

# СПОСОБЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

- 1.Химико-термическая обработка;
- 2.Закалка ТВЧ;
- 3.Газопламенная закалка;
- 4.Упрочнение методом пластической деформации;
- 5.Плазменная термообработка;
- 6.Электроннолучевая термообработка;
- 7.Лазерная термообработка.

Поверхностной закалке подвергают среднеуглеродистые стали (0,4-0,45%С), или легированные, для увеличения прочности сердцевины деталей. Такой закалке подвергают зубья шестерен, звездочек, шейки валов, головки рельсов и др.



# Закалка ТВЧ

Быстрый нагрев поверхности осуществляется с помощью машинных генераторов с частотой 50...15000 Гц и ламповых генераторов с частотой больше 10<sup>6</sup> Гц.  
Глубина закаленного слоя – до 2 мм.

закон Джоуля- Ленца:  $Q = I^2 \cdot R \cdot t$  [кДж],

где Q - количество тепла;

I - сила тока, равна 5000-8000 А,

R – сопротивление материала нагреваемой детали, Ом,

t – время нагрева, с.

За счет теплового действия тока происходит нагрев детали.

Переменный ток распределяется по сечению детали неравномерно, сосредотачиваясь в поверхностных слоях

# Закалка ТВЧ

При этом около 87 % всей тепловой энергии выделяется в слое, измеряемом глубиной проникновения тока –  $\delta$ :

$$\delta \approx 5030 \sqrt{\rho / \mu \cdot f} \text{ [см]}, \text{ или } \delta \approx 5030 \sqrt{f}$$

где  $\rho$  – удельное электросопротивление материала детали, ом·см;  
 $\mu$  – относительная магнитная проницаемость;  
 $f$  – частота тока, Гц.

Глубина закаленного слоя –  $\delta_{\text{зак}}$  связана с глубиной проникновения тока -  $\delta$  формулой:

$$\delta_{\text{зак}} \approx 0,5 \cdot \delta$$

# Выбор частоты тока

**Частота тока** -  $f$  (Гц) выбирается в зависимости от глубины закаленного слоя  $\delta_{\text{зак}}$

$$f = 6 \cdot 10^2 / \delta_{\text{ток}}^2$$

где  $\delta_{\text{ток}}$  – глубина проникновения тока, (см), равна  $0,5 \cdot \delta_{\text{зак}}$ .

Источником тока высокой частоты являются преобразователи (генераторы) машинные, ламповые, тиристорные.

Данные генераторы обеспечивают следующие значения частоты тока, Гц:

1. *Тиристорные* - 1 000, 2 400, 4 000;
2. *Машинные* - 500, 1 000, 2 400, 4 000, 8 000, 10 000;
3. *Ламповые* 66 000, 200 000, 440 000.

Для поверхностного нагрева мощность генератора –  $N_r$ , кВт :

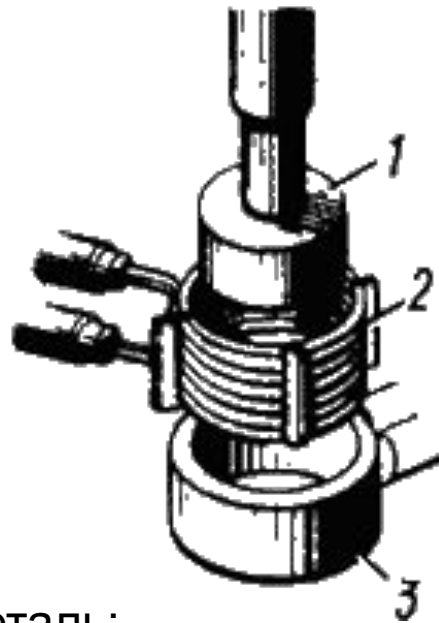
$$N_r = N_0 \cdot S / \eta_{\text{и}} \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{к}} \eta_{\text{л}}$$

где  $N_0$  - удельная мощность, кВт/см<sup>2</sup>;

$S$  – нагреваемая площадь поверхности изделия , см<sup>2</sup>;

