



УДК 669.18
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-78-82

Поступила 17.01.2019
Received 17.01.2019

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАТАНКИ ИЗ ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВЫХ МАРОК СТАЛИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ СФЕРОИДИЗИРУЮЩИМ ОТЖИГОМ

С. В. АВДЕЕВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: teh.icm@bmz.gomel.by

Особенностью катанки из хромоникельмолибденовых марок стали, используемой в дальнейшем при производстве крепежа и автокомпонентов методом холодной объемной штамповки, являются предъявляемые потребителем высокие требования к качеству поверхности, микроструктуре и физико-механическим свойствам.

В процессе отработки технологии производства были выработаны и реализованы мероприятия, позволяющие минимизировать выявленные конструктивные особенности печей термообработки, и разработаны способы получения наиболее оптимальной первичной горячекатаной микроструктуры металла для дальнейшего проведения сфероидизирующего отжига.

В промышленных условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» были освоены наиболее оптимальные режимы термической обработки катанки из хромоникельмолибденовых марок стали, позволившие получить требуемый потребителем полный комплекс физико-механических свойств катанки из сталей марок 38ХНГМ, 40ХН2МА и 41Х1, используемой в дальнейшем при производстве крепежа и автокомпонентов методом холодной объемной штамповки.

Ключевые слова. Хромоникельмолибденовые марки стали, катанка, холодная объемная штамповка, сфероидизирующий отжиг, стали марок 38ХНГМ, 40ХН2МА и 41Х, микроструктура.

Для цитирования. Авдеев, С. В. Освоение технологии производства катанки из хромоникельмолибденовых марок стали с последующим сфероидизирующим отжигом / С. В. Авдеев // Литье и металлургия. 2019. № 1. С. 78–82. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-78-82.

THE DEVELOPMENT OF PRODUCTION TECHNOLOGY OF WIRE ROD FROM CHROMIUM–NICKEL–MOLIBDENUM STEEL GRADES WITH SUBSEQUENT ANNEALING SPHEROIDIZATION

S. V. AUDZEYEV, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: teh.icm@bmz.gomel.by

The peculiarity of the rod of chromium-nickel-molybdenum steel grades, used in the production of fasteners and automotive components by cold forming, are the high requirements for the quality of the surface, microstructure and physical and mechanical properties.

In the process of development of production technology were developed and implemented measures to minimize the identified design features of heat treatment furnaces, and developed methods for obtaining the most optimal primary hot-rolled metal microstructure for further spheroidizing annealing

In industrial conditions OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC» was mastered the most optimal regimes of heat treatment of wire rod from chromium-nickel-molybdenum steel grades, which required the consumer a full range of physical and mechanical properties of wire rod from steel grades 38ХНГМ, 40ХН2МА and 41Х1 used further in the manufacture of fasteners and automotive components by cold forging.

Keywords. Chromium-nickel-molybdenum steel grades, wire rod, cold forging, spheroidise annealing, steel grades 38ХНГМ, 40ХН2МА and 41Х, microstructure.

For citation. Audzeyev S. V. The development of production technology of wire rod from chromium-nickel-molibdenum steel grades with subsequent annealing spheroidization. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 1, pp. 78–82. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-78-82.

Главной особенностью катанки из хромоникельмолибденовых марок стали, используемой в дальнейшем при производстве крепежа и автокомпонентов методом холодной объемной штамповки, являются

предъявляемые потребителем высокие требования к качеству поверхности, микроструктуре и физико-механическим свойствам. В частности, различные потребители данной продукции одновременно регламентируют следующий комплекс требований, предъявляемых к данной продукции: высокие как прочностные, так и пластические свойства катанки; получение требуемой микроструктуры катанки, а именно наличие в микроструктуре термообработанной катанки зернистого перлита в количестве не менее 80% от общего количества имеющегося перлита; недопущение обезуглероживания поверхности катанки на глубину более 1,5% от номинального диаметра катанки и др.

