

4. Целиков А.И. Металлургические машины и агрегаты: настоящее и будущее. _ М.: Металлургия, 1979.-144с.
5. Сивак Б.А., Ротов И.С. Литейно-прокатные агрегаты для металлургических минизаводов// Ин-т «Черметинформация».-Бюл. «Черная металлургия».-2001.-№3.-с.7-15.
6. Сапожников А.Я. Мелкосортные станы конструкции// Сталь.-1999.-№6-с.61,62.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.12

УДК 621.78

Н.А. Дац, магистр ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОДАЧИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 110Г13Л МЕТОДОМ ДУШИРОВАНИЯ

Выполнен анализ способов охлаждения высокотемпературной поверхности при подаче жидкости сплошными и дисперсными струями, обработкой туманом. Рассмотрены основные процессы, протекающие между высокотемпературной поверхностью и поверхностью с соплами, подающими охлаждающую жидкость

В литом состоянии сталь 110Г13Л имеет структуру аустенита со структурно свободными карбидами, располагающимися как по границам, так и внутри зерна. Количество и форма карбидов зависит от содержания в стали углерода и условий охлаждения отливки. С увеличением содержания углерода и уменьшением скорости охлаждения отливки, количество карбидов резко возрастает. Литая сталь, обладающая такой структурой, имеет низкие пластические свойства [1].

Механические свойства незакаленной стали мало зависят от ее состава. В ряде случаев сталь может быть настолько хрупка, что детали разрушаются при падении или при отбивке литников. Поэтому, отливки из стали 110Г13Л используются в закаленном состоянии [1].

Анализ литературных данных [1,2] показывает, что усовершенствование металлургической технологии производства отливок, направленное на улучшение эксплуатационных свойств стали 110Г13Л состоит из следующих наиболее эффективных вариантов: увеличение выдержки сплава после легирования (рафинирование); оптимальный температурный режим разлива сплава; увеличение выдержки изделия в нагревательной печи при термической обработке до полного растворения карбидов. Но мало внимания уделяется технологии термической обработки, а именно способу охлаждения после извлечения изделия из нагревательной печи. Связано это, скорее всего, из-за ограниченности действий используемого способа охлаждения, т.е. погружением. Деталь погружают в бак с закалочной жидкостью с целью фиксации аустенитной структуры, не содержащей карбидов. Для лучшего теплоотвода рекомендуются осуществлять циркуляцию жидкости и вращение самой детали. Дробильные конуса из высокомарганцовистой стали, являются крупногабаритными отливками, поэтому для качественной закалки (равномерного и быстрого охлаждения) необходимо использовать более 150 м³ закалочной жидкости, а следовательно и закалочные ванны больших размеров.

Предлагаем, для ускорения процесса теплоотвода, равномерного и быстрого охлаждения использовать метод охлаждения душированием. Основным достоинством способа является возможность регулирования скорости охлаждения путем изменения давления в системе подачи охлаждающей жидкости.

При душевом методе охлаждения вода подается на охлаждаемую поверхность сплошными или распыленными (дисперсными) струями.

Термин “сплошная струя” следует понимать как визуальную характеристику, указывающую на отсутствие видимого распада струи на отдельные капли; для “сплошной” струи не исключаются пульсации межфазной поверхности и срыв отдельных капель [3].

Распыливанием называют процесс дробления струи или пленки жидкости на большое число капель и распределение их в пространстве.

При охлаждении сплошными струями подача жидкости осуществляется одной или, реже, несколькими толстыми струями через сопла. Чаще всего при этом струя подается не перпендикулярно охлаждаемой поверхности, как при душевом охлаждении, а параллельно ей или под углами [4]. Уменьшение угла падения струй до 30° приводит к тому, что струи начинают скользить по поверхности. При этом устойчивость паровой пленки увеличивается, толщина ее возрастает, что и приводит к снижению скорости охлаждения на этой стадии [5]. Поэтому, условия для разрушения паровой пленки и условия отвода пара ухудшаются.

Большая скорость истечения струи способствует интенсификации охлаждения, однако конструкция спрейера при этом не позволяет получить однородного охлаждения поверхности, так как тонкие струи воды разрозненно падают на нагретую поверхность и вызывают быстрое местное точечное охлаждение. Неоднородность охлаждения может служить причиной появления микротрещин.