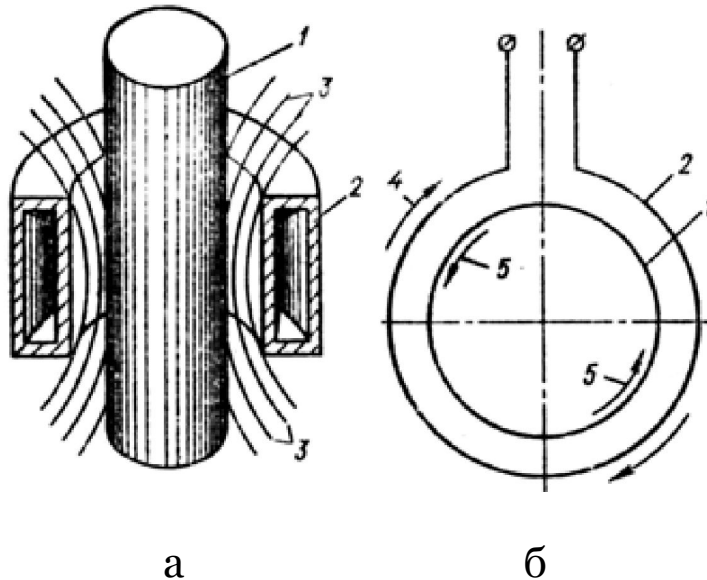
$\eta_{\text{и}} \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{к}} \eta_{\text{л}}$  – к.п.д. индуктора, закалочного трансформатора, конденсаторной батареи, линии электропередач соответственно, равны 0,75; 0,85; 0,97; 0,95.

# Схема технологического процесса закалки ТВЧ



- 1- закаливаемая деталь;
- 2- медный индуктор;
- 3- спрейер (душирующее устройство)

# Схема индукционного нагревателя



а – распределение магнитного потока в индукторе;

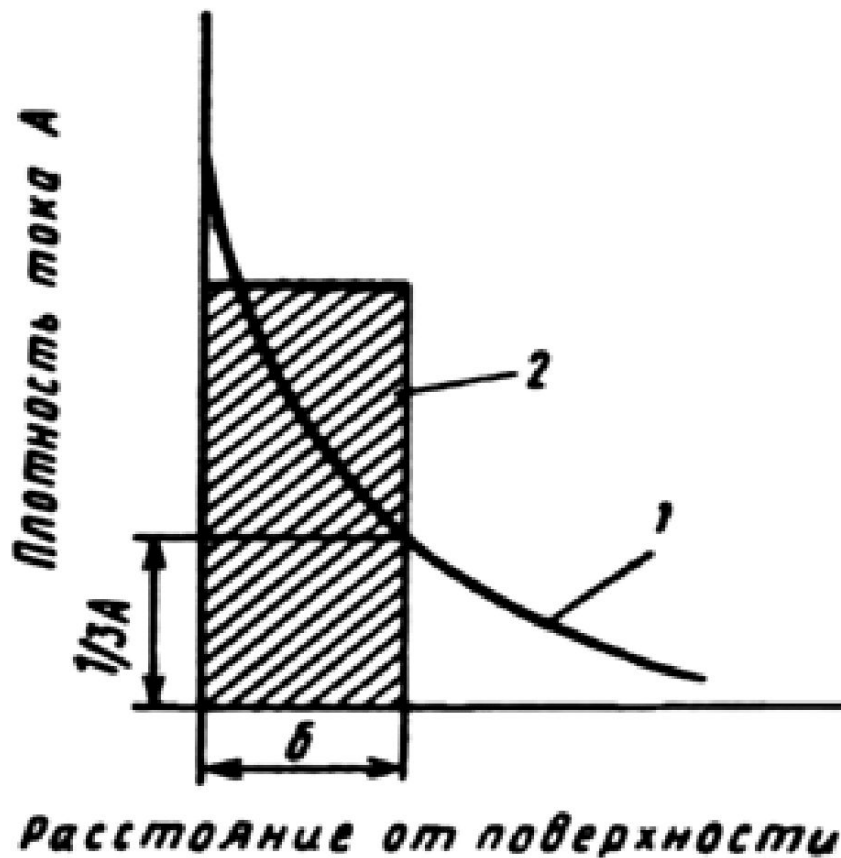
б – направление токов в индукторе и детали;

1 – нагреваемая деталь; 2 – виток индуктора;

3 – магнитные силовые линии; 4 – направление тока в индукторе;

