

УДК 669.14.018: 620.18

ОСОБЕННОСТИ АУСТЕНИТИЗАЦИИ СТАЛЕЙ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКИ С ФЕРРИТО-ПЕРЛИТНОЙ ПОЛОСЧАТОСТЬЮ

В. П. Горбатенко, д. т. н, проф., А. В. Лукин, асс., Ж. Ю. Данилова

Донецкий национальный технический университет

Толстолистовой прокат из малоперлитных строительных сталей, микролегированных сильными карбидообразующими элементами, благодаря хорошей свариваемости, а также высокой прочности в сочетании с высокой вязкостью, широко используются в строительстве зданий и сооружений, а также для изготовления труб большого диаметра для транспортировки нефти и газа. Однако технология производства толстых листов методом контролируемой прокатки приводит к формированию в них структурной неоднородности в виде феррито-перлитной полосчатости, что негативно сказывается на равномерности распределения свойств в изделии.

В работе [1] было показано, что получение полосчатой структуры вызвано формированием в стали в процессе контролируемой прокатки специфической химической неоднородности, которая получила название «ликвация обработки». Данная химическая неоднородность образуется вследствие формирования текстуры деформации при пониженных температурах прокатки, что приводит к разделению объема металла в процессе $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения на протяженные слои низкоуглеродистого феррита и высокоуглеродистого аустенита, который при последующем диффузионном распаде превращается в протяженные полосы перлита.

Термическая обработка с полной фазовой перекристаллизацией должна обеспечивать устранение полосчатой структуры. Однако проведенные исследования [2, 3] показывают, что структурная неоднородность в строительных сталях в виде феррито-перлитной полосчатости, сформированная в процессе контролируемой прокатки сохраняется при проведении дополнительных режимов термической обработки.

Восстановление перлитной полосчатости после термической обработки по разным режимам указывает на возможность сохранения ликвации обработки при полной фазовой перекристаллизации. Поэтому целью данной работы является изучение особенностей процесса аустенизации высокопрочных строительных сталей контролируемой прокатки с феррито-перлитной полосчатостью.

Исследования проводили на образцах, вырезанных из толстолистового проката стали 13Г1С-У, прокатанного по технологии контролируемой прокатки. Данные образцы нагревали до температур 700, 750 и 900 °С, выдерживали при температуре нагрева 20 мин., а затем ускоренно охлаждали в воде с целью фиксации структурного состояния, сформированного в металле при температуре нагрева. Структурные изменения, происходящие в стали в процессе аустенизации, сравнивали с исходной структурой стали путем фотографирования выделенного участка на образце до и после термической обработки. Сравнительный анализ проводили на участке размером 3×0,5 мм.

Согласно справочным данным, нижняя критическая точка при нагреве стали для 13Г1С-У составляет 730 – 740 °С [4]. Однако, в сталях контролируемой прокатки в результате повышенного уровня внутренних напряжений, сформированных в процессе деформации при пониженных температурах, наблюдается снижение критических точек и уже после нагрева до 700 °С наблюдается начальная стадия образования аустенита. Структура образцов после закалки от данной температуры состоит преимущественно из феррита и небольшого количества продуктов бездиффузионного распада аустенита, по которым и определялись места его зарождения при нагреве. Травление закаленных образцов в растворе азотной кислоты показывает, что образование участков аустенита происходит преимущественно на месте бывших перлитных полос, при этом продукты распада аустенита расположены в виде прерывистых строчек, разделенных участками феррита (рис. 1, б). Травление в растворе пикриновой кислоты выявляет сплошные темнотравящиеся полосы, расположение которых совпадает с расположением предшествующих полос перлита в исходной структуре. Повышение температуры нагрева до 750 °С приводит к увеличению количества темнотравящихся продуктов распада аустенита, при этом в случае травления в пикриновой кислоте наблюдается увеличение толщины полос повышенной травимости в зонах бывших перлитных участков.

Методом растровой электронной микроскопии выявлено, что при температуре нагрева 700 °С выделение зародышей аустенита наблюдается на месте бывших перлитных участков и частично на границах ферритных зерен (рис. 2). Участки аустенита имеют форму, близкую к равноосной, со средним размером 1,4 – 1,6 мкм. Участки аустенита, образованные на границах ферритных зерен расположены обособленно, в то время как в участках структуры на месте бывших перлитных полос наблюдаются группы близкорасположенных друг к другу зародышей аустенита. При 750 °С увеличивается количество участков образования аустенита как на месте бывших перлитных полос, так и по границам ферритных зерен. Их средний размер увеличивается до 2,2 – 2,6 мкм. На границах ферритных зерен участки аустенита представляют собой группы близкорасположенных отдельных зародышей. В то же время на месте бывших перлитных полос наблюдается слияние отдельно образованных зародышей в единые, практически непрерывные протяженные участки.

