

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НАСОСНЫХ ШТАНГ

© А.Л. Торицын, В.Л. Советкин, 2012

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург,

© Е.В. Некрасова, С.М. Чермянинов, 2012

ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт
металлургической теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ»), г. Екатеринбург

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. Благодаря современным технологиям термоупрочнения существенно снижается себестоимость продукции, так как необходимый уровень механических свойств обеспечивается без использования или с небольшим количеством легирующих добавок в металл.

В ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» было разработано устройство контролируемого охлаждения насосных штанг для единственного в России специализированного в этом направлении предприятия «Очёрский машиностроительный завод». Насосные штанги предназначены для передачи поступательного или вращательного движения от наземного привода к скважинному насосу при добыче нефти. Штанги представляют собой металлический стержень круглого сечения, на концах которого высажены головки, заканчивающиеся резьбой [1]. Правая часть штанги показана на рис. 1. Для изготовления штанг используется горячекатаный прокат повышенной прочности из стали с общим содержанием легирующих элементов не менее 2 %. Механические свойства штанг должны соответствовать одной из трех групп стали: марганцовистая, никель-молибденовая, хромомолибденовая (или классам C, K, D соответственно по стандартам Американского института нефти).



Рис. 1. Правая часть штанги: головка и тело (левая часть штанги на рисунке не показана)

Устройство регулируемого охлаждения предназначено для обеспечения режимов термоупрочнения штанг в соответствии с требованиями ГОСТ-4543 для всего марочного и размерного сортамента. Устройство должно обеспечивать возможность:

- реализации режимов с различной скоростью охлаждения для разных марок сталей;
- получения свойств на уровне $\sigma_{0,2}$ = до 720 МПа, σ_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 решения этой задачи в Центре новых систем охлаждения и термоупрочнения ОАО «ВНИИМТ» был проведен ряд экспериментов по термоупрочнению насосных штанг в устройстве регулируемого водяного охлаждения. Опыты проводились на опытном полупромышленном устройстве ОАО «ВНИИМТ». Данное устройство представляет собой аналог разрабатываемого промышленного устройства с подобными этому устройству геометрическими характеристиками.

Устройство регулируемого водяного охлаждения состоит из двух основных и одной дополнительной секций охлаждения (рис. 2). 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 будет нарезаться 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.

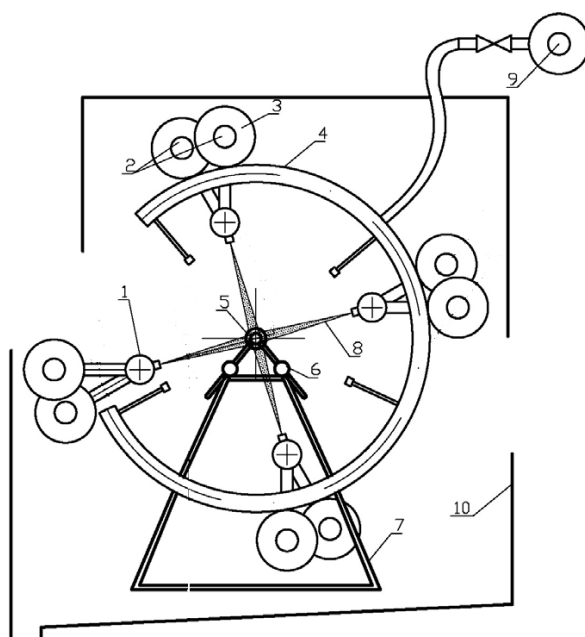


Рис. 2. Устройство регулируемого охлаждения насосных штанг:

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 из стали 40Г2 диаметром тела 19 мм и длиной 955 мм нагревали в печи до температуры 880–890 °С, соблюдая необходимый температурный режим, и далее охлаждали в системе коллекторов 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. Также температуру поверхности штанги как начальную, так и в процессе охлаждения замеряли оптическим пирометром. До начала опытов пирометр был проверен по показаниям термопар при охлаждении на воздухе (рис. 3), отклонение показаний термопар и пирометра составило в среднем 3–5 %.



