

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ ДЛЯ ОПРАВКИ ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ

Г.А. Геворгян, магистр, аспирант

А.А. Филиппов, канд. техн. наук, доцент

Н.Н. Катаев, канд. техн. наук, доцент

Г.В. Пачурин, д-р техн. наук, профессор

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
(Россия, г. Нижний Новгород)

DOI:10.24412/2500-1000-2022-2-1-70-73

Аннотация. Бесшовные трубы нашли широкое применение в нефтяной, газовой и машиностроительной промышленности, что предъявляет особые требования к их надежности и безопасности. Выбор марки стали и термообработка оправок для прошивки и поперечно-винтовой прокатки бесшовных труб очень важны для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик. В работе выполнено обоснование выбора стали 4Х5МФ1С и разработан технологический цикл изготовления оправок повышенной стойкости для прошивки и поперечно-свинтовой прокатки бесшовных труб. Найдено оптимальное сочетание прочности и пластичности этой стали при термической обработке, включающей закалку при 1070 °С и отпуск в интервале температур 650–700 °С.

Ключевые слова: легированные стали, термическая обработка, бесшовные трубы, прокатное производство, механические свойства.

Задача обеспечения необходимой работоспособности металлоизделий является приоритетным направлением современной науки и одной из важнейших задач различных отраслей промышленности. Эксплуатационные показатели конструкционных материалов, предназначенных для изготовления высоконагруженных теплоустойчивых металлоизделий, формируются на всех стадиях металлургического передела: от выбора шихтовых материалов для выплавки металла до получения готовых деталей [1].

Основными потребителями бесшовных труб являются нефте- и газодобывающие отрасли, а также оборонная промышленность. Это накладывает на данные изделия особые требования к безотказности в работе. Надежность металлоизделий зависит от условий эксплуатации [2], природы материала и режима его технологической обработки и, в значительной мере, обуславливается структурой и свойствами применяемых материалов [3] и обеспечивается оптимизацией режимов технологических процессов [4]. В связи с этим задача выбора марки стали и разработки технологиче-

ского цикла изготовления оправок повышенной стойкости к физическим и механическим воздействиям в процессе прошивки и поперечно-винтовой прокатки бесшовных труб, с целью обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик, является весьма актуальной.

При изготовлении труб центр круглой заготовки, нагретой до температуры операции прошивки примерно 1200 °С, прошивается в прошивном стане, в результате получается полая трубная заготовка, называемая «полой гильзой». Рабочим инструментом для прошивки отверстия в трубной заготовке является оправка, которая устанавливается на переднем конце стержня.

В ходе эксплуатации оправка подвергается воздействию высоких температур и высоких контактных давлений, что снижает возможность многократного использования в прошивном стане оправки одного и того же диаметра, значительно сокращая сроки эксплуатации данного инструмента. Кроме того, агрессивные условия работы, являясь типичными для всех прошивных станков, обуславливают появление проблемы стойкости оправок. Поэтому с целью

обеспечения бесперебойной работы трубного производства предприятие вынуждено поддерживать запас большого числа оправок.

На износостойкость прошивных оправок оказывает влияние целый ряд факторов – свойства прокатного инструмента и прошиваемого материала (марка стали, твердость, режимы термообработки инструмента и др.); температурные условия работы, распределение температуры по объему инструмента; режим деформации (вытяжка, обжатие перед носком оправки, время прошивки и др.).

Под воздействием циклического температурного воздействия, характеризующегося многократным нагревом и охлаждением оправок, образуются разгарные трещины. В процессе работы по мере увеличения количества прокатанных труб, развитие трещин продолжается, они окисляются вследствие взаимодействия с агрессивной средой смазки и проникают вглубь металла, что в конечном итоге может привести к образованию глубоких трещин, выкрашиванию частиц металла и, как следствие, выходу оправки из строя [5]. Прошивные оправки, как правило, изготавливаются из штамповых сталей, которые должны отвечать высоким техническим требованиям и иметь определенный комплекс свойств: высокую теплоемкость, жаропрочность, термостойкость (разгаростойкость), вязкость, износо- и окалиностойкость, теплопроводность, прокаливаемость и низкую слипаемость [6].

Поэтому целью данной работы является обосновать выбор марки стали, обеспечивающей наилучшее сочетание цены и качества для производства оправок и, на основе изучения влияния режимов ее термической обработки на микроструктуру и механические свойства, выбрать оптимальный режим.

