

УДК 621.771

Радионова Л.В., Бужланова Ю.В.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАТАНКИ ИЗ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ МАРОК СТАЛИ

Повышение качества проката является основополагающим фактором развития металлургической промышленности, позволяющим увеличивать производительность выпускаемой продукции, сокращать металлоемкость изделий, при этом снижать материальные затраты на их изготовление и обеспечивать конкурентоспособность проката на мировом рынке.

В целом качество производимого проката определяется химическим составом стали, а также совокупностью всех последующих технологических операций, начиная с получения, разливки стали и заканчивая ускоренным охлаждением катанки с прокатного нагрева. В связи с этим формирование оптимальной тонкодисперсной структуры перлита и обеспечение высокого комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств катанки, как основополагающих качественных характеристик, может осуществляться за счет правильно подобранного химического состава стали и грамотного назначения температурно-деформационного режима прокатки и ускоренного охлаждения катанки [1].

Управление технологическими параметрами горячей прокатки и охлаждения на сегодняшний день может осуществляться в широком диапазоне. Это стало возможным благодаря внедрению на металлургические предприятия современных высокоскоростных прокатных станов. Станы нового поколения позволяют осуществлять не только формоизменение проката, но и проведение термомеханической и термической обработки в потоке стана. К таким современным станам можно с полным правом отнести мелкосортный проволочный стан 170, недавно введенный в эксплуа-

тацию на Магнитогорском металлургическом комбинате и позволяющий получать катанку широкого марочного сортамента с заданным уровнем свойств.

Выбор и регулирование основных технологических параметров прокатки и охлаждения при производстве высокоуглеродистой катанки на стане 170, способствующих повышению качественных характеристик проката, мы осуществляли с помощью методов математического моделирования, весьма распространенных в наши дни. Причем целесообразно, на наш взгляд, использование комплексного моделирования прокатки катанки, состоящего из математической модели расчета температурно-скоростного режима, модели распределения температурного поля по сечению катанки при охлаждении и математической модели прогнозирования микроструктуры проката.

Температурный режим – один из основных режимов управления качеством продукции, являющийся доминирующим фактором, с точки зрения формируемой в процессе нагрева структуры, путем соответствующего влияния на протекание фазовых превращений, величину аустенитного зерна, температуру конца прокатки, сопротивление деформации. Разработанная нами модель температурно-скоростного режима горячей прокатки была адаптирована для производства высокоуглеродистой катанки непосредственно для условий мелкосортного стана «170» с учетом его конструктивных особенностей и позволила определять температуру металла в каждой клетке прокатного стана [2, 3]. Расчет проводился установлением изменения температуры в каждой клетке стана вследствие падения температуры от

Расчет температуры металла в процессе прокатки на стане 170 ОАО "ММК"														
3	Температура	обжиная гр.к			Черновая гр.клетей					Первая промежуточная группа клетей				
4	начала прокатки, °С	1	A	B	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	1100	1071.78906	1048.932	1050.1426	1016.398	1018.357	993.8624	995.9377	974.6631	977.1759	955.6755	957.6481	945.4345	948.595
6														
7														
8		Входные данные:												
9	ϵ	0.207	0.218	0.237	0.300	0.143	0.367	0.185	0.370	0.202	0.406	0.263	0.389	0.26
10	ϵ_n	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.83
11	σ граф	3.800	5.000	6.000	5.700	6.200	7.000	9.000	10.400	11.000	16.000	9.500	13.000	12.20
12	σ	5.098	5.664	6.384	6.244	5.688	7.530	6.967	8.643	8.087	10.057	9.834	11.275	10.90
13	μ	1.265	1.262	1.355	1.364	1.252	1.399	1.27	1.382	1.261	1.4	1.289	1.348	1.2
14	$h_{сп}$	134.500	106.000	104.000	96.000	82.500	71.850	60.650	53.600	45.800	39.850	33.600	30.200	25.95
15	l	100.374	91.924	84.568	102.225	55.000	94.247	53.221	72.007	42.249	65.679	40.712	55.700	36.00
16	R	325.000	325.000	325.000	275.000	275.000	275.000	275.000	212.500	212.500	212.500	212.500	212.500	212.50
17	h_{n-1}	150.000	119.000	93.000	115.000	77.000	88.000	55.700	66.000	41.600	50.000	29.700	37.500	22.90
18	hl	119.000	93.000	115.000	77.000	88.000	55.700	66.000	41.600	50.000	29.700	37.500	22.900	29.00
19	S_i	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.005
20	$V_{срi}$	0.450	0.520	0.700	0.340	0.430	0.600	0.760	1.050	1.320	1.850	2.340	3.150	3.92
21	$l_{чк}$	7.800	2.500	2.500	30.000	2.000	2.000	2.000	4.000	2.000	9.600	2.600	2.600	2.60

