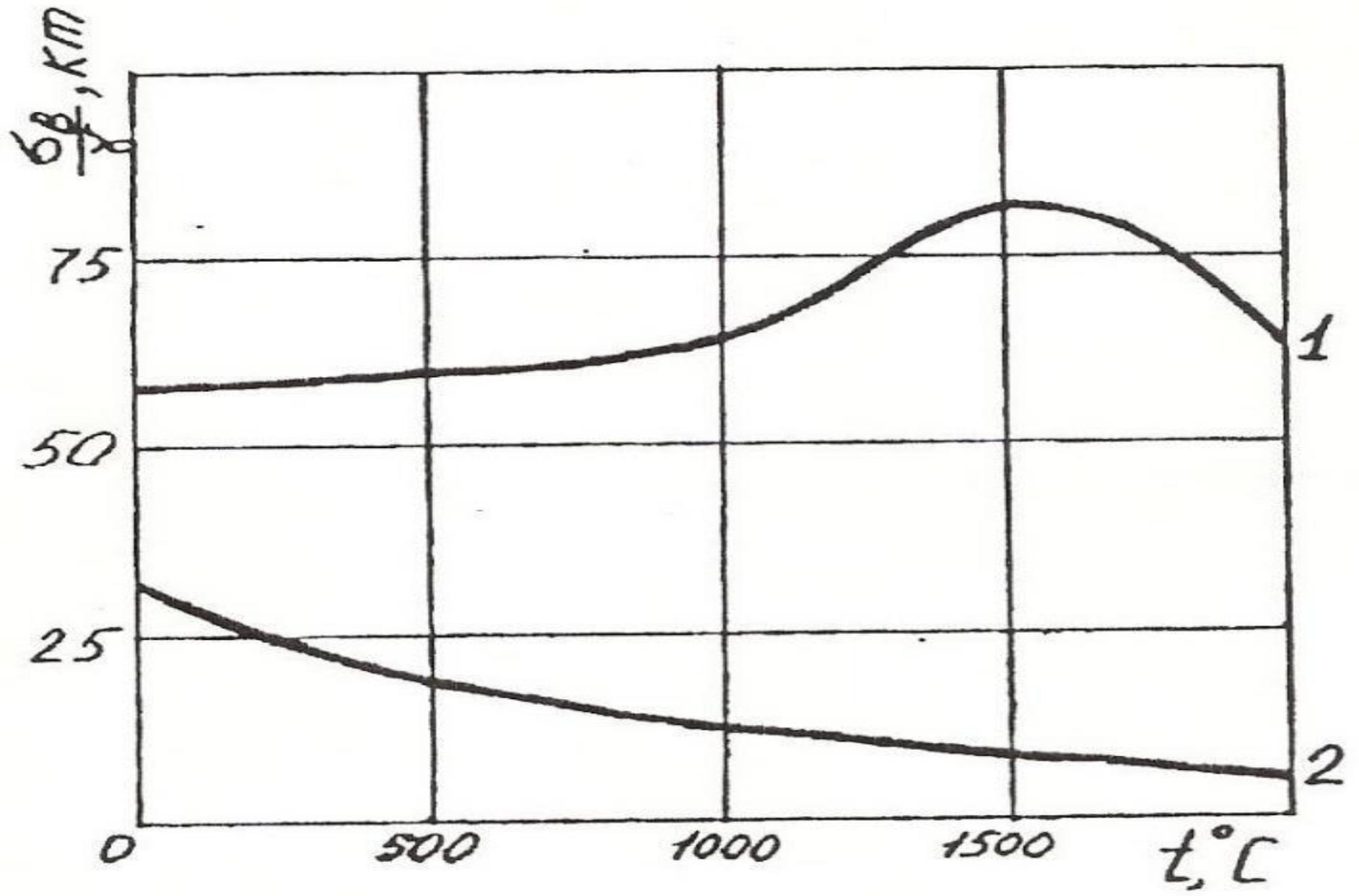
2000

t, °C

Изгиб

Растяжение

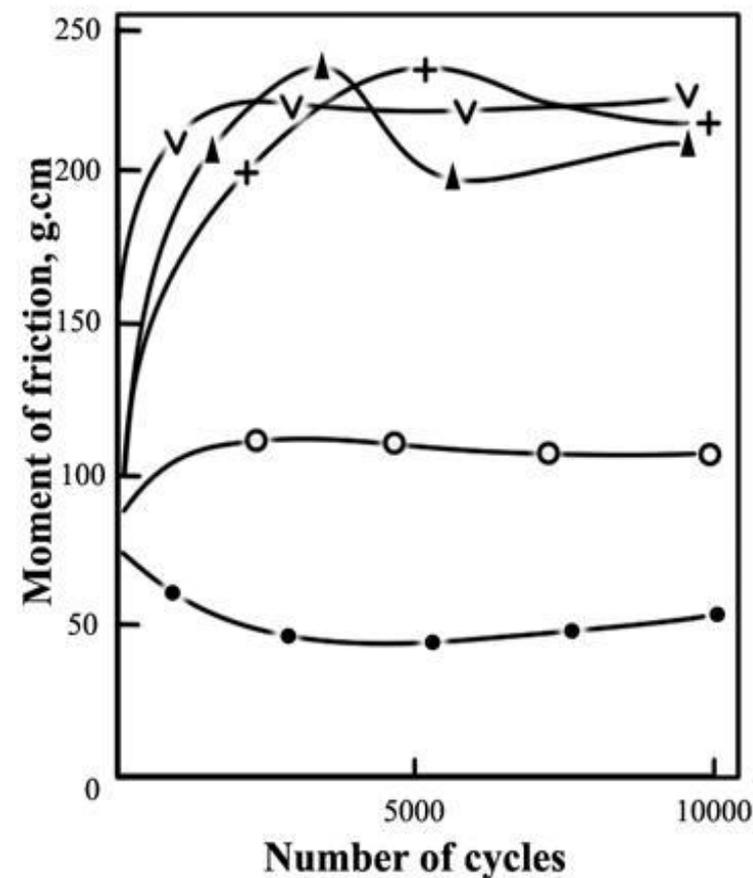




Газодинамические подшипники

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

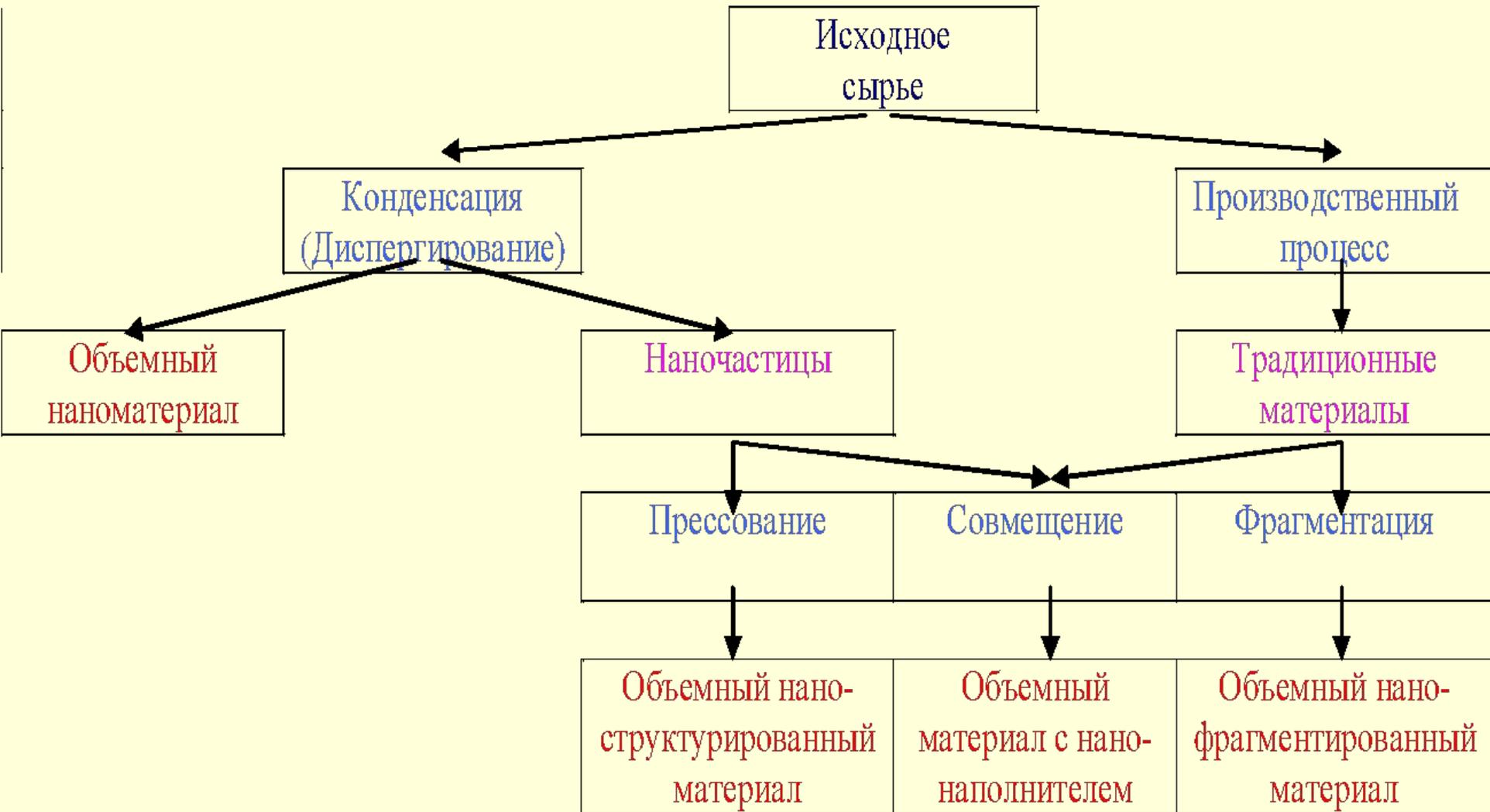
Теоретические положения могут быть использованы для получения широкой гаммы наноматериалов как на основе углерода, так и другого химического состава

