



## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ

✦ Семинар на тему:  
«Разделение сталей по маркам  
методом ТЭДС»

# ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ

Волочение и прокатка ленты и проволоки с наложением ультразвука.

Электропластическое волочение, прокатка, плющение

Волочение и прокатка ленты и проволоки с наложением ультразвука.

Электропластическое волочение, прокатка, плющение

# ВОЛОЧЕНИЕ И ПРОКАТКА ЛЕНТЫ И ПРОВОЛОКИ С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Наложение  
ультразвука на  
фильеру, волки

скольжение, качения

Наложение  
ультразвука в очаг  
деформации

пластической деформации  
материала

Наложение  
ультразвука на  
фильеру, волки

• позволяет снизить  
трение скольжение,  
качения

# ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ УСИЛИЯ ПРОТЯЖКИ

ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ

СКОРОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ



Например, при одной и той же колебательной скорости уменьшение скорости протяжки в два раза уменьшает усилие протяжки на 25-30% в зависимости от материала.

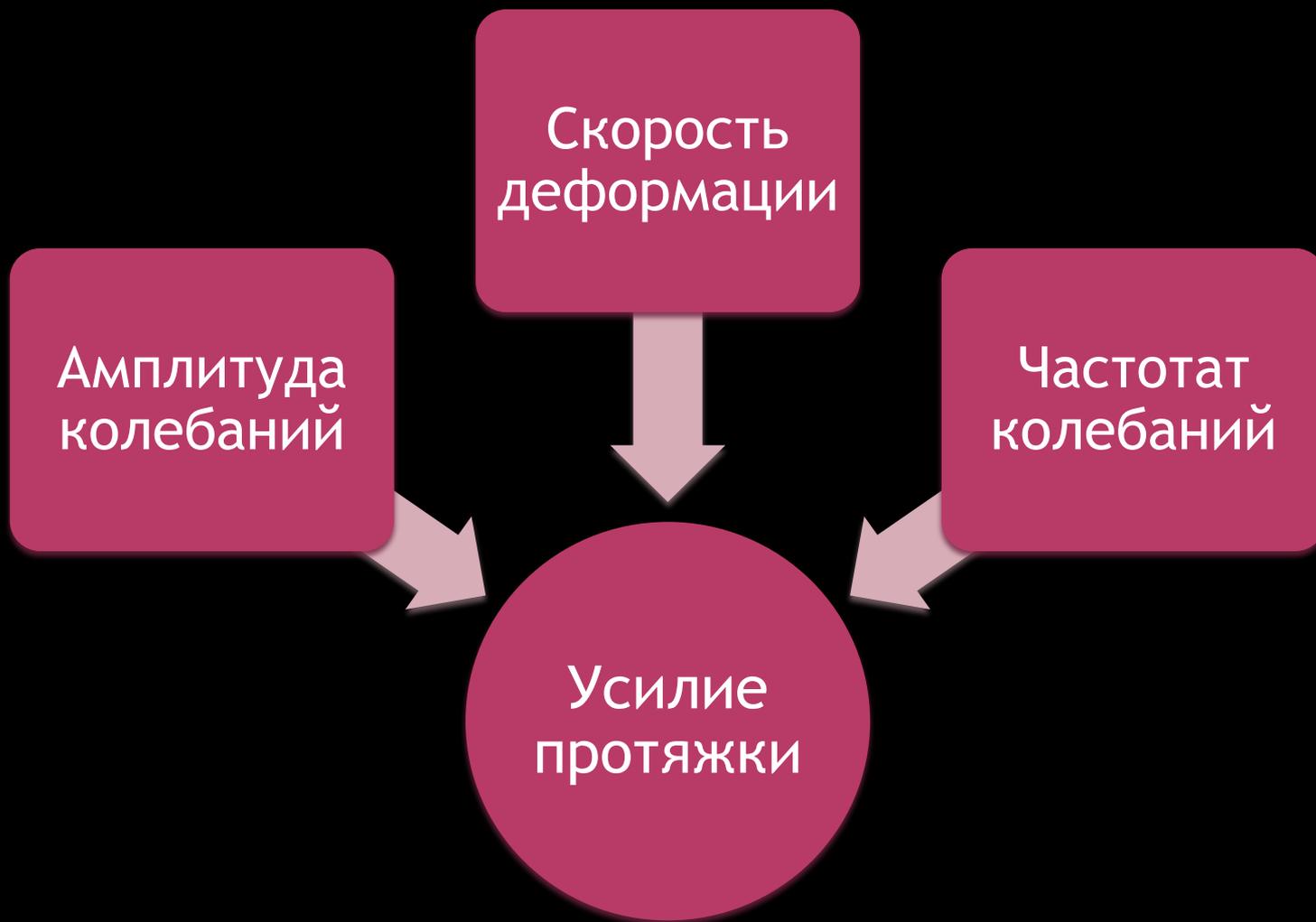
# ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ УСИЛИЯ ПРОТЯЖКИ

ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ

АМПЛИТУДА КОЛЕБАНИЙ



# ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ УСИЛИЯ ПРОТЯЖКИ

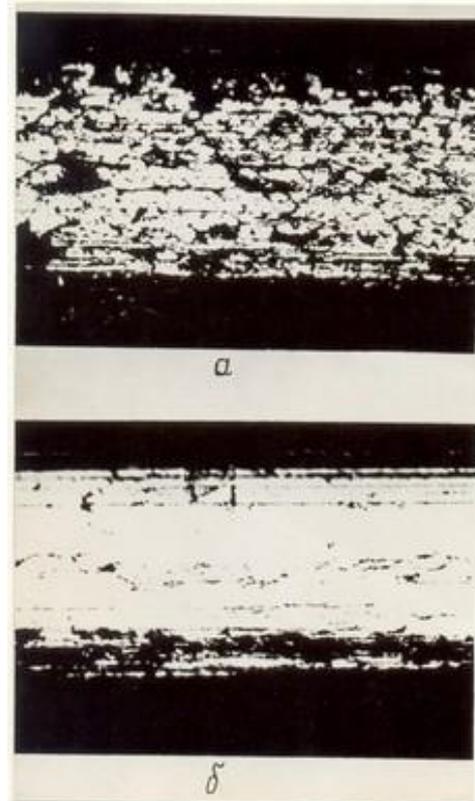
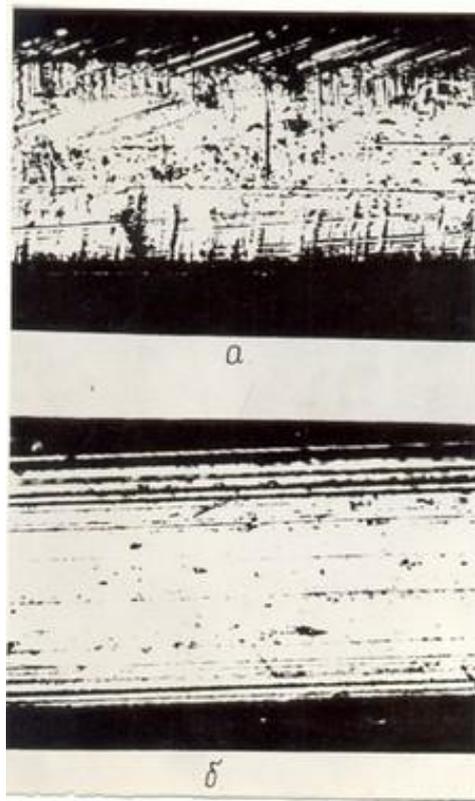


## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

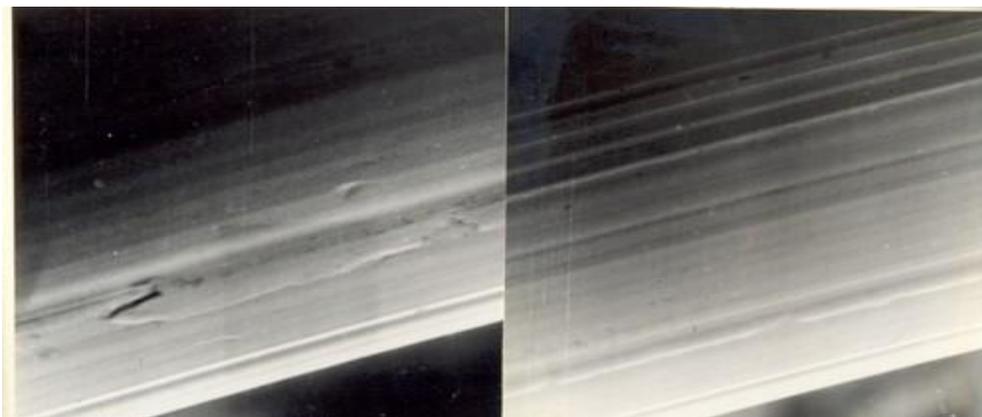
Наложение ультразвуковых колебаний в значительной степени **влияет на качество поверхности** проката - чистота обработки поверхности повышается **в среднем на два класса**.

## ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Практическое внедрение технологии ультразвукового волочения было осуществлено на заводе "Электросталь" на участке производства проволоки микронных размеров диаметром 30-50 мкм из сплава ЭИ708А-ВИ. Обработке **подвергалась проволока на стадии финишной обработки**. Ультразвуковые излучатели были **установлены на последней фильере**. На рисунках представлены фотографии поверхности проволоки без ультразвукового воздействия и с наложением ультразвуковых колебаний. Хорошо видно, **что после волочения проволоки с применением ультразвука заусенцы стали в несколько раз меньше**, чем без ультразвука, причем процент брака снизился с 80% до 5%.



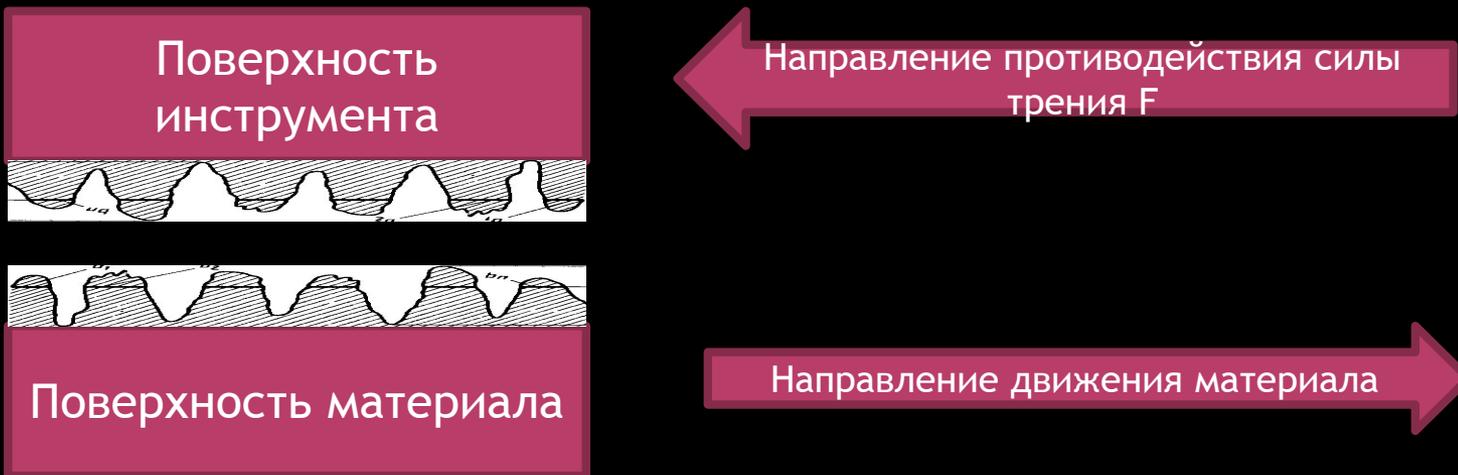
Ультразвуковое волочение металлической проволоки (а - без ультразвука, б - с наложением ультразвуковых колебаний).



Ультразвуковое волочение металлической проволоки (слева - без ультразвука, справа - с наложением ультразвуковых колебаний).

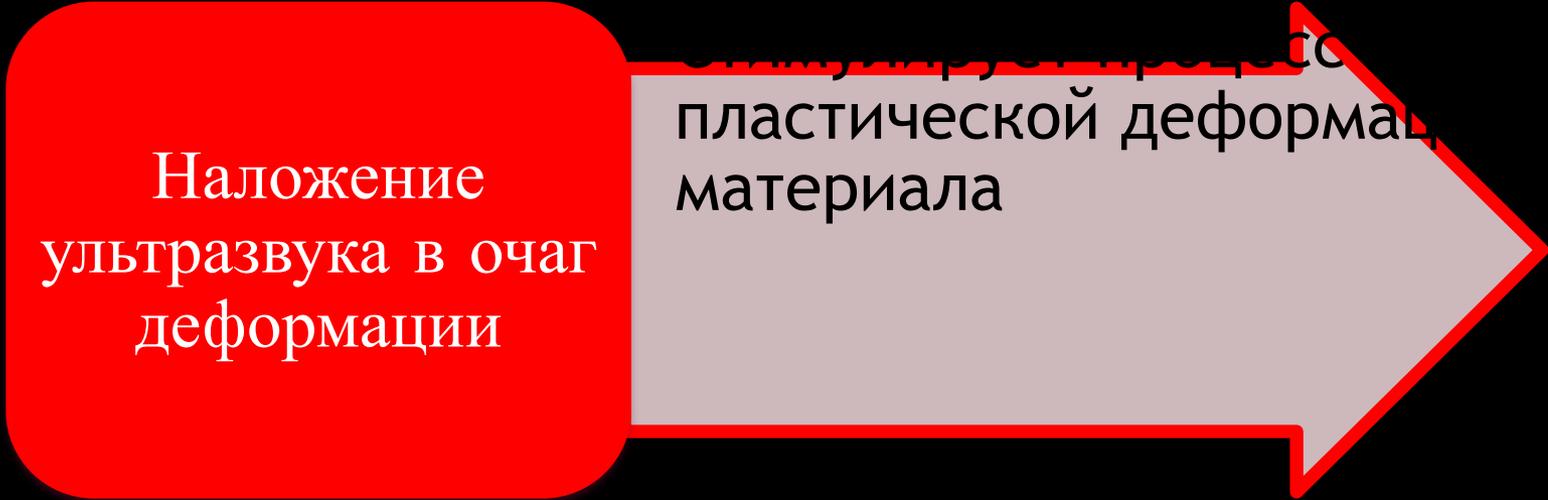
## ФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ

Воздействие силовых свойств ультразвуковой волны на сопротивление скольжения материала о поверхность инструмента, **снижение силы трения. Близок по природе с эффектами вращения волок.**



Наложение  
ультразвука в очаг  
деформации

стимулирует процесс  
пластической деформации  
материала



# ФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ

Стимулирование процесса пластической деформации материала происходит путем активации задержанных дислокаций под действием акустических напряжений, а также за счет устранения препятствий при движении дислокаций.