Ранее на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» данная продукция не производилась. Освоение производства катанки осуществляли на линии катанки стана 370/150 сортопрокатного цеха № 2, термическую обработку – в камерных печах KL-11 стана 370/150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

Осваемая продукция – катанка диаметром от 11,5 до 18,5 мм из сталей марок 38ХГНМ, 41Х1 и 40ХН2МА в соответствии с требованиями одного из ведущих в РФ производителей автомобильного крепежа.

Проведенный анализ литературных источников по данной тематике показал, что отжиг на зернистый перлит (сфероидизирующий отжиг) применяют для доэвтектоидных марок сталей, к которым относятся стали марок 38ХГНМ, 40ХН2МА и 41Х1, для снижения твердости и улучшения обрабатываемости данных сталей. Сам отжиг может быть осуществлен несколькими способами, но для доэвтектоидных сталей он является достаточно сложным с технологической точки зрения ввиду того, что процесс термической обработки должен осуществляться в достаточно узком межкритическом температурном интервале с точным подбором скоростей нагрева и охлаждения, а также необходимого времени выдержки при определенных температурах.

Изначально в процессе отработки технологии производства были опробованы так называемые классические режимы сфероидизирующего отжига, описание которых приводится во многих литературных источниках. Данный режим термической обработки заключался в нагреве стали несколько выше линии PSK (точка A_{c1}), выдержке при этой температуре с последующим медленным охлаждением ниже линии PSK (точка A_{c1}), выдержке при этой температуре и последующим медленным охлаждением вместе с печью до температуры 300–350 °С. На рис. 1 показан один из примеров применения классического режима сфероидизирующего отжига, взятый из фактического графика термической обработки катанки из стали марки 38ХГНМ, опробованной в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

Практическая реализация различных вариаций классических режимов сфероидизирующего отжига по результатам их промышленных апробаций показала их низкую эффективность в связи с получением нестабильных результатов по доле зернистого перлита в микроструктуре термообрабатываемой катанки

