

ВОДО-ВОЗДУШНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ПРИ ЗАКАЛКЕ

Д. В. БУДРИН, В. М. КОНДРАТОВ
Уральский политехнический институт

Охлаждающую способность водо-воздушной смеси изучали на образцах размером 200x40x40 и 150x35x35 мм. Чтобы предотвратить тепловые эффекты при фазовых превращениях образцы были изготовлены из аустенитной стали X18H9T и сплава хромель. Для определения температуры в центре и на поверхности образца были просверлены с торца три отверстия до середины образца. Горячий спай термопары припаивали медью или приваривали электроискровым разрядом. Образцы охлаждали водо-воздушной смесью, подаваемой специальными форсунками. Общий вид образца с форсунками представлен на рис. 1. Температуру измеряли хромель-алюмелевыми термопарами, изменение температуры при охлаждении определяли быстродействующим потенциометром ЭПП-09. Охлаждающую способность водо-воздушной среды определяли по коэффициенту теплообмена α и кривым охлаждения. Коэффициент α в $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ определяли по формуле

$$\alpha = \frac{G C_p (t_{m1} - t_{m2}) \cdot 3600}{F \Delta \tau \left(\frac{t_{n1} + t_{n2}}{2} - t_{окр} \right)}$$

где G - вес образца в кг; F — охлаждаемая поверхность образца в м^2 ; t_{n1} и t_{n2} — средние температуры в $^{\circ}\text{C}$ поверхности образца в момент времени τ_1 и τ_2 ; t_{m1} и t_{m2} — средние температуры в $^{\circ}\text{C}$ массы образца в момент времени τ_1 и τ_2 ; $t_{окр}$ — температура окружающей среды в $^{\circ}\text{C}$; C_p — удельная теплоемкость в $\text{ккал}/\text{кг} \cdot \text{град}$; $\Delta \tau$ — интервал времени, соответствующий измеряемым температурам, в сек.

Охлаждающая способность водовоздушной смеси зависит главным образом от соотношения давления воды и воздуха. Однако известно, что расход пропорционален корню квадратному от давления, поэтому при изменении давления изменяется и расход. Влияние расстояния от форсунки до охлаждаемой поверхности на поверхность активного охлаждения подробно рассматривается в работе [1]. Выбор оптимального расстояния зависит от конструкции форсунки и соотношения расхода воды и воздуха.

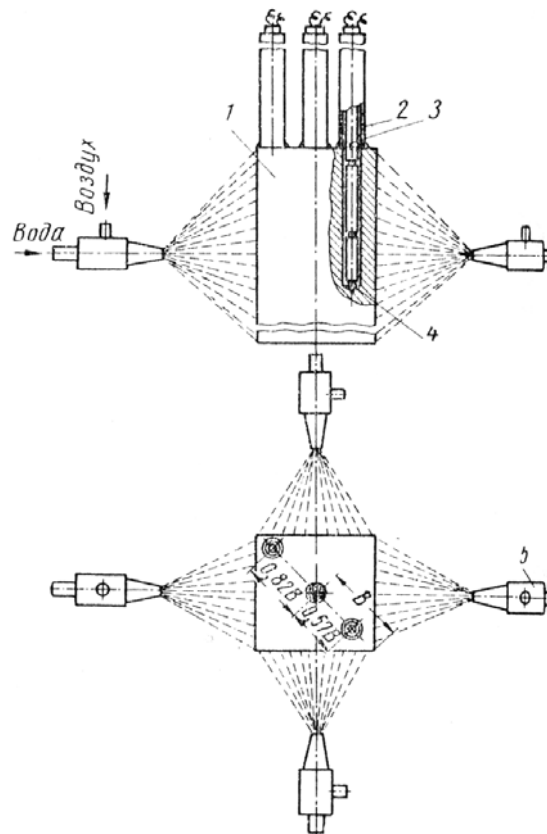


Рис. 1. Общий вид образца с охлаждающими форсунками:
 1 — образец; 2 — трубки; 3 — фарфоровая соломка;
 4 — термопара; 5 — форсунки

