

**УЛУЧШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ  
ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ ОХЛАЖДЕНИЯ  
В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ**

**Платов С.И., Некит В.А., Звягина Е.Ю., Терентьев Д.В.**

ФГБОУ ВО «МГТУ им.Г.И.Носова», г.Магнитогорск, Россия,

E-mail: psipsi@mail.ru, vladimir@nekit.info, zviagina\_mmf@mail.ru, ktnterentyev@mail.ru

Эффективность охлаждения рабочих валков зависит от температуры охлаждающей воды, плотности контакта струи с поверхностью валка и от площади поверхности валка перекрываемой струями, выходящими из спрееров /1,2,3/.

Используя результаты измерений температуры валков после перевалки, и, учитывая, что толщина поверхностного слоя, подвергаемая значительным колебаниям температуры, не превышает 0,2-1,6 мм, т.е.  $R \approx r$ , получим следующие величины термических напряжений применительно к условиям прокатки стана 2000 ОАО ММК (табл.1) в зависимости от температуры охлаждающей воды.

Таблица 1 – Термические напряжения в поверхностном слое чугунных прокатных валков стана 2000 горячей прокатки

№ клетки	Температура охлаждения воды, °С	Термическое напряжение, МПа	Температура охлаждения воды, °С	Термическое напряжение, МПа	Температура охлаждения воды, °С	Термическое напряжение, МПа
7	25	8,03	35	5,80	45	3,58
8	25	6,30	35	4,07	45	1,83
9	25	5,27	35	3,04	45	0,80
10	25	6,65	35	4,41	45	2,17
11	25	4,63	35	2,40	45	0,15
12	25	5,98	35	3,74	45	1,50
13	25	4,98	35	2,73	45	0,49

Расчеты показывают, что применение охлаждающей воды с пониженной температурой (25°С) увеличивает термические напряжения в поверхностном слое по сравнению с существующей температурой охлаждающей воды (35°С) в 1,38...1,82 раза. Применение воды с температурой 45°С позволяет снизить напряжения в поверхностном слое валка по сравнению с существующими в 1,62 раза для седьмой клетки и 5,5 раза для 13 клетки.

Таким образом, повышение температуры охлаждающей воды до 45°С позволит повысить термостойкость рабочих валков клеток получистой и чистой групп.

Использование воды с пониженной температурой приводит к образованию больших термических напряжений и поэтому является неприемлемым для повышения эффективности отвода тепла с поверхности валка/4,5/.

Используемое рабочее давление воды 7,7...7,8 атм., является достаточным для обеспечения плотного контакта струи с поверхностью валка. Опыты показывают, что такого давления достаточно, чтобы «пробить» воздушную пленку, увлекаемую шероховатой поверхностью вращающейся цилиндрической детали со скоростью до 60 м/с. Повышение давления до 10 атм. и более незначительно повысит плотность контакта водяной струи с валком при существенном увеличении разбрызгивания струи воды при соприкосновении с поверхностью валка. Увеличение плотности контакта струи с валком целесообразно добиваться путем снижения потерь на трение о стенки выходной щели спреера.

Минимальные потери на трение струи о поверхность выходной щели спреера имеют место в том случае, если угол раскрытия щели спреера соответствует форме выходящей из него струи (рис. 1).

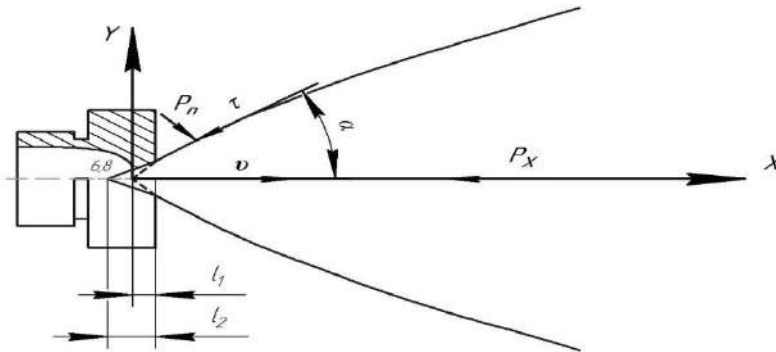


Рисунок 1 – К расчету формы струи и угла раскрытия щели спреера

Форму струи определяем исходя из наименьшего сопротивления в воздушной среде, характеризуемой вязкими свойствами.

Нормальное давление  $P_n$  на элемент поверхности струи пропорционально скорости оттеснения воздуха по нормали к ней:

$$P_n = \eta V_n = \eta V \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $\eta$  - вязкость воздуха,  $P_n$  - составляющая скорости струи по нормали к ней. Элементарная сила трения струи о воздух

$$\tau = P_n f = \eta V f \sin \alpha, \quad (2)$$

где  $f$  - коэффициент трения струи о воздух;

$\alpha$  - угол, составляемый касательной к поверхности струи в рассматриваемой точке.