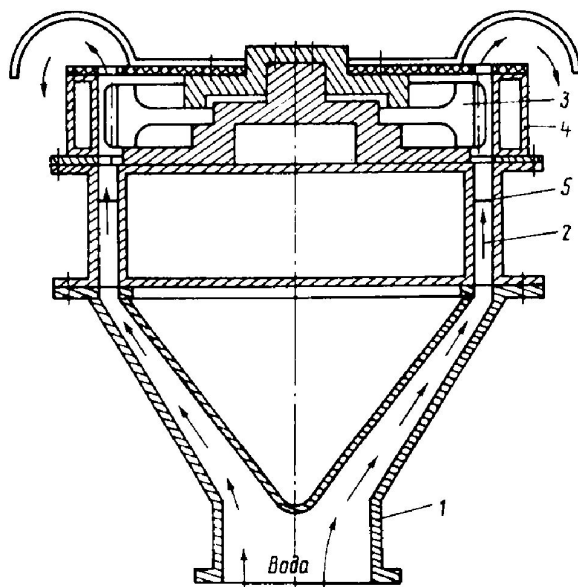
5 – направление тока в детали

# Распределение плотности переменного тока по нагреваемой детали



# Схема устройства для объемно–поверхностной закалки шестерен

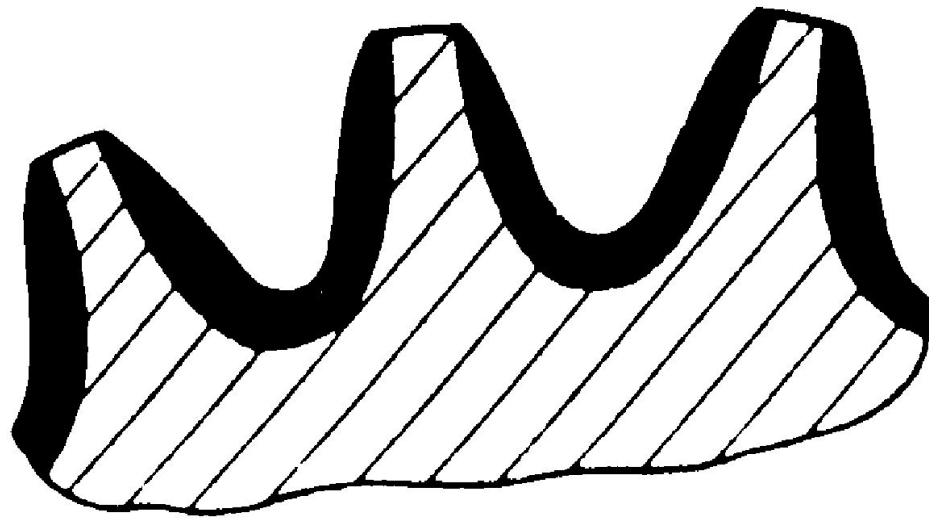
охлаждение потоком воды, подаваемой в зазор между индуктором и закаливаемой поверхностью детали



- 1 – питающая труб
- 3 – закаливаемая шестерня;
- 4 – индуктор;
- 5 – начальный уровень закалочной воды.



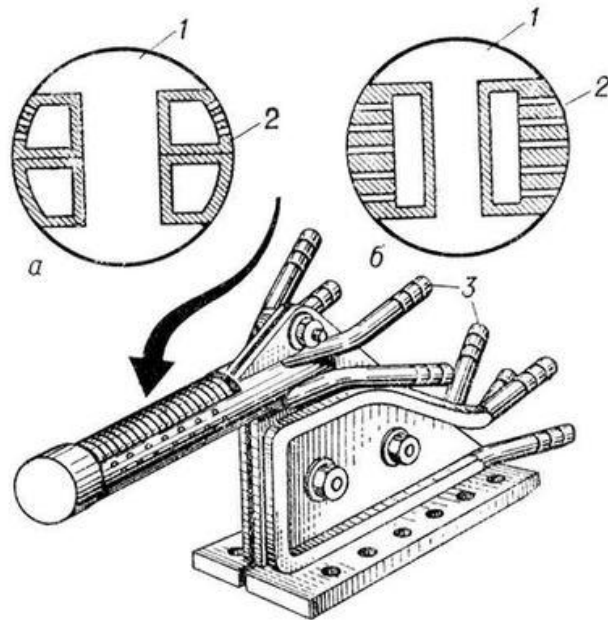
# Закаленный ТВЧ слой на детали зубчатой передачи



Конфигурация закаленного слоя (выделен зачернением) на зубьях при закалке “по впадине”