Рассмотрим инновационный
потенциал разработок других
авторов в области нанотехнологии

применительно к созданию
объемных материалов со
свойствами

многokратно 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 нанoeлектродами превосходят традиционные: емкость в 2, напряжение в 3 раза.

2. Наполнитель

Многokратное 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.

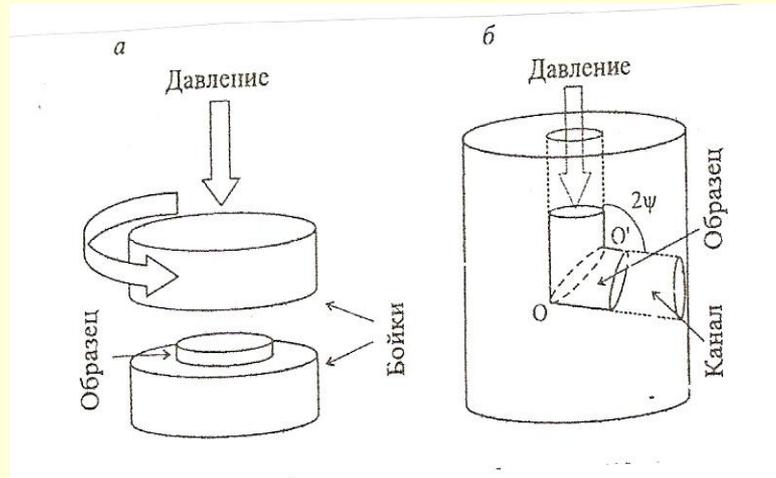
- высотное строительство,

- 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.

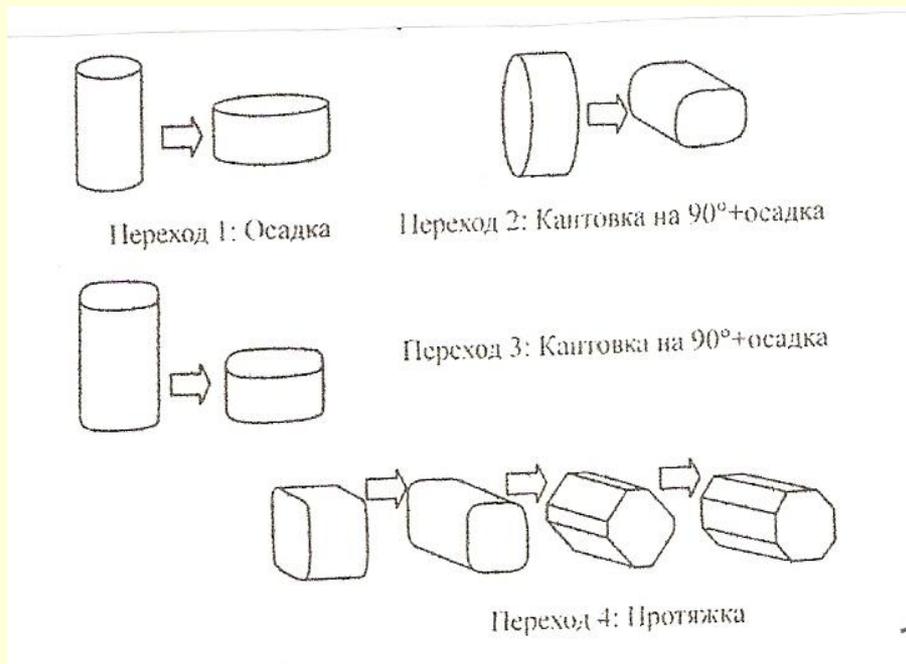
Образец $\varnothing 20 \times 1$ мм.

б – равноканальное угловое прессование. Размер зерен ≤ 70 нм.

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

Нанотрагментация металлов

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

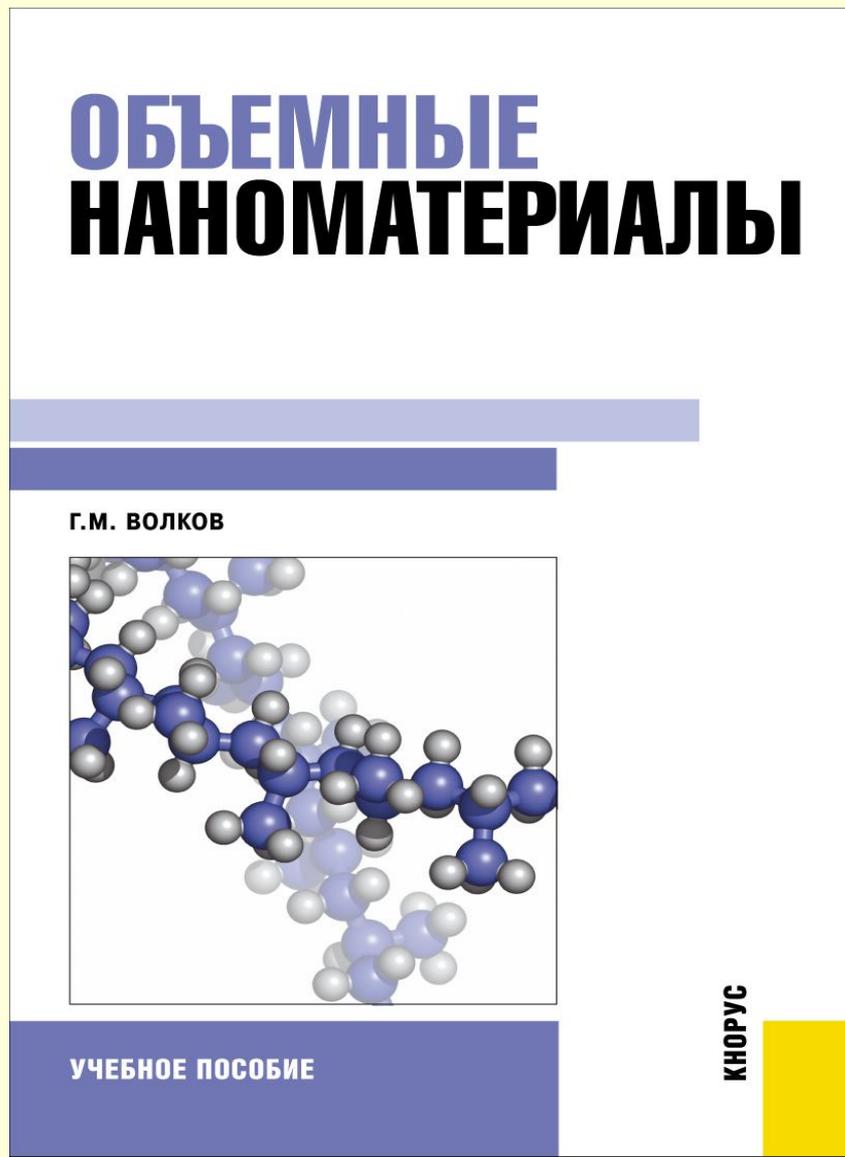


В промышленных условиях производства магистральных газо- и нефтепроводов большого диаметра для Крайнего Севера и Восточной Сибири размер зерна 10-50 нм, **конструкционные свойства выше в 4 раза.**

