

УДК 621.785: 621.771: 669.046.542

В.А. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук,
А.И. СИВАК (ИЧМ НАН Украины),
Н.В. АНДРИАНОВ, канд. техн. наук,
В.А. ТИЩЕНКО, канд. техн. наук (РУП «БМЗ»)

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖЕННОГО СЛОЯ В УГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКЕ В ПОТОКЕ ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА ПОСЛЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Обезуглероживание поверхности металла является нежелательным явлением; при этом сопротивление стали знакопеременным нагрузкам обусловлено в большей степени видимой обезуглероженностью (различием микроструктуры ее поверхностных и глубинных слоев), чем истинной (фактическим распределением углерода в поверхностном слое) [1]. Прочность при растяжении термически обработанной стали зависит прежде всего от содержания углерода. Максимальное напряжение при изгибе возникает у поверхности, поэтому в поверхностных слоях необходимо сохранять требуемое содержание углерода [2]. Своеобразное влияние обезуглероживание оказывает на технологические процессы при переработке проката в метизных цехах. При неравномерном обезуглероживании проката наблюдается неравномерный захват технологической смазки, что приводит к налипанию металла на волоку, образованию микронадрывов и обрывности проволоки [3].

Обезуглероживание связано с тем, что углерод имеет большее сродство к кислороду, чем железо. Для того чтобы обезуглероживание произошло, газовая атмосфера должна оказывать не очень сильное окислительное воздействие. Если скорость окисления больше скорости диффузии углерода в стали, происходит окалинообразование, так как в этом случае кислород может окислять одновременно углерод и железо.

Обезуглероженность стали зависит от температуры нагрева ее в окислительной среде. Процесс обезуглероживания начинается при температуре 650...700 °С и интенсивно протекает до температуры 800 °С. Снижение обезуглероживания начинается при температурах 800...900 °С. Нулевая величина обезуглероживания соответствует температуре 900 °С, при которой наблюдается резкое возрастание интенсивности окисления железа (окалинообразование) [4].

В процессе горячей прокатки происходит дробление зерна аустенита и его наклеп за счет повышения плотности дислокаций, что вызывает дополнительное повышение механических свойств стали. После горячей

деформации так называемое рекристаллизованное состояние металла отличается от состояния статической рекристаллизации повышенной плотностью несовершенств. Если при температуре конца горячей деформации металл подвергать последеформационным выдержкам, то в нем могут происходить процессы метадинамической рекристаллизации, статической полигонизации или статической (повторной) рекристаллизации.

Регулируемое ускоренное охлаждение катанки после выхода из стана препятствует развитию процессов рекристаллизации аустенита, ведет к изменению свойств, повышению прочности и сохранению высокой пластичности стали. Все эти явления типичны для термомеханической обработки стали.

Из всех способов регулируемого ускоренного охлаждения с прокатного нагрева в потоке стана следует отметить Стелмор-процесс, поскольку он не связан с особыми техническими проблемами и является достаточно экономичным. Для линии Стелмор характерно то, что катанка при выходе из последней клетки интенсивно охлаждается водой в проводящих трубах до температур, как правило, выше A_1 , а затем разложенные витки, перемещаясь на конвейере, охлаждаются воздухом, нагнетаемым вентиляторами, т.е. происходит так называемое воздушное патентирование катанки.

Однако на первой стадии при ускоренном охлаждении водой [1] поверхностные слои катанки переохлаждаются ниже точки M_n практически независимо от длительности охлаждения. При последующем выравнивании до температур ниже A_1 (рис. 1) на поверхности катанки образуется сорбит отпуска (рис. 2). В случае быстрого разогревания до температур выше A_1 (на 20...150 °С) структура закалки трансформируется в мелкозернистую аустенитно-ферритную или аустенитную структуру, причем в аустените некоторое время сохраняются мелкие глобулы цементита и при последующем охлаждении на воздухе в поверхностном слое формируются структуры, отличаемых от основных является наличие в квазиэвтектоиде мелких глобул цементита.

Глубина распространения структур, определяющих видимое обезуглероживание катанки, увеличивается с понижением температуры окончания ускоренного охлаждения водой.

Было изучено распределение глубины обезуглероженного слоя (ГОСТ 1763) на катанке различных заводов-изготовителей. Исследовали катанку углеродистой стали, подвергнутой различным способам регулируемого охлаждения с прокатного нагрева: Макеевского металлургического комбината (МакМК), ОАО «Северсталь», РУП «Белорусского металлургического завода» (РУП «БМЗ»), СЗАО «Молдавский металлургический завод» (ММЗ), ОАО «Криворожсталь», а также Nippon Steel (Япония) (табл. 1).