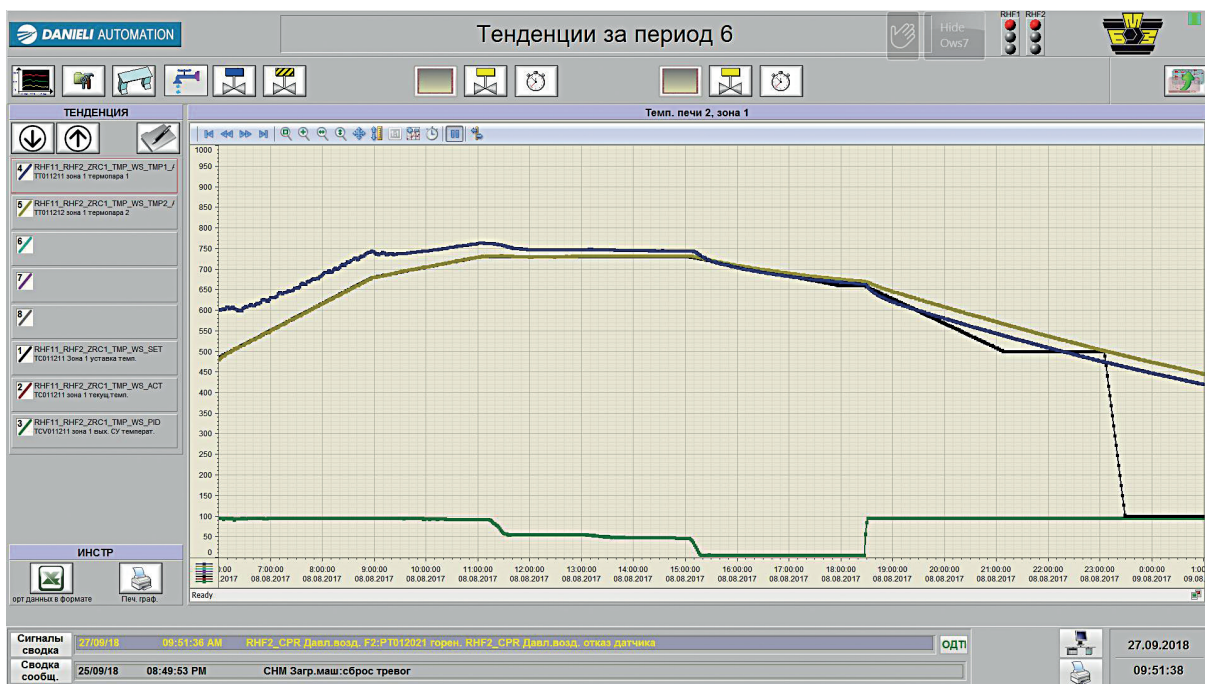


Рис. 1. Выдержка из температурно-временного графика проведения сфероидизирующего отжига катанки из стали марки 38ХГНМ

несмотря на различные вносимые изменения температур, времени выдержки, скоростей нагрева и охлаждения.

Также в процессе отработки технологии термической обработки сфероидизирующего отжига катанки из хромоникельмолибденовых марок стали были выявлены два технологических момента, непосредственно оказывающих влияние на получение стабильных результатов по зернистости перлита в микроструктуре термообрабатываемой катанки:

1) неравномерность распределения температуры печного пространства при нагреве по высоте печи вследствие конструктивных особенностей нагревательных печей;

2) непосредственное влияние первичной горячекатаной структуры после проката катанки на получаемые результаты по зернистости перлита в микроструктуре термообработанной катанки.

В процессе эксплуатации нагревательных печей KL-11 было обнаружено, что вследствие их конструктивных особенностей, а именно расположения горелок и вентиляторов в своде печи, при проведении термообработки в результате возникающего движения теплового потока от свода печи к ее поду верхняя часть бухты, расположенная ближе к горелкам и вентиляторам, прогревается быстрее и до более высокой температуры, чем ее нижняя часть. Схематический разрез камерной печи KL-11 представлен на рис. 2.

Также в процессе отработки различных режимов сфероидизирующего отжига было выявлено, что важное значение в процессе проведения сфероидизирующего отжига имеет привязка температурного режима процесса к показаниям верхней либо нижней термопары печи. Дело в том, что в каждой зоне камерной печи KL-11 установлены две термопары для контроля температуры печного пространства процесса термообработки. Одна термопара находится ближе к своду печи (верхняя термопара), вторая – ближе к поду печи (нижняя термопара). На рис. 2 данные термопары обозначены красным цветом, вмонтированные в левую стенку печи.

При привязке температурного процесса к верхней термопаре вследствие конструктивного расположения горелок температура в верхней зоне печи, фиксируемая верхней термопарой, будет всегда больше температуры в нижней зоне печи в один и тот же момент времени. Таким образом, часть металла, позиционно располагающаяся в нижней зоне печи, будет нагрета до недостаточной температуры относительно установленных требований к процессу термообработки. И, наоборот, при привязке температурного процесса к нижней термопаре часть металла, позиционно располагающаяся в верхней зоне печи, будет нагрета до более высоких температур относительно установленных требований к процессу термообработки. На рис. 2 можно наблюдать неравномерность нагрева в случае привязки температурного процесса к нижней термопаре (желтым цветом показаны результаты замеров температуры нижней термопарой, а синим – верхней термопарой).

В процессе отработки технологии производства были выработаны и реализованы мероприятия, позволяющие минимизировать выявленные конструктивные особенности печей термообработки:

- значительное уменьшение скорости нагрева при температуре процесса более 650 °С;
- добавление времени выдержки на каждом этапе термообработки, чтобы за это время температура нижней зоны печи постепенно увеличивалась и приближалась к температуре верхней зоны печи, остающейся постоянной при выдержке в случае привязки технологического процесса нагрева к верхним термопарам печи;
- привязка технологического процесса нагрева к верхним термопарам печи, что позволило контролировать и удерживать в нужном значении максимальную температуру процесса термообработки, не допуская неконтролируемый перегрев стали до температур, близких к критической точке A_{c3} .

