

**ТРИШЕВСКИЙ О.И.** докт. техн. наук, проф., ХНТУСХ, Харьков  
**САЛТАВЕЦ Н.В.** инж., ХНТУСХ, Харьков  
**БОНДАРЕНКО С.Н.** студент, ХНТУСХ, Харьков

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛОСЫ И ВАЛКОВ**

Приведены результаты комплекса экспериментальных исследований по определению коэффициентов теплоотдачи в системе полоса - валок для различных типов охлаждающих устройств, которые дополняют созданные ранее математические модели процесса горячей прокатки тонкого листа и служат основой для его дальнейшего совершенствования.

Наведено результати комплексу експериментальних досліджень з визначення коефіцієнта тепловіддачі в системі полоса - валок для різних типів охолоджувальних пристроїв, які доповнюють створені раніше математичні моделі процесу гарячої прокатки тонкого листа і є основою для його подальшого вдосконалення..

The results of complex experimental research on definition of the coefficients of heat transfer in the band - roll for various types of cooling devices, which complement the previously created mathematical models of the process of the hot-rolled sheet metal and form the basis for its further improvement.

Для дальнейшего совершенствования процессов горячей прокатки тонкого листа большое значение имеет правильный учёт и расчет теплообменных процессов, протекающих в системе полоса - охлаждающая жидкость –валок.

Для определения коэффициента теплоотдачи к воде, знание которого необходимо для использования в математических моделях расчета теплового состояния полосы и валков, были выполнены экспериментальные исследования охлаждения полосы и валков с помощью форсунок. Исследования проводили на экспериментальной установке, описанной в работе [1]. В качестве конечных устройств для охлаждения горячей полосы и валков применялись язычковая, полнопроточная и плоскощелевая форсунки, приведенные на рис.1.

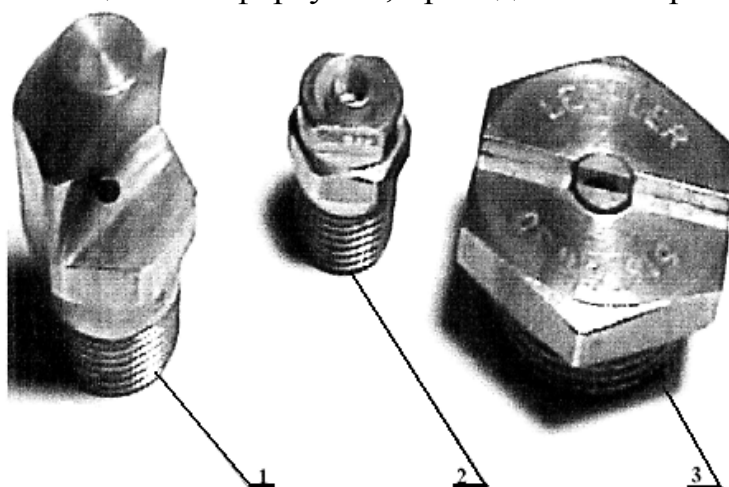


Рис.1. Образцы форсунок, используемых в исследованиях: 1- язычковая форсунка (ЯФ); 2- полнопроточная форсунка (ППФ); 3 – плоскощелевая форсунка (ПЩ)

Исследовали зависимость коэффициента теплоотдачи к воде от: давления воды перед форсунками; расстояния от форсунок к охлаждаемой поверхности; относительного расположения форсунок и поверхности полосы (охлаждение сверху или снизу).

Экспериментальные исследования влияния давления воды перед форсунками и их типа на скорость охлаждения выполняли в следующей последовательности.

Поверхность измерительного блока закрывали щитком. Включали насос, и с помощью регулирующей арматуры устанавливали необходимое давление воды. Выключали насос. Конец измерительного блока с термодатчиками перемещали в разогретую печь. После нагрева измерительного блока в печи до температуры 570°C его перемещали в установку, и включали насос. При температуре полосы 560°C (когда градиент температур по сечению полосы минимальный) извлекали стопор щитка, отсекающего воду от поверхности измерительного блока. Под действием пружин щиток быстро перемещался над поверхностью измерительного блока, открывая ее для охлаждения.

