



The experimental investigations of the structure and characteristics of the rolled wire cooled by air streams of different rates, imitating the conditions of the second stage of cooling of the modern high-speed rolled mills, are carried out. The results of investigations showed the necessity to increase the maximum possible rate of air stream at the second stage of cooling in comparison with the available at the many mills cooling rate.

*В. В. ФИЛИППОВ, В. А. ТИЩЕНКО, РУП «БМЗ»,
А. Ю. БОРИСЕНКО, Г. В. ЛЕВЧЕНКО, А. А. ГОРБАНЕВ,
Институт черной металлургии НАН Украины*

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КАТАНКИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ВОЗДУШНЫМИ ПОТОКАМИ

УДК 621.771.25.04.001.5

Свойства средне- и высокоуглеродистых сталей определяются дисперсностью и морфологией перлита, которые зависят от температуры превращения аустенита. Оптимальное сочетание прочностных и пластических свойств в таких сталях наблюдается в случае превращения аустенита при температурах, соответствующих его минимальной устойчивости, т. е. в нижней части перлитного интервала. На этом базируются известные варианты процесса Стелмор и патентирование проволоки [1, 2]. Превращение аустенита в нижней части перлитной области обеспечивается либо интенсивным водяным и последующим воздушным охлаждением, либо изотермической обработкой в расплавах свинца или солей (патентирование). Межпластиночное расстояние в перлите после обработки по методу "Стелмор" обычно находится в пределах 0,13—0,20 мкм, а после патентирования — менее 0,1 мкм.

Однако обе технологии обладают недостатками. Интенсивное охлаждение водой на первой стадии процесса Стелмор может приводить к неоднородности структуры по сечению при прокатке катанки одного назначения, но различных диаметров, и подкалке поверхностных слоев. Патентирование в расплавах свинца или солей вредно с экологической точки зрения. Поэтому выполняются исследования режимов воздушного патентирования, при которых охлаждение катанки или проволоки до температур превращения аустенита осуществляется с помощью высокоскоростных потоков воздуха или защитного газа непосредственно в линии прокатного стана.

На опытной установке, состоящей из трубчатой электрической печи с кварцевой камерой нагрева, трайбаппарата для перемещения образцов и камеры струйного охлаждения, представляющей собой щелевое сопло с напорным коробом и смесителем, выполнены исследования влияния

скорости газового (воздушного) потока на структуру и свойства катанки из различных марок сталей. Образцы катанки длиной 400—500 мм нагревали до температуры 1000 °С, выдерживали при этой температуре в течение 5 мин до полной аустенитизации, а затем охлаждали до 200 °С потоком воздуха, скорость которого варьировали в пределах 0—100 м/с. Скорость воздушного потока регулировали путем изменения давления в напорном коробе и рассчитывали по методике, приведенной в работе [3].

Кривые охлаждения образцов записывали с помощью осциллографа Н-1117, в центр образцов были зачеканены хромель-алюмелевые термодатчики диаметром 0,2 мм. Были также записаны кривые охлаждения катанки диаметром 8,0 и 6,5 мм при патентировании в свинце ($T_{\text{расп.}} = 600 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$) и селитре ($T_{\text{расп.}} = 450 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$), которые сравнивали с кривыми охлаждения высокоскоростными и воздушными потоками.

Для определения структуры металла в процессе охлаждения в ряде случаев охлаждение воздушными потоками проводили до различных температур, а затем образцы закаливали в воде. Изменяли также скорость воздушного потока в различных интервалах исследуемого диапазона температур 1000—200 °С.