Проведенные исследования влияния микроструктуры катанки в горячекатаном состоянии после проката позволили установить, что для различных марок сталей лучшей сфероидизации поддаются закалочные структуры (мартенсит, бейнит и троостит), а феррито-перлитная структура показывает значительно худшие результаты. Также первичная неоднородная микроструктура горячекатаной катанки может быть причиной получения неравномерной и нестабильной микроструктуры после проведения сфероидизирующего отжига.

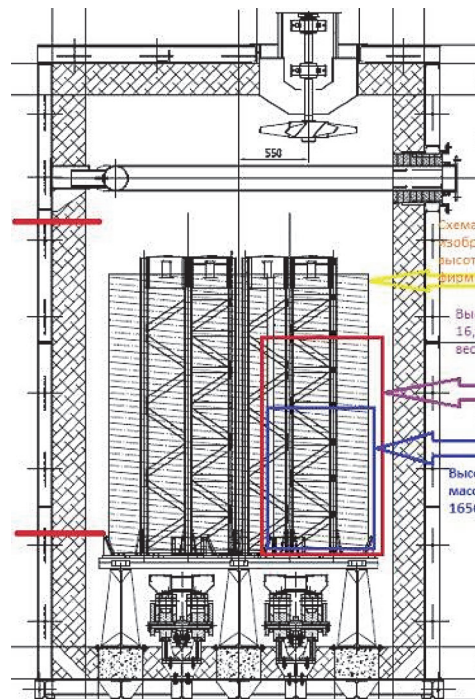
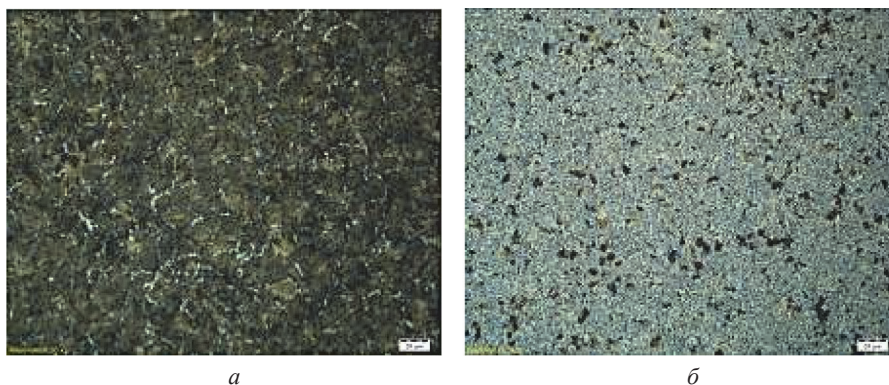


Рис. 2. Типовой разрез камерной печи KL-11



a

б

Рис. 3. Микроструктура катанки из стали марки 41X1 в горячекатаном состоянии: *a* – феррито-перлитная; *б* – с преобладанием закалочных бейнитных структур

На рис. 3 показаны примеры получаемой феррито-перлитной и бейнитной микроструктуры в горячекатаном состоянии катанки из стали марки 41X1.

За счет внедрения ряда мероприятий удалось выработать способы получения наиболее оптимальной первичной горячекатаной микроструктуры металла для дальнейшего проведения сфероидизирующего отжига с разработкой оптимальных режимов прокатки и охлаждения катанки в процессе производства на линии Stelmog стана 370/150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

После решения всех технологических аспектов производства была проведена работа по совершенствованию технологии термообработки катанки посредством применения маятникового отжига. По результатам практической реализации режимов маятникового сфероидизирующего отжига для катанки из сталей марок 38ХГНМ, 41X1 и 40ХН2МА удалось значительно улучшить стабильность получаемых свойств по микроструктуре термообрабатываемой катанки. На первом этапе был опробован двухциклический маятниковый сфероидизирующий отжиг. Однако для катанки больших диаметров, а также катанки из стали марки 41X1 отмечались недостаточно стабильные результаты по доле зернистого перлита в микроструктуре термообрабатываемой катанки.