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

<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.**

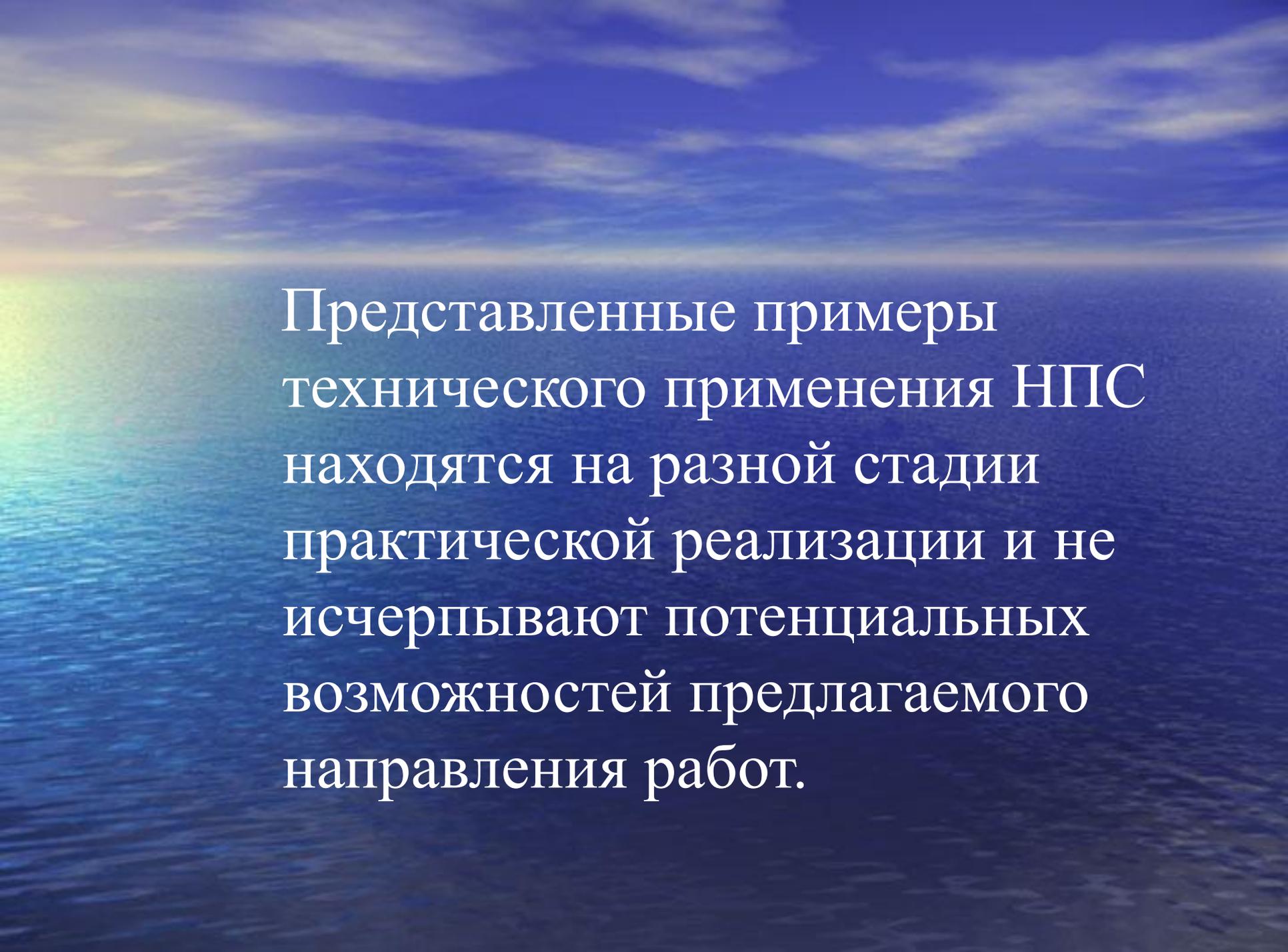
Экология

- 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 is a photograph of a sunset over the ocean. The sky is a deep blue with wispy white clouds. A bright rainbow is visible on the left side of the image, extending from the horizon towards the top. The water in the foreground is dark blue with gentle ripples.

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

<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^2
- Предел прочности при сжатии – не менее 1000 кг/см^2

Факультативные показатели:

- Предел прочности при изгибе 700 кг/см^2
- Предел прочности при растяжении 300 кг/см^2
- Рабочая температура 150°C , кратковременно 200°C
- Коэффициент трения в масле 0,06
- Плотность $2,1 \text{ г/см}^3$
- Время жизни смеси при $(20\div 30)^\circ\text{C}$ не менее 1 час
- Время полного набора прочности при $(20\div 30)^\circ\text{C}$ 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