Рис. 1. Фрагмент расчета температуры катанки диаметром 6,5 мм из марки стали 80 на стане 170

действия гидросбива, контактирования валков с металлом, охлаждения в межклетевых промежутках и ее приращении за счет выделения тепла при пластической

деформации. Фрагмент расчета температурного режима представлен на рис. 1.

После осуществления горячей прокатки необхо-

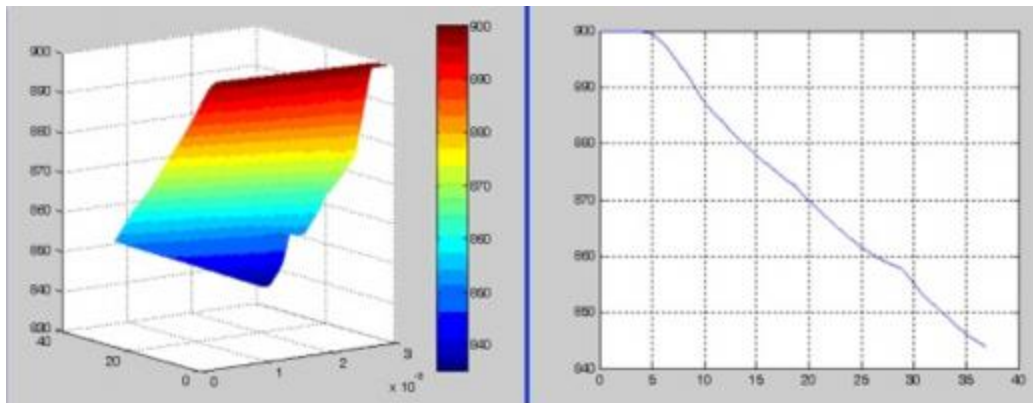


Рис. 2. Пример расчета температурного поля катанки диаметром 6,5 мм из стали марки 80 на линии ускоренного охлаждения стана 170