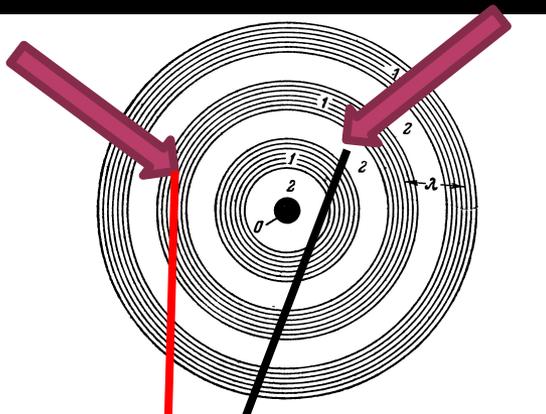


Рис. 1. Схема распространения сферической волны:  
O — источник, 1 — зоны сжатия, 2 — зоны разрежения,  $\lambda$  — длина звуковой волны.

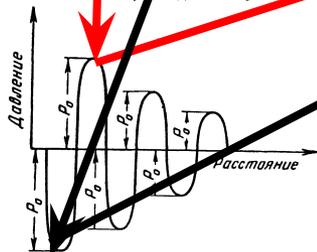
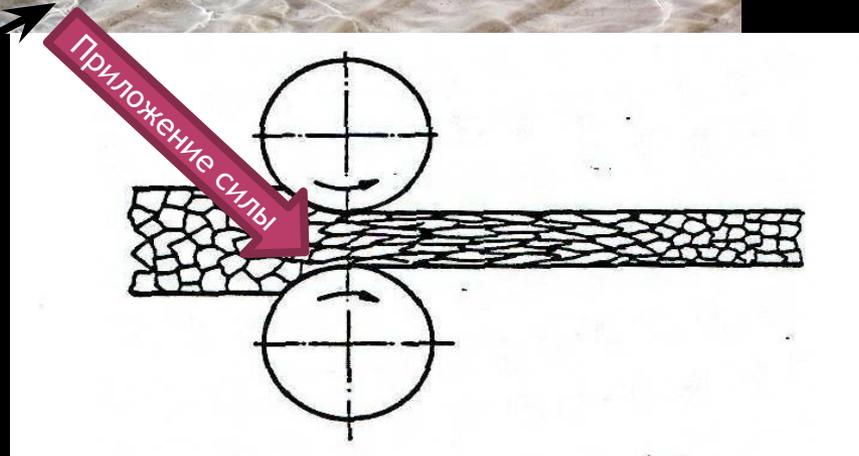
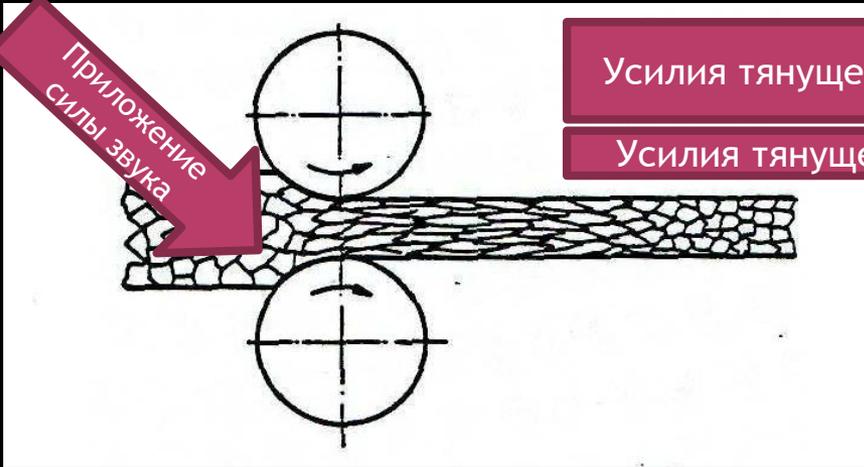


Рис. 2. Распространение расходящейся звуковой волны:  
 $P_0$  — амплитуда звукового давления, которая спадает по мере удаления от источника.

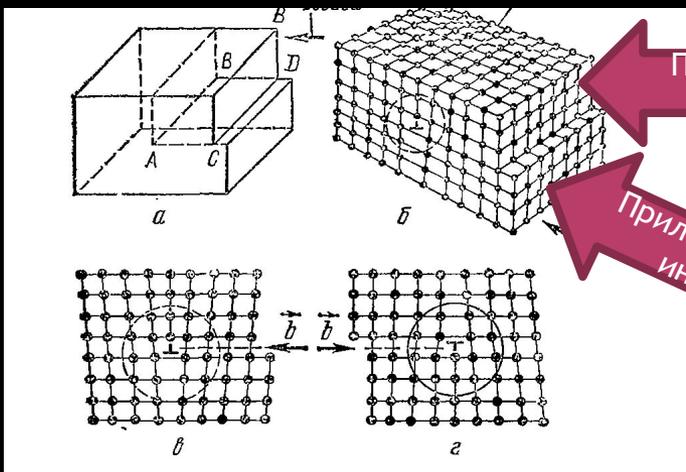




Усилия тянущего устройства Р

Усилия тянущего устройства Р

Приложение силы звука



Приложение силы звука

Приложение силы от инструмента



Снижение необходимого усилия от инструмента, следовательно от тянущего материал устройства

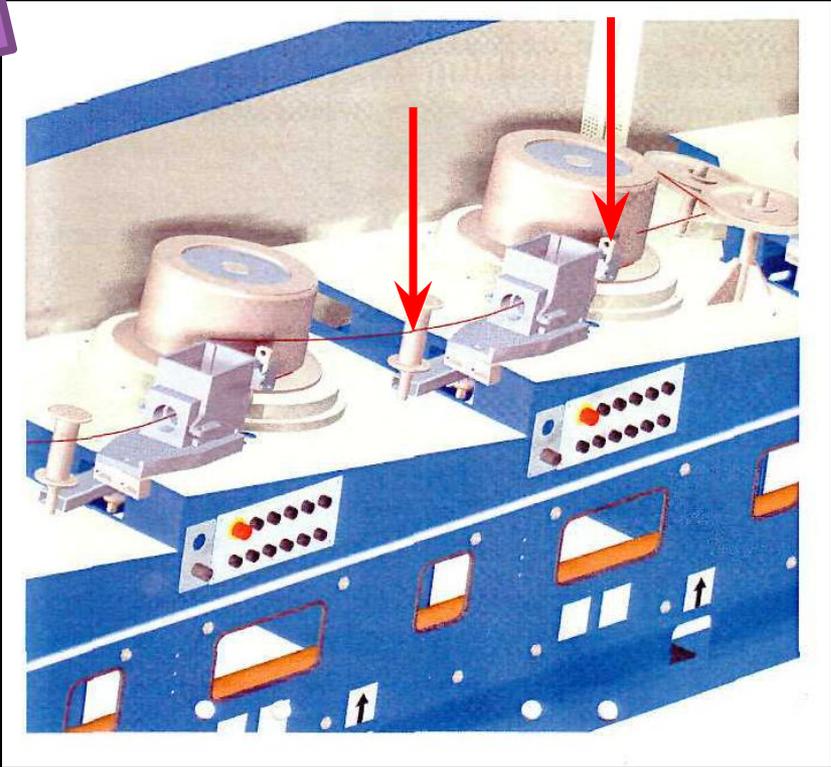
Волочение и прокатка ленты и проволоки с наложением ультразвука.