По кривым охлаждения определяли основные температурно-временные параметры превращения аустенита в катанке. Механические свойства образцов после охлаждения испытывали при растяжении по ГОСТ 1497. На каждую точку испытывали по 10 образцов. С помощью металлографического анализа изучали микроструктуру по сечению катанки. Определяли количественные соотношения структурных составляющих и дисперсность перлита по ГОСТ 8233. В необходимых случаях с помощью электронномикроскопического анализа определяли межпластиночное расстояние в перли-

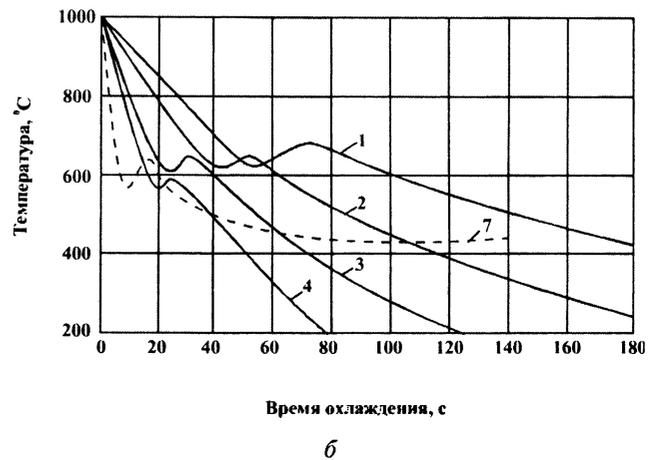
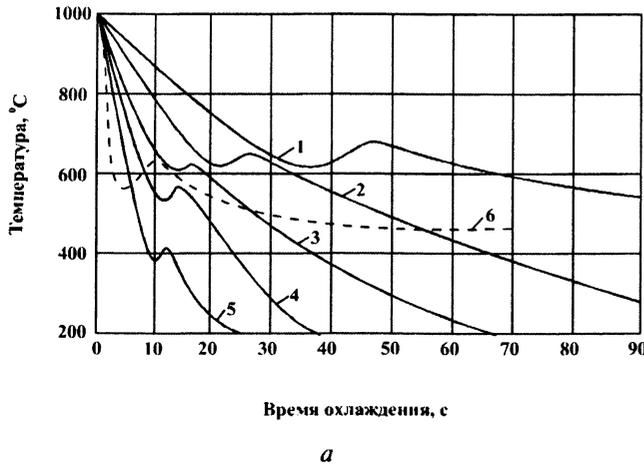


Рис. 1. Кривые охлаждения высокоуглеродистой катанки из стали 80 диаметром 6,5 мм (а) и 8,0 мм (б): 1 — спокойный воздух; 2 — 5 — скорость воздушного потока соответственно 10, 20, 60 и 100 м/с; 6, 7 — охлаждение в расплаве селитры

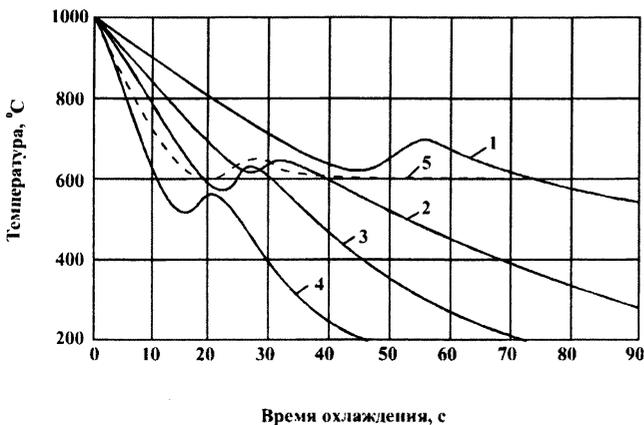


Рис. 2. Кривые охлаждения катанки диаметром 6,5 мм из стали ШХ15: 1 — спокойный воздух; 2 — 4 — скорость воздушного потока соответственно 10, 20 и 60 м/с; 5 — охлаждение в расплаве свинца

вращения также весьма близки. Это позволяет заключить, что условия превращения аустенита в обоих случаях практически одинаковы и должны приводить к формированию структур с весьма близкими морфологическими параметрами.

Увеличение скорости потока воздуха от 20 до 100 м/с приводит к дальнейшему понижению температурного интервала превращения и сокращению времени превращения. Так, при скорости потока 60 м/с превращение аустенита начинается при 550—525 °С, т.е. в области температур, обычно используемых для патентирования углеродистых сталей. Время превращения при скорости 60 м/с уменьшается примерно в 2,5—3,0 раза по сравнению со скоростью потока 10 м/с, т.е. скоростью, обычно применяемой на большинстве транспортеров Стелмор.