Рис. 3. Графическое сравнение показаний термопар и пирометра

По показаниям установленных термопар были построены графики изменения температуры во времени для массивной, торцевой части штанги – головки, а также для тела штанги и квадратной шейки. Полученное изменение температуры показано на рис. 4. 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.

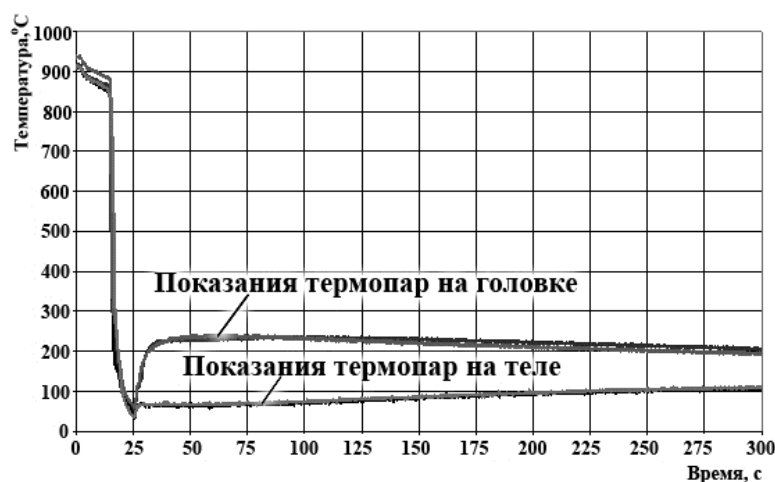


Рис. 4. Изменение температуры по времени

По балансовому уравнению определяют средние тепловые потоки в диапазоне температур охлаждения. Балансовое уравнение представлено в виде формулы (1).

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

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.

Зависимость среднего теплового потока во времени для тела и головки штанги представлена на рис. 5. Тепловой поток снижается, что объясняется, главным образом, снижением разницы температур поверхности штанги и воды при охлаждении. Используя зависимости среднего теплового потока во времени, при разном времени охлаждения определялась температура конца охлаждения. Расчетная температура сравнивалась с температурой, которую получили по показаниям термопар во время проведения экспериментов. Это позволяло проверить, насколько верно определены тепловые потоки.

Если невозможен промышленный эксперимент, то путем наложения расчетной кривой охлаждения на достоверную термокинетическую диаграмму (ТКД) возможно прогнозировать структуру металла после закалки.

Всего было проведено более 60 экспериментов, для 20 из них была исследована макро- и микроструктура, механические свойства и зерно.

В результате получены значения снимаемого при охлаждении среднего теплового потока от времени охлаждения, позволяющие рассчитать по математической модели распределение температуры по сечению штанги.

В процессе закалки образцов и их последующего отпуска при температуре 580 °С удалось достичь равномерной структуры и получить значения твердости и прокаливаемости по сложному и разномассивному профилю штанги, удовлетворяющие требованиям Очёрского завода. Получена микроструктура из среднеигольчатого мартенсита 6 балла для головки и тела (ГОСТ-8233).