Электропластическое волочение, прокатка, плющение

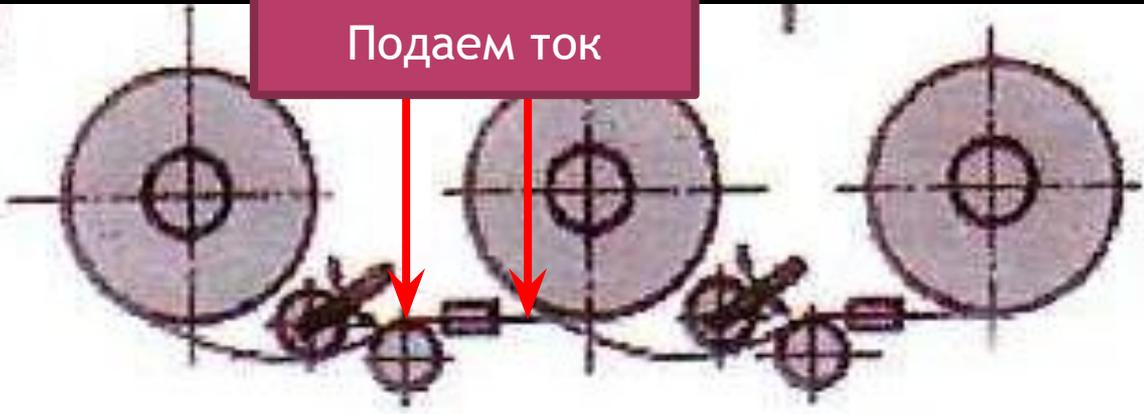
## Электропластическое волочение что это?

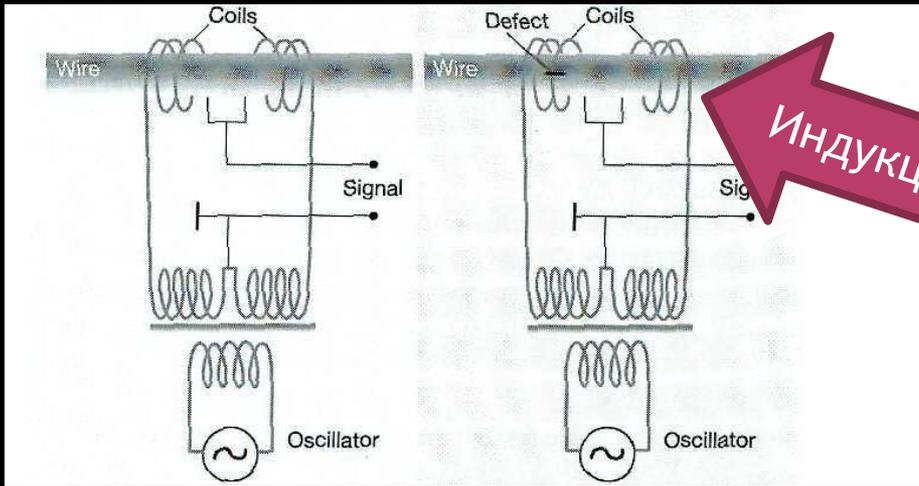
**ВОЛОЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЕ** - [electroplastic drawing] – волочение труднодеформируемых, в частности, тугоплавких сплавов, с использованием электропластического эффекта, впервые исследованного в работах русских ученых О. А. Троицкого и В. И. Спицина. Они установили, что **при пропускании электрического тока через протягиваемый образец заметно снижаются напряжение и усилие волочения**. Наибольший электропластический эффект (ЭПЭ) наблюдается при пропускании через металл импульсного ТВЧ – порядка  $10^3$  А/мм<sup>2</sup> в течение 10...4 с. Использование ЭПЭ позволило не только интенсифицировать процесс волочения, но и исключить операции подогрева заготовок и волок, которые необходимы при традиционной технологии получения проволоки из тугоплавких металлов, например, вольфрама

Различные подходы  
к реализации



Подаем ток

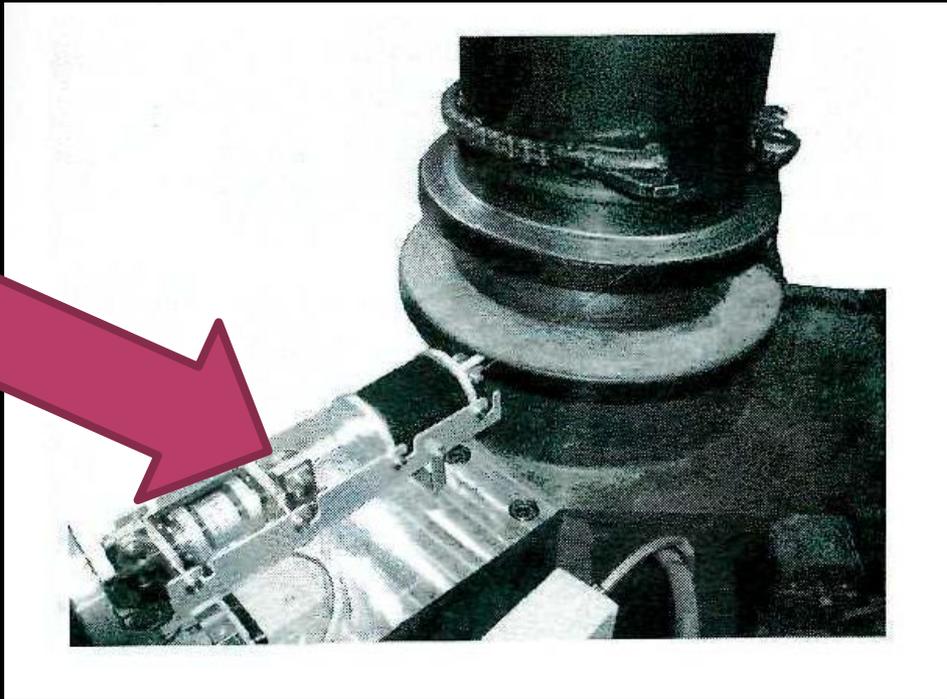




Различные подходы к реализации

Индукционный нагрев проволоки

Индуктор



Ультразвуковое и  
электропластическое  
воздействие  
при деформации

Стимулирует процесс  
пластической деформации  
материала

## УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЕ ПЛЮЩЕНИЕ МЕТАЛЛА

Способ для ультразвукового электропластического волочения проволоки из вольфрама и других труднодеформируемых металлов и сплавов. Способ предусматривает одновременное использование в зоне деформации электрического тока и ультразвука.