Результаты экспериментальных исследований скорости охлаждения измерительного блока представлены в таблице.

Таблица Зависимость времени охлаждения полосы от типа форсунки и давления

Тип форсунки	Плоскощелевая				Язычковая ЯФ				Полнопроточная ППФ			
	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Давление, бар												
Время охлаждения до 100°C	0,6	0,92	2,2	2,88	2,42	3,32	3,96	5,36	0,48	0,56	3,76	5,16
Время охлаждения до 50°C	3,6 8	4,32	7,28	9,64	7,2	10,8 8	11,72	16	3,42	4,36	11,62	15,08

Характерные температуры 100°C и 50°C выбраны с учётом того, что: 100°C - температура кипения воды, 50°C - возможная температура воды, поступающей из градирни в летний период (при уличной температуре +35°C).

На первый взгляд, наиболее эффективна полнопроточная форсунка, которая обеспечивает наиболее быстрое охлаждение измерительного блока до температуры 100°C, а также до 50°C при давлении 4 бара. При подаче воды этой форсункой под давлением 3 бара, скорость охлаждения измерительного блока до температуры 100°C также высокая (время охлаждения составляет 0,56 с). Но при охлаждении до 50°C время охлаждения этой форсункой значительно увеличивается и составляет 4,36 с.

Наименьшим является время (4,32 с), которое может быть достигнуто при использовании плоскощелевой форсунки. Преимущество этой форсунки особенно заметно при давлении 2 бара, при охлаждении измерительного блока до температур 100°C и 50°C (время охлаждения в этом случае составляет 2,2 с и 7,28 с, соответственно). При давлении 1 бар, наименьшее время охлаждения измерительного блока также при подаче воды плоскощелевой форсункой (2,88 с и 9,64 с до температур 100° С и 50° С).

Из анализа данных, приведенных в таблице 1, вроде бы можно сделать вывод, что наихудшей из исследованных является язычковая форсунка, при использовании которой время охлаждения, независимо от давления воды перед форсункой, наибольшее, по сравнению с полнопроточной и плоскощелевой форсунками.

Но нам неизвестна длина зоны эффективного охлаждения (расстояния от оси струи, при котором коэффициент теплоотдачи минимально отличается от максимального), образующейся при использовании форсунок.

Известно, что максимального значения коэффициент теплоотдачи достигает непосредственно под осью струи.

Из приведенных в таблице 1 данных известна только скорость падения температуры, в случае когда оси струи воды и термопары совпадают, но неизвестно как изменяется температура полосы на расстоянии 10 мм, 25 мм, 50 мм от оси струи.

Для изучения этой проблемы были проведены дополнительные исследования длины зоны действия струи воды. Исследования проводились при различном расстоянии от оси термопары до оси струи воды из форсунки. На рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследований процесса охлаждения горячей полосы.