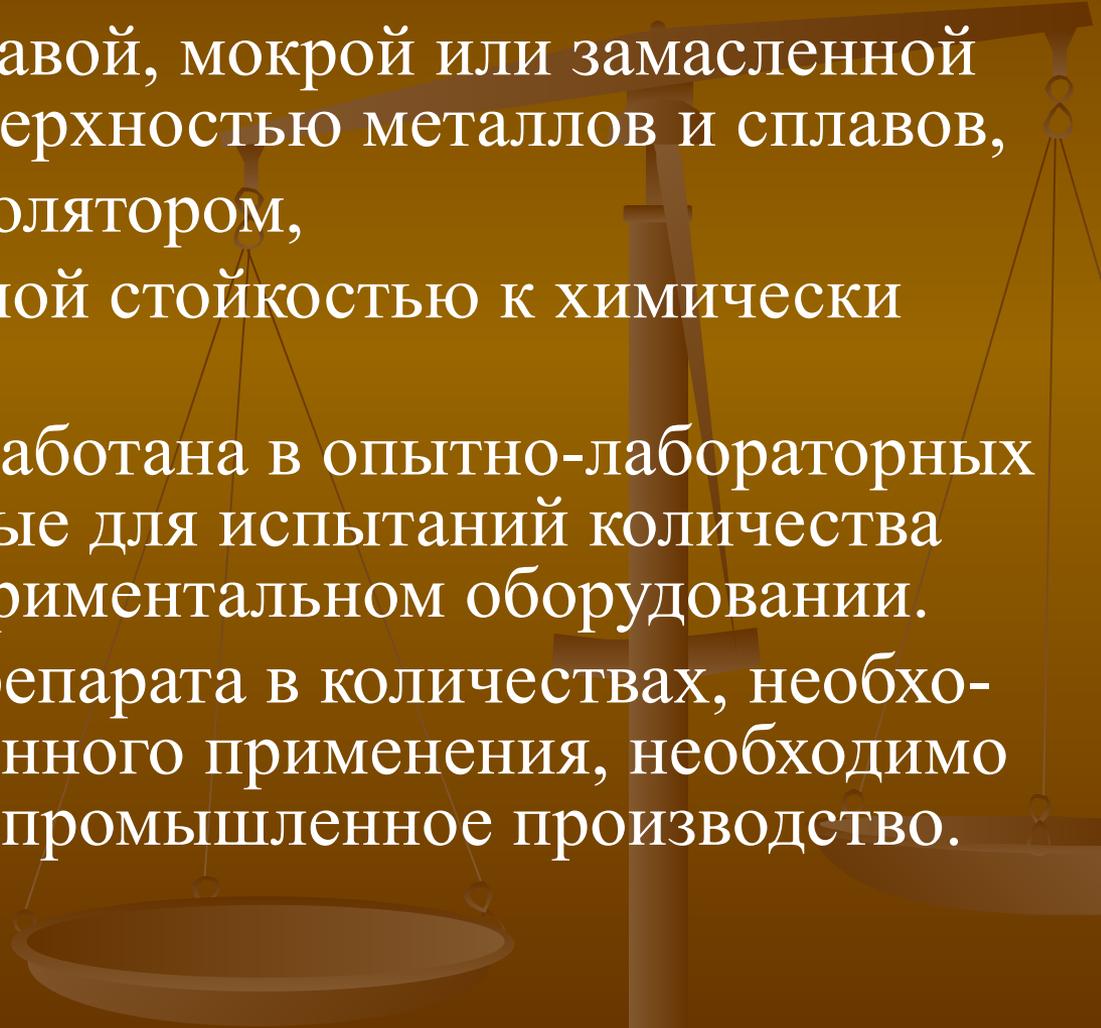
композит специального назначения

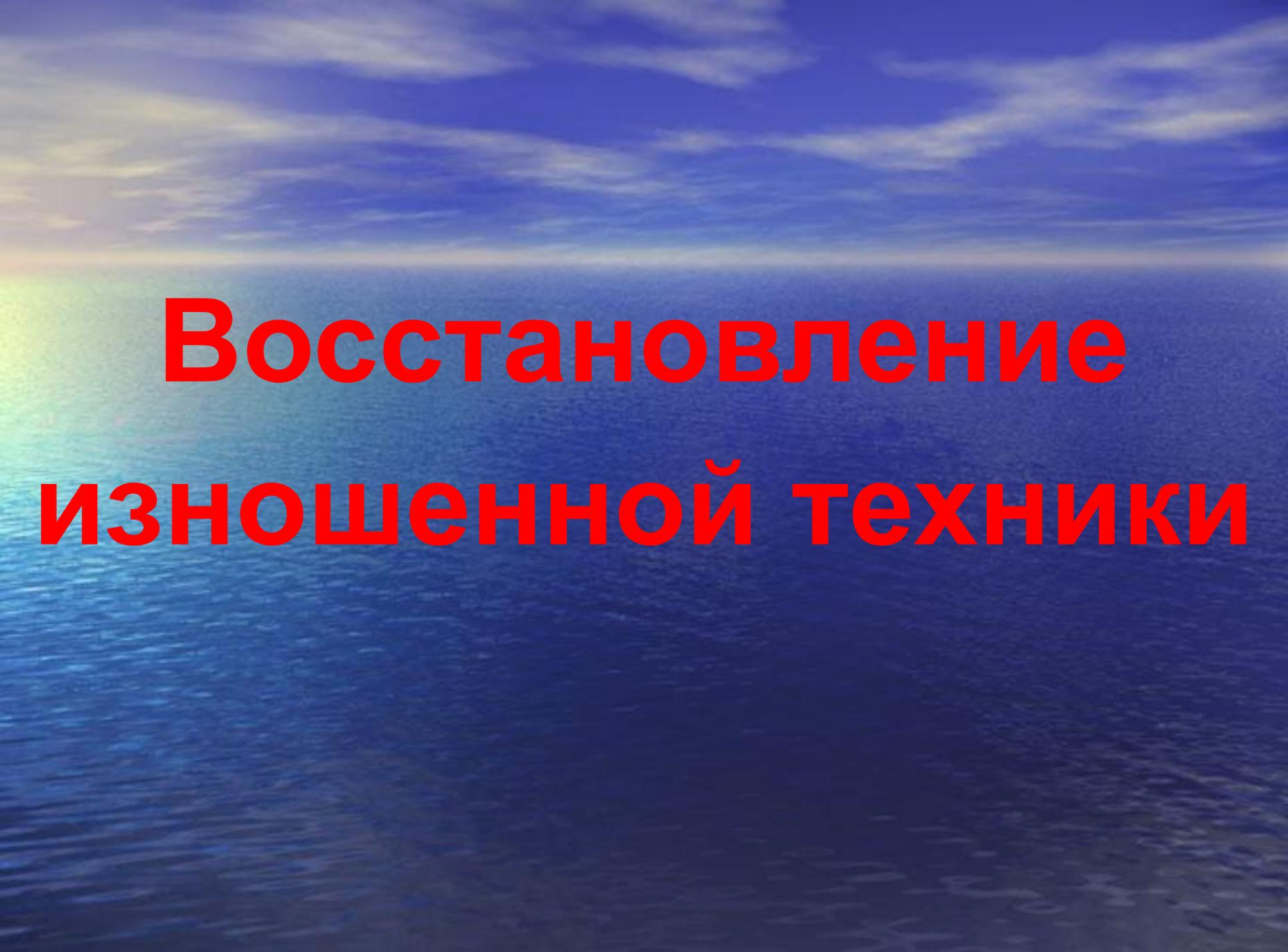
- **Коэффициент трения по стали в масле 0,037.**
- **Твердость по Бринеллю 220 НВ.**
- **Предел прочности при сжатии не менее 800 кг/см².**
- **Механическая обработка производится твердосплавным резцом.**
- **По износостойкости в 5 раз превосходит углеродистые стали.**
- **Рекомендуется для устранения царапин и задиров поверхностей трения, восстановления подвижных посадок на валу и в корпусе агрегата, ремонта шпоночных, шлицевых и резьбовых соединений.**