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента теплообмена β водо-воздушной смеси от температуры охлаждаемой поверхности. Наибольший коэффициент β получен при $P_{\text{возд}} = 1,5 \text{ ат}$, а наименьший — при $P_{\text{возд}} = 4 \text{ ат}$ (рис. 2, а). Из этого следует, что охлаждающая способность водо-воздушной смеси возрастает с увеличением воды в ней только до определенного предела, выше которого увеличение количества воды приводит к стабилизации коэффициента α или даже к снижению его. В работе [2] такие составы водо-воздушных смесей условно названы «предельными». В настоящей работе показано, что при расходе воды $>260 \text{ л/ч}$ и $P_{\text{возд}} = 4,5 \text{ ат}$ и расходе его $900 \text{ м}^3/\text{ч}$ коэффициент теплообмена снижается. Однако эти данные справедливы для конкретных условий. При изменении конструкции форсунки и при другом соотношении давления воды и воздуха предельный состав водо-воздушной смеси изменяется. В нашем случае $\alpha = 7000 \text{ кал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ получен при $P_{\text{вод}} = 0,5 \text{ ат}$, $P_{\text{возд}} = 2,0 \text{ ат}$ или $P_{\text{вод}} = 2,5 \text{ ат}$, $P_{\text{возд}} = 4,0 \text{ ат}$. Во втором случае расход воды был в 2,3 раза больше, чем в первом, и, следовательно, отвод тепла единицей воды был в 2,3 раза больше.

