



*The data on the technology of heating and thermal treatment of a new branch of steel for the hot deformation dies are set forth in the article.*

*В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, БГПА, А. Б. СТЕБЛОВ, АП КЖИ № 214,  
 В. В. ФИЛИППОВ, В. С. ТИМОФЕЕВ, В. А. ТИЩЕНКО, РУП "БМЗ",  
 Д. В. ЛЕНАРТОВИЧ, БГПА*

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАГРЕВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

УДК 621.778.078

Развитие отечественного машиностроения, производительность формообразующего оборудования во многом определяются стойкостью штампов и штамповой оснастки. В качестве сталей для штампов горячего деформирования более 30 лет используются стали 5ХНМ, 4ХМФС, 4Х2МНФ. Интенсификация процессов обработки давлением в штампах и молотах обуславливает необходимость повышения комплекса физико-механических свойств штампов: теплостойкости, сопротивления смятию, износостойкости.

В 1991—1992 гг. БГПА и БМЗ совместно провели комплексные исследования, направленные на создание стали для штампов горячего деформирования с условным названием БИС-1, БИС-2. Промышленное опробование разработанной новой штамповой стали для горячего деформирования показало, что стойкость штампов из этой стали, используемых на предприятиях Беларуси ("Минсктракторозапчасть", СИиТО, "Автогидроусилитель"), возросла по сравнению со сталью 5ХНМ в 1,4—2,2 раза. Однако в процессе исследований было установлено, что количество дефектов поверхности по трещинам значительно превышает средний уровень дефектов по заводу и выходу годного. Были выявлены причины, приводящие к заporоченности поверхности проката дефектами в виде трещин в пределах 68—95 % и браку по рванинам и трещинам до 47—58% от массы плавки. Металлографическим анализом установлено, что эти дефекты относятся к нарушениям при разливке и нагреве заготовок. Для классификации дефектов были отобраны пробы для металлографического анализа. Установлено, что дефекты макроструктуры, классифицируемые как кристаллизационные трещины, образовались при охлаждении заготовок после разливки во время быстрого нагрева, что привело к развитию трещин напря-

жения при прокатке. Низкая технологичность, повышенное количество брака — основные причины прекращения дальнейшего производства сталей этого класса.

В данной статье сделана попытка проанализировать причины повышенного брака и на этой основе рекомендовать технические решения, которые позволят возобновить производство сталей для штампов горячего деформирования в соответствии с принятой на РУП "БМЗ" программой импортозамещения сталей для Беларуси. В [1] было приведено краткое описание технологии производства опытных плавов на БМЗ новой стали БИС-1 для штампов горячего деформирования. Всего было выплавлено 14 плавов, химический состав которых приведен в таблице.

Металл разливали на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ-3) в блюмы сечением 300×400 и 250×300 мм, которые затем передавали в сортопрокатный цех для дальнейшей обработки. Часть плавов (5 плавов) укладывали в штабель и укрывали колпаками, под которыми металл находился до полного охлаждения. Длительность охлаждения составляла не менее 32 ч. В холодном состоянии металл загружался в нагревательную методическую печь с шагающими балками, где происходил нагрев до температуры деформации на стане 850.

Нагрев производили в соответствии с технологической инструкцией завода по режиму для 3-й группы легированных марок сталей. Другую часть плавов садили в нагревательную печь в горячем состоянии при температуре не менее 800°С.

Первая плавка с холодного посада нагревалась согласно технологической инструкции за 2,5 ч и прокатывалась по существующей на БМЗ схеме калибровки на сортовой круг диаметром 150 мм. Уже на первых заготовках максимальное усилие

Содержание, %	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Al	B
Минимальное	0,24	0,24	0,53	0,84	1,33	0,36	0,07	0,05	0,02	0,001
Максимальное	0,49	0,26	0,60	0,97	1,56	0,48	0,2	0,06	0,05	0,003
Среднее	0,47	0,25	0,56	0,88	1,43	0,40	0,153	0,05	0,036	0,002

прокатки достигало значений 6480 кН при допустимом 5550 кН. Прокатка плавки была прекращена, температура в печи (зоны 3—7) была повышена в среднем на 20 °С и длительность выдержки в печи увеличена на 40 мин. Дальнейшая прокатка заготовок показала, что давление металла не превышало предельных значений и находилось в диапазоне 2100—5400 кН. На этой плавке было установлено максимальное количество брака по поверхностным трещинам — 4,1% от массы плавки. Также отмечена 95%-ная зачистка поверхности проката по трещинам. В последующих плавках холодного и горячего посада длительность нагрева по технологической инструкции увеличивалась в среднем на 30 мин, что обеспечивало прокатку заготовок без превышения предельных значений давления металла на валки.

