

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДАЧИ РАСПЫЛИТЕЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ  
КОЭФФИЦИЕНТА ПРОНИКНОВЕНИЯ ТЕПЛА ВО ВРЕМЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОЛСТОЛИСТОВОГО  
МЕТАЛЛА**  
**EFFECT OF NOZZLE SUPPLY PARAMETERS ON VALUE OF HEAT EXCHANGE COEFFICIENT  
DURING COOLING OF PLATES**

М. Яник, М. Кнапиньски, А. Кжижаньска, Т. Гарстка, А. Кавалек  
Ченстоховский технологический университет, Факультет инженерии процесса, материалов и прикладной  
физики, ал. Армии Крайовой, 19, 42-200 Ченстохова, Польша  
Институт обработки давлением и инженерии безопасности

*Abstract*

*The paper presents results of research of the cooling intensity of air – water nozzle. The results was allowed to elaborate a map of the distribution of heat transfer coefficient for constant air pressure, a fixed distance from the nozzle to the cooling surface and variables amounts of cooling water. For research steel X75 was used. The obtained results allow the execution a computer simulation of effect of cooling intensity on the final product's structure.*

**Введение**

На рынке металлических изделий увеличивается спрос на толстолистовой металл с высокими параметрами использования. Такие листы характеризуются хорошей пластичностью, ударной вязкостью и свариваемостью. Для изготовления толстолистого металла с такими свойствами необходимо использовать процесс термического улучшения, который состоит из аустенитизации, закалки и низкого отпуска после процесса закалки. Чтобы сократить затраты, а также ограничить энергоемкость производства толстолистого металла, были разработаны способы, исключаяющие некоторые операции термической обработки.

Существенным моментом в производстве толстолистого металла с высокими параметрами использования является закалка непосредственно после прокатки без отпуска или регулируемое охлаждение с помощью водно-воздушных распылителей. Использование такой технологии является возможным, если прокатная линия оборудована в систему ускоренного охлаждения, например, MULPIC. Следующая возможность это модифицирование стандартного процесса, которое требует проектирования соответствующих параметров охлаждения для определенных химических составов стали. Правильное проектирование такой технологии даст возможность получить требуемые свойства листа без дополнительной термической обработки.

**Описание испытательного стенда**

На факультете Обработки давлением и инженерии безопасности имеется оборудование для определения интенсивности охлаждения (рис. 1).

Это оборудование сконструировано таким образом, чтобы как можно лучше отразить условия, выступающие после процесса прокатки толстолистого металла. Для получения температуры образца, отвечающей температуре конца прокатки служит индукционный электронагреватель, питаемый высокочастотным преобразователем мощностью 15 кВт (рис. 2). Температура образца, а также струя тепла, отбираемая с поверхности образца, измеряется с помощью системы 10 термпар. Термпары были размещены в 5 точках на расстоянии 2 и 7 мм от края образца. Охлаждение образца осуществлялось с помощью водно-воздушного распылителя (рис. 3), питаемого с помощью регулируемой системы. Эта система дает возможность точно дозировать количество охлаждающей воды и воздуха (рис. 4).

Рабочее положение исследуемого распылителя регулируется в двух направлениях: X (горизонтальное перемещение распылителя по отношению к образцу), и Z (расстояние распылителя от поверхности образца). Управление устройством, а также архивация данных возможна благодаря сложной электронике, управляемой с помощью компьютера.

Во время перемещения распылителя вдоль оси X, встроенная система термпар одновременно измеряет струю тепла на оси Y, в результате чего мы получаем в одном измерительном цикле полную карту распределения тепла, отбираемого с помощью водно-воздушного распылителя. После учета температуры поверхности образца мы получаем карту распределения коэффициента проникновения тепла.



Рис. 1. Испытательный стенд для исследования распылителей



Рис. 2. Катушка индукционного электронагревателя

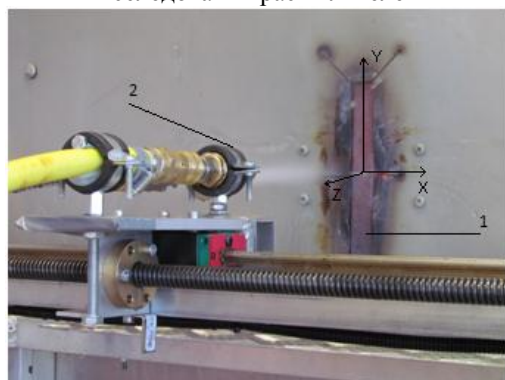


Рис. 3. Охлаждение разогретого образца с помощью распылителя



Рис. 4. Система, регулирующая давление воды и воздуха

### Ход исследований

Целью исследования было определение распределения интенсивности приема тепла от разогретого металла во время охлаждения с помощью распылительного сопла (вода – воздух). Полученные результаты исследований являются основой для определения коэффициента проникновения тепла для постоянного давления воздуха 1,5 бар, постоянного расстояния

охлаждения, а также различных установок давления охлаждающей воды.

Для исследований был изготовлен образец из низкоуглеродистой стали марки X75 API5L, химический состав которой представлен в таблице 1. Для исследований использовался образец габаритами 160x35x20 мм.

