

Минков А. Н.
ДГМА

Технология регулируемой закалки крупногабаритных деталей в водовоздушных установках

Разработан расчетно-экспериментальный способ выбора технологических параметров регулируемого охлаждения крупногабаритных деталей в водовоздушных установках. Предложенный способ реализован при разработке технологии дифференцированной закалки укрупненного хвостовика для сварных роторов тепловых и атомных электростанций. Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: закалка, водовоздушные установки, охлаждающая способность, коэффициент теплоотдачи, укрупненный хвостовик

Developed computational and experimental method of choice of process parameters controlled cooling of large parts in a water-air plant. The proposed method is implemented in the development of technology differentiated hardening enlarged shank welded rotors for thermal and nuclear power plants.

Keywords: hardening, water-air installation, cooling capacity, heat transfer coefficient, enlarged shank

В машиностроительных отраслях промышленности закалка изделий, как правило, осуществляется погружением в бак с охлаждающей средой, (вода, масло, растворы полимеров и т. д.). Такой процесс характеризуется отсутствием возможности регулирования скорости охлаждения в различных температурных интервалах, что не позволяет обеспечить после термообработки оптимальное сочетание прочностных и пластических свойств изделий, минимизировать напряжения. Металлургические свойства металла используются частично и недостаточно эффективно.

В качестве альтернативных закалочных сред все большее распространение получают организованные водовоздушные потоки (водяной душ, водовоздушные смеси и воздушные струи), генерация и подача которых на деталь осуществляется в специальных охлаждающих установках. Последовательная подача охладителей с различной охлаждающей способностью делает возможным регулирование скорости охлаждения, что позволяет получить при безопасном уровне напряжений структуру металла и механические свойства, недостижимые для изделий, закаливаемых погружением в бак [1, 2].

Необходимо отметить, что охладительные установки представляют собой достаточно сложное термическое оборудование, обработка деталей на котором требует научно обоснованного технологического процесса и его неукоснительного соблюдения.

Цель работы

Разработка и промышленное опробование расчетно-экспериментального способа выбо-

ра технологических параметров регулируемой закалки крупногабаритных деталей в водовоздушных установках.

На основании проведенных исследований определена следующая последовательность выполнения операций при разработке технологии регулируемого охлаждения в водовоздушных установках.

Прежде всего, в соответствии с требованиями технологической документации на изготовление изделия определяется необходимый уровень механических свойств, обеспечивающий достаточную конструкционную прочность обрабатываемого изделия.

Следующим этапом является выбор марки стали, которая обеспечивала получение требуемых механических свойств при возможно минимальном содержании легирующих элементов. Выбор марки стали предопределяет необходимость проведения термического анализа, дилатометрических и металлографических исследований и испытаний механических свойств для определения влияния скорости охлаждения на кинетику фазовых превращений переохлажденного аустенита, образование структур и механические свойства. Для выбранной марки стали определяется минимально необходимая скорость охлаждения (V_{\min}), обеспечивающая получение требуемых механических свойств.

Далее проводится математическое моделирование и расчетным путем определяется необходимая интенсивность теплообмена на поверхностях участков различного сечения, при которой достигается охлаждение центральных зон этих участков с минимально необходимой скоростью V_{\min} .

Следующим определяющим шагом при разработке технологического процесса является выбор охладителей, которые обеспечивали бы требуемую интенсивность охлаждения. Для корректного выбора необходимы данные, характеризующие охлаждающую способность применяемых охладителей, показателем которой является коэффициент теплоотдачи, определяющий условия теплообмена на охлаждаемой поверхности.

Охлаждающая способность организованных водовоздушных потоков зависит от различных факторов, основными из которых являются удельный расход распыленной воды, скорость, размер и угол атаки водных капель, температура распыленной воды. Необходимо также учитывать суммарную площадь орошения детали в установке.

Определяющим фактором является удельный расход распыленной воды. Скорость, размер и угол атаки водных капель оказывают влияние в большей степени на коэффициент полезного использования воды, участвующей в процессе охлаждения. Температура воды снижает охлаждающую способность водовоздушных смесей в значительно меньшей степени по сравнению с охлаждением в водяном баке.

Для оценки охлаждающей способности проводили термометрирование опытных изделий диаметром 800 и 1000 мм при охлаждении водовоздушными смесями с различным удельным расходом воды. Определение коэффициента теплоотдачи осуществляли путем сравнения полученных экспериментальных данных с результатами расчетного определения температурных полей при различных значениях коэффициентов теплоотдачи на поверхности изделия. В результате проведенных исследований получены значения коэффициентов теплоотдачи, характеризующих условия теплообмена на поверхности изделия, охлаждаемого водовоздушными смесями с различным удельным расходом воды [3].