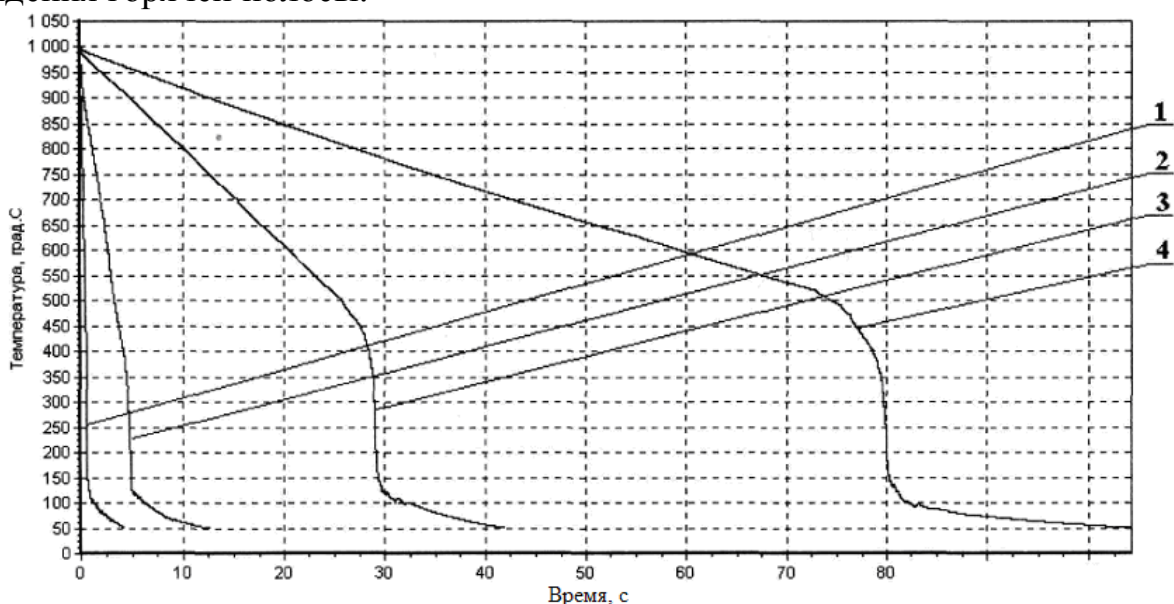


Рис.2. Зависимость температуры образца от времени его охлаждения: 1 - ось струи совпадает с осью термопары; 2 - ось струи на расстоянии 10 мм от оси термопары; 3 - ось струи на расстоянии 25 мм от оси термопары; 4 - ось струи на расстоянии 50 мм от оси термопары.

Как видно из графиков, наблюдается существенное отличие во времени падения температуры поверхности полосы в зависимости от расстояния струи от оси термопары. Так время общего охлаждения до 50°C составляет, соответственно, 4,16 с, 12,61 с, 41,92 с, 104,29 с при расстояниях 0 мм, 10 мм, 25 мм и 50 мм соответственно.

Характерно стремительное падение температуры поверхности полосы на всех четырех графиках в интервале температур от 300 до 140°C. Это обусловлено процессами пузырькового кипения воды на горячей поверхности с большими

значениями коэффициентов теплоотдачи.

После математической обработки результатов этих исследований (решение обратной задачи теплопроводности) построены графики зависимости коэффициента теплоотдачи от полосы к воде (рис.3).