На основании анализа данных по опытным плавкам авторами были выполнены расчеты изменения теплового состояния заготовок стали БИС-1 при нагреве с температурой посада от 20 до 800 °С. Результаты расчетов по математической модели [2] учитывали повышенную степень легирования металла и возникающие температурные напряжения в зависимости от скорости изменения температуры металла по сечению заготовки. Были сделаны выводы, которые дают возможность внести изменения в технологическую инструкцию по нагреву сталей 3-й группы.

На рис. 1 приведены данные по установленным расчетным температурным интервалам в зонах печи для заготовок холодного и горячего посада, которые, по нашему мнению, позволяют

избежать возникновения трещин напряжения при нагреве и снизить количество брака по поверхностным дефектам.

Анализ изменения температуры нагрева металла в зависимости от температуры посада, длительности нахождения заготовок в печи и давления металла на валки показал, что, учитывая повышенное сопротивление деформации опытной марки стали, длительность нагрева заготовок холодного посада сечением 300×400 мм должна быть не менее 3,2 ч. На заготовках горячего посада необходимое качество нагрева обеспечивается за 2,4—2,7 ч. При нагреве заготовок сечением 250×300 мм длительность нагрева может быть снижена до 3 ч на заготовках холодного посада и до 2 ч — на заготовках горячего посада. Температура в нижних зонах печи (2-я и 4-я зоны) должна составлять не менее 1300 °С. Для снижения вероятности появления внутренних и поверхностных трещин из-за возникающих напряжений по сечению заготовки посад литых заготовок в нагревательную печь необходимо производить сразу после разливки, т.е. при среднемассовой температуре более 650 °С.

После прокатки заготовок на стане 850 охлаждение горячекатаного проката осуществляется на речном холодильнике с последующей термообработкой в колодцах регулируемого охлаждения. Конструкция нагревательного колодца и способ укладки проката в поддоны показаны на рис. 2. Термическая обработка полученного проката необходима, так как охлаждение на воздухе приводит к образованию структуры мартенсита и соответственно значительным внутренним напряжени-

