

© Ю.И. Липунов, Е.В. Некрасова, 2012 г.

ОАО «ВНИИМТ»

© Ю.Г. Ярошенко, М.В. Старцева, А.Л. Торицын, 2012 г.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»

г. Екатеринбург

vniimt1@yandex.ru

ТЕРМОУПРОЧНЕНИЕ НАСОСНЫХ ШТАНГ ПРИ УСКОРЕННОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Процессы термоупрочнения в металлургии и машиностроении являются важной технологической операцией, так как позволяют получить особую структуру и уникальные свойства материала. Термоупрочнение может осуществляться как погружением в бак, так и с помощью регулируемых систем охлаждения. Способ регулируемого водяного охлаждения является более эффективным технологическим процессом. Возможность регулирования скорости охлаждения позволяет получить необходимую структуру металла, а следовательно, требуемые механические свойства и служебные характеристики.

В ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» разработано устройство контролируемого охлаждения насосных штанг для единственного в России специализированного в этом направлении предприятия «Очёрский машиностроительный завод». Насосные штанги используются для передачи поступательного или вращательного движения от наземного привода к скважинному насосу при добыче нефти. Устройство должно обеспечивать возможность:

- реализации режимов с различной скоростью охлаждения для разных марок сталей;

- получения свойств на уровне $\sigma_{0,2} =$ до 720 МПа, $\sigma_s =$ 930-1050 МПа для стали марки 40Г2 после закалки и отпуска;

- получения штанг меньшего диаметра (после закалки и отпуска), равнопрочных штангам большего диаметра (после нормализации и отпуска);

- кривизна тела штанги после закалки должна быть не более 3 мм на 1 м длины. Не допускается общая односторонняя кривизна штанг.

Для определения параметров устройства и соответствующих режимов охлаждения в Центре новых систем охлаждения ОАО «ВНИИМТ» был проведен ряд стендовых исследований по термоупрочнению насосных штанг. Опыты проводились на полупромышленном устройстве ОАО «ВНИИМТ», которое представляет собой аналог разрабатываемого промышленного устройства с подобными этому устройству геометрическими характеристиками. Устройство состоит

из двух основных и одной дополнительной секций охлаждения (рис. 1). В основных секциях осуществляется регулируемое охлаждение по всей длине штанги. Дополнительная секция предназначена для обеспечения требуемой по технологии температуры окончания охлаждения концевых, наиболее массивных, частей штанги, на которые в дальнейшем нарезается резьба. Каждая секция имеет четыре независимо регулируемых коллектора с форсунками определенной конструкции, которая позволяет получить плоский водяной факел. Противоположные коллекторы располагаются в одной плоскости симметрично относительно охлаждаемой штанги.

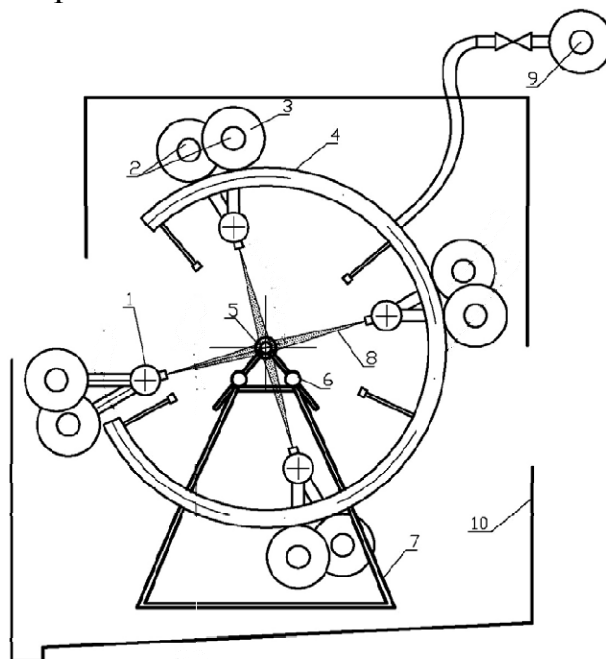


Рис. 1. Устройство регулируемого охлаждения насосных штанг:

1 – коллектор с форсунками; 2 – подводящие трубопроводы к секциям 1 и 2; 3 – фланец; 4 – дополнительные коллекторы; 5 – насосная штанга; 6 – опоры; 7 – опорная рама; 8 – струи воды; 9 – подводящий трубопровод к дополнительным коллекторам; 10 – камера