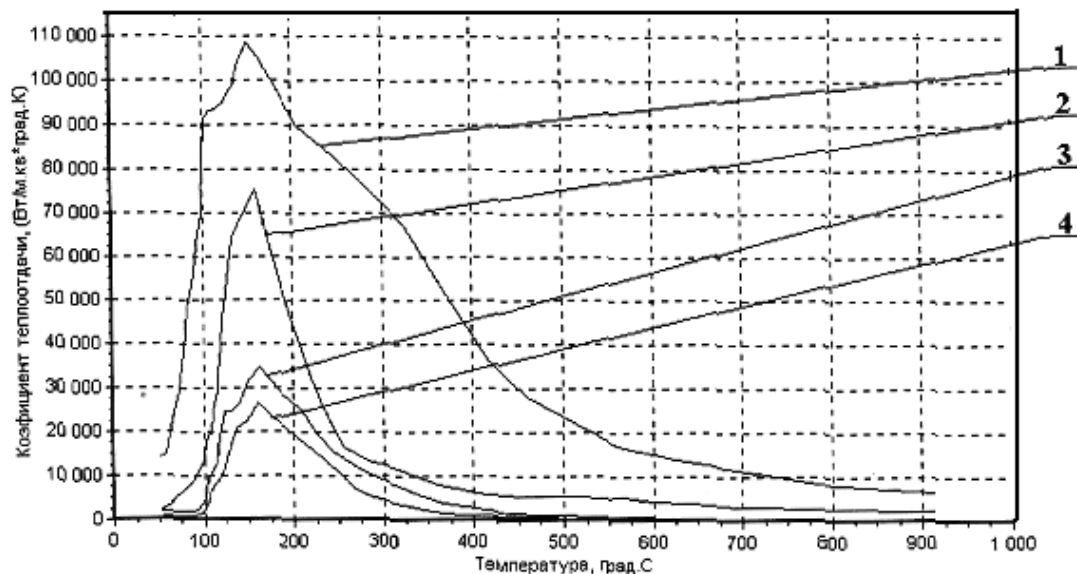


Рис.3. Зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры поверхности полосы: 1 - ось струи совпадает с осью термопары; 2 - ось струи на расстоянии 10 мм от оси термопары; 3 - ось струи на расстоянии 25 мм от оси термопары; 4 - ось струи на расстоянии 50 мм от оси термопары.

Результаты исследований показывают, что максимальные значения коэффициента теплоотдачи имеют место при температуре 150-180°С.

При температурах превышающих 450°С характер графиков существенно отличается. Малые значения коэффициента теплоотдачи (зависимости 3 и 4) свидетельствуют, что при расстоянии более 25 мм от оси термопары поток воды отделяется от поверхности полосы слоем пара. Вследствие этого, получаются низкие значения коэффициента теплоотдачи и, соответственно, требуется большое время на охлаждение полосы (41,92 с и 104,29 с для поверхностей расположенных на расстоянии 25 мм и 50 мм от оси термопары). Следовательно, ширина зоны эффективного действия потока составляет 50 мм.

На рис.4 приведены зависимости коэффициента теплоотдачи от расстояния оси потока воды до оси термопары для характерных температур: - 155° С - температура, при которой достигается максимально значение коэффициента теплоотдачи; - 320° С - 550° С - температура возможного перехода к пленочному кипению; - 700° С - температура полосы перед зоной охлаждения; - 900° С - температура поверхности полосы в зоне принудительного охлаждения между клетями.

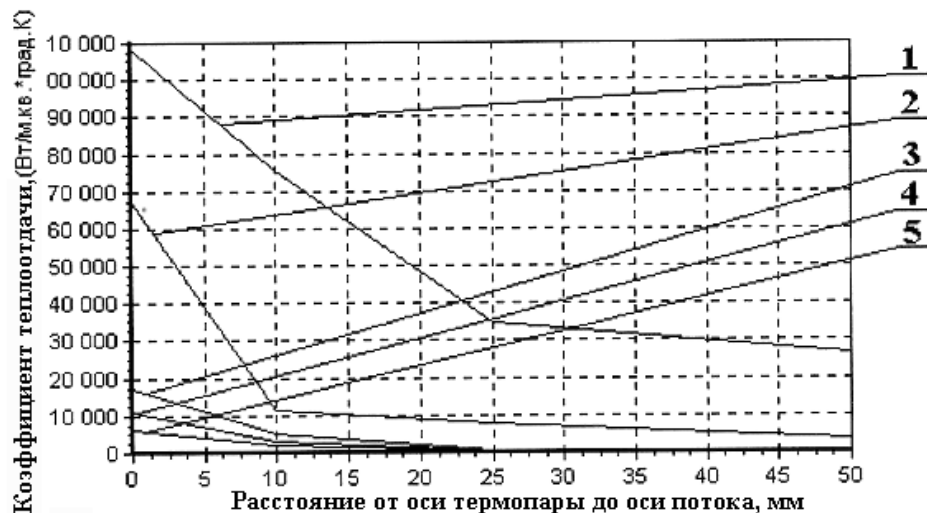


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи от расстояния оси струи воды до оси термопары в интервале температур 155-900°C: 1 - температура поверхности полосы 155°C; 2 - температура поверхности полосы 320°C; 3 - температура поверхности полосы 560°C; 4 - температура поверхности полосы 700°C; 5 - температура поверхности полосы 900°C.

Зависимости, приведенные на рис.4. представляют интерес при проектировании систем охлаждения полосы. С их помощью можно определить зону эффективного действия струи воды из форсунки (расстояние между форсунками).