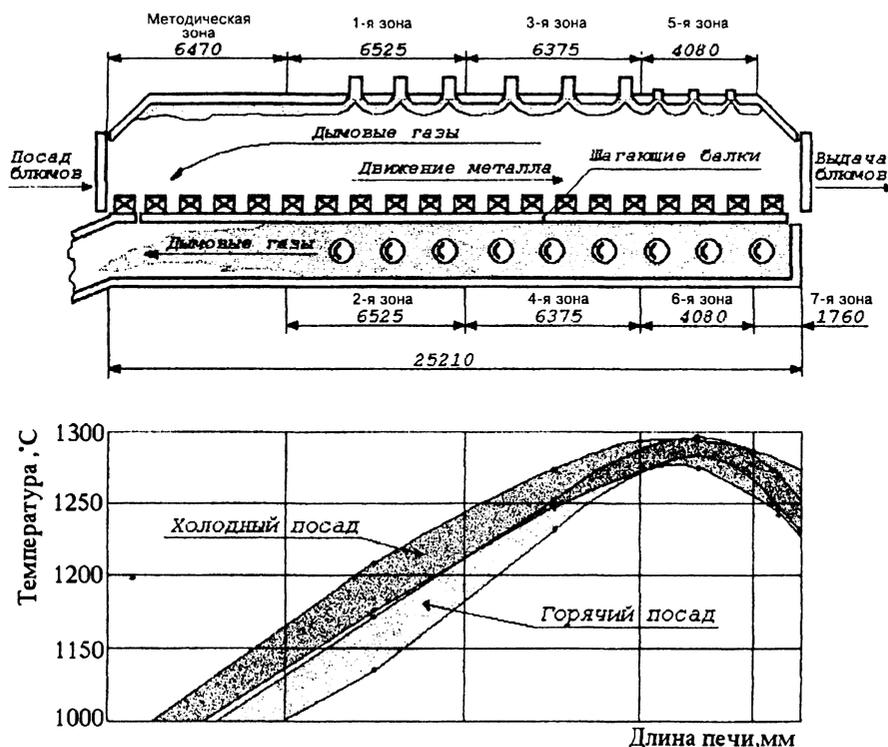


Рис. 1. Изменение температуры по зонам печи

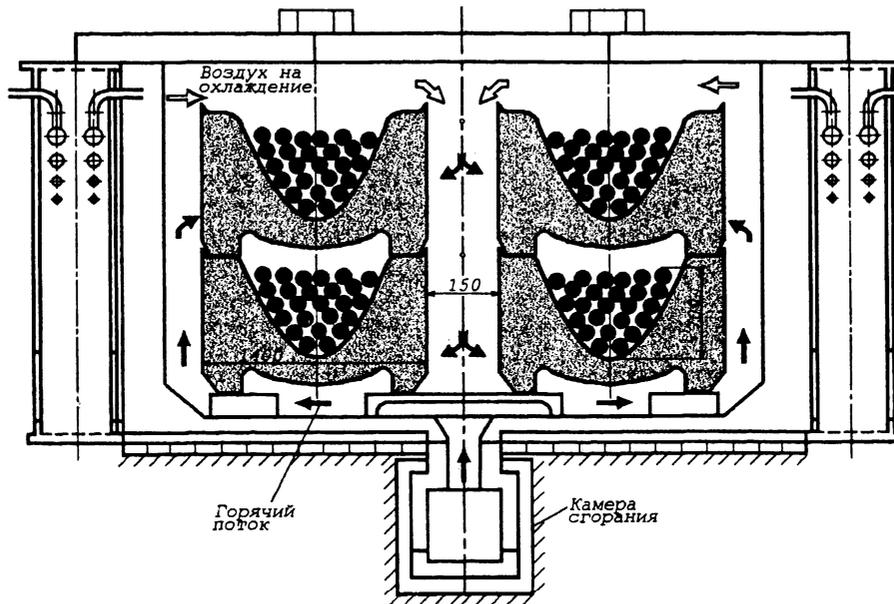


Рис. 2. Схема загрузки металла в нагревательные колодцы

ям в металле и высокой твердости. Дальнейшая механическая переработка металла без его предварительной термообработки невозможна. Готовый прокат опытных плавок первоначально проходил термообработку в соответствии с действующими технологическими режимами для 3-й группы сталей.

По технологическим возможностям колодцев максимальная температура нагрева составляет  $790^{\circ}\text{C}$ , что, вероятно, ниже точки  $A_{c3}$  (для стали 5ХНМ —  $780^{\circ}\text{C}$  [3], а для стали 4Х2НМФ —  $820^{\circ}\text{C}$ ). По этой причине проведение полного отжига стали БИС-1 в условиях БМЗ невозможно. На рис. 3 приведен стандартный режим термообработки №1, который заключался в нагреве стали со скоростью  $40^{\circ}\text{C}/\text{ч}$  до  $650^{\circ}\text{C}$ , выдержкой при этой температуре 4 ч и охлаждении со скоростью  $20^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ . Продолжительность выдержки включает в себя время, необходимое на нагрев заготовок с учетом их расположения в рабочем пространстве колодца, и длительность выдержки для протекания процесса отпуска не менее 1,5 ч. Более плавное охлаждение после выдержки необходимо для диффузии водорода с целью исключения образования флокенов. После обработки стали по режиму №1 твердость проката составила 340–350 НВ, что соответствует твердости троостита и не удовлетворяет требованиям заказчика (не более 236 НВ). В микроструктуре сохраняется игольчатое строение  $\alpha$ -фазы, карбидные частицы дисперсны и несоагулированы, структура неравновесна, имеются участки мартенсита и бейнита.

Для более полного протекания смягчающих процессов был предложен режим №2, включающий в себя нагрев до температуры  $790^{\circ}\text{C}$ , выдержку в течение 6 ч, охлаждение до  $500^{\circ}\text{C}$ , выдержку в течение 6 ч и последующее охлаждение.

Скорости нагрева и охлаждения аналогичны режиму №1. Твердость проката, обработанного по режиму №2, составила 262–321 НВ, микроструктура представляет собой сорбит закалки и состоит из дисперсной смеси феррита и пластинчатого цементита.

Режим №3 отличается от режима №2 повторным нагревом до  $650^{\circ}\text{C}$ . При этом режиме твердость соответствует требованиям ТУ 3-572-88 и составляет 229 НВ. Структура стали, обработанная по режиму №3, представляет собой сорбит отпуска и характеризуется меньшей степенью дисперсности сфероидальных частиц цементита и завершением коагуляции карбидной фазы\*.