Увеличение скорости воздушного потока уменьшает длительность инкубационного периода, т.е. время от начала охлаждения до начала превращения. Так, при скорости потока 60 м/с инкубационный период уменьшается примерно в 1,6 раза по сравнению со скоростью потока 20 м/с и в 3 раза по сравнению с воздушным патентированием (охлаждение на спокойном воздухе).

При увеличении диаметра катанки до 8 мм скорость охлаждения до температуры начала превращения и время превращения уменьшаются и, как следствие, понижение температуры превращения с ростом скорости воздушного потока становится меньше (рис. 1, б). Увеличивается также длительность инкубационного периода. Поэтому для обеспечения одинаковых условий превращения аустенита при температурах ниже 600 °С при увеличении диаметра катанки требуются большие скорости воздушного потока.

Аналогичные зависимости параметров превращения аустенита от скорости потока воздуха наблюдались и при охлаждении катанки из стали ШХ15 (рис. 2). Отличие состоит в том, что инкубационные периоды и длительность превращения при одинаковых скоростях воздушного потока у этой стали больше, чем у стали 80, что обуслов-

те. Микроструктуру поверхностного слоя катанки оценивали на глубине 0,3 мм от поверхности образцов для исключения влияния возможного обезуглероживания поверхностной зоны.

Исследованные высокоуглеродистые стали обладают большой скрытой теплотой превращения, поэтому на всех кривых охлаждения наблюдается рекалесценция — повышение температуры после начала перлитного превращения (рис. 1, 2). Этот разогрев необходимо учитывать при расчете режимов воздушного охлаждения катанки на роликовых транспортерах проволочных станков, а также установок газового патентирования проволоки.

Анализ кривых охлаждения показывает, что увеличение скорости потока воздуха сопровождается снижением температуры и уменьшением длительности превращения. Уже при скорости воздушного потока 20 м/с температурный интервал снижается до 600—620 °С и практически сравнивается с температурой начала превращения при патентировании в расплаве селитры, хотя скорость охлаждения от 1000 до 600 °С при патентировании почти вдвое выше (рис. 1, а). Максимальные температуры разогрева и длительность пре-

лено легированием стали ШХ15 хромом, который повышает устойчивость аустенита.

Представленные данные свидетельствуют о том, что с помощью воздушного охлаждения со скоростями 20—100 м/с можно осуществлять превращение аустенита в катанке диаметром 6,5—8,0 мм из высокоуглеродистой стали в интервале температур 500—600 °С, в котором формируются перлитные структуры с малой величиной зерна и минимальным межпластиночным расстоянием, обеспечивающие благоприятное сочетание прочностных и пластических свойств металла (см. таблицу).

Катанка, охлажденная на спокойном воздухе, имела более низкие прочностные свойства и относительное сужение по сравнению с катанкой, охлажденной по способу Стелмор на стане 150 БМК до его реконструкции. Микроструктура этой

катанки аналогична структуре, показанной на рис. 3, 4. В поверхностной зоне наблюдался перлит 1-го балла по ГОСТ 8233 и 1—2 % структурно свободного феррита в виде единичных участков. Во всем остальном сечении количество феррита возрастало до 3 % на катанке, охлажденной на спокойном воздухе, и до 3—5 % — на катанке, охлажденной по способу Стелмор на БМК. Наряду с перлитом 1-го балла присутствовало 15—20 % перлита 2-го балла. Размер зерна перлита на катанке БМК мельче, что объясняется использованием первичного охлаждения катанки водой, фиксировавшего измельченное деформацией зерно аустенита.

Охлаждение катанки от 1000 до 20 °С со скоростью 10 м/с, соответствующей скорости потока на большинстве станов, оборудованных линиями Стелмор, значительно увеличило σ_b , σ_T и ψ по