Также необходимо отметить, что во всех случаях в структуре закаленных образцов при травлении в растворе пикриновой кислоты на месте бывших перлитных участков рядом с местами зарождения аустенита наблюдаются темные участки, в которых содержание углерода, выявляемое методом растровой электронной микроскопии, в 1,5 – 2 раза превышает таковое, в продуктах распада аустенита. Для установления природы данных участков необходимо проведение дополнительных исследований.

Результаты микроструктурного анализа с травлением в растворе азотной кислоты показали, что после закалки в воде от 900 °С структура исследуемой стали состоит из продуктов бездиффузионного распада аустенита и небольшого количества феррита, что указывает на практически полное

завершение процесса аустенизации при данной температуре (рис. 1, з). Травление в растворе пикриновой кислоты выявляет в структуре участки повышенной травимости (рис. 1, и). Данные участки имеют протяженную форму в виде строчек и их расположение практически полностью совпадает с местами расположения перлитных полос, наблюдаемых на данном участке образца в исходном состоянии после контролируемой прокатки (рис. 1, ж).

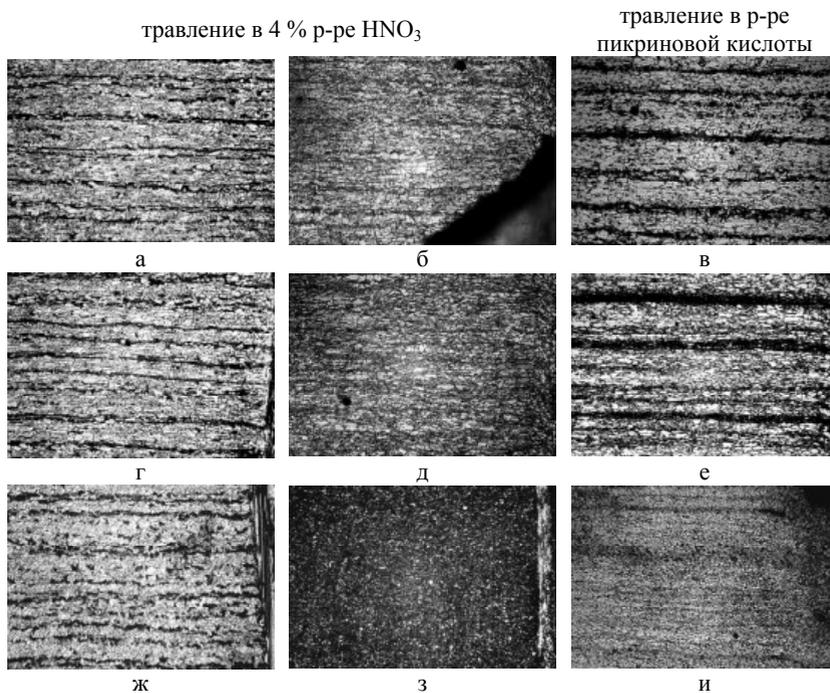


Рис. 1. Сталь 13Г1С-У после контролируемой прокатки (а, г, ж) и после закалки от 700 °С (б, в), 750 °С (д, е) и 900 °С (з, и); $\times 250$

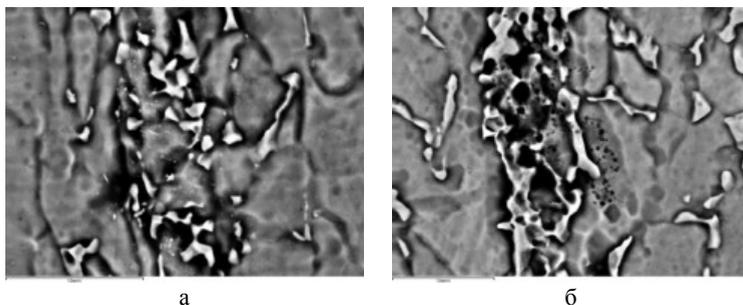


Рис. 2. Микроструктуры образцов стали 13Г1С-У после закалки от 700 °С (а) и 750 °С (б); $\times 6000$

Участки повышенной травимости в виде протяженных полос проявляются в структуре закаленных образцов и после нагрева до более высоких температур вплоть до 1150 °С (рис. 3). При этом необходимо отметить, что в структуре образцов, которые были отобраны от литого сляба данной партии стали и не подвергались прокатке, полосчатые участки после аналогичных режимов обработки не наблюдаются. Полосы повышенной травимости в структуре закаленной стали, очевидно, указывают на наличие химической неоднородности, которую можно объяснить следующим образом.