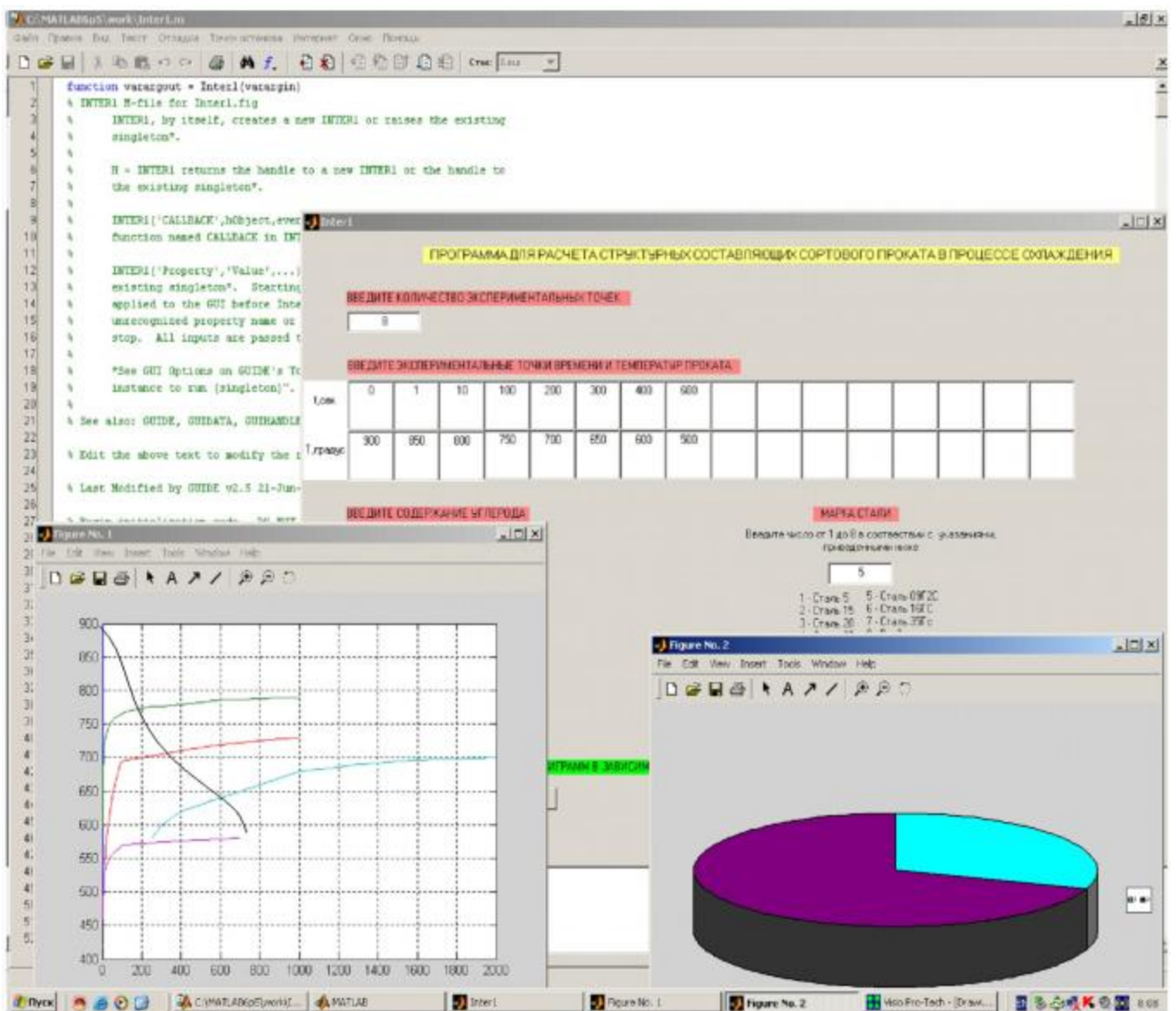


Рис. 3. Пример расчета структурных составляющих в стали при охлаждении проката

дим контроль и за процессом охлаждения катанки, отвечающим за протекание фазовых превращений, в ходе которых формируется структура стали. При термическом упрочнении изменения температурного поля по сечению катанки существенны. Нередко при ускоренном охлаждении разница температур между центром и поверхностью может достигать нескольких десятков градусов. Это, в свою очередь, может привести к формированию неоднородной структуры по сечению, подкалке на поверхности и ухудшению свойств горячекатаного проката.

Используемая нами модель распределения температурного поля по сечению катанки в процессе охлаждения позволяет подобрать наиболее рациональные режимы для высокоуглеродистых марок стали путем изменения давления воды в водоохлаждающих секциях при заданных диаметрах, марке стали и требуемых температур металла после участка охлаждения (рис. 2). Возможности этой математической модели также позволяют регламентировать разность температур по сечению и получать необходимый режим охлаждения. При таких условиях катанка по сечению будет охлаждаться равномерно, что может гарантировать формирование структуры сорбитообразного перлита с минимальным межпластинчатым расстоянием и тем самым обеспечивать необходимый комплекс заданных механических и эксплуатационных свойств. С этой точки зрения, важно управлять процессом ускоренного охлаждения проката.

Для определения фазового состава стали разрабо-

тана математическая модель «прогнозирования микроструктуры стали», реализованная на языке программирования Matlab. Модель позволяет определить ход диффузионного превращения, наличие тех или иных структурных составляющих в количественном эквиваленте и подбирать условия охлаждения, сопровождающиеся образованием оптимальной структуры сорбита и получения наилучшего сочетания прочностных и пластических свойств.