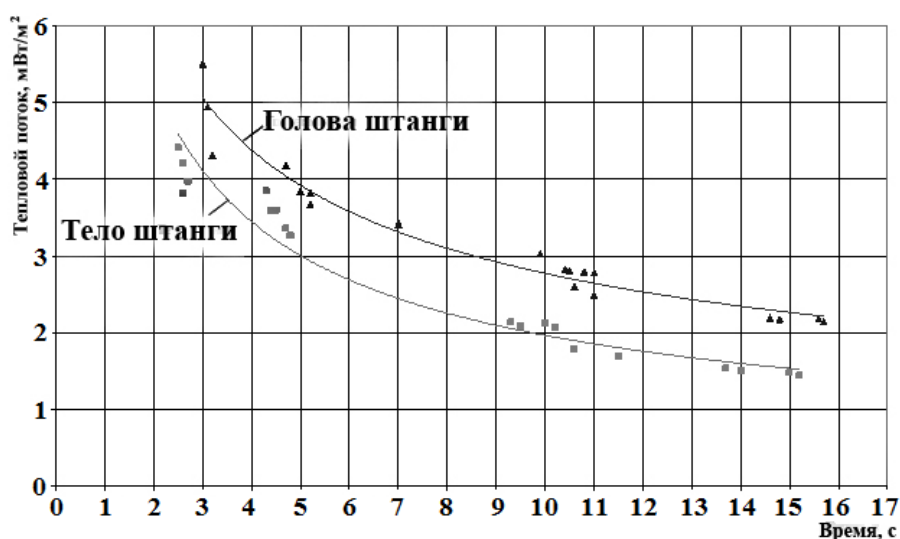


Рис. 5. Зависимость среднего теплового потока от времени пребывания штанги под водой (в диапазоне давлений 1,5–3,0 атм.)

Прочностные свойства (предел прочности, предел текучести, ударная вязкость, относительное сужение, твердость) для стали 40Г2 обеспечены на уровне, достигаемом на штангах из стали 40ХГМ в заводских условиях.

Таким образом, введение в эксплуатацию устройства контролируемого охлаждения позволит использовать менее дорогие марки стали и снизить металлоемкость продукции при обеспечении требуемых прочностных свойств.

Список использованных источников

1. Сайт Очёрского машиностроительного завода [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.ocher.ru/prod_neft.html.

РЕЦИКЛИНГ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

© В.А. Ульянов, О.В. Токарникова, 2012

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород

В современных условиях в расчете на каждого жителя планеты ежегодно добывается 50 т сырья, которое с использованием 800 т воды и 3,0 кВт/ч. мощности перерабатывается в продукты потребления. При этом перемещается до 10 т горной породы и нарушается целостность 2 м² поверхности Земли. Конечные продукты составляют 2 % массы сырья, т.е. любой произведенный готовый продукт является не более чем отложенным отходом. Поэтому необходимо сокращать суммарное потребление ресурсов, которое можно осуществить двумя путями.

Первый путь – прекращение экономического роста или экономический регресс (закрытие действующих предприятий).

Второй путь – совершенствование производственных технологий, использование ресурсосберегающих технологий, повышение качества продукции и переработка образующихся и накопленных производственных отходов.

На территории страны в отвалах и хранилищах накоплено более 100 млрд т твердых отходов, при этом изымается из хозяйственного оборота сотни тысяч гектаров земель; сконцентрированные в отвалах и свалах отходы являются источниками загрязнения поверхностных и подземных вод, атмосферы, почвы и растений.

Ужесточающиеся экологические требования и снижение размеров освоенных человеком территорий ограничивают возможность ввода в будущем новых месторождений. Между тем огромное количество ценных компонентов сосредоточено в техногенных отходах.

Таким образом, переработка и повторное использование (рециклинг) техногенных отходов – основная на длительную перспективу возможность решить проблему источников сырья.

Под производственным рециклингом следует понимать возвращение в текущее производство собственных отходов производства (рис. 1)

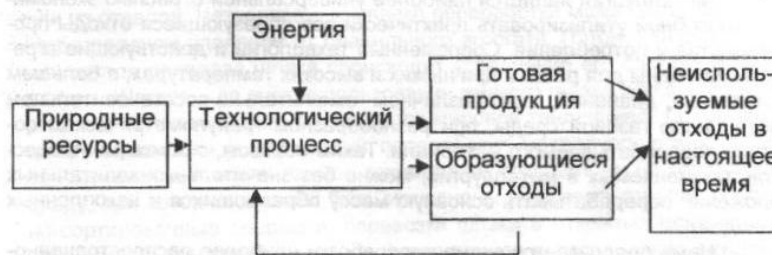


Рис. 1. Схема производственного рециклинга

Производственный рециклинг можно трактовать как оперативное использование отходов (вторичных ресурсов) в одном из цехов предприятия с попутным снижением нагрузки на окружающую среду.

Металлургия является наиболее универсальной отраслью как создающей значительные объемы техногенных образований, как и способной утилизировать не только свои, но и практически все образующиеся отходы производства и потребления. Современные