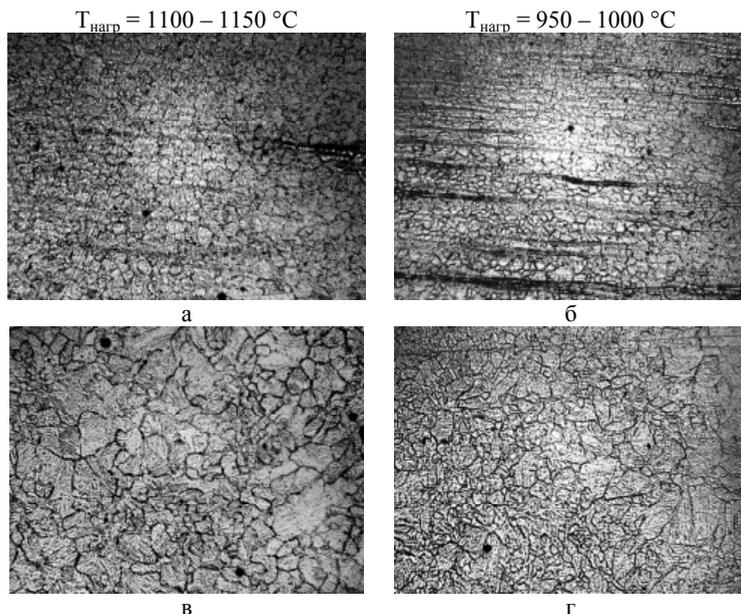


Рис. 3 Исходное зерно аустенита и полосы повышенной травимости в структуре образцов толстолистового проката (а, б) и непрерывнолитого сляба (в, г) стали 13Г1С-У, после закалки от разных температур; $\times 250$

Начальные этапы аустенитизации при нагреве выше температуры точки A_{c1} протекают на местах расположения перлитных участков, а затем на границах и субграницах ферритных зерен, что подтверждается результатами исследований методом растровой электронной микроскопии (рис. 2). Таким образом, в структуре стали контролируемой прокатки с феррито-перлитной полосчатостью в процессе аустенитизации сначала образуются протяженные участки высокоуглеродистого аустенита на месте бывших перлитных полос, а затем образуется аустенит на месте ферритных участков с гораздо меньшим содержанием углерода. При этом, очевидно, такое химически неоднородное

состояние аустенита оказывается относительно устойчивым в течение достаточно длительного времени, по крайней мере, в пределах реализованной в эксперименте продолжительности выдержки при выбранной температуре аустенитизации, соответствующей рекомендованным для таких сталей параметрам термической обработки.

Подтверждением предположения о сохранении неомогенности аустенита в процессе аустенитизации может служить тот факт, что в результате закалки стали как от 1000 °С, так и от 1150 °С на поверхности микрошлифов после травления обнаруживаются чередующиеся полосы разной травимости с различной твердостью, расположение которых в значительной мере повторяет расположение полос перлита и феррита в исходном состоянии. Так, в стали 10Г2ФБ после закалки значения микротвердости в темнотравящихся полосах изменялись в пределах 5780 – 6170 Н/мм², а в более широких светлых полосах – в пределах 4440 – 4920 Н/мм².

Результаты данной работы показывают, что «ликвация обработки», сформированная в результате контролируемой прокатки при пониженных температурах, сохраняется в процессе полиморфного $\alpha \rightarrow \gamma$ – превращения при последующем нагреве в аустенитную область. Соответственно, в процессе последующей термической обработки, в результате диффузионного распада такого неомогенного аустенита при охлаждении может наблюдаться как бы «восстановление» феррито-перлитной полосчатости.

Использованная литература

1. Горбатенко В.П., Лукин А.В. Анализ анизотропности дозвектоидных сталей при деформационно-термической обработке // Сталь. -2010. №10, С. 58 - 62
2. Влияние термической обработки на структурную неоднородность сталей контролируемой прокатки / Горбатенко В.П., Лукин А.В., Белоус Е.Ю. // Вісник науковця – 2009: Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції. –Миколаїв: НУК, 2009. –С. 226 – 229
3. Вплив контрольованої прокатки та подальшої термічної обробки на структуру та властивості сталі 13Г1С-У / Горбатенко В.П., Лукін О.В., Гриненко Д.В. // Вісник ДонНАБА Матеріали VI міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів”. – Вип. 2007-4(66). - Україна, Макіївка.- Макіївка: ДонНАБА, 2007 – С. 56-59.
4. Матросов Ю.И. Сталь для магистральных газопроводов. -М.: Металлургия, 1989. – 289с.