При проведении экспериментов штангу нагревали в печи, соблюдая необходимый температурный режим, и далее охлаждали в системе коллекторов (рис. 1) при разном давлении воды и разном времени охлаждения. Для контроля температуры нагрева и скорости охлаждения различных по массивности участков штанги на поверхности штанги по ее длине были закреплены термопары. По показаниям термопар были построены графики изменения температуры во времени для разных частей штанги: тело, торцевая часть штанги (головка), квадратная шейка. На рис. 2 приведено полученное изменение температуры в случае полной закалки штанги. Из рисунка видно, что тело штанги охлаждается быстрее, чем ее головка. Данные кривые позволяют оценить скорость охлаждения разных

частей штанги и проверить, обеспечивает ли такая система охлаждения заданную по технологии скорость, а значит структуру и свойства.

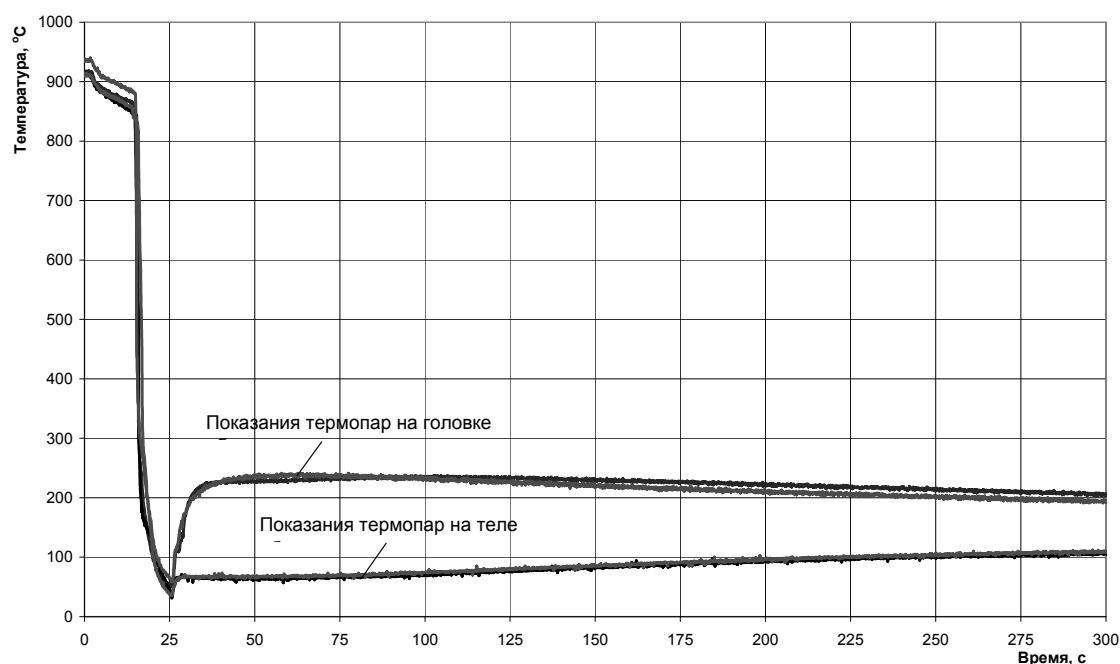


Рис. 2. Изменение температуры во времени при полной закалке штанги

Также по балансовому уравнению (1) были определены средние тепловые потоки в диапазоне температур охлаждения.

$$q = \frac{(c_n \cdot t_n - c_k \cdot t_k) \cdot \rho \cdot \left(\frac{d}{4}\right)}{\tau}, \quad (1)$$

где q — плотность теплового потока, Вт/м²;
 c_n, c_k — теплоемкость материала насосной штанги для температур t_n и t_k соответственно, Дж/кг·°C;
 t_n, t_k — среднемассовые температуры штанги в начале и конце охлаждения соответственно, °C;
 d — диаметр различных конструктивных элементов штанги, м;
 τ — время охлаждения в устройстве, с;
 ρ — плотность материала штанги, кг/м³.

Рассчитанные по балансовому уравнению значения тепловых потоков верифицировались созданной в Центре новых систем охлаждения математической моделью. Полученные зависимости среднего теплового потока во времени позволяли определить температуру конца охлаждения при разном времени охлаждения. Эта расчетная температура сравнивалась с температурой, полученной по показаниям термопар в эксперименте, что определяло, насколько верно найдены тепловые потоки. На рис. 3 приведена зависимость среднего теплового потока во времени для тела и головки штанги. Из рисунка следует, что поток снижается. Это

объясняется, главным образом, уменьшением температурного напора поверхности штанги и воды при охлаждении.