### Электропластический эффект и электропластическая деформация металла.

Электропластический эффект (ЭПЭ) был обнаружен в 1969 году при действии одиночными импульсами тока плотностью  $\sim 10^5 \text{ А/см}^2$  и длительностью  $\sim 10^{-4}$  сек на деформацию кристаллов цинка растяжением и сжатием. Он проявлялся в скачкообразных удлинениях образцов при прохождении по ним каждого импульса тока без какого-либо существенного теплового эффекта и без дилатации образцов

## ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ МЕТОДА

В основе нового эффекта лежит ускорение пластического течения **металла потоком электронов проводимости**, которые помимо джоулевого эффекта способны оказывать особое специфическое электропластическое действие на металл, находящийся под механическими напряжениями выше предела текучести, включающее в себя как действие «электронного ветра», так и вибрации решетки под влиянием пинч-эффекта

**Пинч-эффекта - свойство электрич. токового канала в проводящей среде уменьшать своё сечение под действием собственного, порождаемого самим током, магнитного поля.**

**Возникло обоснованное предположение с помощью ЭПЭ можно - интенсифицировать технологические процессы обработки металлов давлением ( ОМД), такие как волочение, прокатка, штамповка, вытяжка и др.**

Эти предположения оправдались, но внедрение новой технологий электропластической деформации металла ( ЭПДМ) оказалось связанным с рядом объективных трудностей: сложностью подведения тока высокой плотности в зону деформации металла на современных прокатных и волочильных станах; отсутствием хороших не искрящих контактов; отсутствием промышленных источников импульсного тока, предназначенных для этих целей.

## **К ПРЕИМУЩЕСТВАМ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОМД МОЖНО ОТНЕСТИ СЛЕДУЮЩЕЕ:**

- возможность позонного воздействия на материал и позонной интенсификации технологических процессов с получением материала с периодически измененными свойствами;
- экологическая чистота метода и его экономичность;
- высокая скорость и эффективность воздействия;
- отмена операций промежуточных отжигов;
- возможность комбинирования ЭПЭ с джоулевым эффектом с установлением в заготовке практически любых сопутствующих температур.

## **К НЕДОСТАТКАМ И ОГРАНИЧЕНИЯМ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТНОСЯТСЯ:**

- снижение величины ЭПЭ с увеличением скорости деформации заготовки более 1,0 1,5 м/сек, что связано с ограничениями на скорость дрейфа электронов транспортного тока; скорость деформации материала не должны превышать скорость

дрейфа электронов, которая определяется по формуле  $VF = J / en$ , где  $e$  - заряд электронов;  $n$  - концентрация электронов в единице объема металла,  $J$  – амплитудная плотность тока.

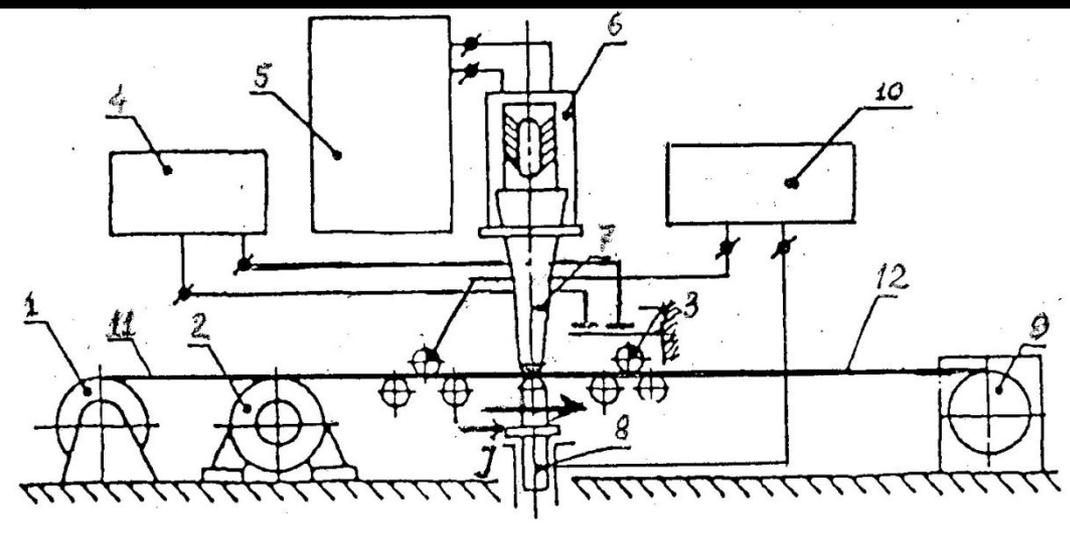
- невозможность ее применения при ОМД заготовок большого сечения из-за большого энергопотребления в этом случае и сложности создания в зоне деформации плотности тока порядка  $10^5$  А/см<sup>2</sup>, при которой реализуется ЭПЭ.

Как уже установлено в технологических опытах, наиболее вероятными областями практического применения ЭПЭ являются:

- сверхтонкое, тонкое и среднетонкое волочение проволоки (до ~ 1 мм);
- прокатка тонкого листа и ленты

В определенных работах осуществлялось плющение с током проволоки из молибдена в ленту при  $q = 20\%$ , а также из сплава Mo с Re MP-47ВП в ленту с коэффициентом формы до 30 (вместо достижимого при обычной прокатке 10) с нагревом в зоне деформации не более 300-350 С. По такой технологии получали ленты из вольфрама и вольфрам-рениевого сплава. Достигались единичные обжатия до 22-40%

Однако применение в зоне деформации вольфрама только электрического тока не позволяет получать еще больших степеней единичного обжатия материала, чем указанные. В связи с этим, сотрудниками МГМИ были разработаны стан и способ для ультразвукового электропластического плющения проволоки из вольфрама и других труднодеформируемых металлов и сплавов. Способ предусматривает одновременное использование в зоне деформации электрического тока и ультразвука, как показано на рис. 1,



где 1, 9 - приемно-сдаточный и укладочный механизмы; 2 - двигатель постоянного тока; 3, 4 - датчик натяжения и тензостанция; 5 - 7 - ультразвуковой генератор, преобразователь и концентратор УЗ-колебаний; 8 - отражатель; 10 - генератор импульсного тока; 11 - исходная проволока; 12 - получаемая микролента.

