

В.Г.Иванченко*, С.Д.Адамский*, В.Т.Тилик, В.З.Куцова***,
С.Н.Коваль**, В.С.Панченко**, Ю.М.Беклемешев***

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЕРРИТНОЙ ПРОКАТКИ НА
МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСОБОТОНКОЙ
ЛИСТОВОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

** Институт черной металлургии НАН Украины, ** ОАО «МК Запорожсталь»
*** Национальная металлургическая академия Украины*

Экспериментально установлено, что прокатка особотонкой листовой низкоуглеродистой стали в области температур ферритного состояния (700, 600, 500⁰С) обеспечивает получение в металле требуемой структуры с равномерным зерном феррита, находящимся в пределах двух смежных номеров зернистости.

В последние десятилетия резко возросла потребность различных отраслей промышленности в горячекатаном листовом прокате толщиной менее 2 мм, относящемся к категории особотонкого, используемого в том числе и взамен холоднокатаного. По этой причине на металлургических предприятиях, специализирующихся на выпуске листовой металлопродукции, интенсивными темпами идет расширение объемов производства горячекатаных особотонких полос и листов и, в первую очередь, из низкоуглеродистых сталей. Причем, наблюдается тенденция к планомерному уменьшению толщины выпускаемых горячекатаных полос. Прогнозируется, что в ближайшее время рыночная доля горячекатаного листового проката толщиной менее 2 мм для непосредственного использования возрастет более чем в два раза.

Несмотря на достаточно большое число разработок новых технологий, основная часть мирового производства горячекатаных особотонких полос сосредоточена на непрерывных широкополосных станах (НШС). Однако, при прокатке на НШС особотонких полос из низкоуглеродистых сталей не удастся выдержать требуемые температурные режимы окончания горячей прокатки, которые оказывают существенное влияние на конечную микроструктуру.

Микроструктура листового проката определяет уровень его механических свойств и способность к вытяжке, а также качество отштампованных деталей. Уровень механических свойств и способность горячекатаного металла к вытяжке зависит главным образом от величины и однородности ферритных зерен. Размер зерна феррита у горячекатаного листового проката из низкоуглеродистой стали, полученного с НШС, может колебаться в пределах от 0,007 до 0,035 мм. Мелкозернистая структура (диаметр зерна $d = 0,007...0,015$ мм) повышает прочностные характеристики и снижает пластичность металла, что ухудшает его

штампуемость. Пластичность мелкозернистой стали ниже, чем у стали с зерном диаметром $d = 0,025...0,035$ мм, но на 15...20% выше пластичности крупнозернистой стали ($d = 0,11...0,14$ мм) [1]. Крупнозернистая структура приводит к разрывам металла при штамповке, а также образует на поверхности штампованных деталей дефект называемый «апельсиновой коркой».

Стандартом, регламентирующим качество горячекатаного особотонкого листового проката, является ГОСТ 16523. Выполнение требований к микроструктуре в соответствии с ГОСТ 16523, как показывает практика, обеспечивает металлу наилучшую штампуемость и необходимое качество готовых деталей. Стандарт регламентирует величину зерна феррита, которая для горячекатаного особотонкого листового проката 5-ой категории должна быть не крупнее 5-го номера (средний диаметр зерна $d = 0,062$ мм), а неравномерность зерна феррита допускается в пределах трех смежных номеров зернистости. Большая разнотонность приводит к неравномерной деформации металла при вытяжке, что может быть причиной образования разрывов. Равнотонная структура необходима также в горячекатаных полосах, используемых в качестве подката для станов холодной прокатки. Степень деформации металла на этих станах может достигать 70...80% и поэтому все факторы, включающие большую разнотонность, ухудшающие технологическую деформируемость при температурах холодной прокатки, могут быть причиной образования трещин на полосе, а, следовательно, и производственных аварий [2]. При этом разнотонность феррита не снижается ни многократной холодной прокаткой, ни рекристаллизационным отжигом.

Для получения наилучшей микроструктуры необходимо, чтобы в конце горячей прокатки металл находился в области однофазной аустенитной структуры, т.е. выше температуры Ar_3 . Эта температура зависит, в основном, от химического состава стали и скорости охлаждения металла, и практически для низкоуглеродистых сталей колеблется в пределах 835...860°C. При температурах конца прокатки выше Ar_3 конечная структура металла всегда однородна и полностью соответствует требованиям ГОСТ 16523.

На практике прокатку особотонких полос из низкоуглеродистых сталей на НШС из-за больших тепловых потерь оканчивают в области двухфазной структуры аустенита и феррита (Ar_3-Ar_1). В связи с тем, что ферритное зерно рекристаллизуется гораздо быстрее зерна аустенита в готовом прокате образуется структура со смешанной величиной зерна от 3 до 9 номеров. На рис. 1 представлена микроструктура, характерная для горячекатаных особотонких полос прокатанных в промышленных условиях на НШС.

