

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ОПЫТНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ СТАЛИ 20MnB4 НА ПРОКАТНОМ СТАНЕ МОРГАНА

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION DURING ROLLING OF 20MnB4 STEEL WIRE ROD IN MORGAN MILL.

Мажена Каламож*, аспирантка

Конрад Лабер, к.т.н.

Анета Грыц*, аспирантка

Хенрик Дыя, проф., д.т.н.

Ченстоховский Технологический Университет, Факультет инженерии процессов, материалов и прикладной физики, кафедра обработки металлов давлением и инженерной безопасности
ал.Армии Краевой 19, 42-200 Ченстохова, Польша;

e-mail: mpolkowska@wip.pcz.pl

**Работа была выполнена в рамках проекта „DoktoRIS – Стипендиальная программа развития современной Силезии”*

Аннотация

В работе представлены результаты исследования распределения температуры в полосе из стали 20MnB4 в процессе прокатки по промышленной технологии. Исследования проводились для образцов диаметром 5,5 мм, прокатанных в прокатных клетях на одном из новейших прокатных станков в Польше.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе в программе FORGE, основанной на методе конечных элементов (МКЭ), проведено математическое моделирование распределения температуры. На втором - измерения температуры полосы в условиях реального процесса прокатки в промышленных условиях с использованием тепловизионной камеры ThermoCAM SC640.

В процессе исследований был учтен процесс ускоренного охлаждения полосы в специальных охлаждающих устройствах, установленных непосредственно в прокатном потоке, а также процесс контролируемого охлаждения методом STELMOR после прокатки.

Целью работы было сравнение и проверка распределения температуры, полученного путем математического моделирования с результатами измерений температуры в реальных промышленных условиях.

Результаты исследований позволили правильно определить начальные и граничные условия процесса для проведения математического моделирования.

Введение

С целью оценки технологических процессов и явлений, происходящих в инструменте, следует учитывать один из главных параметров – температуру. Для оценки распределения температуры в горячей полосе в процессе прокатки и ускоренного охлаждения непосредственно в потоке стана используют множество методов измерений [1]. Классические методы измерения температуры позволяют измерять температуру в отдельных точках, что не всегда является достаточным для адекватной оценки исследуемых объектов [2]. В некоторых случаях необходимы данные о распределении температуры по всей длине предмета исследований. Методом, который дает такую возможность является тепловизионный метод, который позволяет определить температуру предмета на основании теплового излучения [1].

Цель и область работы

Целью работы было сравнение и подтверждение результатов распределения температуры полученных при математическом моделировании с результатами измерений в анализируемом прокатном цехе. Материалом для

исследований был подкат диаметром 5,5 мм из стали марки 20MnB4 [3].

На первом этапе было проведено математическое моделирование распределения температуры с помощью программного обеспечения FORGE®, основанного на методе конечных элементов [4].

Следующим этапом работы было измерение полосы при реальном процессе прокатки в промышленных условиях. Измерения были проведены с использованием тепловизионной камеры ThermoCAM SC640 фирмы FLIR Systems. Обработка полученных результатов была проведена в программе ThermoCAM Reporter™ [5], которая позволяет анализировать изменения температуры и создавать автоматические отчеты. Камера позволяет исследовать распределение температуры материалов в большом интервале. Полученные термограммы позволяют проанализировать распределение температуры на поверхности материала кроме всего прочего и по длине. После анализа термограмм возможно проведение проверки значений температуры, используемых при математическом моделировании процессов обработки металлов давлением.

На последнем этапе работы было проведено сравнение значений температуры поверхности полосы, полученных при моделировании, со значениями температуры полосы, полученными при измерениях в промышленных условиях.

Тепловизионные измерения и математическое моделирование

В качестве материала для исследований использовали непрерывнолитую заготовку из стали 20MnB4 длиной 14 м с квадратным поперечным сечением величиной 160×160 мм. Садка была нагрета в печи с шагающими балками до температуры $1150^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$. Для тепловизионных исследований были приняты следующие параметры объекта: эмиссия 0,82; расстояние камеры от

исследуемого объекта - 3м; температура окружающей среды - 20°C ; относительная влажность - 50% [6,7].

Для математического моделирования процесса прокатки использовали программное обеспечение FORGE®, которое основывается на МКЭ [4]. Реологические свойства исследуемой стали были заданы с помощью функции Хензеля-Шпиттеля [8]:

$$\sigma_p = A_1 e^{m_1 T} T^{m_2} \varepsilon^{m_3} e^{\frac{m_4}{\varepsilon}} (1 + \varepsilon)^{m_5 T} e^{m_7 \varepsilon} \dot{\varepsilon}^{m_8} \varepsilon^{m_9 T}$$

В таблице 1 представлены значения параметров, полученных с помощью функции Хензеля-Шпиттеля.