Рисунок 1

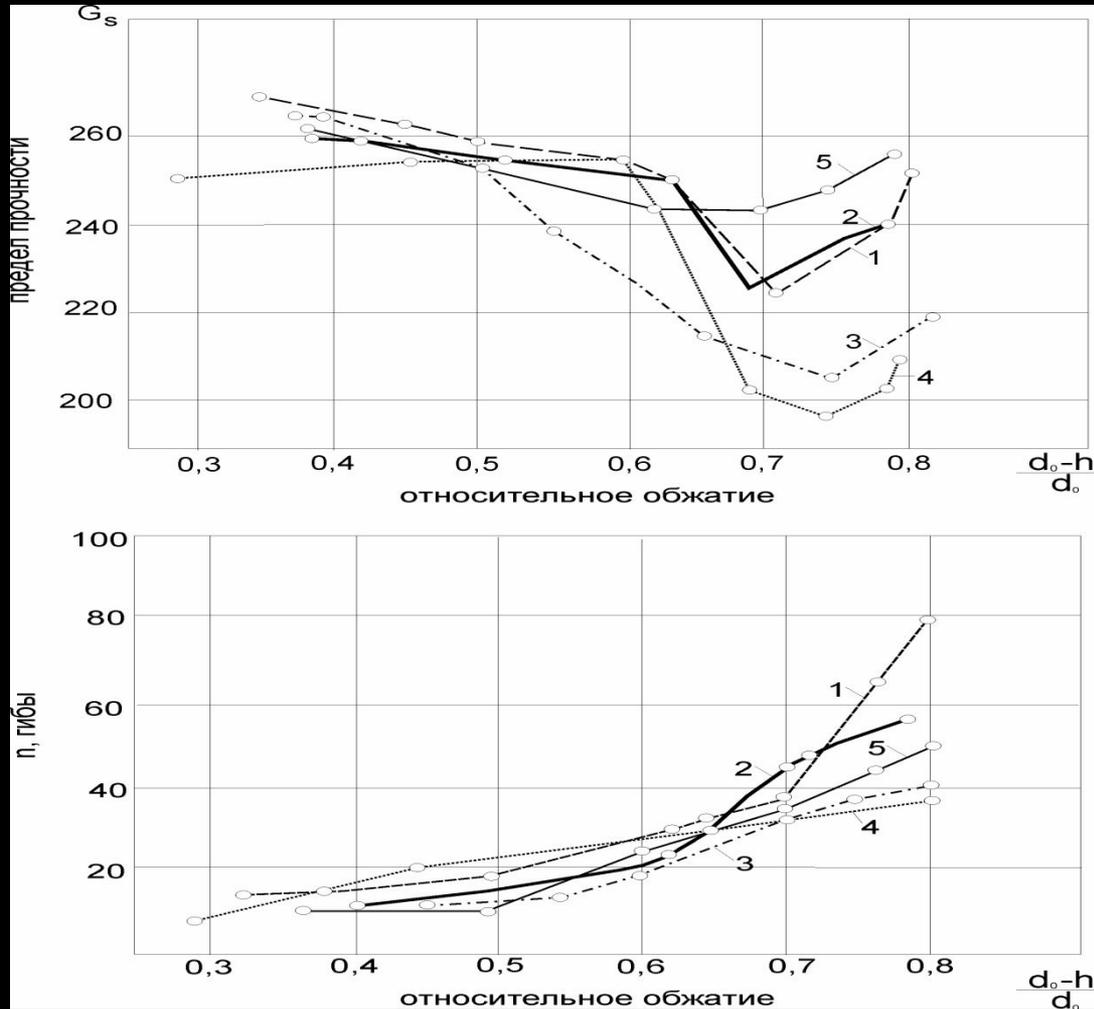
При УЗ-плющении, возможны два режима деформирования - **импульсный** и **непрерывный**, причем соотношение между ними определяется кинематическими параметрами установки и режимами процесса УЗ-плющения. **Импульсный режим более эффективен**, чем непрерывный с точки зрения снижения энергосиловых параметров процесса и повышения качества получаемой ленты.

**Важно отметить**, что для **увеличения скорости протягивания** ленты и диаметра деформируемой проволоки необходимо **увеличивать суммарную амплитуду УЗ-колебаний** и **уменьшать угол захвата бойков** или **упругие свойства заготовки**, что мы делаем с помощью электропластического эффекта действия тока.

К пример:

при плющении вольфрама марки ВТ исходная проволока имела диаметр **0,41 мм**. Частота ультразвука была **равна 18-20 кГц**, амплитуда **колебаний 20-60 мкм**. Скорость плющения составляла **6-60 м/мин**. Без тока процесс, как правило, не шел - происходило расщепление материала. С током (при одновременном действии УЗ) получалась лента хорошего качества. За один проход достигались **единичные обжатия на 88-90%**. Амплитудная плотность тока в зоне деформации составляла  **$(1,1-4,5) \cdot 10^2$  А/мм<sup>2</sup>**. Нагрев по расчетам был равен **400-450° С**.

На рисунке по результатам испытаний 8-10 образцов в каждой точке приведены зависимости предела прочности ленты, полученной с использованием УЗ, импульсного (кривые 1, 2 - разной полярности), постоянного (кривые 3, 4 - разной полярности) и переменного (кривая 5) тока от степени единичного обжатия. Видно, что наибольшее изменение происходит после плющения на постоянном и импульсном токе. Наличие минимума на кривых объясняется тем, что при больших единичных обжатиях (начиная примерно с 65%) процесс плющения частично переходит в процесс волочения и дополнительно сопровождается отпуском (снижение прочности)



## ГИПОТЕЗА

Можно предположить, что под влиянием тока увеличивается пластичность материала за счет формирования дислокационной структуры, препятствующей раннему появлению микротрещин в ленте. В частности, может возникать более дисперсная ячеистая структура.

## ВЫВОДЫ

1. В результате ультразвукового электропластического плющения проволоки вольфрама в ленту достигаются единичные обжатия до 88-90% при хорошем качестве поверхности и кромок ленты. Лента обладает высокой пластичностью, может производиться без создания защитной атмосферы вокруг зоны деформации.
2. Наложение тока на зону деформации пружинной ленты из сплава K40TЮ приводит к росту угла пружинности ленты, более раннему по степеням деформации упрочнению и некоторому росту числа гибов ленты  $n$ . *Происходит также увеличение параметра кристаллической решетки основной фазы, что объясняется выделением мелкодисперсных фаз и образованием сложных твердых растворов.*
3. Предложена модель электронно-пластического эффекта, учитывающая основные положения динамической и инерционной теорий участия электронов проводимости в пластической деформации металла. Модель построена, в предположении эквивалентности действия тока приложению к кристаллам дополнительных эффективных напряжений, влияния тока на скопления дислокаций, на перестройку и срыв скоплений со стопоров в виде примесей и дислокаций в других системах скольжения, а также с других препятствий, помимо возможного действия спинового упрочнения

## Семинар

- Разделение сталей методом ТЭДС

# НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

## ИСКРОВАЯ ПРОБА

приблиз. способ определения марки стали по характеру и цвету искр, возникающих при соприкосновении стали с вращающимся абразивным камнем. Низкоуглеродистая сталь даёт длинный жёлтый пучок искр без звёздочек, среднеуглеродистая - пучок со значит. числом светлых звёздочек, высокоуглеродистая (инструментальная) - короткий широкий пучок искр с большим числом мелких светлых звёздочек, быстрорежущая сталь - прерывистые тёмно-красные линии, марганцовистая - бело-жёлтые линии со звёздочками и т. п. См. рис.



*Приблизённое определение химического состава стали по искровой пробе*

В аналитической химии есть несколько методов, основанных на определении положения химического равновесия

**Гравиметрия (весовой метод).** В гравиметрии определяемое вещество переводят в химически чистое состояние или превращают в весовую форму - соединение с точно известным постоянным составом, которое можно легко выделить и взвесить. Количество анализируемого вещества рассчитывают исходя из массы весовой формы и уравнения реакции, связывающей это вещество с весовой формой. Химические стандарты не требуются. Весовые методы анализа очень точны, их часто используют в сомнительных случаях в качестве контроля.