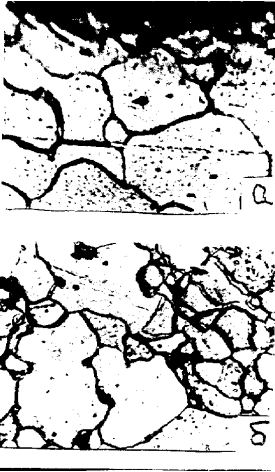


Рис. 1. Микроструктура особотонкой листовой стали 08пс прокатанной в интервале критических температур Ar_3 – Ar_1 : а – на поверхности, б – в середине.

Согласно публикациям избежать неблагоприятных температурных условий, характерных для традиционной технологии горячей прокатки особотонких полос на НШС, позволяет прокатка в области температур однофазной ферритной структуры. Ранее эту прокатку называлась «теплой», в настоящее время – ферритной [3]. Теплой или ферритной прокаткой принято считать прокатку, осуществляемую при температурах

0,3...0,6 температуры плавления стали. Отметим, что ферритная прокатка особотонких полос может быть реализована только на НШС обладающих достаточно большой мощностью, т.к. металл в ферритном состоянии, т.е. при сравнительно низких температурах, должен прокатываться во всех клетях непрерывной группы.

Имеется несколько технических решений позволяющих в условиях обычных НШС, не обладающих большой мощностью, осуществлять ферритную прокатку особотонких полос. Например, предлагается в линии НШС за системой водяного охлаждения перед моталками установить одну или две дополнительные клетки [4] или установить, работающий совместно с НШС, одноклетевой прокатный стан с разматывателем и моталкой [5]. В обоих вариантах в непрерывной группе клеток НШС полосы прокатываются до толщин, позволяющих вести прокатку в аустенитной области, а затем после охлаждения до температур ферритного состояния металла полосы докатываются в дополнительных клетях или на отдельно стоящем стане. Отметим, что для реализации второго варианта ферритной прокатки НШС должен быть оснащен дополнительной моталкой, установленной непосредственно за непрерывной группой клеток.

Существует распространенное мнение и это подтверждается практикой, что наибольший положительный эффект достигается при ферритной прокатке в чистовой группе НШС IF сталей [5,6]. Ферритная прокатка этих сталей, согласно публикациям, позволяет сформировать требуемую микроструктуру металла, благоприятную для глубокой вытяжки текстуру, уменьшить количество поверхностных дефектов, служит средством борьбы с растрескиванием кромок, снижает производственные расходы и расширяет интервал свойств листовой

продукции. Что касается обычных низкоуглеродистых сталей, то данные о влиянии ферритной прокатки на их микроструктуру и механические свойства практически отсутствуют.

В лабораторных условиях исследовали влияние ферритной прокатки на микроструктуру и механические свойства горячекатаной особотонкой листовой низкоуглеродистой стали марки 08пс следующего химического состава (%): C=0,08; Mn=0,30; Si=0,01; S=0,030; P=0,023; Cr=0,04; Ni=0,03; Cu=0,04; Al=0,08. Исходной заготовкой служили карточки листовой стали размером 2,07x100x360 мм, отобранные от горячекатаных полос промышленного производства. В экспериментальных исследованиях прокатку листовой стали осуществляли за 1 и 2 прохода. Методика экспериментов заключалась в следующем. Температура нагрева металла для всех серий опытов составляла 1000⁰С. Первый образец прокатывали за один проход при температуре $T_{1пр}=950^0\text{C}$ и охлаждали на воздухе. Второй, третий и четвертый образцы прокатывали в два прохода – первый проход при температуре $T_{1пр}=950^0\text{C}$ и второй проход соответственно при температурах $T_{2пр}=700, 600, 500^0\text{C}$. После второго прохода образцы охлаждали на воздухе. По каждому варианту эксперимента ставили три опыта рандомизированных во времени.

Основываясь на многочисленных исследованиях, например [7], можно предположить, что для низкоуглеродистой стали 08пс прокатку карточек в первом проходе осуществляли при температуре выше верхней критической точки Ar_3 ($T_{1пр}=950^0\text{C}$), т.е. в области однофазной аустенитной структуры металла. Во втором проходе прокатку осуществляли при температурах ниже интервала критических температур Ar_3-Ar_1 ($T_{2пр}=700, 600, 500^0\text{C}$) в области однофазной ферритной структуры металла, т.е. реализовали классическую ферритную прокатку.

Исследовали также влияние ферритной прокатки на микроструктуру и механические свойства особотонкой листовой стали 08пс при низкотемпературном нагреве. Карточки нагревали до температур 700, 600, 500⁰С и при этих температурах проводили прокатку в один проход и охлаждали на воздухе. Температурно-деформационные режимы прокатки особотонкой горячекатаной листовой стали представлены в табл. 1.