На заключительной стадии определяют технологические параметры процесса охлаждения:

- количество форсунок, задействованных в процессе охлаждения;
- расстояние от форсунок до охлаждаемой поверхности;
- давление воды и воздуха на входе распылительных форсунок;
- последовательность и длительность подачи применяемых охладителей.

Выбор технологических параметров производится на основании данных, характеризующих охлаждающую способность применяемых охладителей. При этом необходимо учитывать

результаты испытаний распылительных форсунок, позволяющие установить зависимость удельного расхода распыленной воды по сечению факела и его диаметр в зависимости от давления воды и расстояния между форсункой и охлаждаемой поверхностью. Подобные испытания проводятся на специально разработанном стенде [4].

При реализации режимов регулируемого охлаждения, предусматривающих последовательное применение различных охладителей, необходима информация о температурном состоянии центральных зон обрабатываемого изделия. Для контроля температуры центральных зон разработан достоверный и экспрессный способ, основанный на определении кинетики изменения температуры поверхности после прекращения подачи охладителей [5]. Предварительно расчетным путем получают данные, характеризующие нарастание температуры поверхности в зависимости от температурного состояния центральных зон. Затем в процессе охлаждения прерывают подачу охладителей и регистрируют с помощью малоинерционной термопары изменение температурного состояния поверхности, а далее сравнивают с расчетными данными и определяют температуру центральной части.

Реализация расчетно-экспериментального способа осуществлена при разработке технологии регулируемой водовоздушной закалки укрупненного хвостовика с дисками 4-ой и 5-ой ступеней, устранение сварного шва между которыми позволяет повысить эксплуатационную надежность сварных роторов турбин для тепловых и атомных электростанций (рис. 1).

Для изготовления роторных заготовок (хвостовиков, дисков и средних частей) применяется сталь 25Х2НМФА. Установлено, что при охлаждении со скоростями выше 250 °С/час рас-

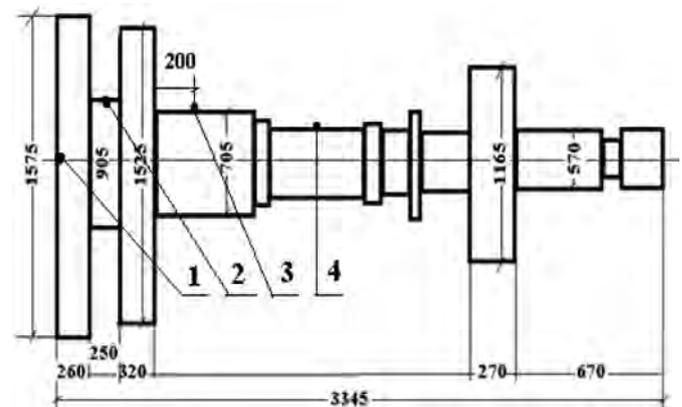


Рис. 1. Укрупненный хвостовик:
цифрами обозначены точки контроля температуры поверхности хвостовика после прекращения подачи водяного душа

пад переохлажденного аустенита происходит с образованием структур бейнитного типа, обладающих достаточно высоким уровнем прочностных и пластических свойств и сопротивлению хрупкому разрушению, характеризуемому переходной температурой хладноломкости (T_{50}). При уменьшении скорости охлаждения до $200\text{ }^\circ\text{C}/\text{час}$ наблюдается снижение ударной вязкости и повышение T_{50} , что обусловлено образованием продуктов распада аустенита в области перлитного превращения (рис. 2). Следовательно, для получения высокого комплекса служебных свойств необходимо при закалке обеспечивать скорость охлаждения центральных зон не менее $250\text{ }^\circ\text{C}/\text{час}$.