Душевое охлаждение диспергированной струей характеризуется полидисперсной системой движущихся капель. Вода подается под напором в сопла и выходит из них в виде струй, распадающихся затем на капли. Такой способ называют механическим распыливанием (диспергированием) [6]. При истечении из сопла конусной струи капель, как это имеет место при использовании механических форсунок, в движение вовлекается окружающий газ и образуется двух фазная струя [3].

Охлаждение дисперсными потоками воды по сравнению с охлаждением сплошными струями имеет следующие преимущества. Прежде всего, уменьшается термодинамическая устойчивость воды против испарения вследствие дисперсии потока охладителя на капли малого объема с большим радиусом кривизны поверхности раздела вода - воздух. Поэтому даже при одинаковом времени контакта сплошной струи и дисперсного потока с охлаждаемой поверхностью - во втором случае большее количество воды успевает превратиться в пар, что естественно резко увеличивает интенсивность отбора тепла. Отрицательное воздействие возникающего пара здесь сводится к минимуму, поскольку постоянно поступающие в очаг охлаждения новые «массивы» капелек имеют достаточно высокую кинетическую энергию и разрывают паровую рубашку. Вторым преимуществом охлаждения дисперсными потоками является дополнительная возможность регулирования интенсивности охлаждения не только за счет расхода охладителя и его кинетической энергии (скорости истечения), но и за счет изменения степени дисперсности - размера капель охладителя. Третьим преимуществом рассматриваемого способа является сравнительная простота, с которой можно обеспечить достаточно большую площадь поверхности контакта единичного потока с охлаждаемой поверхностью, что с одной стороны увеличивает, естественно, равномерность охлаждения, а с другой - существенно уменьшает количество устройств, формирующих поток охладителя и направляющих его на охлаждаемую поверхность. Сравнительные характеристики охлаждающей способности сплошного и дисперсного потока жидкости представлены в табл. 1 [4].

В тумане мелкие частицы воды имеют большую поверхность испарения. Испарение воды позволяет интенсивно отбирать тепло (до 439 ккал/моль). При скорости потока воздуха 8 м/с и более туман равномерно распределяется, окружая изделие. Так как температура воздушного потока выше 100 °С, вода в тумане испаряется при контакте с воздушным потоком и вблизи горячей поверхности изделий. Отвод тепла при охлаждении изделий от 650-700 до 250-300 °С за счет испарения воды тумана, составляет 75-85% в то время как за счет теплообмена с воздухом отнимается 15-25 % тепла и менее [4].

Таблица 1

Сравнительные характеристики охлаждающей способности сплошного и дисперсного потока жидкости [4]

Характеристика охлаждающего устройства	Тип охлаждающего устройства	
	струйный спрейер (сплошная струя)	форсуночный спрейер (дисперсная струя)
Деталь охлаждения - труба, мм	168×8	168×8
Давление в подв. сети, МПа	0,6	0,3-0,4
Расход воды, м ³ /ч	800	230
Плотность орошения, м ³ /ч·м ²	600	430
Длина участка охлаждения, м	3,0	1,5
Среднемассовая скорость охлаждения, °С	25	50

Кроме дисперсных струй, полученных в механических форсунках, в процессе струйного охлаждения используется пневматический распыл, обеспечивающий малые размеры капель; при этом образуется «туман» - двухфазный поток (чаще всего «воздух - вода») с каплями размером примерно 50 мкм. Использование такой газо-жидкостной смеси с высокой степенью дисперсности и относительно низким расходом жидкости позволяет обеспечить мягкое и равномерное охлаждение [3].

Охлаждение воды для образования тумана до 10-15°С позволяет интенсифицировать отвод тепла на 5-15 % благодаря дополнительному охлаждению воздушного потока [4].

Собственно, сама система душевого охлаждения состоит из поверхности теплообмена с высокой температурой; поверхности с соплами, подающими дисперсную жидкость; простран-

ства между ними, заполненного парогазовой смесью, сквозь которую по направлению к поверхности теплообмена движется полидисперсный поток капель.