Как видно (рис. 2 – 4), обезуглероженный слой по периметру катанки распределяется неравномерно.

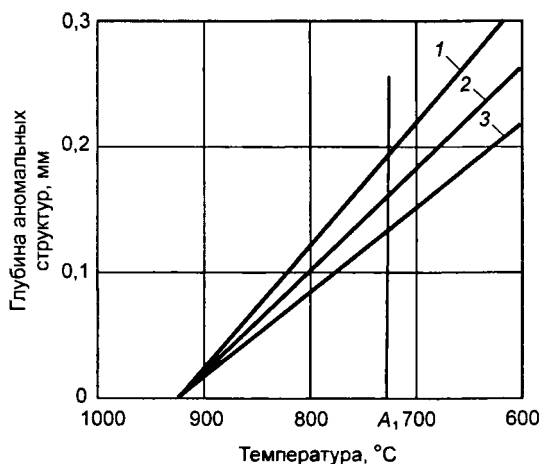


Рис. 1. Зависимость распространения глубины аномальных структур (сорбита отпуска) в поверхностных слоях катанки от температуры окончания водяного ускоренного охлаждения и содержания углерода: 1 – 0,61% С; 2 – 0,71%; 3 – 0,82%.

Таблица 1

Распределение глубины обезуглероженного слоя (ГОСТ 1763) на катанке

Завод-изготовитель	Марка стали	Максимальная глубина обезуглероженного слоя, %	Способ регулируемого охлаждения
МакМК	Сталь 70	2,7	Двухстадийное
«Северсталь»	То же	2,0	То же
БМЗ	»	1,2	»
ММЗ	»	1,2	»
«Криворожсталь»	Сталь 70	1,2	»
«Криворожсталь»	То же	2,7	Одностайное
Nippon Steel	Сталь 80	0,7	Нет данных

Замкнутый обезуглероженный слой наблюдается (см. рис. 2) в катанке производства (одностайного) МакМК, «Северсталь» и «Криворожсталь». При этом значения обезуглероженного слоя большие, а в отдельных местах наблюдались участки отпущенного мартенсита (сорбита отпуска) (см. рис. 2), что является нежелательной структурой. По всей видимости, охлаждение углеродистой катанки на этих предприятиях на первой стадии (после водяного охлаждения) происходит при температурах ниже A_1 .

В катанке (рис. 3, 4) производства РУП «БМЗ», ЗАО «ММЗ» и ОАО «Криворожсталь» (двухстадийного) при одинаковых значениях

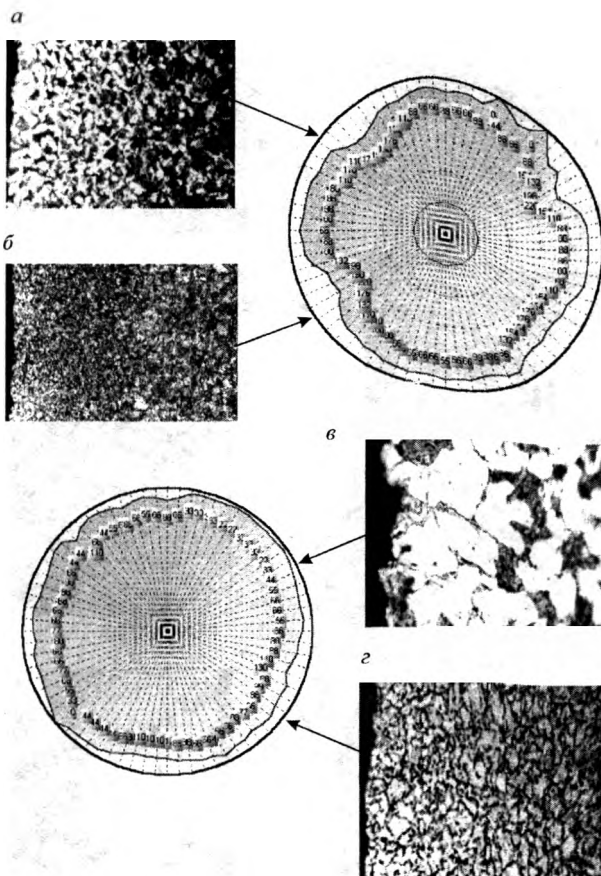


Рис. 2. Микроструктура (*а, б* – $\times 1000$; *в, з* – $\times 2000$) и распределение глубины обезуглероженного слоя (числа у соответствующих экспериментальных точек показывают глубину локального обезуглероживания, 10^3 мм) по периметру углеродистой катанки производства МакМК (*а, б*) и АО «Северсталь» (*в, з*)