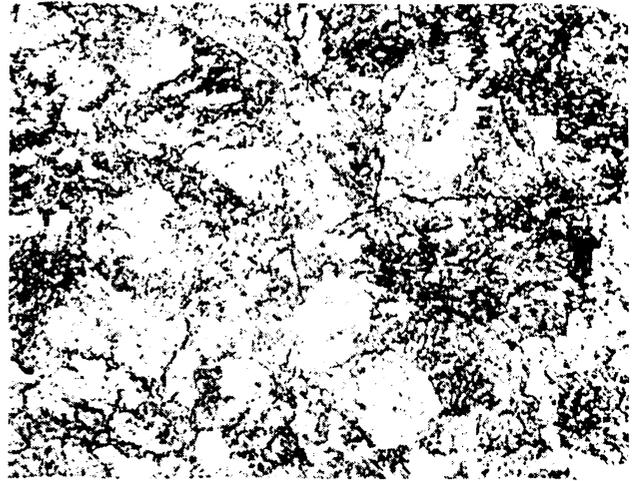
Влияние скорости воздушного потока на структуру и свойства катанки диаметром 6,5 мм из стали 80

Способ охлаждения	Режим охлаждения, скорость потока	Температура начала превращения, °С	Скорость охлаждения, °С/с		Механические свойства, X				Структурное состояние			
			от 1000 °С до начала превращения	от 1000 до 200 °С	$\bar{\sigma}_b$, Н/мм ²	$\bar{\sigma}_T$, Н/мм ²	$\bar{\delta}$, %	$\bar{\psi}$, %	перлит, ГОСТ 8233	% феррита	% бейнита	номер зерна, ГОСТ 5639
Патентирование	Селитра, 450 °С	635	51,0	—	1287	932	11	26,0	16	< 3	5	9
Стелмор	Водой до 750 °С, вент. № 6-10-100% скор.тр-ра 0,45 м/с	620	18,1	—	1041	742	15	32,0	85% — 16 15% — 26	1-2 пов. 3-5 центр	—	8-9 пов. 8-7 центр
	Спокойный воздух	635	10,4	2,8	967	705	16	23,8	80% — 16 20% — 26	2-3	—	7
	10 м/с	625	17,0	5,2	1039	744	15	32,0	90% — 16 10% — 26	2-3	—	8
Воздух, от 1000 до 200 °С	20 м/с	600	30	6,4	1085	803	14	36,8	100% — 16	1	—	8
	40 м/с	550	36	8,1	1173	850	13	39,3	5% — Т 95% — 16	< 1	1-2	8
	60 м/с	500	41,7	10,0	1234	905	12	36,2	10% — Т 5% — Б 85% — 16	< 1	5	*
	80 м/с	490	51,5	15,2	1298	958	12	32,3	15% — Т 10% — Б 75% — 16	—	5-10	*
	100 м/с	390	66,7	18,8	1351	984	11	29,8	20% — Т 15% — Б 65% — 1Б	—	10-15	*

Примечание. X — среднearифметические значения; * — зерно не проявляется.



a

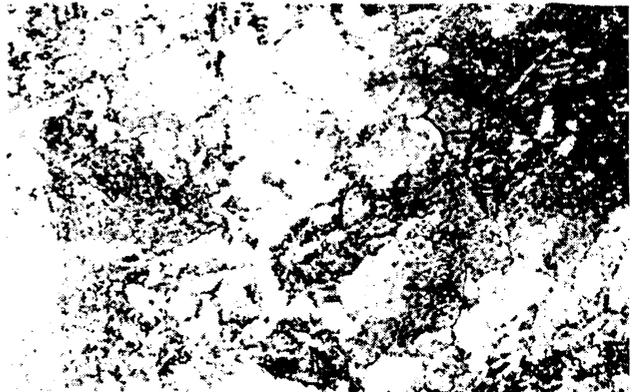


б

Рис. 3. Микроструктура катанки диаметром 6,5 мм из стали 80, охлажденной на линии Стелмор на стане 150 БМК: *a* — край, 0,3 мм; *б* — центр. $\times 800$