Проектируя все силы на ось  $x$ , запишем уравнение равновесия кольца струи шириной  $dS$  и радиусом  $y$ :

$$dP_x = \eta V (\sin^2 \alpha + f \sin \alpha \cos \alpha) 2\pi y dS \quad (3)$$

Полная сила  $P_x$  сопротивления движению струи вдоль оси  $x$

$$P_x = 2\pi\eta V \int_0^1 y (\sin^2 \alpha + f \sin \alpha \cos \alpha) \frac{dx}{\cos \alpha} \quad (4)$$

$$\sin \alpha = \frac{y'}{\sqrt{1+(y')^2}} \quad (5)$$

Подинтегральная функция с учетом выражений

$$F = y \frac{(y')^2 + fy'}{\sqrt{1+(y')^2}} \quad (6)$$

имеет вид:

Минимум силы  $P_x$ , связанный с минимумом подинтегрального выражения, определим исходя из частного случая уравнения Эйлера

$$F - y'Fy' = C_1 \quad (7)$$

Откуда получим:

$$y \frac{(y')^2 + fy'}{\sqrt{1+(y')^2}} - y'y' \frac{(y')^3 + 2y' + f}{[1+(y')^2]^{3/2}} = C_1 \quad (8)$$

Полученное соотношение преобразуем к виду  $\frac{y(y')^2(fy'-1)}{[1+(y')^2]^{3/2}} = C_1$ . Возвращаясь к тригонометрическим функциям, запишем

$$y = \frac{C_1}{\sin^2 \alpha (f \sin \alpha - \cos \alpha)} \quad (10)$$

Поскольку можно принять  $\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha$ , то  $dx = \frac{dy}{\operatorname{tg} \alpha}$ .  
Находим последовательно

$$dy = -C_1 \frac{3f \sin \alpha \cos \alpha - 2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}{\sin^3 \alpha (f \sin \alpha - \cos \alpha)^2} da; \quad (11)$$

$$dx = C_1 \frac{2 \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha - 3f \sin \alpha \cos \alpha}{\sin^3 \alpha (f \sin \alpha - \cos \alpha)^2 \operatorname{tg} \alpha} da$$

Совмещая решения, получим

$$x = C_1 \int \frac{2 \cos^3 \alpha - \sin^2 \alpha \cos \alpha - 3f \sin \alpha \cos^2 \alpha}{\sin^6 \alpha (f - \operatorname{ctg} \alpha)^2} da + C_2 \quad (12)$$

Решение является сложным. Поэтому для небольших значений углов  $\alpha$  принимаем  $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$ . В результате получится  $-y(y')^2 = C_1$ . (13)

Если положить  $C_1 = -1, C_2 = 0$ , то получим простое уравнение полукубической параболы  $x = \frac{2}{3} y^{3/2}$  или  $y = \frac{3}{2} x^{2/3}$ . (14)

Оптимальный угол раскрытия щели спреера определим из частного решения уравнения  $Fy'y' = 0$ . (15)

Решение имеет вид

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left( \sqrt{2,25f^2 + 2} - 1,5f \right). \quad (16)$$

Воздействовать на величину  $f$  возможно через регулирование шероховатости рабочей поверхности валка /6/.

Значение коэффициентов сопротивления струи о воздух  $f$  для каждого коллектора определим исходя из направления относительного перемещения потока воздуха увлекаемого шероховатой поверхностью валка и направлением струи:

а) для верхнего валка:

- коллектор расположен перед валком по направлению прокатки; поток воздуха в зоне контакта валка с охлаждающей струей направлен против струи воды, поэтому коэффициент сопротивления струи при трении о воздух максимальный и равен 0,95...1,00; из уравнения для расчета угла  $\alpha$  имеем  $2\alpha = 58,6^\circ \dots 60,4^\circ$ .

- коллектор расположен после валка по направлению прокатки; в этом случае часть потока воздуха совпадает с направлением струи (верхний ряд спрееров на коллекторе), а часть потока воздуха направлена против струи (нижний ряд спрееров); среднее значение коэффициента сопротивления составляет 0,8...0,85; угол раскрытия щели составляет  $2\alpha = 64,2^\circ \dots 66,4^\circ$ .

б) для нижнего валка

- коллектор расположен перед валками; направление потока воздуха совпадает с направлением струи охлаждающей воды; коэффициент сопротивления при трении струи о воздух имеет минимальное значение 0,65...0,70; угол раскрытия щели спреера составляет  $2\alpha = 70,4^\circ \dots 73,2^\circ$ .

- коллектор расположен за валком по ходу прокатки; поток воздуха направлен против струи; коэффициент сопротивления струи при трении о воздух равен максимальному значению 0,95...1,00; угол раскрытия щели спреера равен

$$2\alpha = 58,6^\circ \dots 60,4^\circ.$$

Таким образом, оптимальными значениями угла раскрытия щели спрееров для верхних коллекторов и нижнего коллектора, расположенного за валком, являются

$$2\alpha = 70,4^\circ \dots 73,2^\circ.$$

С целью унификации изготовления спрееров можно рекомендовать для всех коллекторов угол раскрытия щели спреера близким к  $60^\circ \dots 65^\circ$ , который обеспечивает максимальную плотность контакта струи с поверхностью валка.

### Список литературы:

1. Гун Г.С., Соколов В.Е., Огарков Н.Н., Обработка прокатных валков, - М.:Металлургия,- 1983. – 111 с.
2. Исследование изменения температуры валка после вывалки из клетки/Стриженко А.О., Астахов А.А., Мазур И.П.// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия :Металлургия.2016. Т16.№2.С133-136.
3. Огарков Н.Н. Стойкость и качество прокатных валков: монография/Огарков Н.Н., Беляев А.И., Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2008.
4. Дилигенский Н.В. Модель прогнозирования термонапряжений в прокатных валках с целью повышения качества их поверхности // Физическая и химическая обработка металлов. – 1984. - №4. – С. 46-49.
5. Разработка модели для исследования теплового состояния рабочих валков станов горячей прокатки/ Астахов А.А., Мазур И.П.// Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011 .Т7. №112. С83-86
6. Формирование шероховатости проката с высококачественной отделкой поверхности посредством регулирования состояния поверхностного слоя валков, Огарков Н.Н., автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Магнитогорск, 1996.