Анализируя фактический химический состав всех выплавленных плавок сталей марок 40ХН2МА, 38ХГНМ и 41X1 и используя рекомендации компании DANIELI & C. Officine Meccaniche S.p. A. по определению критических точек для марочного состава стали, были определены средние значения критических точек для данных марок стали (см. таблицу).

Средние значения критических точек для выплавленных сталей марок 38ХГНМ, 41X1 и 40ХН2МА

Критическая точка	40ХН2МА	38ХГНМ	41X1
A_{c1}	711	721	732
A_{c3}	767	786	776
$\Delta(A_{c3} - A_{c1})$	56	65	44

Из различных литературных источников известно, что отжиг на зернистый перлит доэвтектоидных легированных сталей должен осуществляться в достаточно узком температурном интервале, а именно выше критической точки A_{c1} , но не выше критической точки A_{c3} . Из таблицы видно, что критическая точка A_{c1} для стали марки 41X1 на 11 °С превышает точку A_{c1} для стали марки 38ХГНМ и на 22 °С – для стали марки 40ХН2МА. При этом температурный интервал, в котором допускается проводить нагрев для стали марки 41X1, наиболее узок и составляет всего 44 °С, что на 21 °С уже, чем для стали марки 38ХГНМ и на 12 °С уже, чем для стали марки 40ХН2МА. Эти данные обусловлены различным влиянием легирующих элементов, входящих в исследуемые стали, на расширение или сужение межкритического интервала выбранной стали.

В связи с этим с учетом фактической разницы между критическими точками сталей марок 38ХГНМ, 40ХН2МА и 41X1 впоследствии были разработаны и освоены новые индивидуальные режимы трех- и четырехциклического маятникового отжига для каждой марки стали, которые позволили значительно улучшить стабильность результатов по доле зернистого перлита в микроструктуре термообрабатываемой катанки.

На рис. 4, 5 представлены примеры применения трех- и четырехциклического маятникового отжига, освоенных на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» при термической обработке хромо-