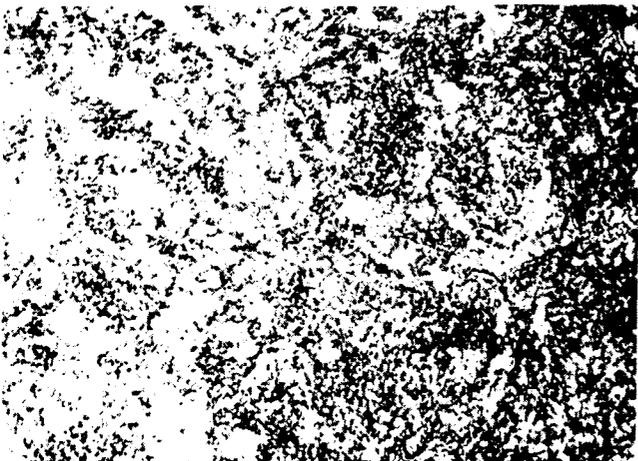


a



б

Рис. 4. Микроструктура катанки диаметром 6,5 мм из стали 80, охлажденной на спокойном воздухе: *a* — край, 0,3 мм; *б* — центр. $\times 800$



a



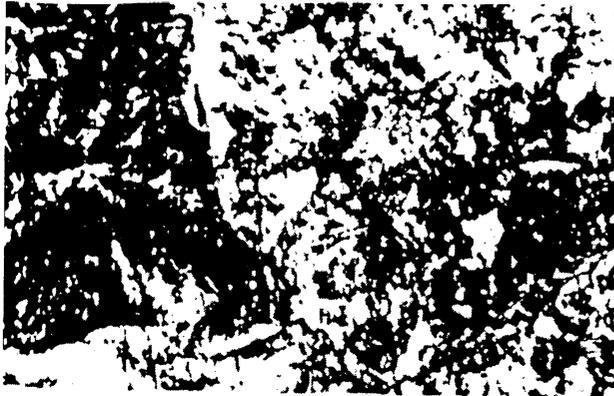
б

Рис. 5. Микроструктура катанки диаметром 6,5 мм из стали 80, охлажденной воздушным потоком со скоростью 20 м/с: *a* — край, 0,3 мм; *б* — центр. $\times 800$

сравнению с катанкой, охлажденной на спокойном воздухе, до 90 % возросло количество сорбитообразного перлита.

С увеличением скорости потока до 20 м/с временное сопротивление разрыву увеличилось на 45 Н/мм² по сравнению с катанкой, охлажденной

по способу Стелмор, на 4,8 % возросло относительное сужение, структура была равномерная по сечению с размером зерна номер 8 по ГОСТ 5639, вся структура состояла из сорбитообразного перлита 1-го балла, количество феррита по границам зерен не превышало 1 % (рис. 5).

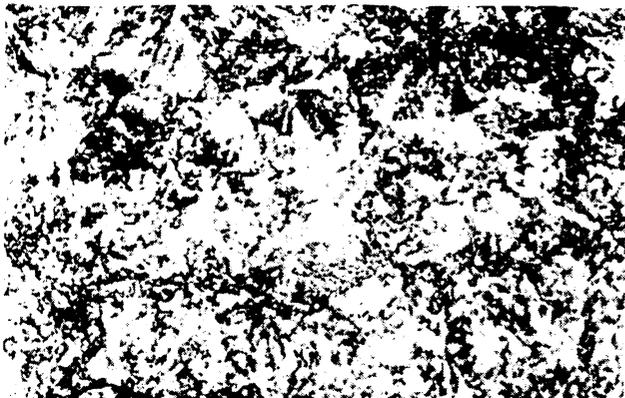


a

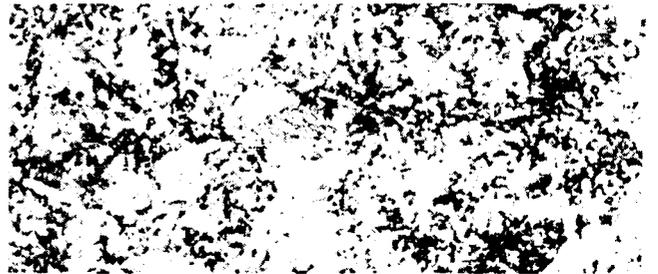


б

Рис. 6. Микроструктура катанки диаметром 6,5 мм из стали 80, охлажденной воздушным потоком со скоростью 60 м/с: *a* — край, 0,3 мм; *б* — центр. $\times 800$



a



б

Рис. 7. Микроструктура катанки диаметром 6,5 мм из стали 80, охлажденной воздушным потоком со скоростью 100 м/с: *a* — край, 0,3 мм; *б* — центр. $\times 800$