Таблица 1

Значения параметров $A, m_1 \div m_9$, используемых для определения значений σ_p стали 20MnB4

Сталь	Значения параметров, полученных в результате аппроксимации								
	A_1	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_7	m_8	m_9
20MnB4	0,0187283 04	- 0,0039653 74	0,4482145 77	- 0,0324183 51	- 0,0001950 78	- 0,0021671 21	0,3877429 21	0,0001851 42	1,9959309 39

Анализ результатов исследований

На рисунках 1÷3 представлены распределения температуры полосы, полученные в

результате математического моделирования, а также измеренные в процессе реальной прокатки с использованием тепловизионной камеры.

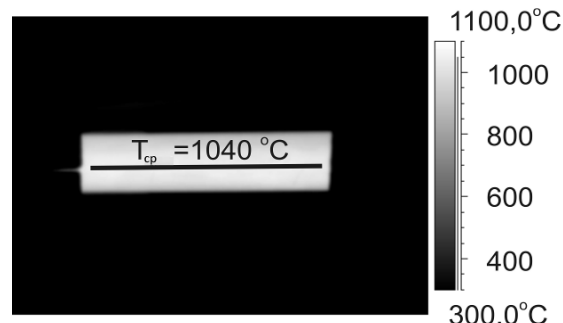
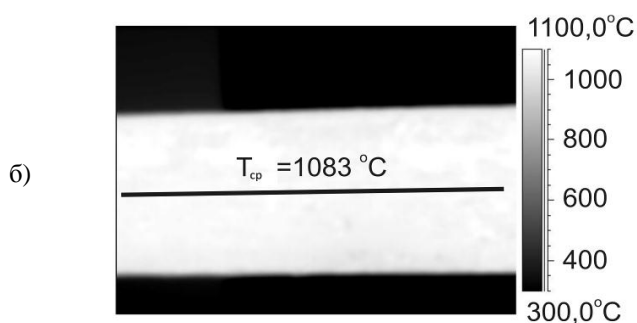
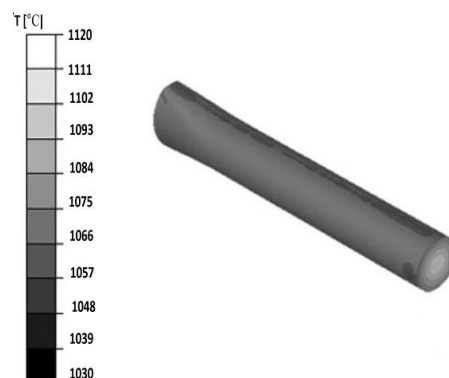
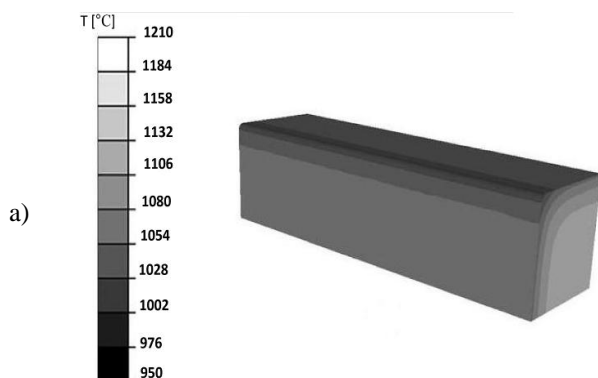


Рис. 1. Распределение температуры полосы на входе в первую прокатную клет: а) рассчитанное математически, б) измеренный с помощью тепловизионной камеры

Рис. 2. Распределение температуры полосы на выходе из прокатной клетки №17: а) рассчитанное математически, б) измеренный с помощью тепловизионной камеры

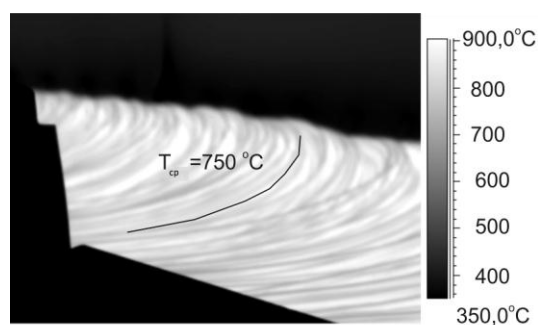


Рис. 3. Термограмма распределения температуры на линии охлаждения

Точные значения средней температуры полосы и температуры поверхности на входе и на выходе из каждой клетки представлено в таблице 2. Также в этой таблице представлены значения

ошибки между значениями, полученными математически, и значениями, полученными с помощью тепловизорной камеры.