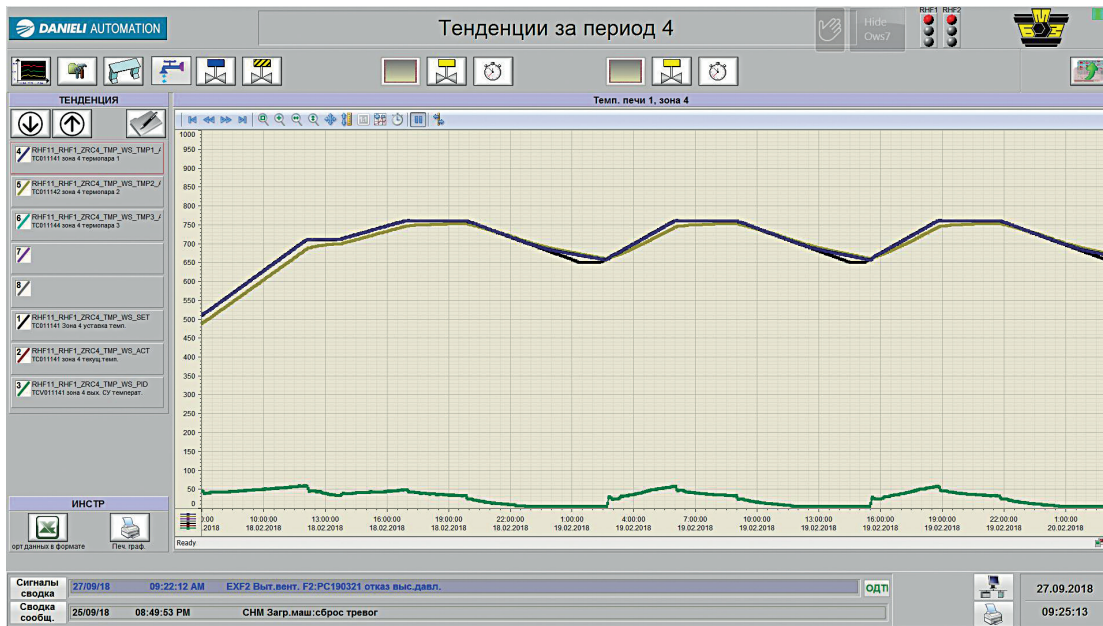


Рис. 4. Выдержка из температурно-временного графика проведения трехциклического маятникового отжига катанки из хромоникельмолибденовых марок стали

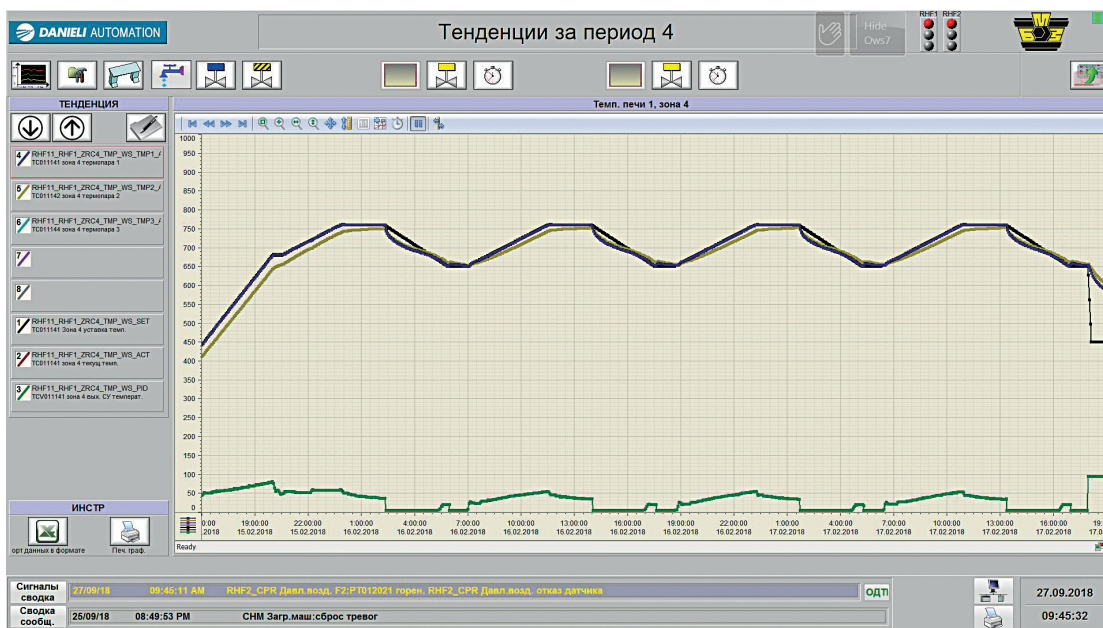


Рис. 5. Выдержка из температурно-временного графика проведения четырехциклического маятникового отжига катанки из хромоникельмолибденовых марок стали

никельмолибденовых марок стали, используемой в дальнейшем при производстве крепежа и автокомпонентов методом холодной объемной штамповки.

Выводы

Проведена исследовательская работа, в результате которой освоена технология производства катанки из хромоникельмолибденовых марок стали, используемой в дальнейшем при производстве крепежа и автокомпонентов методом холодной объемной штамповки. В процессе работы были выработаны решения по минимизации выявленных конструктивных особенностей печей термообработки, разработаны способы получения наиболее оптимальной первичной горячекатаной микроструктуры металла для дальнейшего проведения сфероидизирующего отжига и освоены индивидуальные режимы трех- и четырехциклического маятникового отжига для катанки из каждой марки стали, которые позволили обеспечить получение стабильных результатов по физико-механическим свойствам и требованиям к микроструктуре, предъявляемыми производителями крепежа и автокомпонентов методом холодной объемной штамповки.