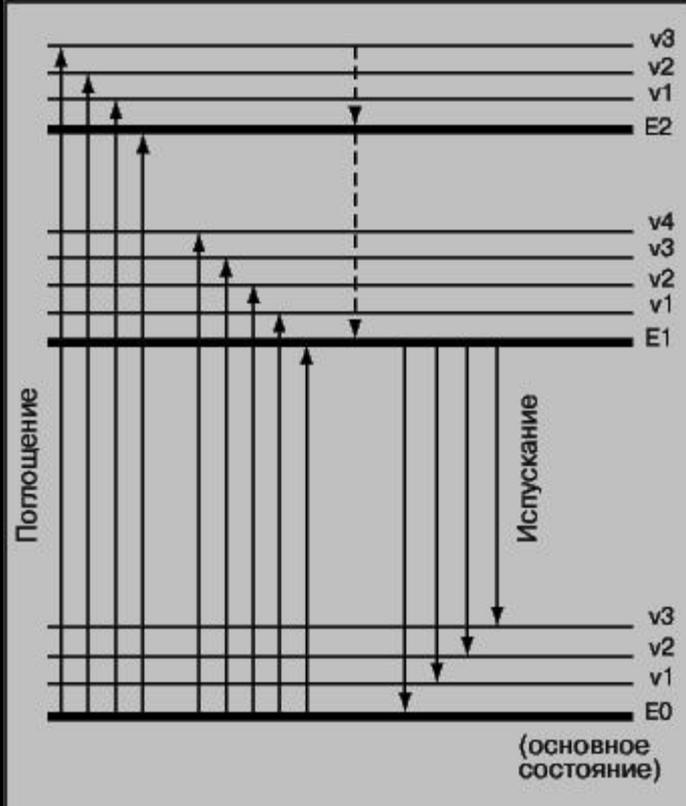
**Титриметрия (объемный метод).** В титриметрии концентрацию определяют, измеряя объем стандартного или титрованного реагента (титранта), израсходованного в химической реакции с определяемым веществом в растворе (или газовой фазе). Измерение проводят с помощью процедуры титрования. Это простой, относительно быстрый, универсальный и точный метод.

**НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ**

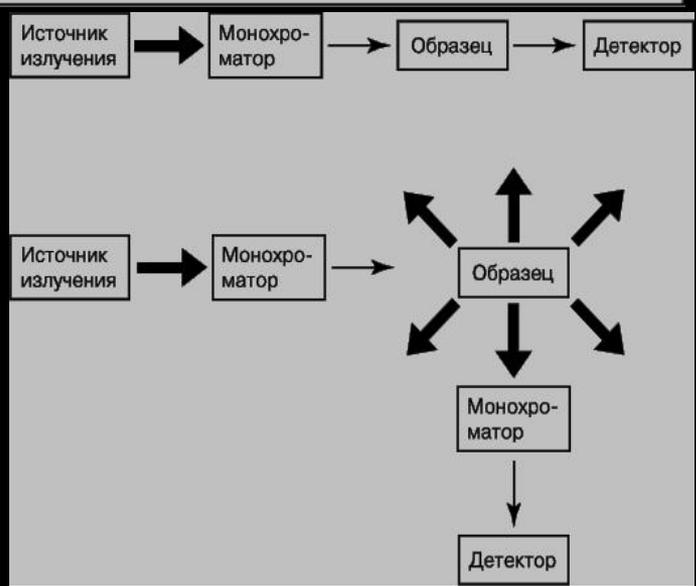
## СПЕКТРОСКОПИЯ

Спектроскопические методы основаны на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом, т.е. на определении характеристик поглощаемого, испускаемого или рассеянного излучения. Результаты измерений обычно представляют в виде спектра.

**Основные положения.** Электромагнитное излучение характеризуется энергией  $E$ , частотой  $\nu$  и длиной волны  $\lambda$ , которые связаны между собой соотношением  $E = h\nu = hc/\lambda$ , где  $h$  - постоянная Планка ( $6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж\*с),  $c$  - скорость света ( $3 \cdot 10^8$  м/с). Под действием электромагнитного излучения молекулы вещества переходят на более высокие энергетические уровни. схематически представлены эти уровни (горизонтальные линии) и некоторые переходы между ними (вертикальные стрелки). Энергия поглощается и испускается дискретными порциями (квантами), и чтобы поглощение произошло, энергия кванта падающего излучения должна в точности соответствовать энергии перехода в одно из возбужденных состояний поглощающей молекулы. Когда молекула из возбужденного состояния переходит на более низкий энергетический уровень, излучение испускается, при этом энергия излучения равна разности энергий двух уровней. Спектр - это зависимость интенсивности поглощения или испускания электромагнитного излучения от длины волны или энергии. Характер спектра дает информацию о природе поглощающего или испускающего вещества, а высота пиков - о числе молекул, участвующих в переходе (т.е. о концентрации вещества).



**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ** гипотетической молекулы. E - электронные уровни, v - колебательные. Сплошные стрелки отвечают поглощению или испусканию света, пунктирные - безызлучательным переходам.



**БЛОК-СХЕМЫ** устройств для получения спектров поглощения (вверху) и испускания (внизу). Жирные стрелки соответствуют полихроматическому излучению, тонкие - монохроматическому

**Масс-спектрометрия (МС).** Масс-спектрометрия - один из наиболее эффективных и широко применяющихся аналитических методов. Его отличают высокая селективность, чувствительность и точность. Принцип метода состоит в том, что определяемое вещество переводят в газообразное состояние, ионизируют и образовавшиеся ионы (заряженные фрагменты исходных молекул) разделяют в магнитном поле по величинам отношения массы к заряду. Любой масс-спектрометр состоит из системы напуска образца, ионизационной камеры и системы разделения ионов. В приборе поддерживают высокий вакуум (ХИМИЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ 10<sup>-6</sup> мм рт.ст.). Методы регистрации отработаны настолько хорошо, что позволяют без труда производить подсчет отдельных ионов. Масс-спектр представляет собой зависимость интенсивности сигнала от отношения массы образующихся при ионизации частиц к их заряду ( $m/e$ ). Спектр состоит из одного или нескольких пиков. При низкой энергии ионизирующих электронов от молекул вещества отрывается по одному электрону и образуются молекулярные ионы ( $M^+$ ); в этом случае в спектре присутствует единственный пик, и определить мол. массу анализируемого вещества несложно.





### **Назначение:**

Спектрометр с методиками предназначен для оперативного определения элементов в чугунах, сталях, медных, алюминиевых, никелевых, магниевых, цинковых и титановых сплавах с обязательной возможностью определения содержания углерода, серы, фосфора.

### **Технические характеристики:**

- Оптическая схема: 1 или 2 полихроматора;
- $R=500\text{мм}$ , решетки 2400 и 3600 штр/мм, с компенсацией астигматизма  
Обратная линейная дисперсия и область спектра: 0,55 нм/мм (170-200 нм вакуумный); 0,8 нм/мм (190-410 нм – воздушный); 2,4 нм/мм (400-800 нм – воздушный)
- ПЗС-линейки: 11 шт по 3648 пикселей;
- Динамический диапазон: до 4000;
- Источник возбуждения спектров: CRL-разряд с управляемыми параметрами разрядного контура 256 режимов;
- Штатив: с аргоновой продувкой, возможно подключение УШТ-4;
- Температура среды: От 10 до 35 ° C;
- Электропитание: 220 В, 50 Гц возможна работа от 180 до 240В;
- Габариты и вес: 620\*400\*400 мм; 70 кг.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА

Данный метод может эффективно применяться при контроле марок материала, разделении материалов и деталей по маркам, контроле наличия покрытий, напыленных слоев.