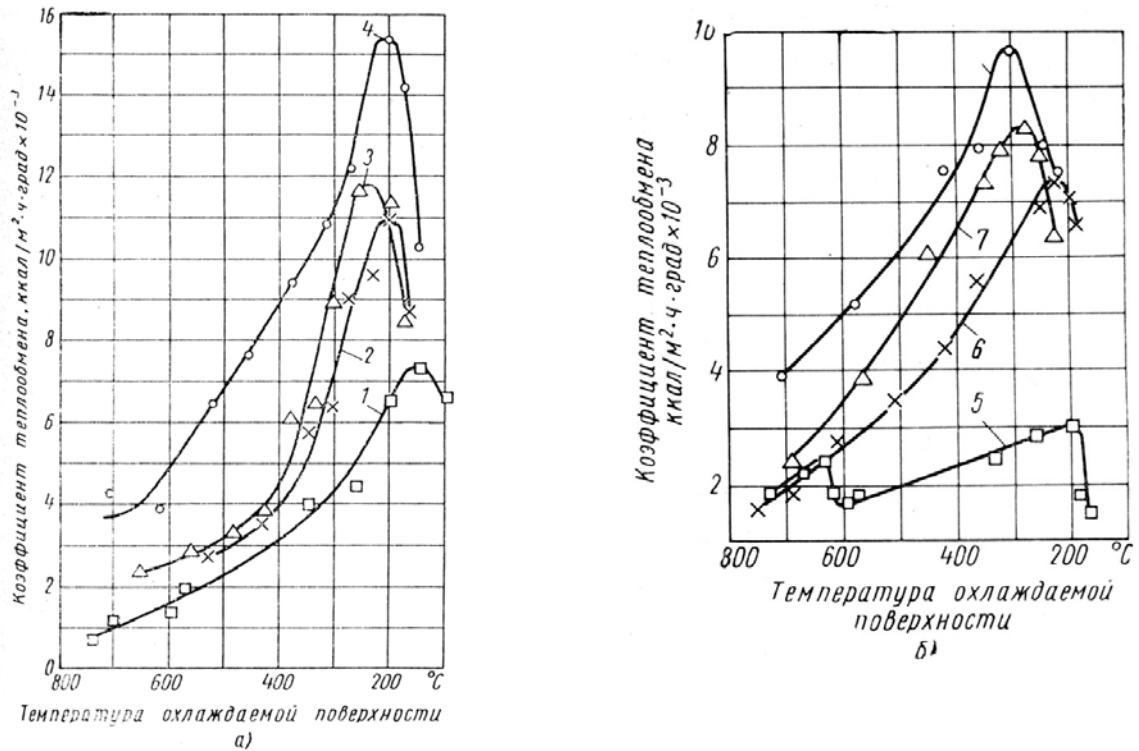


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплообмена от температуры охлаждаемой поверхности:
 а) $P_{\text{вод}} = \text{const} = 2,5 \text{ ат}$; б) $P_{\text{возд}} = \text{const} = 2,0 \text{ ат}$; 1) $P_{\text{возд}} = 4,0 \text{ ат}$; 2) $P_{\text{возд}} = 3 \text{ ат}$; 3) $P_{\text{возд}} = 2 \text{ ат}$;
 4) $P_{\text{возд}} = 1,5 \text{ ат}$; 5) $P_{\text{вод}} = 0,2 \text{ ат}$; 6) $P_{\text{вод}} = 0,5 \text{ ат}$; 7) $P_{\text{вод}} = 1,0 \text{ ат}$; 8) $P_{\text{вод}} = 2 \text{ ат}$

В зависимости от соотношения давления воды и воздуха для определенной конструкции форсунки могут быть два состава предельных смесей. Первый состав: расход воды такой, при котором давление воздуха не распыливает воду до частиц размером меньше критической величины. В этом случае частицы воды не успевают полностью испариться, отвод пара затруднен и вследствие этого охлаждающая способность к смеси снижается. Второй состав: расход воды незначителен, и давление воздуха настолько увеличивает кинетическую энергию частиц воды, что приводит, как указано в работе [1], к сокращению времени контакта частиц воды с раскаленной поверхностью, поэтому охлаждающая способность водо-воздушной смеси также снижается. Таким образом, правильным подбором соотношения давления воды и воздуха можно обеспечить рациональный расход воды.

Пленочное кипение при водо-воздушном охлаждении отчетливо не наблюдается, коэффициент α возрастает плавно до максимума, который соответствует пузырьковому кипению (рис 2, а). Отсутствие пленочного кипения, по-видимому, можно объяснить тем, что частицы водо-воздушной смеси сильно диспергированы и при соприкосновении с нагретой поверхностью мгновенно испаряются, причем устойчивая паровая пленка не успевает образоваться в связи с большой скоростью отвода пара. На рис 2, б видно, что уменьшение давления воды влияет на охлаждающую способность водо-воздушной смеси так же, как и увеличение давления воздуха. Максимум коэффициента α соответствует ядерному кипению при 300—170°C. С уменьшением коэффициента α (разные соотношения $P_{\text{вод}}$ и $P_{\text{возд}}$) кривые на рис.2 располагаются при более низких температурах. На

рис. 3 показано, что при спрейерном охлаждении можно получить коэффициенты α значительно превышающие коэффициенты теплоотдачи при охлаждении в неподвижной воде. Мы получили коэффициент α , равный $2500 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ (т. е. в 3 раза больше, чем при охлаждении в воде). Получение высоких скоростей охлаждения в спрейере очень важно при закалке низкопрокаливаемых сталей, а также для получения чисто аустенитной структуры в нестабильных аустенитных сталях.