В качестве исходных параметров прокатки задается термокинетическая диаграмма стали необходимого химического состава и режимы охлаждения, полученные в программе расчета температурного поля проката или экспериментальным путем. Программа позволяет определить в процентном соотношении структурные составляющие в стали, на основании чего становится возможным спрогнозировать уровень механических характеристик проката.

Проверка адекватности каждой из используемых в исследовании математических моделей осуществлялась в промышленных условиях ОАО «ММК» и ОАО «БМК» и показала высокую сходимость расчетных и экспериментальных данных [4, 5].

В заключение хотелось бы отметить, что управление структурой и свойствами проката из высокоуглеродистых марок стали на основе математического моделирования значительно облегчает и упрощает выбор режима горячей прокатки и регулируемого охлаждения, способствуя повышению качественных характеристик как проката, так и готовой металлопродукции.

Список литературы

1. Иводитов Н.А., Горбанев А.А. Разработка и освоение технологии производства высококачественной катанки. М.: Металлургия, 1989. С. 256.
2. Влияние режимов прокатки на проволочном стане 170 ОАО «ММК» на структуру и свойства катанки из низко- и высокоуглеродистых марок стали / Б.А.Дубровский, Б.А.Никифоров, Л.В.Радионова, Ю.В.Бужланова // Производство конкурентоспособных метизов: Сб. науч. трудов. Вып. 1. Магнитогорск, 2006. С. 13–17.
3. Математическое моделирование температурного режима прокатки на непрерывных сортовых станах / К.С.Тумбасов, Ю.В.Бужланова // Наука. Технологии. Инновации: Материалы Всерос. научной конференции молодых ученых: В 7 ч. Новосибирск, 2006. Ч. 1. С. 123–125.
4. Математическое моделирование температурного поля катанки на линии ускоренного охлаждения прокатного стана / Б.А. Дубровский, Л.В.Радионова, О.А.Сарапулов // Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства. Ч. 1. Череповец: ГОУ ВПО «ЧГУ», 2006. С. 122–125.
5. Математическое моделирование структуро- и свойствообразования при горячей прокатке и регулируемом охлаждении / Тумбасов К.С., Радионова Л.В. // XIX Уральская школа металлургов-термистов «Актуальные проблемы физического металлургии сталей и сплавов», Екатеринбург, 4–8 февр. 2008 г. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008. С. 167.

List of literature

1. Ivoditov N.A., Gorbanev A.A. Design and production technology of the high-quality rod. M.: Metallurgy, 1989. P. 256.
2. The impact of the rolling modes at the rod mill 170 of the OJSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works" on the rod structure and properties made of low- and high-carbon steel grades / B.A.Dubrovsky, B.A.Nikiforov, L.V.Radionova, U.V.Buzhlanova // The production of the competitive wire products: Collection of scientific works. Edition 1. Magnitogorsk, 2006. P. 13–17.
3. Mathematical modeling of the rolling temperature mode at the continuous casting mills / K.S. Tumbasov, U.V. Buzhlanova // Science. Technologies. Innovations. Materials of the Russian scientific conferences of young scientists: V7h. Novosibirsk, 2006. Part 1. P. 123–125.
4. Mathematical modeling of the rod temperature field at the rapid cooling line of the rolling mill / B.A. Dubrovsky, L.V. Radionova, O.A. Sarapulov // Progressive processes and equipment of iron and steel production. Part 1. Cherepovets: the State Educational Enterprise of the Higher Professional Education "CSU", 2006. P. 122–125.
5. Mathematical modeling of the structure and property formation in hot rolling and controlled cooling / K.S. Tumbasov, L.V. Radionova // XIX Ural School of metallurgists and heat-treaters "Contemporary problems of the physical metallurgy of steel and alloys". Ekaterinburg, 4–8 February 2008. Ekaterinburg: UGTU-YPI, 2008. P. 167.