обезуглероженный слой распределяется по периметру неравномерно. Так, в катанке РУП «БМЗ» (рис. 3, *а, б*) обезуглероженный слой имеет симметричный «серповидный» вид [5, 6], а в катанке ММЗ (рис. 3, *в, з*) – «мелкозубчатый» [7]. Катанка «Криворожстали» (рис. 4, *а, б*) имеет замкнутый, но неравномерный обезуглероженный слой. На этих предприятиях катанка охлаждается на первой стадии в температурном интервале $A_1 + 100 \dots 200$ °С.

В поверхности катанки производства Nippon Steel (рис. 4, *в, з*), обезуглероженный слой мал и равномерно распределен по периметру.

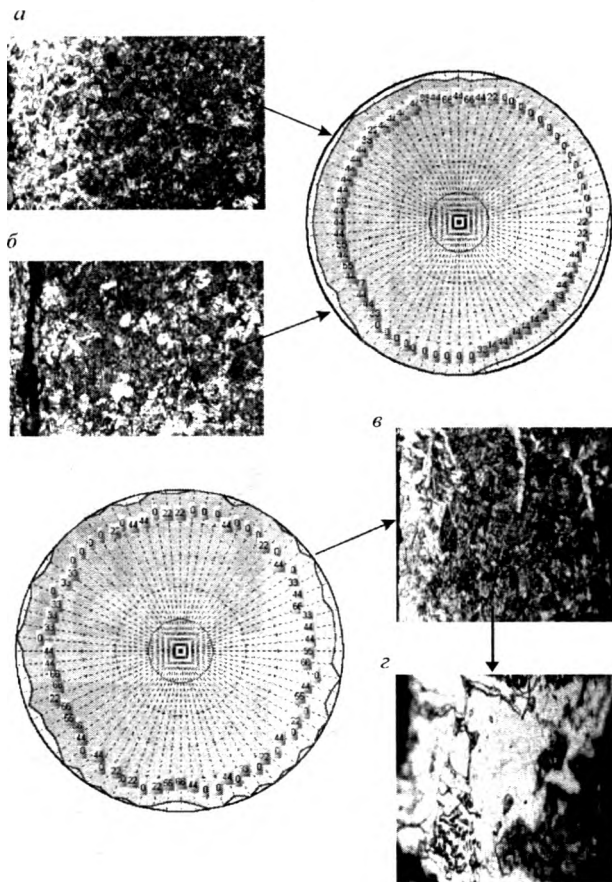


Рис. 3. Микроструктура (*a – в* $\times 1000$; *г* $\times 2000$) и распределение глубины обезуглероженного слоя (числа у соответствующих экспериментальных точек показывают глубину локального обезуглероживания, 10^3 мм) по периметру углеродистой катанки производства РУП «БМЗ» (*a, б*) и СЗАО «ММЗ» (*в, г*)

Как видно из приведенных материалов, дополнительным фактором формирования обезуглероженного слоя является регулируемое охлаждение катанки после чистового блока в потоке проволочного стана. Неравномерное распределение обезуглероженного слоя по периметру обусловлено, скорее всего, конструктивными особенностями устройств водяного охлаждения и спецификой деформации в чистовом блоке.

В настоящее время на РУП «БМЗ» разрабатывается технология обработки, обеспечивающая формирование равномерного по периметру видимого обезуглероженного слоя. Реализация таких мероприятий позволит увеличить производительность, а следовательно, и объемы углеродистой