В работе на основании выполнения сопоставления свойств сталей 4X5MФ1С, 4X5B2ФС и 5XНМ выбрана для производства оправок оптимальная с точки зрения наилучшего сочетания цены и качества сталь карбидного класса марки 4X5MФ1С. Данная сталь широко используется для из-

готовления пресс-форм литья под давлением цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов, молотовых и прессовых вставок (сечением до 200-250 мм) при горячем деформировании конструкционных сталей, для изготовления инструмента для высадки заготовок из легированных конструкционных и жаропрочных материалов на горизонтально-ковочных машинах.

Исходным материалом служил кованный стальной пруток круглого сечения (диаметр 60 мм), который с помощью плазменной резки разделялся на штучные заготовки длиной 130 мм. Кованный пруток хорошо подходит для инструментальной стали, так как такой полуфабрикат обладает мелкозернистым и равномерным распределением легирующих элементов по всему объему металла, обеспечивая равномерность и мелкозернистость конечной структуры. Для улучшения условий вторичного захвата и уменьшения разностенности с одного торца заготовки операцией сверления в холодном состоянии выполнялось углубление диаметром 12 мм и глубиной 7-8 мм для зацентровки. При этом несоосность заготовки и зацентровочного углубления не превышала 0,15 мм.

Термическая обработка данной стали по стандартному режиму, включающая закалку от 1020°C в масле и отпуск при 580°C в масле, обеспечивает изделию [6] достаточную высокую вязкость (39 Дж/см²) и износостойкость при сохранении высокой твердости (47-50 HRC). Такое сочетание комплекса механических характеристик позволяет расширить интервал применимости данной стали не только для изготовления инструмента, но и для использования ее как конструкционную, для изготовления высоконагруженных жароустойчивых деталей машин.

При протравливании поверхности образцов для выявления микроструктуры использовались азотная кислота 5 см³, соляная кислота 50 см³ и дистиллированная вода 50 см³. Исследованию подвергались образцы призматической формы с размерами 10x10x55, которые подвергались закалке от 1070°C в масло и различным ре-

жимам отпуска: 230, 550, 600, 650, 700, 750 °С, выдержка при отпуске 3 часа. Испытания на растяжение проводились на образцах №7 тип II по ГОСТ 1497; на ударную вязкость на образцах с U-образным концентратором (тип 8 с высотой рабочего сечения 5 мм) при положительных (+20 °С) температурах по ГОСТ 9454; с микроструктурным анализом, измерением твердости по методу Роквелла.

Установлено, что в интервале температур отпуска 230-550°С твердость практически не изменяется (54,2-52,9 HRC).

Начиная с температуры отпуска с 600°С, происходит резкое снижение твердости. При отпуске 600°С твердость равна 47 HRC, при отпуске 750°С – 24,3 HRC. Неизменность высокой твердости стали 4Х5МФ1С до 550°С связано с ее высокой теплостойкостью. Твердость стали формируется при растворении легирующих элементов в аустените в процессе операции закалки, что приводит к тому, что образующийся после закалки легированный мартенсит имеет высокую стойкость против отпуска. Это обосновывает то, что в интервале температур отпуска 230-550°С сталь 4Х5МФ1С имеет постоянную и высокую твердость.

Повышение температуры отпуска выше 550°С приводит к тому, что из-за выделений карбидной фазы (карбиды типа Me_23C и Me_6C), перехода от одного типа карбидов к другому, их коагуляции, а также снижения внутренних (закалочных) напряжений значение уровня твердости стали снижается. После закалки структура стали состоит из мартенсита и остаточного аустенита. Отпуск на 230°С не выявил значительных изменений в структуре. Основной структурной составляющей остается мартенсит, однако в результате нагрева до 230°С травимость микрошлифов незначительно увеличивается, что, может быть связано с частичным уменьшением закалочных напряжений.

После отпуска на 550°С наблюдается существенное повышение травимости образцов. Матрица имеет грубо игольчатую структуру. Вероятно, при данной температуре отпуска выявление характера струк-

туры мартенсита происходит более четко. Кроме того, следует отметить появление в структуре визуально наблюдаемых карбидных дисперсных частиц после данного отпуска.

Повышение температуры отпуска до 600°С приводит к уменьшению степени игольчатости матрицы и к увеличению количества карбидной фазы. Отпуск на 650°С активизирует процессы рекристаллизации матрицы, игольчатость не выявляется. Структура состоит из дисперсной феррит-карбидной смеси (троостосорбит отпуска).