Микроструктурные исследования прокатанных экспериментальных образцов показали, что при температуре прокатки выше верхней критической точки (Ar_3) – 950⁰С, т.е. в аустенитном состоянии, под действием механизма перекристаллизации аустенита в феррит, формируется требуемая ГОСТ 16523, равномерная по толщине структура металла, состоящая из равноосных зерен феррита 8,9 номеров по ГОСТ 5639 (рис. 2). Микроструктура образцов прокатанных в первом проходе в аустенитном состоянии (при 950⁰С), а затем во втором в ферритном состоянии при температурах 700, 600, 500⁰С характеризуется неравноосным ориентированным в направлении прокатки равномерным зерном феррита 8,9 номеров (рис. 2). Данная микроструктура отвечает

требованиям ГОСТ 16523, т.к. форма зерна феррита стандартом не регламентируется.

Таблица 1. Экспериментальные температурно–деформационные режимы прокатки особотонкой листовой низкоуглеродистой стали 08пс

Режимы прокатки							
I–ый проход				II–ой проход			
h_0	h_1	ϵ_1	$T_{1пр}$	h_2	ϵ_2	$T_{2пр}$	$\Sigma\epsilon$
Мм		%	°С	мм	%	°С	%
2,07	1,73	16,4	950	не производился			16,4
2,07	1,73	16,4	950	1,42	14,5	700	28,5
2,07	1,73	16,4	950	1,53	11,6	600	26,1
2,07	1,73	16,4	950	1,55	10,4	500	25,1
Низкотемпературный нагрев							
2,07	1,92	7,20	700	не производился			7,2
2,07	1,92	7,20	600	не производился			7,2
2,07	1,95	5,80	500	не производился			5,8

Примечания: h_0 – исходная толщина образца; h_1 – толщина образца после первого прохода; ϵ_1 – степень деформации в первом проходе; $T_{1пр}$ – температура прокатки в первом проходе; h_2 – толщина образца после второго прохода; ϵ_2 – степень деформации во втором проходе; $T_{2пр}$ – температура прокатки во втором проходе; $\Sigma\epsilon$ – суммарная степень деформации за два прохода.



Рис. 2. Влияние температуры окончания прокатки (a – 950°С, $б$ – 700°С, $в$ – 600°С, $г$ – 500°С) при высокотемпературном нагреве (1000°С) на микроструктуру горячекатаной особотонкой листовой стали 08пс

Наиболее равномерная структура получена в образцах листовой стали после ферритной прокатки с низкотемпературного нагрева соответственно 700, 600 и 500°С. В структуре этих образцов зерна феррита равноосные 9,10 номеров (рис. 3).

Механические испытания, результаты которых представлены на рис.4, показали общую закономерность для всех исследуемых режимов – с понижением температуры прокатки повышаются прочностные характеристики и снижается пластичность горячекатаной особотонкой листовой низкоуглеродистой стали.



Рис. 3. Влияние температуры прокатки (а – 700°C, б – 600°C, в – 500°C) при низкотемпературном нагреве на микроструктуру горячекатаной особотонкой листовой стали 08пс

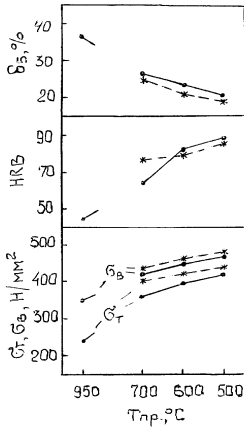


Рис. 4. Влияние температуры прокатки на механические свойства горячекатаной особотонкой листовой стали 08пс: ●—● — при высокотемпературном нагреве (1000°C), *—* — при низкотемпературном нагреве (700, 600, 500°C)

Таким образом, исследованиями установлена возможность, за счет применения ферритной прокатки, получить требуемую по ГОСТ 16523 микроструктуру горячекатаной особотонкой листовой низкоуглеродистой стали.

1. Влияние величины зерна, температуры и скорости деформации на прочностные и пластические характеристики малоуглеродистых сталей / А.Н.Гладких, В.М.Соленов, Л.В.Семенов и др. // Изв.ВУЗ ЧМ. – 1967. – №7. – С.101...105.
2. Дедек Вл. Полосовая сталь для глубокой вытяжки.–М.: Металлургия, 1970.– 208с.
3. Бельченко Г.И., Губенко С.И. Основы металлографии и пластической деформации стали // Киев–Донецк: Изд.ВИЩА ШКОЛА. – 1987. – 240с.
4. Okamoto Toyohiko, Hayashi Chihiro Manufacture of deepdrawing sheet by warm rolling // Sheet Metal Ind. – 1973. – 50. – №5. – P.297...302.
5. Дегнер М., Хеллер Т., Тезе П. Разработки в области производства сверхтонкой горячекатаной полосы // Черные металлы. – 2001. – Март. – С.24...26.
6. Ефименко С.П., Тарасевич Ю.Ф. Перспективы производства особотонкого горячекатаного листа // Металлург. – 2000. – №4. – С.37...40.
7. Прокатка автолистовой стали / Ф.А.Ксензук, Н.А.Трощенко, А.П.Чекмарев и др. // М.: Металлургия. – 1969. – 296с.