Таблица 2

Рассчитанные и измеренные значения температуры полосы в каждой прокатной клетки

№ клетки	Форма калибра	Средняя температура полосы, рассчитанная математически, $t_{sr}, [^{\circ}C]$		Температура боковой поверхности полосы, рассчитанная математически, $t_p, [^{\circ}C]$		Температура боковой поверхности полосы при реальном процессе прокатки, $t_p, [^{\circ}C]$		Ошибка $\delta, [\%]$	
		на входе в клетку	на выходе из клетки	на входе в клетку	на выходе из клетки	на входе в клетку	на выходе из клетки	на входе в клетку	на выходе из клетки
1	ДАНИЕЛИ	Прямоугольный	1131	1120	1086	1028	1083	-	-
2		Прямоугольный	1089	1108	1063	1064	-	-	-
3		Прямоугольный	1090	1097	1050	988	-	-	-
4		Прямоугольный овал	1080	1081	1033	1038	-	-	-
5		Окружность	1076	1078	1022	979	-	-	-
6		Овал	1075	1076	1010	1015	-	-	-
7		Окружность	1074	1075	1009	984	965	-	4,55
8		Овал	1068	1069	1014	1019	-	-	-
9		Окружность	1069	1072	1015	1007	-	-	-
10		Овал	1071	1076	1022	1029	-	-	-
11		Окружность	1080	1080	1028	1028	-	-	-
12		Овал	1082	1084	1042	1048	-	-	-
13		Окружность	1086	1088	1044	1051	-	-	-
14		Овал	1084	1086	1056	1062	-	-	-
15		Окружность	1088	1089	1057	1061	1046	-	1,05
16		Овал	1092	1093	1066	1072	-	-	-
17		Окружность	1092	1093	1068	1074	-	1040	-
19	МОРГАН NTM	Овал (вход)	921	925	872	890	840	-	3,81
28		Окружность (выход)	1010	1015	990	995	-	950	-
29	МОРГАН RSM	Овал (вход)	770	782	734	754	780	-	5,9
32		Окружность (выход)	810	799	781	781	-	-	-

Из анализа полученных данных видно, что рассчитанные математически значения температуры с большой точностью соответствуют значениям, полученным в промышленных условиях. Из-за того, что в блоке Моргана доступ к прокатным клетям (NTM и RSM) затруднен, в таблице 2 представлены только данные, измеренные на входе и выходе из блоков (NTM и RSM). На основании анализа данных, представленных на рисунке 3, можно сказать, что средняя температура поверхности проката при его транспортировке по линии охлаждения STELMOR составило 750 °С.

Минимальная ошибка между температурой полосы, рассчитанной математически, и реальной температурой полосы в процессе прокатки получена для клетки №15 в прокатной линии Даниели, которая составила 1,05%. Максимальная ошибка между рассчитанной и реальной температурой полосы получена для первой клетки блока RSM (клеть №29) в прокатной линии Морган и составила 5,9%. Причиной разницы расчетных и реальных значений температур могут быть условия тепловизорных измерений. При измерении температуры в реальных условиях могло образоваться большое количество водного пара, который мог отразиться на результатах измерений.

Выводы

На основании проведенных исследований и анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что значения температур, полученных путем математического моделирования с большой точностью соответствуют значениям, полученным в результате измерений в реальном процессе прокатки. Это значит, что при математическом моделировании были приняты правильные начальные и граничные параметры процесса.

1. Szecówka L.: Zastosowanie techniki termowizyjnej do diagnostyki jakości nagrzewania wsadu w piecu pokrocznym, *Hutnik - Wiadomości Hutnicze*, nr 6, 2008, s. 309 - 315

2. Laber K., Dyja H.: Zastosowanie techniki termowizyjnej do badania zdolności chłodzącej urządzenia do przyspieszonego chłodzenia prętów okrągłych gładkich, *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*, nr 9, 2010, ISSN 1230-3534, s. 537-539

3. Польская норма PN-EN 100263-4:2004: Stal - Walcówka, pręty i drut do spęczania i wyciskania na zimno.

4. FORGE3® Reference Guide Release 6.2, Sophia-Antipolis, November 2005

5. User's manual: ThermaCAM™ Reporter. Professional Edition. Version 7.0, FLIR Systems, November 5, 2004, publication no. 1 557 788, pp. 117÷132

6. Sygut P., Laber K., Mróz S., Dyja H.: Wpływ nierównomiernego rozkładu temperatury na długości wsadu na parametry energetyczno-siłowe podczas walcowania prętów okrągłych, *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*, nr 9, 2010, ISSN 1230-3534, s. 540-542

7. Laber K., Dyja H.: „Przemysłowe badania temperatury walców podczas walcowania prętów okrągłych w walcowni ciągłej”, materiały konferencyjne X Międzynarodowej Konferencji Naukowej pt.: „Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej”, Praca zbiorowa pod redakcją naukową prof. dr hab. inż. Henryka Dyja, Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, seria: Materiały Konferencyjne nr 1, Częstochowa 05 czerwca 2009 r., Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2009 r., ISBN 978-83-87745-18-9, ISSN 2080-2080, s. 56÷59

8. Chenot J.L. i inni: *Forgin and Related Technology*, Birmingham 1998, s.113