Рекомы специального назначения

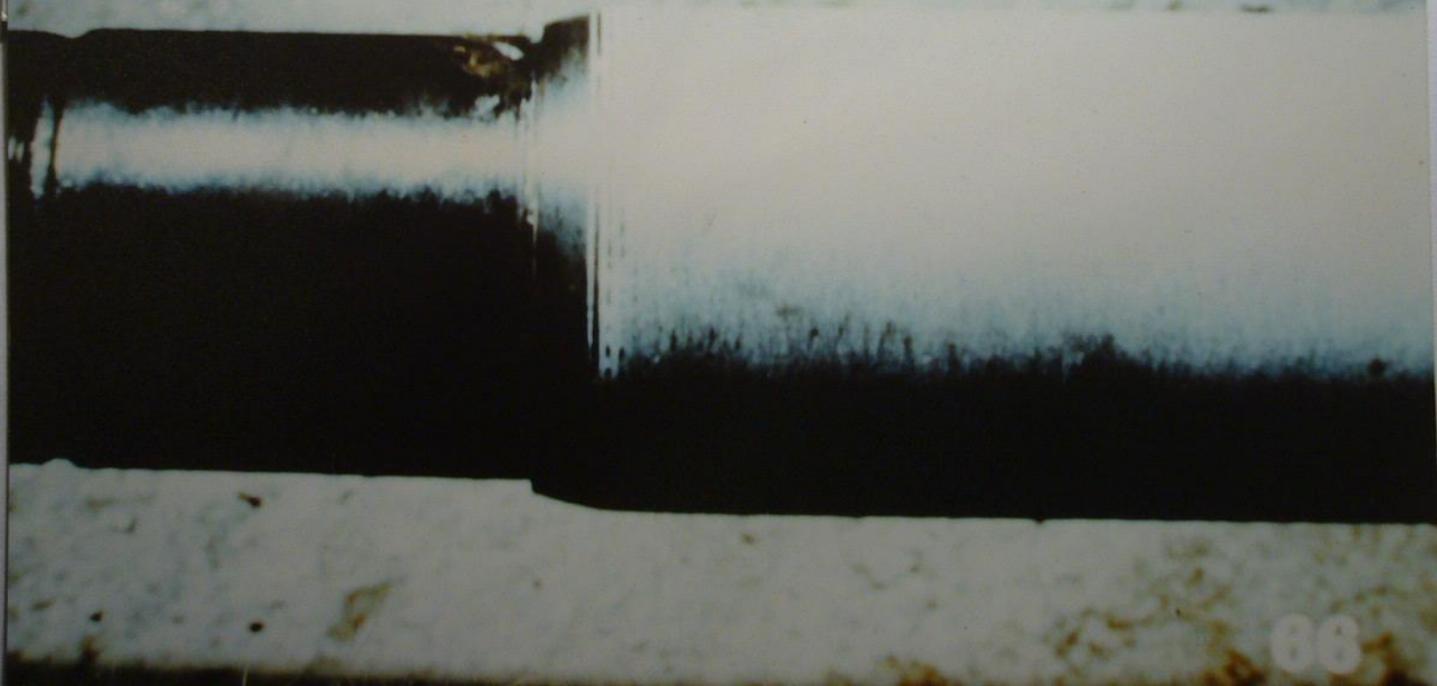
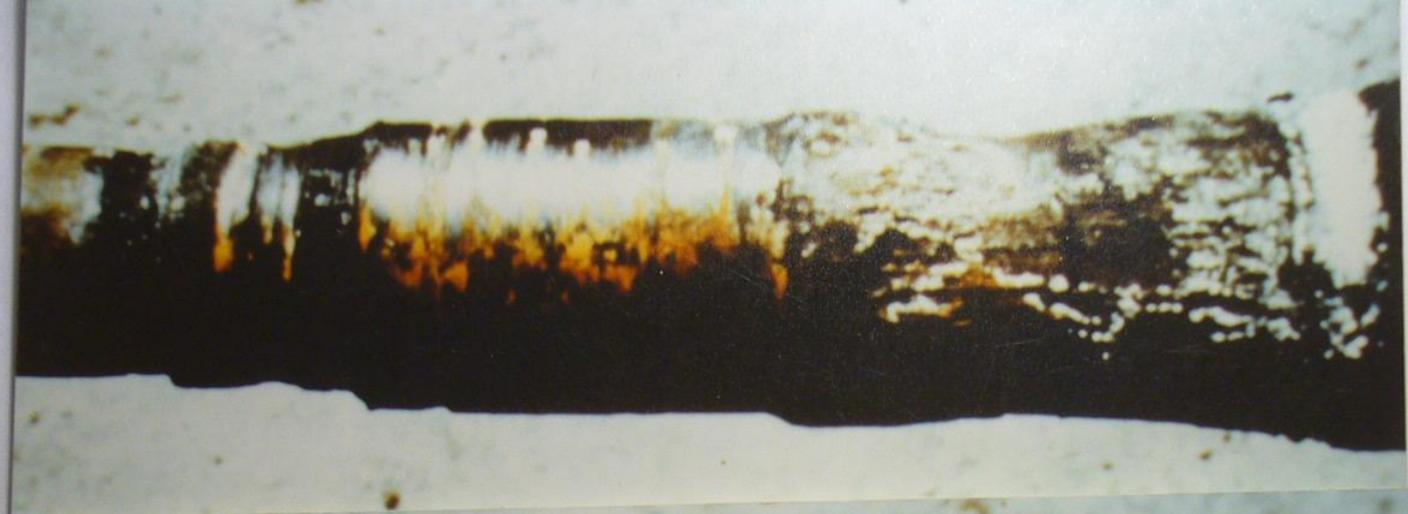
- схватывающиеся со ржавой, мокрой или замасленной нефтепродуктами поверхностью,
- для полевых условий при любых плюсовых температурах в туман и дождь,
- электроизолятор для ремонта в стационарных условиях токонесущих деталей машин и оборудования,
- абразивостойкий для восстановления деталей, работающих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

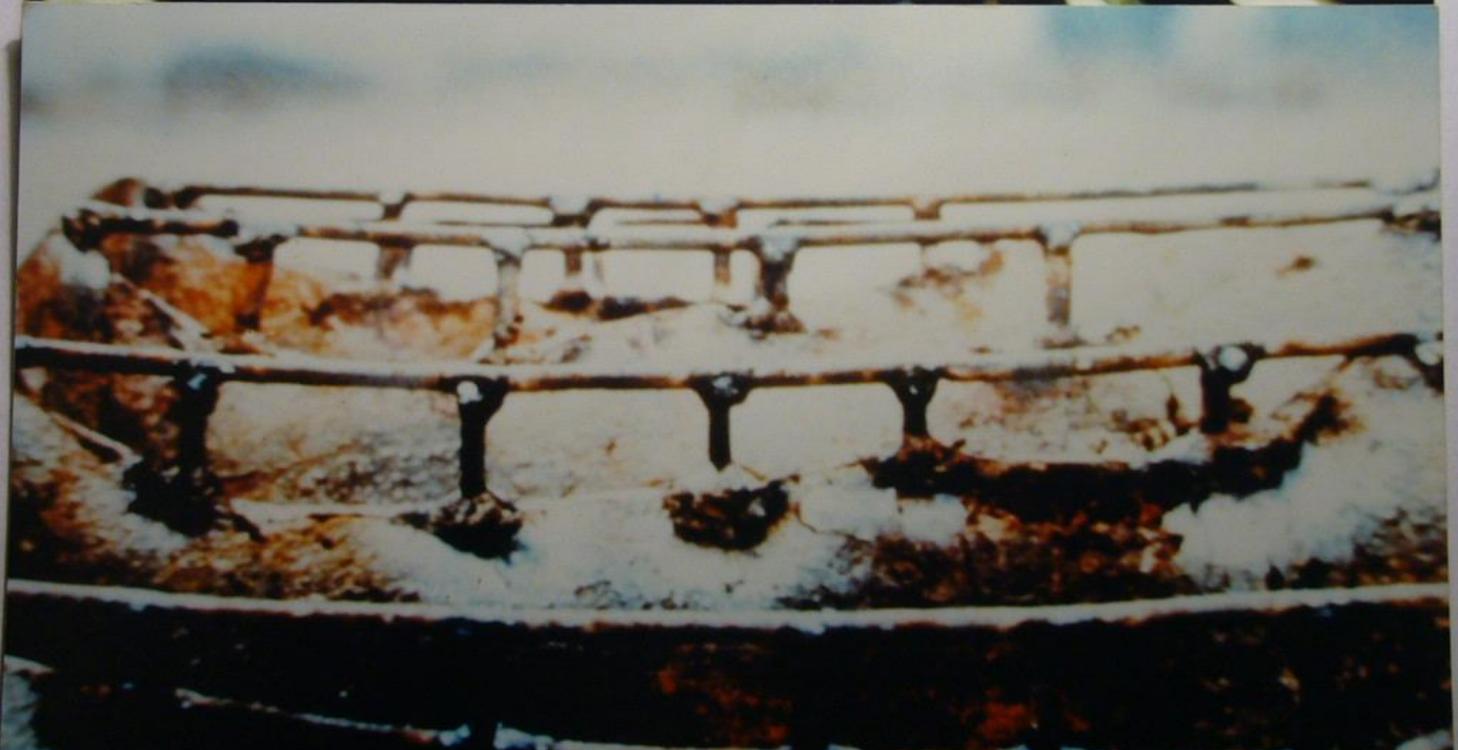
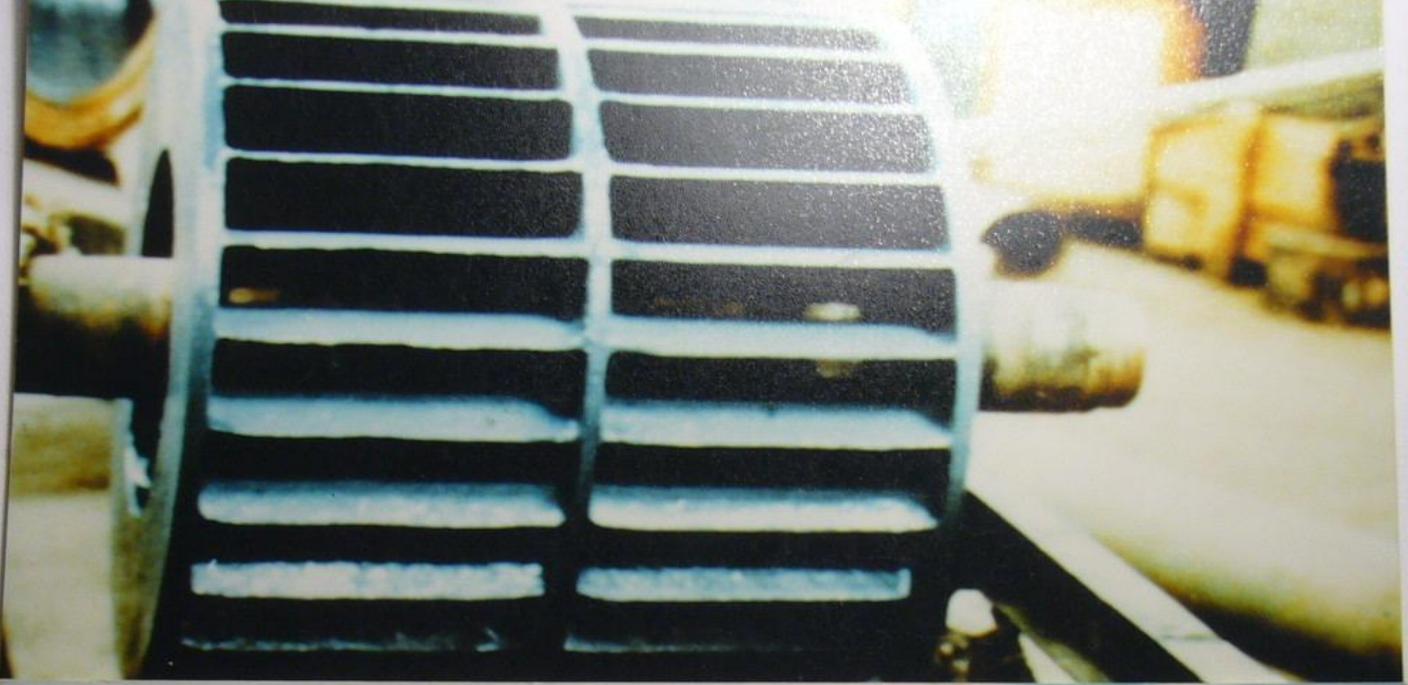
Ремкомплект аварийный универсального назначения (РА-У)