Дальнейший рост скорости воздушного потока сопровождается монотонным увеличением временного сопротивления разрыву и предела текучести и медленным снижением относительного удлинения с 14 до 11 %, относительное сужение сначала возрастает и при скорости потока 40 м/с достигает 37 %, затем медленно снижается до 30 % при скорости 100 м/с, оставаясь однако большим, чем требуется по стандарту на канатную катанку. Причиной такого изменения механических свойств является увеличение дисперсности перлита, а при скорости потока более 40 м/с — увеличение количества троостита (рис. 6, 7).

Оптимальным, по-видимому, является охлаждение потоком воздуха со скоростью 40–60 м/с. Структура катанки при этих скоростях состоит из перлита 1-го балла (сорбит), 5–15 % троостита и отдельных мелких участков феррита (менее 1 %). Временное сопротивление разрыву при этом находится в пределах 1173–1234 Н/мм², относительное удлинение и сужение — соответственно на уровне 12–13 и 36–39 %. Этот уровень свойств характерен для патентованной катанки.

Обращает на себя внимание однородность структуры по сечению катанки при охлаждении ее потоком воздуха со скоростью 20 м/с и более.

Даже при скорости потока 100 м/с, когда при распаде аустенита во всем сечении образуется 20 % троостита и бейнита, не наблюдается подкалки поверхностных зон катанки.

При скоростях более 40 м/с превращение аустенита происходит не по диффузионному, а по сдвиговому принципу и выделяется бейнит, представляющий собой мелкие выделения цементита в ферритных пластинах. Так, увеличение скорости потока воздуха от 60 до 100 м/с повышает содержание троостита от 10 до 20 % и бейнита — от 5 до 15 %. Образование бейнита происходит без закалки поверхностных слоев катанки. Охлаждение катанки высокоскоростными струями воздуха выгодно отличается от охлаждения водой, при котором возможна подкалка поверхности и развитие структурной неоднородности по сечению катанки.

Приведенные результаты показывают, что охлаждение катанки высокоскоростными воздушными потоками позволяет осуществлять превращение аустенита при температурах нижней части перлитного превращения (500–550 °С) с формированием структуры и свойств, характерных для патентованной стали. При этом возможно получить высокие прочностные и пластические свойства, которые требуются для катанки некоторых

назначений, например, для производства высокопрочной арматурной проволоки, при этом сокращается операция патентирования.

Исследования структуры и свойств катанки, охлажденной воздушными потоками различной скорости, показали необходимость увеличения максимально возможной скорости воздушного потока на второй стадии охлаждения по сравнению с существующей на большинстве станов (10—15 м/с).

Результаты исследований использованы при реконструкции участков охлаждения станов 150 БМК и БМЗ. Так, на проволочном стане БМК

после реконструкции максимальная скорость воздушного потока увеличена до 75 м/с. На стане 150 БМЗ установлены вентиляторы производительностью 96 и 154 тыс. м³/ч, что в 1,5—2,4 раза больше, чем имели ранее установленные вентиляторы.

Литература

1. И в о д и т о в А. Н., Г о р б а н е в А. А. Разработка и освоение технологии производства высококачественной катанки. М.: Металлургия, 1989.
2. П о т е м к и н К. Д. Термическая обработка и волочение высокопрочной проволоки. М.: Metallurgizdat, 1963.
3. Г о р л и н С. М. Экспериментальная аэромеханика: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1970.



СПРАВОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ ПО МЕТАЛЛУРГИИ

Правильный выбор сталей и сплавов, а также изготавливаемой из них металлопродукции обеспечивает высокую технологичность конструкции изделий, экономию материальных ресурсов и снижение себестоимости изделий в целом. Предлагаемые издания помогут специалистам найти необходимую информацию, не обращаясь к большому количеству первоисточников.

1. Кто есть кто в металлургии России: Справ. изд. М.: Интернет Инжиниринг, 1999. 312 с. (201254 669 К 87).

Приводятся краткие биографические данные и характеристики научно-производственной деятельности специалистов-металлургов, работающих в различных отраслях металлургического комплекса с указанием наименований предприятий, организаций, адресов, телефонов, факсов.