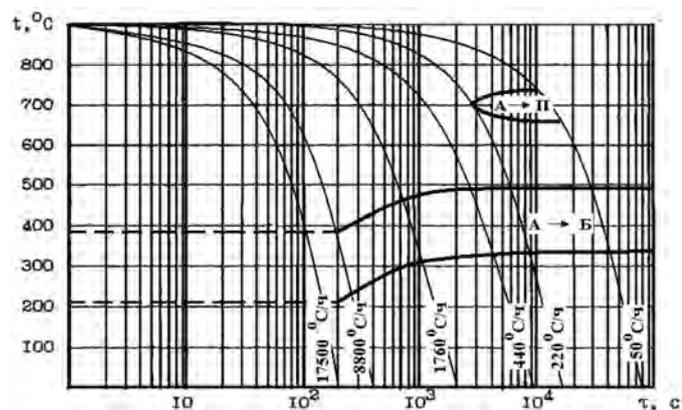


Рис. 2. Термокинетическая диаграмма стали 25Х2НМФА

Закалка в водяном баке укрупненного хвостовика сопровождается образованием застойных зон между дисками и снижением скорости охлаждения осевых зон менее $200\text{ }^\circ\text{C}/\text{ч}$, что вызвало необходимость проведения его закалки в водовоздушной установке.

Для выбора технологических параметров расчетным путем определены температурные поля по сечению наиболее массивной дисковой части хвостовика при различных условиях водовоздушного охлаждения. Установлено, что при охлаждении водяным душем только цилиндрических поверхностей дисковой части хвостовика скорость охлаждения составляет $200\text{ }^\circ\text{C}/\text{ч}$ и для достижения скорости охлаждения $250\text{ }^\circ\text{C}/\text{ч}$ необходимо производить дополнительное торцевое охлаждение дисковой части.

Технологический процесс водовоздушной закалки укрупненного хвостовика был разработан применительно к охлаждающей установке завода «Энергомашспецсталь», устройство которой показано на рис. 3.

Установка размещена на четырех монтажных платформах 1, опирающихся непосредственно на пол. Под платформами расположены водосборник 2 и водяной насос 3. На платформах размещены задняя бабка с устройством

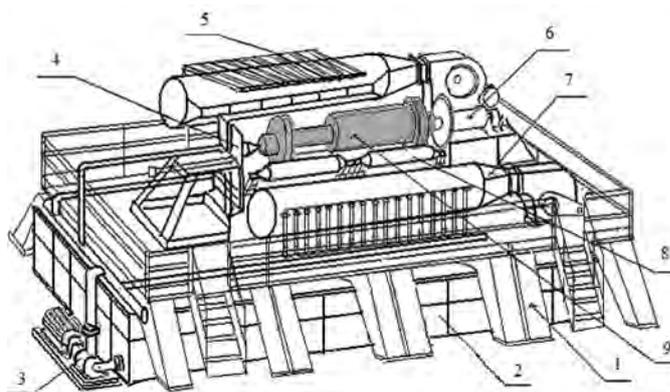


Рис. 3. Водовоздушная установка для регулируемого охлаждения деталей массой до 25 тонн

для охлаждения осевого канала 4, гидросистема с распылительными форсунками 5, передняя бабка с приводом вращения 6 и два блока водовоздушного охлаждения 7.

Нагретое изделие 9 в процессе закалки укладывается на опорные ролики 8, при этом наличие двух пар опорных роликов, устанавливаемых независимо друг от друга на диаметр изделия в пределах 500-1700 мм, позволяет охлаждать заготовки сложной конфигурации.

Для обеспечения равномерности охлаждения предусмотрено вращение изделия с частотой до 3 оборотов в минуту, осуществляемое приводом вращения. Для этого после загрузки нагретого до закалочных температур изделия на опорные ролики передняя бабка с приводом вращения по направляющим станины подводится к пазу, выполненному на торце изделия. Происходит зацепление захватов шпинделя привода с пазом и осуществляется вращение детали.

Гидросистема установки включает центробежные распылительные форсунки, водяной насос, водосборник, запорную арматуру и контрольно-измерительную аппаратуру. Вода к форсункам подается насосом из водосборника, расположенного под монтажными платформами и представляющего собой бак с размерами 4500×11000×1200 мм. Отработанная в процессе охлаждения вода стекает в водосборник и, таким образом, водоснабжение установки имеет замкнутый оборотный цикл. В процессе охлаждения осуществляется контроль температуры воды и при необходимости предусмотрена подпитка водосборника водой до $10\text{ м}^3/\text{час}$.

Распылительные форсунки в количестве 168 штук распределены в шести рядах, расположенных равномерно по контуру охлаждаемого изделия. Давление на входе распылительных форсунок регулируется в пределах от 0 до 0,5 МПа.

Образование и подача водовоздушной смеси производится с помощью двух блоков водовоз-

душного охлаждения 7, состоящих из воздухопроводов и вентиляторов. Соотношение воды и воздуха в смеси регулируется с помощью запорной арматуры и входных заслонок на вентиляторах. При отключении подачи воды охлаждение осуществляется только воздухом, нагнетаемом вентиляторами.