- 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-Уотработана 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.
- 
- A faint, stylized image of a balance scale is visible in the background of the slide, positioned on the right side. The scale has a vertical pillar and two pans hanging from a horizontal beam. The image is semi-transparent and serves as a decorative element.

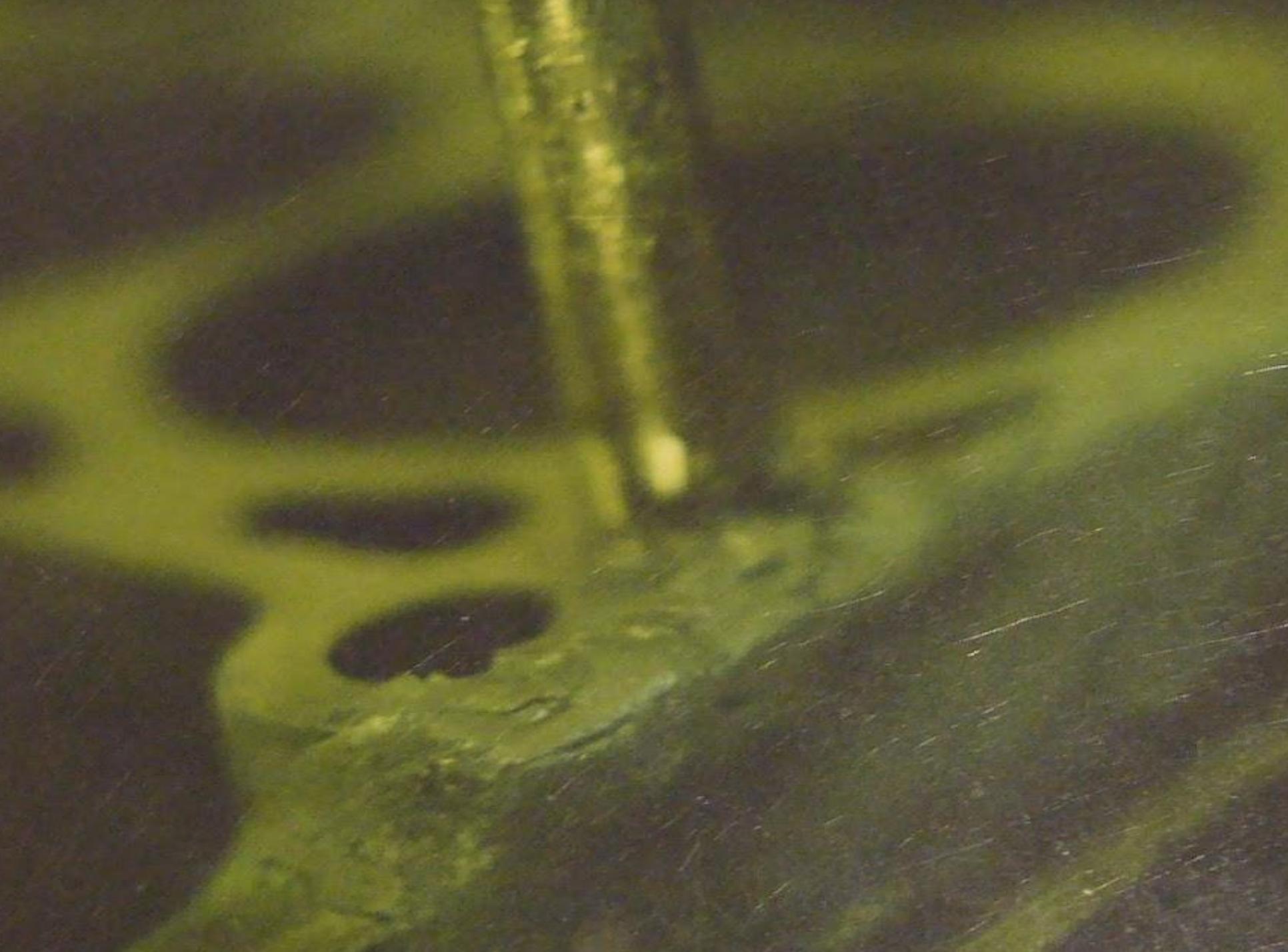


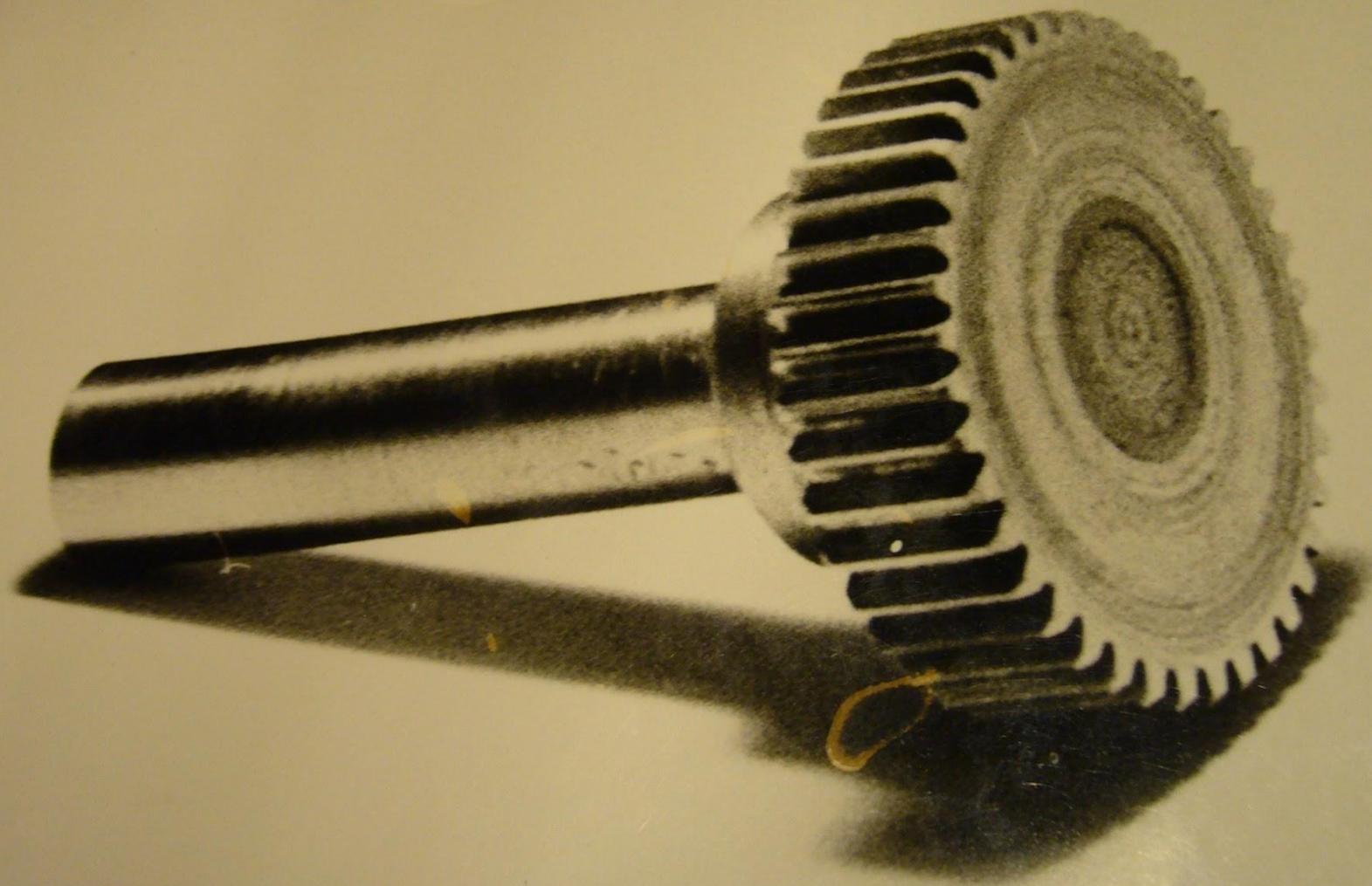
Восстановление изношенной техники

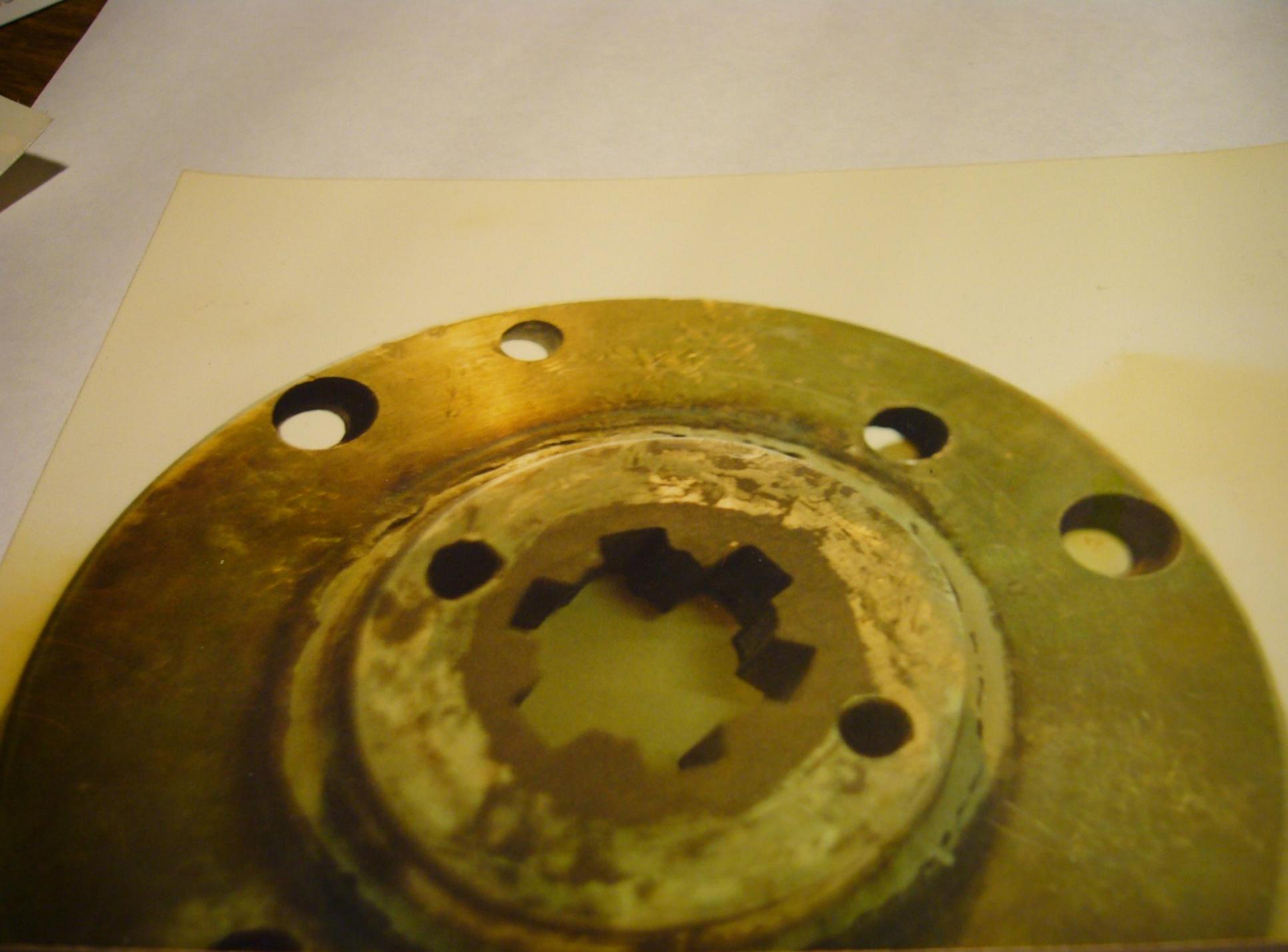




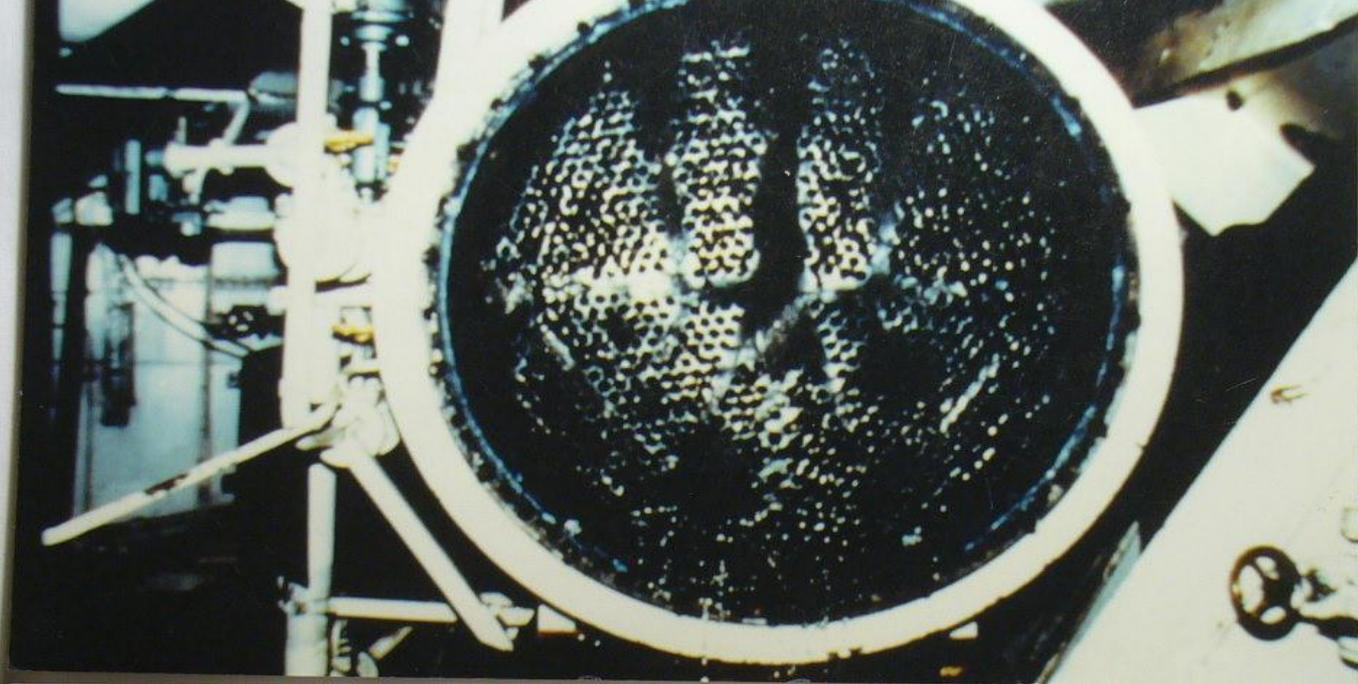
