# Петлевой индуктор для ТВЧ закалки внутренних цилиндрических поверхностей

Способ одновременного нагрева при вращении закаливаемой детали



а — конструкция с отдельными камерами для охлаждения индуктора и выхода закалочной воды; б — конструкция без постоянного охлаждения;  
1 — магнитопровод; 2 — индуктирующий провод;  
3 — трубопровод водяного охлаждения

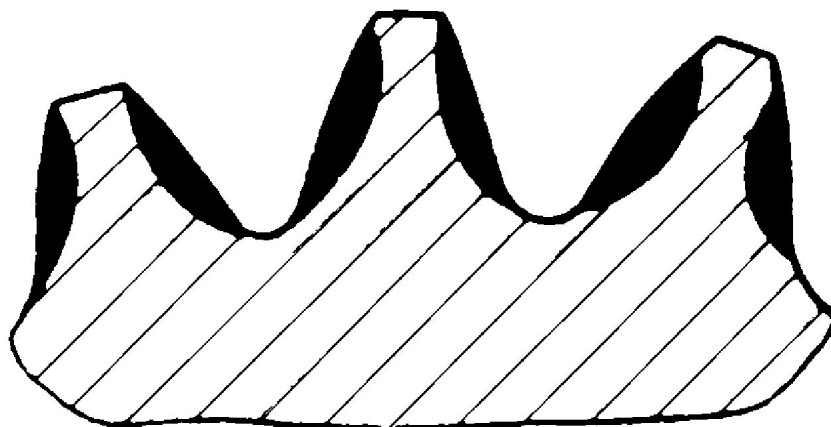
# Газопламенная закалка

**Нагрев осуществляется** ацетиленокислородным, газокислородным или керосинокислородным пламенем с температурой 3000...3200 °С.

**Структура поверхностного слоя** после закалки состоит из мартенсита, мартенсита и феррита. Толщина закаленного слоя 2...4 мм, **твердость** 50...56 HRC.

**Метод применяется** для закалки крупных изделий, имеющих сложную поверхность (косозубые шестерни, червяки), для закалки стальных и чугуновых прокатных валков. Используется в массовом и индивидуальном производстве, а также при ремонтных работах.

# Закаленный методом газопламенной закалки слой детали



Конфигурация закаленного  
слоя (выделен зачернением)  
на зубьях  
при газопламенной поверхностной за-  
калке “по зубу”

# Упрочнение методом пластической деформации (поверхностный наклеп)

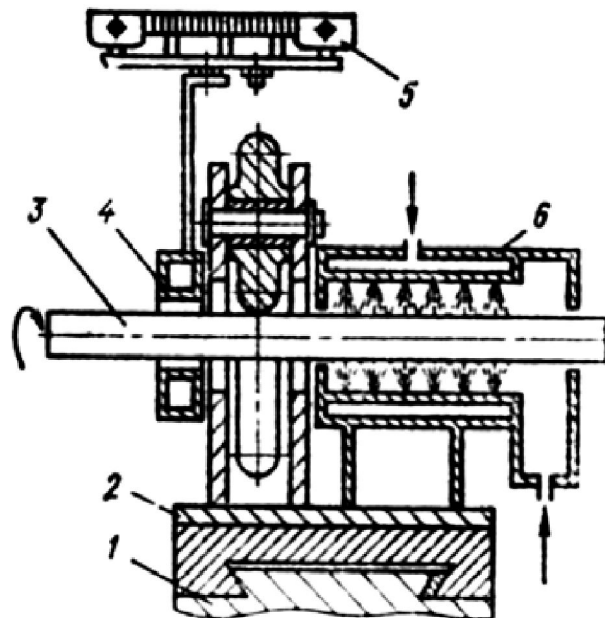
## Способами упрочнения поверхности обработкой давлением являются:

1. Высокотемпературная термомеханическая обработка поверхностных слоев (ВТМОП);
2. ВТМОП + холодная деформация обкаткой;
3. Холодная деформация + ВТМОП;
4. Холодная деформация + ВТМОП + холодная деформация;
5. Наклеп дробью.

Методы механического упрочнения – наклепывание поверхностного слоя на глубину 0,2...0,4 мм.

При этом на поверхности детали остаются мелкие вмятины или бороздки с наклепанным слоем, который препятствует зарождению трещин при знакопеременных нагрузках

# Схема устройства для непрерывно-последовательной ВТМОП



1 - основание; 2 – рабочий стол; 3 – нагреваемое изделие;  
4 – индуктор; 5 – трансформатор; 6– охлаждающее приспособление (спрейер); 7 – деформирующий ролик