Однако существующая конструкция охладительной установки не позволяла производить единственно возможную загрузку укрупненного хвостовика на установку при помощи клещей, размеры которых в развернутом положении составляют 3300 мм, а расстояние между воздуховодами не превышает 1700 мм. Кроме этого, не предусмотрена возможность дополнительного охлаждения торцевой поверхности дисковой части хвостовика, обладающей наибольшим теплосодержанием.

В связи с вышеизложенными причинами была проведена модернизация охладительной установки применительно к проведению закалки укрупненного хвостовика. Вместо стационарных воздухопроводов были разработаны и изготовлены раздвижные ряды распылительных форсунок. При загрузке изделия на установку ряды форсунок раздвигаются на расстояние до 4000 мм, что делает возможным выполнение этой операции при помощи клещей.

Для охлаждения торцевой поверхности дисковой части хвостовика разработано и изготовлено специальное приспособление, устанавливаемое в задней бабке вместо трубопровода для подвода воды в осевой канал.

На основании данных, характеризующих охлаждающую способность водяного душа, и с учетом результатов математического моделирования был разработан способ дифференцированной закалки укрупненного хвостовика. Технологический процесс предусматривает охлаждение торцевых и цилиндрических поверхностей дисковой части хвостовика водяным душем с удельным расходом 14-20 м³/м²·ч, а хвостовой части – 2,5-9 м³/м²·ч. При этом спрейерное охлаждение осуществляется до достижения центральными зонами дисковой части температур 400-430 °С, а дальнейшее охлаждение для завершения бейнитного превращения производится на воздухе в течение 1-1,5 ч [6]. Процесс регулируемого охлаждения характеризуется снижением температурных перепадов по оси хвостовика, например, разница температур при водовоздушной закалке не превышает 320 °С, а при охлаждении в водяном баке достигает 670 °С.

При практическом исполнении первоначальное охлаждение хвостовика водяным душем производилось в течение 160 минут. После прекращения подачи определялся темп нараста-

ния температуры поверхности в точках, указанных на рис. 1. В результате сравнительного анализа экспериментальных результатов с предварительно полученными расчетными данными, установлено, что температура центральных зон составила 410 °С. В соответствии с разработанной технологией дальнейшее охлаждение хвостовика осуществлялось на воздухе.

Аттестационные испытания показали, что полученные механические свойства полностью соответствуют требованиям технических условий.

Выводы

1. Предложен расчетно-экспериментальный способ разработки технологии регулируемого охлаждения массивных изделий в водовоздушных установках.

2. На основании предложенного способа разработана и реализована технология дифференцированной закалки укрупненного хвостовика для сварных роторов тепловых атомных электростанций.

Библиографический список

1. Закалочное оборудование для водовоздушного регулируемого охлаждения массивных цилиндрических деталей с вертикальной осью вращения / А. Н. Минков, К. А. Минков // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2012. – № 5. – С. 79-81.
2. Минков А. Н. Закалка крупногабаритных деталей с регламентированной интенсивностью охлаждения / *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2013. – № 3. – С. 79-81, 88-91.
3. Минков А. Н. Исследование процесса закалки массивных прокатных валков в водовоздушных установках // *Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии.* – 2005. – № 1. – С. 110-114.
4. Стенд для випробувань водно-повітряних форсунок: деклараційний патент на корисну модель № 51923 Україна / О. М. Мінков, К. О. Мінков, М. І. Дема; В05В 12/08; заяв. 18.01.2010; Опубл. 10.08.2010, Бюл. № 15.
5. А.с. 1518390 СССР, МКИ³ С 21 D 1/78. Способ определения температуры центральной зоны массивных изделий в процессе закалки / А. Н. Минков, И. А. Борисов, С. И. Марков, В. С. Шейко, № 41752634/23-02; заяв. 31.12.86; Опубл. 15.02.89, Бюл. № 6. – 2 с.
6. А.с. 1518390 СССР, МПК С 21 D 1/78. Способ закалки массивных изделий сложной конфигурации / А. Н. Минков, И. А. Борисов, В. С. Шейко, Н. Г. Майорова, В. В. Рысенко. – 4327992/23-02; заяв. 12.11.87; Опубл. 30.10.89, Бюл. № 40. – 3 с. ил.

Поступила 19.03.2015