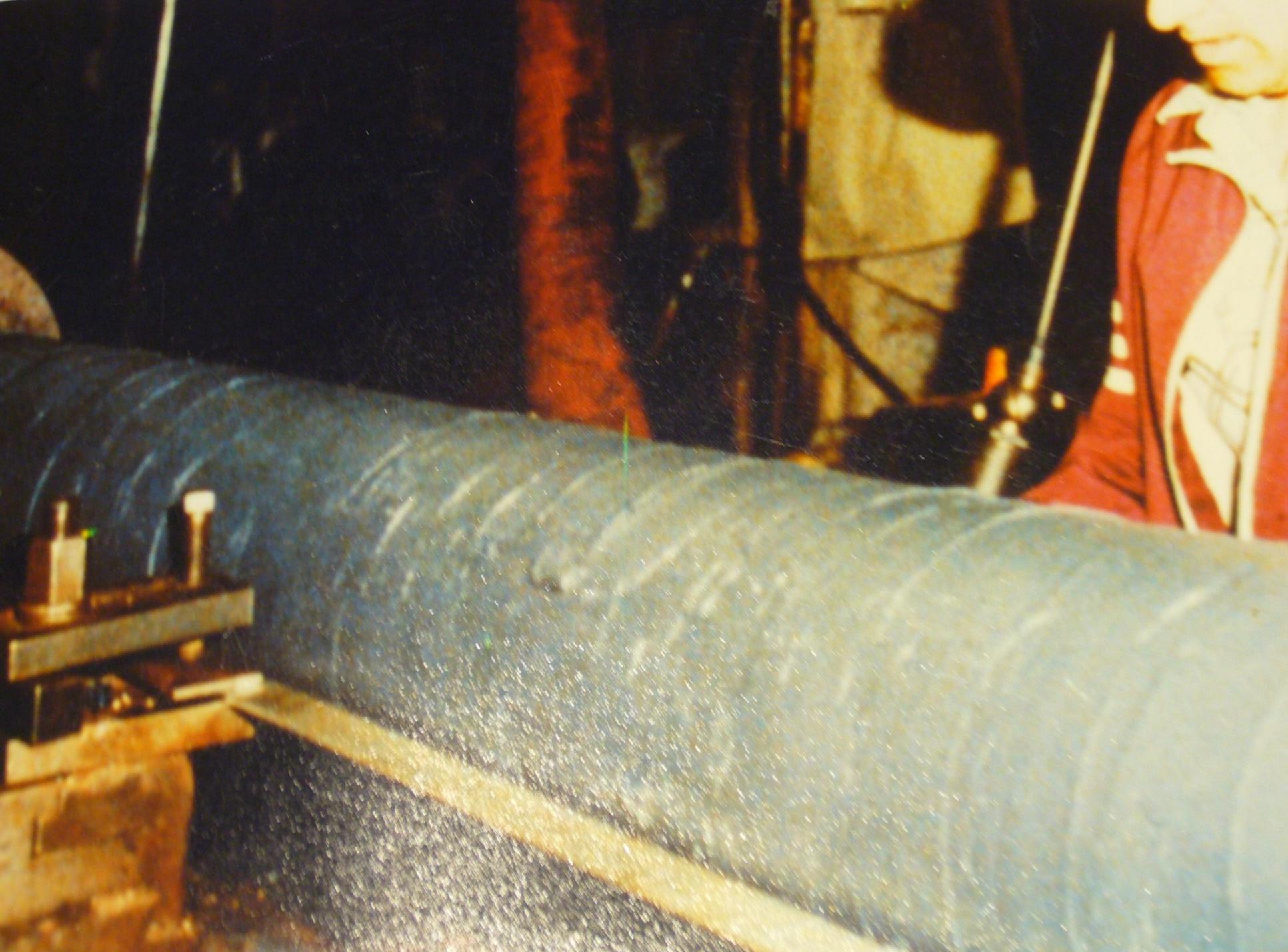
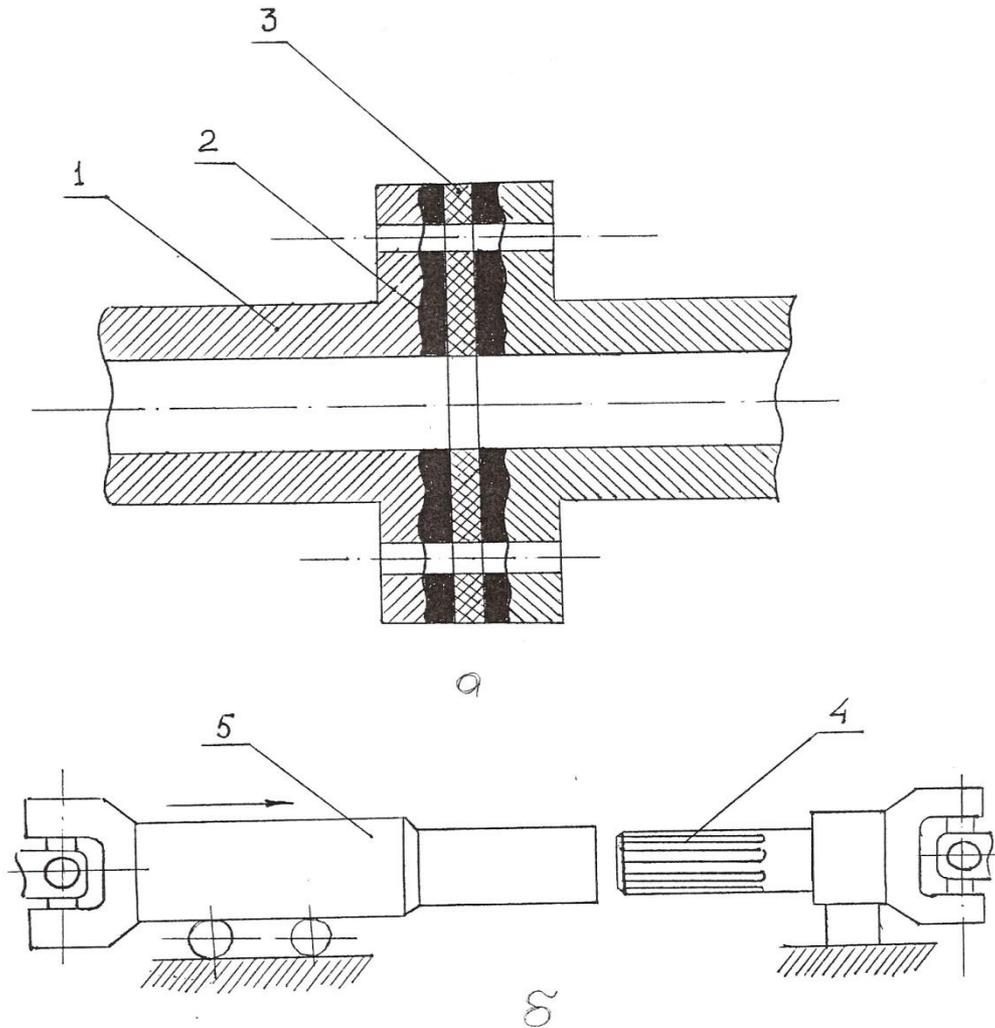




Рисунок. Схема восстановления методом холодной молекулярной сварки фланцевых (а) и шлицевых (б) соединений:

- 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

<http://nanoprom.info/>