Процесс прохождения капли через систему можно условно разделить на четыре стадии: конденсация; испарение в процессе движения; взаимодействие с поверхностью нагрева; эвакуация из системы.

Конденсация начинается с момента входа капли в систему. Если при струйном охлаждении используются органические жидкости, то присоединение конденсата по мере прогрева холодной капли происходит достаточно медленно и не оказывает существенного влияния на процесс движения капли [3].

Для воды при разности температур $T_s - T_0$, равной нескольким десяткам Кельвинов, и конденсации при атмосферном давлении, приращение массы за счет конденсации может составить 10-15%. T_0 и T_s - соответственно начальная температура капли и температура окончания процесса конденсации [3].

Увеличение массы капли в процессе конденсации и коагуляции при сохранении ею достаточно высокой скорости может привести к распаду капли. Установлено, что (распад капли пополам происходит при условии превышения числа Вебера We нижнего критического значения ($We \approx 5,5$). Имеется также верхнее критическое число ($We \approx 7$); этому значению соответствует дробление капли на несколько мелких осколков. Обычно, числом Вебера определяются характеристики дисперсности [3].

Скорость прогрева струи при конденсации заметно снижается при наличии в паре неконденсирующегося газа (например - азота, менее 1%) [3].

При испарении в процессе движения существенную роль в подводе теплоты к капле играет излучение (основным источником излучения служит поверхность нагрева с высокой температурой) [3]. При струйном охлаждении высокотемпературных поверхностей поток их собственного излучения может быть значительным. Этот лучистый поток воспринимается охлаждающей средой, например парогазовой смесью с распределенными в ней каплями, и в общем случае имеют место процессы поглощения, испускания и рассеяния энергии излучения в охлаждающей среде [3]. Наиболее мелкие капли могут испаряться до соударения с охлаждаемой поверхностью. При этом изменяется функция распределения капель по размерам вблизи стенки, а также массовый поток жидкости на стенку. Для правильного учета всех этих факторов полезна информация о скорости движения капли произвольного радиуса перед соударением со стенкой. Она может быть получена совместным рассмотрением процессов движения капли и теплообмена ее с окружающей средой.

Взаимодействие капли с поверхностью может протекать по-разному и зависит от размера капли, ее скорости. При этом можно предложить следующую характеристику механизма взаимодействия капель с нагретой поверхностью, основанную на визуальном наблюдении: «смачивающий» режим взаимодействия, при котором на поверхности наблюдаются следы ударяющихся капель, и «несмачивающий» режим, который наблюдался в опытах при температуре охлаждаемой поверхности выше 400 °С, без видимых следов капель. В последнем, на поверхности не видны следы ударяющихся капель. Доля предварительно испаряющейся массы зависит от дисперсности струи в начальный момент, лишь весьма мелкие капли не достигают нагретой поверхности в результате полного испарения. По мере приближения капли к стенке скорость испарения возрастает за счет теплообмена излучением, а в непосредственной близости от стенки - и за счет конвекции и теплопроводности. Образующийся с большой скоростью слой пара между каплей и стенкой, видимо, препятствует непосредственному контакту между ними, чем и можно объяснить отсутствие видимых следов соударения [3].

Стадия эвакуации имеет определенное значение, так как уходящие из системы капли находятся в том же пространстве, что и свежие, движущиеся к поверхности нагрева. При этом, например, возможна коагуляция капель, отраженных и движущихся к поверхности нагрева. Поскольку поток излучения от поверхности нагрева взаимодействует со средой, то отраженные от поверхности нагрева капли обуславливают повышение концентрации капель в среде и усиление ее поглощающих свойств. Вместе с тем отраженные капли, к которым подводится теплота от поверхности нагрева и находящегося вблизи нее перегретого пара, способствуют повышению эффективности струйного охлаждения. [3].

Так, покидая распылитель, капли взаимодействуют с окружающим газом, который может существенно деформировать их или же полностью разрушить. На это взаимодействие накладывается нестационарность режима движения капель - они могут либо тормозиться, либо ускоряться потоком газа. В связи с тем, что первоначальный распыл полидисперсен, на некотором

расстоянии от распылителя скорость капель различных размеров может существенно отличаться, что, в свою очередь, служит причиной их взаимных столкновений. Последнему может способствовать также пересечение траекторий движения частиц, обусловленное одновременной работой нескольких близко установленных распылителей [7].