Полученные расчетные кривые в случае наложения на достоверную термокинетическую диаграмму (ТКД) для данного сплава позволяют прогнозировать структуру в том случае, когда невозможен промышленный эксперимент. Таким образом, в зависимости от требований к структуре и свойствам проведенные эксперименты позволяют определить оптимальные параметры устройства охлаждения: расстояние от коллектора до штанги, давление воды в коллекторах, ориентацию форсунок и т.д.

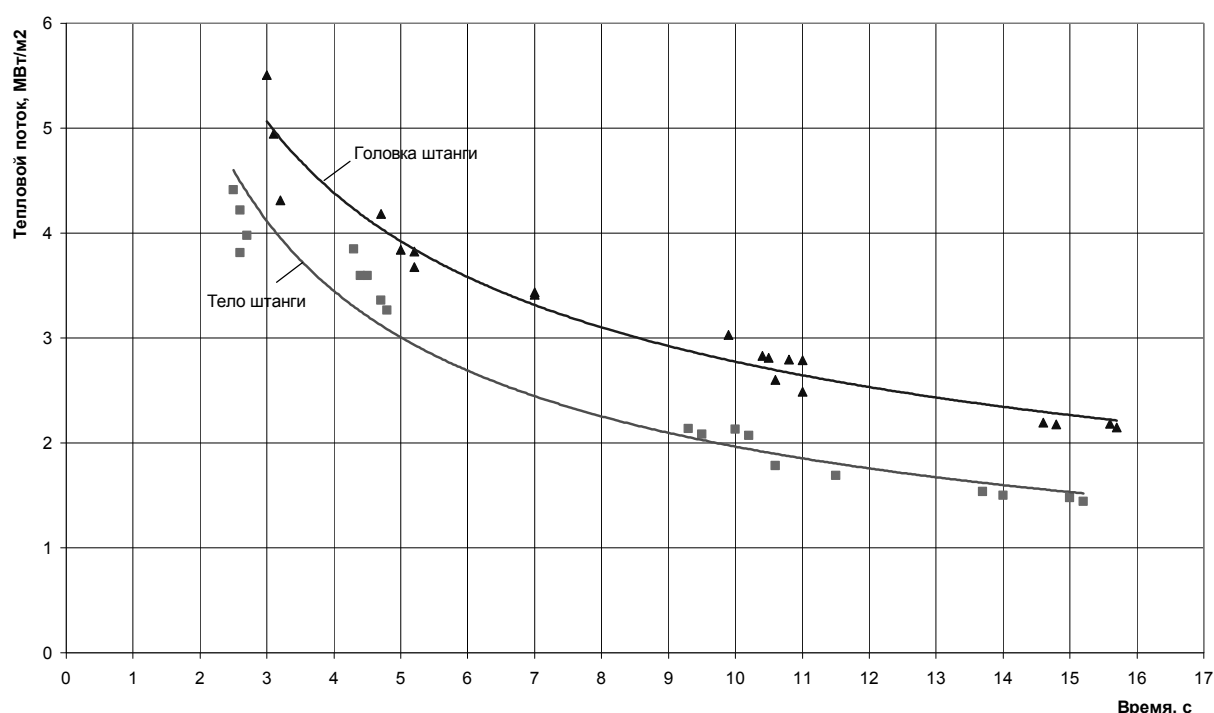


Рис. 3. Зависимость среднего теплового потока от времени пребывания штанги под водой (в диапазоне давлений 1,5–3,0 атм.)

В процессе закалки образцов и их последующего отпуска удалось достичь равномерной структуры и получить удовлетворительные значения твердости и прокаливаемости по сложному и разномассивному профилю штанги. Микроструктура состоит из среднеигльчатого мартенсита 6 балла для головки и тела (ГОСТ 8233).

Все результаты были получены для низколегированной марки стали 40Г2, прочностные свойства для которой обеспечены на уровне, достигаемом на штангах из стали 40ХГМ. Таким образом, введение в эксплуатацию устройства контролируемого охлаждения позволит использовать менее дорогие марки стали. Также прочностные характеристики штанг диаметром 16 мм соответствуют характеристикам для штанг диаметром 19 мм, что позволяет снизить металлоемкость продукции.