При проектировании систем охлаждения валков важной является зона эффективного воздействия струи охлаждающего устройства, которую можно определить по зависимостям, приведенным на рис. 5.

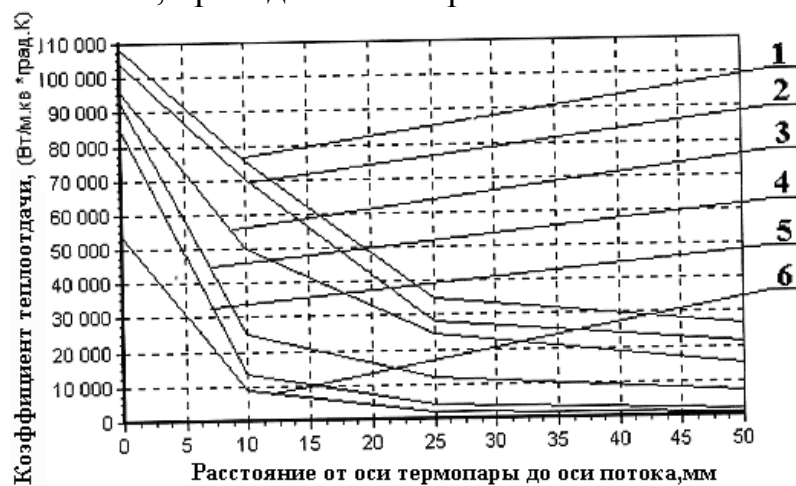


Рис.5. Зависимость коэффициента теплоотдачи от расстояния оси струи воды до оси термопары в интервале температур 88-155°C: 1 - температура поверхности валка 155°C; 2 - температура поверхности валка 140°C; 3 - температура поверхности валка 126°C; 4 - температура поверхности валка 111°C; 5 - температура поверхности валка 100°C; 6 - температура поверхности валка 88°C.

Из графиков, приведенных на рис.5, можно вычислить средний коэффициент теплоотдачи по зоне эффективного охлаждения и на основе математического моделирования выбрать наиболее экономичный вариант

системы охлаждения. Варианты могут отличаться расстоянием между струями. При малых расстояниях между ними в зоне эффективного охлаждения будут большие средние значения коэффициента теплоотдачи. Но при этом, будет увеличиваться количество форсунок и, как следствие, стоимость коллекторов системы охлаждения.

При использовании меньшего количества форсунок (увеличении расстояния между струями) для достижения эффективной работы системы охлаждения необходимо использовать насосы, обеспечивающие большее давление и больший расход воды. Окончательное решение проектант может принять, учитывая прогнозы тенденций изменения стоимости форсунок и электроэнергии.

Необходимо учитывать, что при повышении давления в системе водоснабжения в ней увеличивается гидравлическое сопротивление. Вследствие этого увеличиваются и энергозатраты.

Уменьшение энергозатрат возможно за счет оптимизации процессов охлаждения полосы и валков при научно обоснованном проектировании систем охлаждения.

При охлаждении валков возможны варианты расположения их под углом к поверхности полосы. В связи с этим, выполнены экспериментальные исследования процессов охлаждения полосы и валков при подачи струй воды под углом  $45^\circ$  снизу к охлаждаемой поверхности.

Поскольку вода из соседней форсунки может экранировать поверхность полосы от действия струи воды из смежной с ней форсунки, проведены экспериментальные исследования совместной работы двух форсунок (рис.6).