Для расчета интенсивности процесса струйного охлаждения диспергированной жидкостью немаловажное значение имеют параметры, которыми характеризуется система капель непосредственно перед охлаждаемой поверхностью. Эти параметры зависят от вида и расположения распиливающих устройств, в частности от расстояния между срезом сопла и охлаждаемой поверхностью, а также от особенностей движения и тепломассообмена капель в газообразной среде перед охлаждаемой поверхностью.

К основным параметрам системы капель относятся скорость капель, температура и функция распределения капель по размерам. Скорость капли определяется ее начальным значением, процессом движения и взаимодействием с другими каплями; для температуры и функции распределения, кроме того, следует учесть и тепломассообмен системы капель. Начальная функция распределения существенно зависит от индивидуальных особенностей распылителя; ее определяют, как правило, экспериментальным путем.

Все три указанных параметра системы капель существенным образом меняются в процессе движения под влиянием коагуляции в полидисперсной системе движущихся капель. Крупные капли замедляют свое движение в «сетях» медленных мелких капель. Тепловая релаксация крупных капель ускоряется при взаимодействии с мелкими, полностью прогретыми каплями. Коагуляция приводит к укрупнению капель и изменению параметров функции их распределения [3].

В рассматриваемом процессе наиболее существенными являются турбулентная и кинематическая коагуляции. При кинематической коагуляции частицы различного размера движутся с различными скоростями. Вследствие этого происходит их столкновение и укрупнение. Турбулентная - взаимодействие струи капель со сплошной средой, в которую происходит распыл [3].

Таким образом качество охлаждения в значительной мере зависит от равномерности омывания закаливаемой поверхности водой. На скорость и равномерность охлаждения влияет способ подачи жидкости на охлаждаемую поверхность. Душевой метод позволяет осуществлять охлаждение сплошными струями, струями в дисперсном и парообразном состоянии (туманом).

Капли с начала своего образования и до момента взаимодействия с высокотемпературной поверхностью подвергаются различным процессам: коагуляции, конденсации, действию теплового потока исходящего от высокотемпературной поверхности. Все эти факторы влияют на охлаждающую способность потока капель.

На процессы тепло- и массообмена в струе дисперсной жидкости (испарение, конденсация и т.п.) влияет связь между функциями распределения капель и условиями распыла.

При выборе способа охлаждения заданными факторами служат свойства подаваемой жидкости, ее количество и способ подачи, а искомой величиной – температура охлаждаемой поверхности или теплосъем, т.е. количество тепла, отводимого в единицу времени от высокотемпературной поверхности.

Список литературы

1. **Крянин И.Р.** Повышение качества отливок из стали Г13Л / **И.Р. Крянин** -М.: Государственное Научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963.- 157 с.
2. **Вольнова Т.Ф.** Высокомарганцовистые стали и сплавы / **Т.Ф. Вольнова** -М.: Металлургия, 1988.-343с.
3. **Исаченко В.П.** Струйное охлаждение / **В.П. Исаченко, В.И. Кушнырев** –М.: Энергоатомиздат, 1984. -216с.
4. **Петраш Л.В.** Закалочные среды /**Л.В. Петраш** -М.: Государственное Научно-техническое издательство машиностроительной литературы,1959.- 109с.
5. Высокоэнергетические методы обработки материалов: сб. научн. трудов/ ред. **В.Б. Демидовича**. - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. -368 с.
6. **Берман Л.Д.** Испарительное охлаждение циркуляционной воды / **Л.Д. Берман**- М.: Государственной энергетической издательство, 1949.- 445 с.
7. **Пажи Д.Г.** Основы техники распыливания жидкостей / **Д.Г. Пажи, В.С. Галустов** -М.: Химия, 1984. – 256с.
8. **Гуль Ю.П., Чмелева В.С.** / Экономия энергоносителя при термическом упрочнении обсадных труб на основе модернизации устройств закалочного охлаждения / строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов Дн-вск, ПГАСА, 2009

Рукопись поступила в редакцию 19.03.12