Основное преимущество применяемого метода – оперативность контроля и полное отсутствие повреждений в месте измерения, благодаря чему метод в полном смысле этого слова является неразрушающим.

## ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ МЕТОДА

ЗЕЕБЕКА ЭФФЕКТ, возникновение электродвижущей силы (термоэлектродвижущая сила) в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разных проводников, контакты между которыми поддерживаются при разных температурах. На Зеебека эффекте основано действие термопары. Открыт Т. И. Зеебеком в 1821.

## ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ МЕТОДА

Электродвижущая сила возникающая в электрич. цепи, состоящей из неск. разнородных проводников, контакты между к-рыми имеют разл. темп-ру (Если электрич. цепь состоит из двух разл. проводников, она наз. термоэлементом. Величина  $\mathcal{E}$  зависит только от темп-р горячего  $T_1$  и холодного  $T_2$  контактов и от материалов проводников. В небольшом интервале темп-р ( $0—100^\circ\text{C}$ )  $\mathcal{E}=a(T_1-T_2)$ . Коэфф.  $a$  наз. коэфф. Зеебека (термоэлектрич. способностью пары, т е р м о с и л о й, к о э ф ф и ц и е н т о м т е р м о э д с и л и у д е л ь н о й т е р м о э д с), **зависит от материала проводников** и интервала темп-р (см. таблица).

Цифры, приведённые в таблице, условны, т. к.  $\mathcal{E}$  чувствительна к микроскопич. кол-вам примесей, к ориентации крист. зёрен.  **$\mathcal{E}$  может возникнуть в цепи, состоящей и из одного материала, если его разные участки подвергались разл. технол. операциям.**

Материал	$\alpha$ , мкВ/К	Материал	$\alpha$ , мкВ/К
Сурьма . . .	+43	Ртуть . . .	-4,4
Железо . . .	+15	Платина . .	-4,4
Молибден . .	+7,6	Натрий . . .	-6,5
Кадмий . . .	+4,6	Палладий . .	-8,9
Вольфрам . .	+3,6	Калий . . .	+13,8
Медь . . . .	+3,2	Никель . . .	-20,8
Цинк . . . .	+3,1	Висмут . . .	-68,0
Золото . . .	+2,9	Хромель . . .	+24
Серебро . . .	+2,7	Нихром . . .	+18
Свинец . . .	0,0	Платинород- дий . . . . .	+2
Олово . . . .	-0,2	Алюмель . .	-17,3
Магний . . .	-0,0	Константан	-38
Алюминий . .	-0,4	Копель . . .	-38

## ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ МЕТОДА

Если вдоль проводника существует градиент темп-р, то эл-ны на горячем конце приобретают более высокие энергии и скорости. В полупроводниках, кроме того, концентрация эл-нов растёт с темп-рой. В результате возникает поток эл-нов от горячего конца к холодному, на холодном конце накапливается отрицат. заряд, а на горячем. остаётся нескомпенсированный положит. заряд.

Накопление заряда продолжается до тех пор, пока возникшая разность потенциалов не вызовет равный обратный поток эл-нов. Алгебр. сумма таких разностей потенциалов в цепи создаёт одну из составляющих  $T$ , к-рую наз. объёмной.

# РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА НА ПРИМЕРЕ ПРИБОРА ПО АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

## Авторское свидетельство №1807364А1.

Измерительная система для экспрессного определения химического состава пробы металл. Может использоваться в качестве экспресс контроля хим. состава жидкого металла и температуры металла.

Измерительная система содержит термоэлектроды подключенные к измерительному прибору.

См. фиг 1

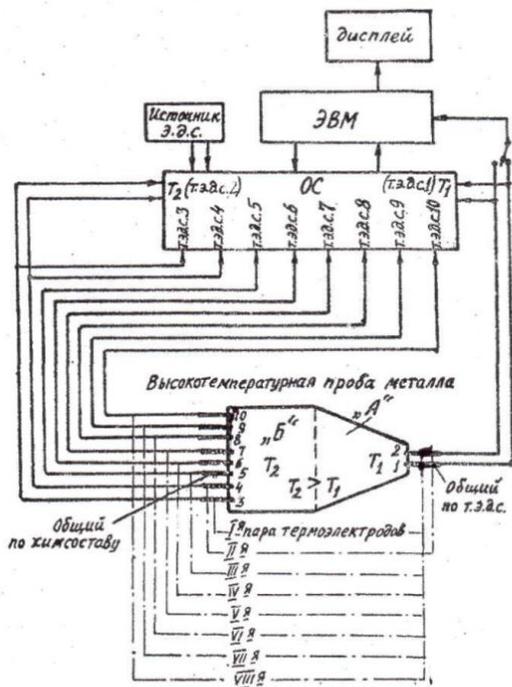
В данной измерительной системе проба металла используется как элемент измерительной системы и выполнена с изменяющимся поперечным сечением.

К пробе со стороны меньшей площади подключены два электрода, а со стороны большей площади подключены дополнительно  $(n+1)$  электрод, электроды 5-10 т.е шесть, если требуется определить пять химических элементов.

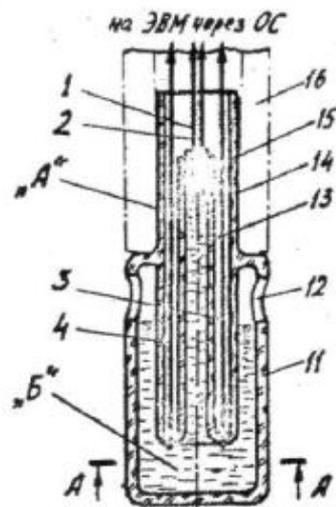
Измерительная система работает следующим образом см.Фиг 3:

1. Пробницу погружают в металл
2. На ЭВМ фиксируется первое значение термоэдс, измеряется температура металла
3. Пробницу извлекают из расплава
4. Металла в пробнице кристаллизуется
5. При помощи двух разорванных термопар, образованных термоэлектродами соответственно 1 и 2, 3 и 4 (см.фиг 1 и 2) фиксируется на ЭВМ перепад температур в пробе, а при помощи дополнительных электродов 5-10 фиксируется термоэдс в пробе.
6. ЭВМ согласно программе (построенной на решение системы линейных уравнений см. пример расчета, алгоритм), после получения данных по термоэдс начинает производить расчет содержания химических элементов.

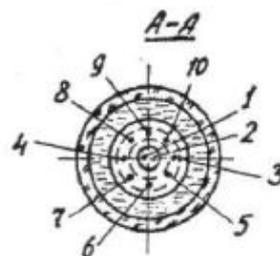
Для определения химического состава легированных марок стали поступают аналогично, включают в состав термоэлектродов легирующий элемент хром, ванадий



Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3