Дальнейшее повышение температуры отпуска до 750 °С приводит к интенсификации процессов выделения и коагуляции карбидной фазы, образуя сорбит отпуска. Это обуславливается тем, что при температуре не выше 600°С, для стали 4Х5МФ1С отпуск является низким. В данном температурном интервале реализуется первое и второе превращение при отпуске. Микроструктура состоит из мартенсита с твердостью 52–55 HRC. Сталь 4Х5МФ1С в таком структурном состоянии имеет максимальные значения прочностных и минимальные пластических характеристик, что ограничивает возможность ее использования в качестве конструкционного материала.

Следующее повышение температуры отпуска от 600 до 700 °С обуславливает монотонное увеличение пластичности и вязкости стали, но снижение ее прочности.

Механические характеристики образцов при температурах отпуска 650 и 700°С при этом существенно отличаются от образцов, отпущенных при 600°С.

По сравнению с отпуском на 600 °С, после отпуска на 650 °С относительное сужение ψ практически не изменилось (14,7–14,9%), в то время как относительное удлинение и ударная вязкость повысились с 5,6 до 7,9% и с 11 до 14,8 Дж/см², соответственно.

Анализ металлографических исследований и полученных механических характеристик выявил оптимальное сочетание прочности и пластичности у стали 4Х5МФ1С при термической обработке,

включающей в себя закалку от 1070 °С и отпуск в интервале температур 650-700 °С. В этом случае выбор температуры отпуска обусловлен требуемой категорией прочности металлоизделия.

Использование же в качестве конструкционного материала отпущенной при температуре 600 °С стали 4Х5МФ1С не целесообразно в виду наличия в структуре, унаследованной от мартенсита закалки, игольчатости и низкой ударной вязкости.

Выводы

Сравнения свойств сталей марок 4Х5МФ1С, 4Х5В2ФС и 5ХНМ для производства оправок с точки зрения обеспече-

ния наилучшего сочетания цены и качества показало преимущество стали 4Х5МФ1С.

На основании анализа структуры и механических характеристик предложен оптимальный режим термической обработки стали 4Х5МФ1С: закалка от 1070 °С в масло и отпуск в течение 2-х часов при температуре 650-700 °С, позволяющий рекомендовать ее к использованию в качестве теплостойкого конструкционного материала для высоконагруженных металлоизделий с пределом текучести $\sigma_{0.2}$ от 750 до 1000 МПа.

Библиографический список

1. Pachurin G.V. Filippov A.A. Economical preparation of 40X steel for cold upsetting of bolts // Russian Engineering Research. – 2008. – Т. 28. – №7. – Р. 670-673.
2. Пачурин Г.В. Филиппов А.А. Выбор рациональных значений степени обжата горячекатаной стали 40Х перед холодной высадкой метизов // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2008. – №7. – С. 23-25.
3. Пачурин Г.В., Гушин А.Н. Повышение эксплуатационной долговечности металлоизделий технологическими методами // Вестник машиностроения. – 2007. – №6. – С. 62-65.
4. Filippov A.A., Pachurin G.V., Naumov V.I., Kuzmin N.A. Low-Cost Treatment of Rolled Products Used to Make Long High-Strength Bolts // Metallurgist. – 2016. – Vol. 59. – Nos. 9-10. January. – Р. 810-815.
5. Pachurin G.V. Life of Plastically Deformed Corrosion-Resistant Steel // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32. – № 9-10. – Р. 661-664.
6. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1968. – 568 с.

HEAT TREATMENT OF STEEL FOR INCREASED RESISTANCE MANDLER

G.A. Gevorgyan, Master, Postgraduate Student

A.A. Filippov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

N.N. Kataev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

G.V. Pachurin, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva
(Russia, Nizhny Novgorod)**

***Abstract.** Seamless pipes are widely used in the oil, gas and engineering industries, which places special demands on their reliability and safety. The choice of steel grade and heat treatment of mandrels for piercing and helical rolling of seamless pipe are very important to ensure the required performance. The work substantiates the choice of steel 4Kh5MF1S and develops a technological cycle for the manufacture of mandrels of increased resistance for piercing and helical rolling of seamless pipes. An optimal combination of strength and ductility of this steel was found during heat treatment, including quenching at 1070°C and tempering in the temperature range of 650–700°C.*

***Keywords:** alloy steels, heat treatment, seamless pipes, rolling production, mechanical properties.*