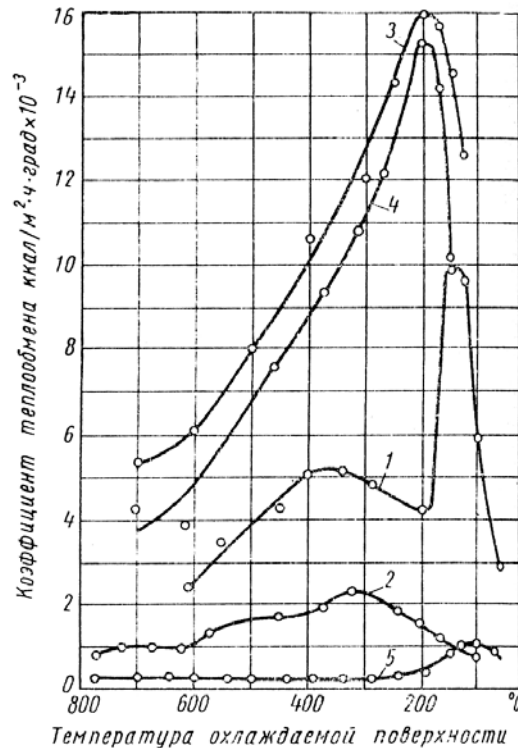


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплообмена от температуры охлаждаемой поверхности:
 1 — вода 15°C ; 2 — масло 20°C ; 3 — спрейерное охлаждение, $P_{\text{вод}} = 1,0 \text{ ат}$, $Q = 350 \text{ м}^3/\text{ч}$
 4 — водо-воздушное охлаждение, $P_{\text{вод}} = 2,5 \text{ ат}$, $P_{\text{возд}} = 1,5 \text{ ат}$;
 5 — водо-воздушное охлаждение, $P_{\text{вод}} = 0,5 \text{ ат}$, $P_{\text{возд}} = 4 \text{ ат}$

Охлаждающая способность водо-воздушной смеси может быть значительно выше охлаждающей способности воды и равной охлаждающей способности масла и воздуха. Мы получили коэффициент α для смеси с разным соотношением воды и воздуха (рис. 4). В процессе охлаждения изменением давления воды, воздуха или того и другого вместе можно регулировать скорости охлаждения при любых температурах. При водо-воздушном охлаждении в начале, когда нужно миновать зону наименьшей устойчивости аустенита, скорости охлаждения близки к скоростям охлаждения в воде. При 600, 400 и 300°C с повышением давления воздуха от 2 до 4 ат скорость охлаждения резко уменьшается и становится равной скорости охлаждения в масле. Режим охлаждения можно изменять при любых температурах.

Вывод. Основным преимуществом водо-воздушного метода является получение в широком интервале скоростей охлаждения от охлаждения в неподвижной воде до охлаждения в масле.

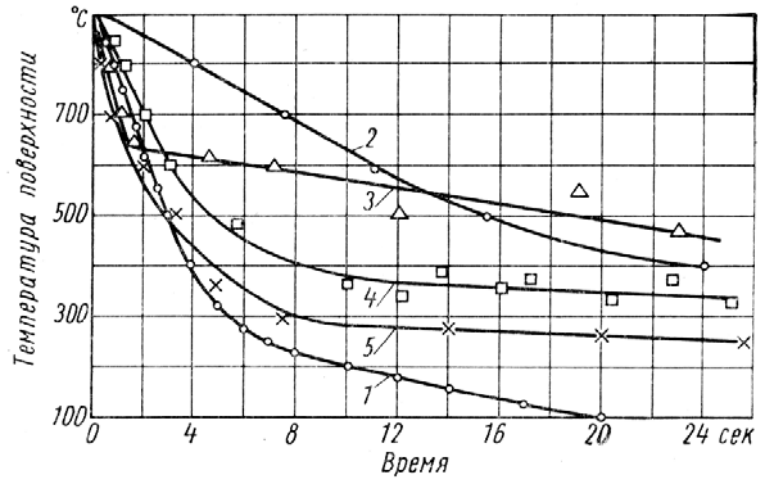


Рис. 4. Кривые охлаждения в воде, масле и водо-воздушной смеси различного состава:
 1) вода 20°C; 2) масло 20°C; 3) $P_{\text{вод}} = 2 \text{ ат}$, $P_{\text{возд}} = 2 \text{ ат}$ до 600°C и $P_{\text{возд}} = 4 \text{ ат}$ ниже 600°C;
 4) $P_{\text{вод}} = 2 \text{ ат}$, $P_{\text{возд}} = 2 \text{ ат}$ до 400°C и $P_{\text{возд}} = 4 \text{ ат}$ ниже 400°C;
 5) $P_{\text{вод}} = 2 \text{ ат}$, $P_{\text{возд}} = 2 \text{ ат}$ до 300°C и $P_{\text{возд}} = 4 \text{ ат}$ ниже 300°C

Литература

1. Блавтер, М. Е. и др. «МиОМ», 1958. №12.
2. Спектор, Я. И., Грачева, А. П., «МиТОМ», 1962, № 3.