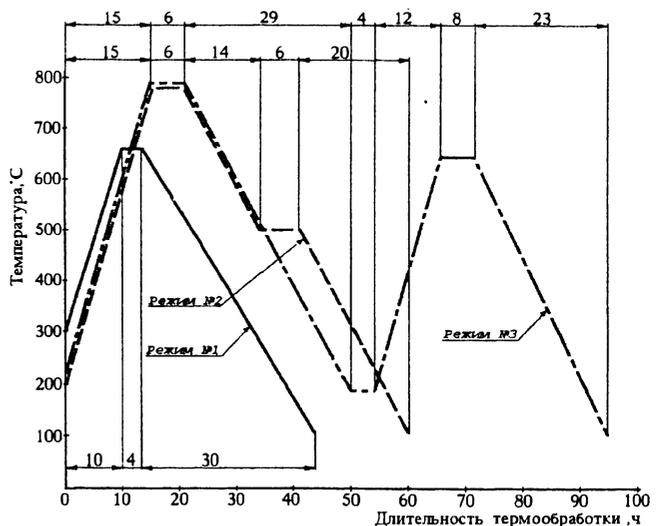


Рис. 3. Режимы термообработки штамповой стали

\*Режимы термической обработки предложены и опробованы с участием Ю. В. Дьяченко, В. Б. Закшевского, В. С. Тимофеева, В. Ф. Кушнаревой.

Результаты контроля микроструктуры на каждой плавке по ГОСТ 10243-75 свидетельствуют о том, что контролируемые показатели качества микроструктуры (подусадочная ликвация, точечная неоднородность, межкристаллитные трещины, ликвационные полосы, балл аустенитного зерна, величина обезуглероженного слоя) соответствуют требованиям заказчика. Кроме того, прокат контролировали на установке ультразвукового контроля (УЗК) на наличие внутренних несплошностей.

Контроль качества поверхности осуществляли на установке "Мекана" магнитопорошковым методом. Контрольный ток устанавливали на величину обнаружения дефектов глубиной 0,2 мм, что соответствует группе качества поверхности для горячей обработки по ГОСТ 4543-71.

Следует отметить, что даже на плавках со значительным количеством дефектов на поверхности расход электроэнергии на зачистку незначительно превышал средний уровень для этой марки стали. Это говорит о том, что глубина залегания дефектов небольшая и дефекты легко удалимы.

Обобщая сказанное выше, можно сделать следующее заключение.

В условиях БМЗ возможно производство штамповых сталей для горячего деформирования класса 5ХНМ. Разливка металла в заготовки сечением 300×400 мм обеспечивает достигнутый на предприятии уровень качества по макроструктуре и дефектам поверхности. Для минимизации количества дефектов на поверхности необходимо обязательно нагревать металл перед прокаткой только с горячего посада.

Расчетами установлено, что окисление поверхности заготовки, обращенной к своду в печи, в

среднем на 17% выше, чем на боковой или контактной к подине поверхности.

Ранее исследованиями было установлено, что количество дефектов по трещине в большей степени наблюдается на широкой грани заготовки, относящейся к большому радиусу разливочной дуги МНЛЗ. В связи с этим перед посадом заготовок в печь целесообразна кантовка заготовки, так, чтобы широкая грань заготовки с большим числом дефектов была обращена к своду печи. Данный технологический прием позволит удалить часть дефектов с окалиной. Необходимо также изменить режим деформации заготовки, учитывая лучшую выкатываемость дефектов при увеличении степени деформации и длительности контакта дефектной стороны с валками. Режим термообработки, по нашему мнению, требует самостоятельных серьезных исследований, направленных на снижение длительности пребывания металла в колодцах. При возможных значительных заказах на стали данного класса более 20 тыс. т в год следует предусмотреть реконструкцию одного колодца с целью повышения температуры нагрева от 790 до 860—880°C.

### Литература

1. Филиппов В. В., Тимошпольский В. И., Стеблов А. Б. и др. Производство штамповых сталей в условиях Белорусского металлургического завода // *Литье и металлургия*. 2000. № 4. С. 126—128.
2. Тимошпольский В. И., Ротенберг В. Е., Мандель Н. Л. и др. Численно-аналитический метод расчета температур, упруго-пластичных деформаций и напряжений при радиационно-конвективном нагреве пластин // *Республ. межведомств. сб. науч. тр.: Науч. и прикл. проблемы энергетики*. Мн.: Вышэйш. шк., 1988. Вып. 15.
3. Позняк Л. А., Скрынченко Ю. М., Тишаев С. И. *Штамповые стали*. М.: Металлургия, 1980.