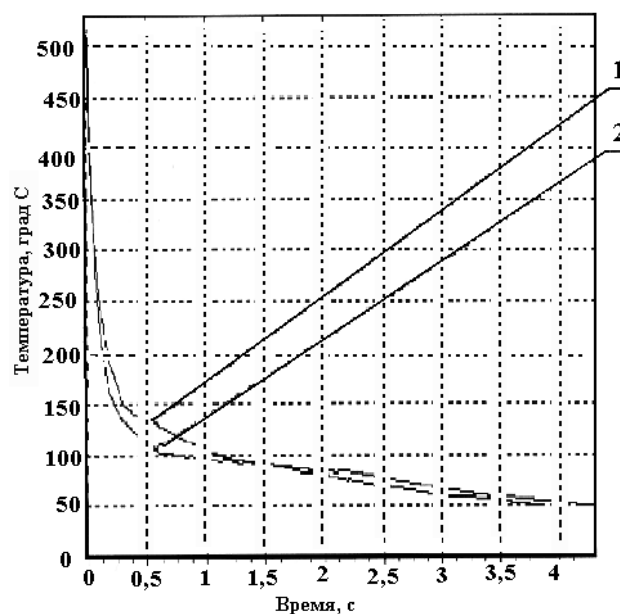


Рис. 6. Зависимость температуры поверхности полосы от времени охлаждения: 1 - совместная работа двух форсунок; 2 - охлаждение одной форсункой.

Зависимость 2 на рис.6 получена при охлаждении поверхности полосы струей воды, ось которой пересекала поверхность металла в месте расположения термомпары.

Зависимость 1 на рис.6 получена в случае, когда одна струя воды пересекала поверхность металла в месте расположения термопары, а вторая пересекала поверхность металла на расстоянии 40 мм до оси термопары.

Как видно рис.6 скорость падения температуры поверхности полосы до температуры 100°С, в случае совместной работы двух форсунок (зависимость 1), меньше чем при охлаждении полосы одной форсункой (зависимость 2). Это объясняется тем, что по поверхности полосы шел поток воды из одной форсунки, который экранировал эту поверхность. Этот эффект необходимо иметь в виду, ибо при использовании форсунок с большими отверстиями (с большими расходами воды) слой воды на поверхности полосы будет больше и эффект экранирования также увеличится.

**Выводы:** выполненные на экспериментальной установке для определения коэффициентов теплоотдачи при охлаждении полосы и валков исследования позволяют дополнить созданные ранее математические модели теплового состояния валков и полосы в процессе прокатки [2,3] необходимыми практическими данными. Это позволяет для каждого конкретного элемента проектируемого процесса прокатки, применительно к конкретным условиям, определить основные расчётные параметры в зависимости от требований к технологии.

**Список литературы:** 1.Тришевский О.И., Салтавец Н.В.,Торяник Н.П. Разработка состава оборудования экспериментальной установки для определения коэффициента теплоотдачи на участке ускоренного охлаждения станов горячей прокатки. [Текст] / Вісник ХНТУСГ вип.77 „Технічний сервіс АПК, техніка та технологія у с/г машинобудуванні”. – Харків 2009.–вип. 77 – С. 200-206. 2. Тришевский О.И., Салтавец Н.В. Разработка математической модели теплового состояния полосы при прокатке. [Текст] // Сталь 2009 г. – №2– С.42. 3. Тришевський О.І., Салтавець М.В., Юрченко О.А. Розробка математичної моделі теплового стану валка при гарячій прокатці листа. [Текст] // Восточно-европейский журнал передовых технологий – 2009.– 5/4 (41). – С.14-18.

**УДК 621.7**

**ПЛЕСНЕЦОВ С.Ю.**, аспирант, НТУ «ХПИ»

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УТОНЕНИЙ И СМЕЩЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО СЛОЯ ПРИ ИЗГИБЕ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НА 180°**

В статье приводятся результаты экспериментального исследования изгиба тонколистового металла последовательно до 90°, 120° и 180° в графическом виде в сопоставлении с результатами более ранних исследований для толстолистового материала. Приводятся значения полученных коэффициентов для зависимостей, описывающих максимальные утонения и смещение нейтрального слоя в зависимости от толщины и радиуса подгибки.

В статті наводяться результати експериментального дослідження згину тонколистового металу послідовно до 90°, 120° и 180° в графічному вигляді в порівнянні з результатами більш ранніх досліджень для товстолистового матеріалу. Наводяться значення отриманих коефіцієнтів для залежностей, що описують максимальні утонення та зміщення нейтрального слою в залежності від товщини та радіусу згину.