Таблица 1. Химический состав исследуемой стали

Марка стали	Химический состав, %												
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo	Cu	Cr	Nb	Al	Ti	N
X75 API5L	0,095	1,950	0,350	0,010	0,010	0,110	0,200	0,120	0,130	0,055	0,032	0,043	36 ppm

Исследования производились с использованием распылителя фирмы Lechler типа 136.442.35.11, питаемого водно-воздушной смесью. Коэффициент проникновения тепла определялся для трех установок давления воды 1; 1,5 и 3 бар при постоянном давлении воздуха 1,5 бар, а также постоянного расстояния распылителя от охлаждаемой поверхности равного 100 мм. Температура охлаждаемого образца составляла

780°C и во всех случаях была одинаковой. На рисунках 5, 6 и 7 представлены результаты исследования интенсивности охлаждения образца с помощью водно-воздушного распылителя.

Зона интенсивного охлаждения для давления воды, равного 1 и 1,5 бар имеет форму эллипса размерами 70x200 мм. Для давления, составляющего 3 бар, зона интенсивного охлаждения имеет эллиптическую форму размерами 70x300 мм.

Наиболее высокая величина коэффициента проникновения теплоты для давления, равного 1

бар составляет 570 Вт/м<sup>2</sup>К. Для давления воды, равного 1,5 бар, максимальная величина коэффициента проникновения тепла равняется 1553 Вт/м<sup>2</sup>К, а для давления 3 бар составила 1648 Вт/м<sup>2</sup>К.

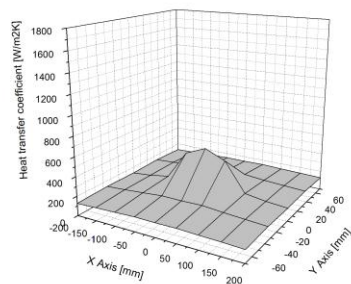


Рис. 5. Диаграмма распределения коэффициента проникновения тепла для давления воды 1 бар

Вне зоны интенсивного охлаждения коэффициент проникновения тепла во всех случаях составил ок. 125 Вт/м<sup>2</sup>К.

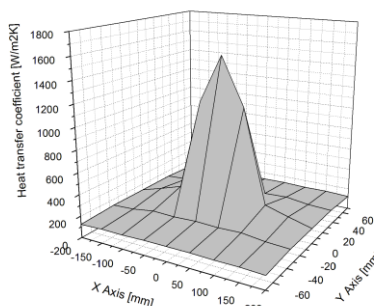


Рис. 6. Диаграмма распределения коэффициента проникновения тепла для давления воды 1,5 бар

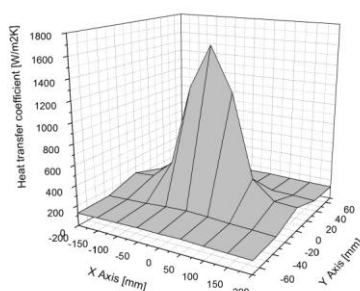


Рис. 7. Диаграмма распределения коэффициента проникновения тепла для давления воды 3 бар

## Выводы

На основании проведенных исследований коэффициента проникновения тепла можно утверждать, что при увеличении давления воды увеличивается интенсивность охлаждения. Величина давления воды имеет значительное влияние на максимальную величину интенсивности проникновения тепла внутрь зоны, охваченной охлаждением. При увеличении давления воды увеличивается также ширина зоны интенсивного охлаждения. При давлении воды, составляющем 1 бар было замечено резкое уменьшение интенсивности охлаждения.

Полученные результаты дают возможность выполнить точную компьютерную симуляцию влияния интенсивности охлаждения на распределение температуры в объеме охлаждаемого изделия, что, в свою очередь, позволит оптимизировать процесс ускоренного охлаждения толстолистового металла. Полученные результаты исследований будут использованы при выполнении прикладных проектов.

## Список литературы

1. Knapiński M., Kawalek A., Dyja H., Kwapisz M., Frączek T.: The effect of accelerated cooling after rolling on the structure and mechanical properties of

2. the steel to production of plates in grade X80. Hutnik – Wiadomości Hutnicze 2012r, nr 5; str. 316-319.
3. Laber K., Knapiński M., Dyja H., Kawalek A.: "Influence of the cooling conditions after the rolling process on the temperature distribution on the plate cross section" Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 2012r, nr 5, str. 328-331
4. Kajzer S., Kozik R., Wusatowski R., "Selected aspects of metal forming processes. Technology design." Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997
5. Minaev A. A., Ustimenko S.: "Kontrolirujemaja prokatka sortovoj stali", Izdatelstvo Metallurgija, Moskva 1990
6. Gawor J., Marcisz J., Burian W., Zalecki W., Mazur A., „Opracowanie podstaw technologii obróbki cieplnej blach grubych konstrukcyjnych i odpornych na ścieranie metodą chłodzenia natryskowego bezpośrednio po walcowaniu na gorąco” Prace IMŻ 2009r. nr 1 str. 57 – 60.
7. Janik M., Garstka T., Krzyżańska A., Knapiński M., Kawalek A., "The study of heat transfer coefficient during cooling plates of high strength" The 9<sup>th</sup> Internatoonal Conference Mechatronic Systems and Materials MSM 2013. 1-3 July 2013r str. 108-109