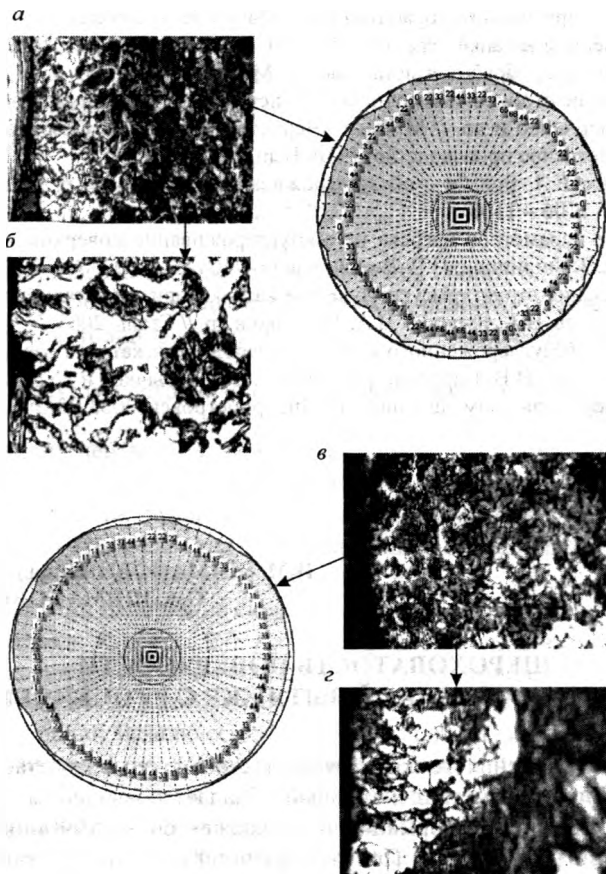


Рис. 4. Микроструктура (*а, в* – $\times 1000$; *б, з* – $\times 2000$) и распределение глубины обезуглероженого слоя (числа у соответствующих экспериментальных точек показывают глубину локального обезуглероживания, 10^3 мм) по периметру углеродистой катанки производства ОАО «Криворожсталь» (*а, б*) и Nippon Steel (*в, з*)

катанки (в частности, для металлокорда) с необходимыми потребительскими свойствами, что повысит технологичность ее на метизном переделе и конкурентоспособность на рынке металлопродукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние режимов двухстадийного охлаждения на качественные характеристики углеродистой катанки / В.В. Парусов, В.А. Луценко, В.К. Бабич и др. // Сталь. 1992. № 4. С. 66 – 68.

2. Влияние термической обработки на глубину обезуглероженного слоя в ускоренно охлажденной катанке класса ВК / А.И. Сивак, В.В. Парусов, В.Н. Прокофьев и др. // Термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1980. № 9. С. 98 – 99.

3. Повышение стойкости волоочильного инструмента / В.П. Фетисов, В.С. Старченко, Н.П. Черненко и др. // М: Ин-т «Черметинформация». Обзорная информация. Сер. 9. Метизное производство. 1976. Вып. 3. 19 с.

4. *Кайстров Е.А.* Борьба с обезуглероживанием в прокатных цехах // Сталь. 1950. № 12. С. 1106 – 1108.

5. Влияние параметров нагрева на обезуглероживание поверхности катанки / И.В. Котов, В.В. Филиппов, Н.В. Воронов и др. // Сталь. 2002. № 10. С. 65 – 69.

6. Оптимизация структуры углеродистой катанки при двухстадийном охлаждении / В.В. Парусов, В.А. Луценко, В.А. Тищенко и др. // Сталь. 2003. № 4. С. 62 – 64.

7. Глубина обезуглероженного слоя на углеродистой катанке различных заводов-изготовителей / В.В. Парусов, В.А. Луценко, А.Б. Сычков и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск, 2003. № 5. С. 61 – 64.

УДК 621.983.4

И.М. ШИМАНОВИЧ, канд. техн. наук,
О.А. ШИМАНОВИЧ (БНТУ)

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКЕ С УТОНЕНИЕМ

В случае получения тонких трубчатых оболочек возрастает влияние поверхностного слоя металла, который обладает повышенным сопротивлением пластической деформации и подвержен большому влиянию микронеровностей поверхности. При ротационной вытяжке с утонением шариковыми матрицами планетарного типа (у которых в качестве деформирующего инструмента используются заключенные в обойму шары) существующее представление о микропрофиле как о следе рабочего движения инструмента является далеко не точным. Это обусловливается искажениями, вызываемыми пластическим течением металла в месте контакта инструмента (шаров) с деталью. Дело в том, что пластическое течение происходит как в направлении подачи инструмента, так и в противоположном направлении, вызывая при этом искажение ранее образованного микрорельефа. При этом образуется вторичный микропрофиль, который и характеризует обработанную поверхность [1].

Для расчета высоты микронеровностей поверхности, получаемой после ротационной вытяжки с утонением шариковыми матрицами планетарного типа, рекомендуется ряд формул [2]. Однако они являются далеко не точными, поскольку не учитывают упругой деформации, которая оказывает значительное влияние на шероховатость поверхности, особенно при ротационной вытяжке тонкостенных оболочек.