2. Машиностроение: Энцикл.: В 40 т.: Разд. 2: Материалы в машиностроении. Т. II-2: Стали. Чугуны / Ред.-сост. О. А. Банных, Н. Н. Александров. М.: Машиностроение, 2000, 780 с. (181027 621 М38).

Приводятся свойства, химический состав, области применения сталей и рекомендации по их выбору. Описываются особенности маркировки зарубежных сталей, а также некоторые зарубежные аналоги и автоматизированные банки данных по свойствам сталей. Характеризуются механические, технологические и эксплуатационные свойства чугунов, режимы термической обработки и особенности получения отливок, методы испытания и контроля их качества.

3. Машиностроение: Энцикл.: В 40 т.: Разд. 4: Расчет и конструирование машин. Т. IV-5: Машины и агрегаты металлургического производства / Ред.-сост. В. М. Синицкий, Н. В. Пасечник. М.: Машиностроение, 2000. 912 с. (193721 621 М 38).

Содержатся сведения по расчетам, конструкциям, техническим характеристикам металлургических машин и планировочным решениям металлургических цехов. Освещается мировой опыт в области создания современного уникального металлургического оборудования для получения полуфабрикатов и готовых изделий из черных и цветных металлов.

4. Стали и сплавы. Марочник: Справ. / В. Г. Сорокин, М. А. Гервасьев, В. С. Палеев и др.; Под ред. В. Г. Сорокина. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 608 с. (201177 669 С 76).

Характеризуется 380 марок сталей и сплавов черных металлов. Для каждой марки указываются назначение, виды поставки, химический состав, механические свойства в зависимости от состояния поставки, температуры испытаний, режимов термообработки, поперечного сечения заготовок и

других свойств.

5. Стали и стальная металлопродукция. Марки сталей и сплавов. Технические условия на стальную металлопродукцию. Сортамент стальной металлопродукции: Справ. Н. Новгород: ВЕНТА-2, 2000. 375 с. (Б-ка гл. инженера). (190434 669 С 76 НТД).

Первый раздел "Марки сталей и сплавов" включает около 300 наиболее распространенных марок сталей и сплавов, структуру условных обозначений марок и области их применения в машиностроении. Во втором разделе "Технические условия" приводятся основные параметры металлопродукции, примеры их условных обозначений в конструкторской документации, механические свойства металлопродукции. Третий раздел "Сортамент" содержит данные в табличной форме, рисунки, характеризующие сортамент всех видов металлопродукции, вошедших в данный справочник.

6. Теплотехнические расчеты при автоматизированном проектировании нагревательных и термических печей: Справ. / В. Л. Гусовский, А. Е. Лифшиц, В. Г. Масалович, А. Б. Усачев; Под ред. А. Б. Усачева; Ин-т тепловых металлург. агрегатов и технологии "СТАЛЬПРОЕКТ". М.: Черметинформация, 1999. 184 с. (190850 669 Т 34).

Рассматриваются основные принципы математического моделирования и блок-схемы машинного расчета тепловых агрегатов, в т. ч. печей непрерывного действия и камерных печей различного назначения. Даются исходные уравнения, математические модели и схемы расчетов.

7. Энциклопедический словарь по металлургии: В 2 т. / Гл. ред. Н.П. Лякишев; РАН; Ин-т металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова; Междунар. союз металлургии. М.: Интернет Инжиниринг, 2000.

Т. 1: А-О.-411 с. (188738 669 Э 68)

Т. 2: П-Я.-408 с. (188740 669 Э 68).

Содержит более 6000 статей-терминов, систематизированные сведения по металлургии как области науки и производства и смежным ей научным дисциплинам и отраслям промышленности.

Издания не продаются!

(В скобках указаны шифры хранения изданий в библиотеке).

Ознакомиться с изданиями, заказать копии отдельных страниц или всего издания можно по адресу: г. Минск, проспект Машерова, 7, РНТБ, читальный зал научно-технической литературы (к. 602), тел. (017) 226-61-88 и читальный зал нормативно-технической документации (к. 503), тел. 223-83-34.