

# ЧЕРНЫЕ металлы

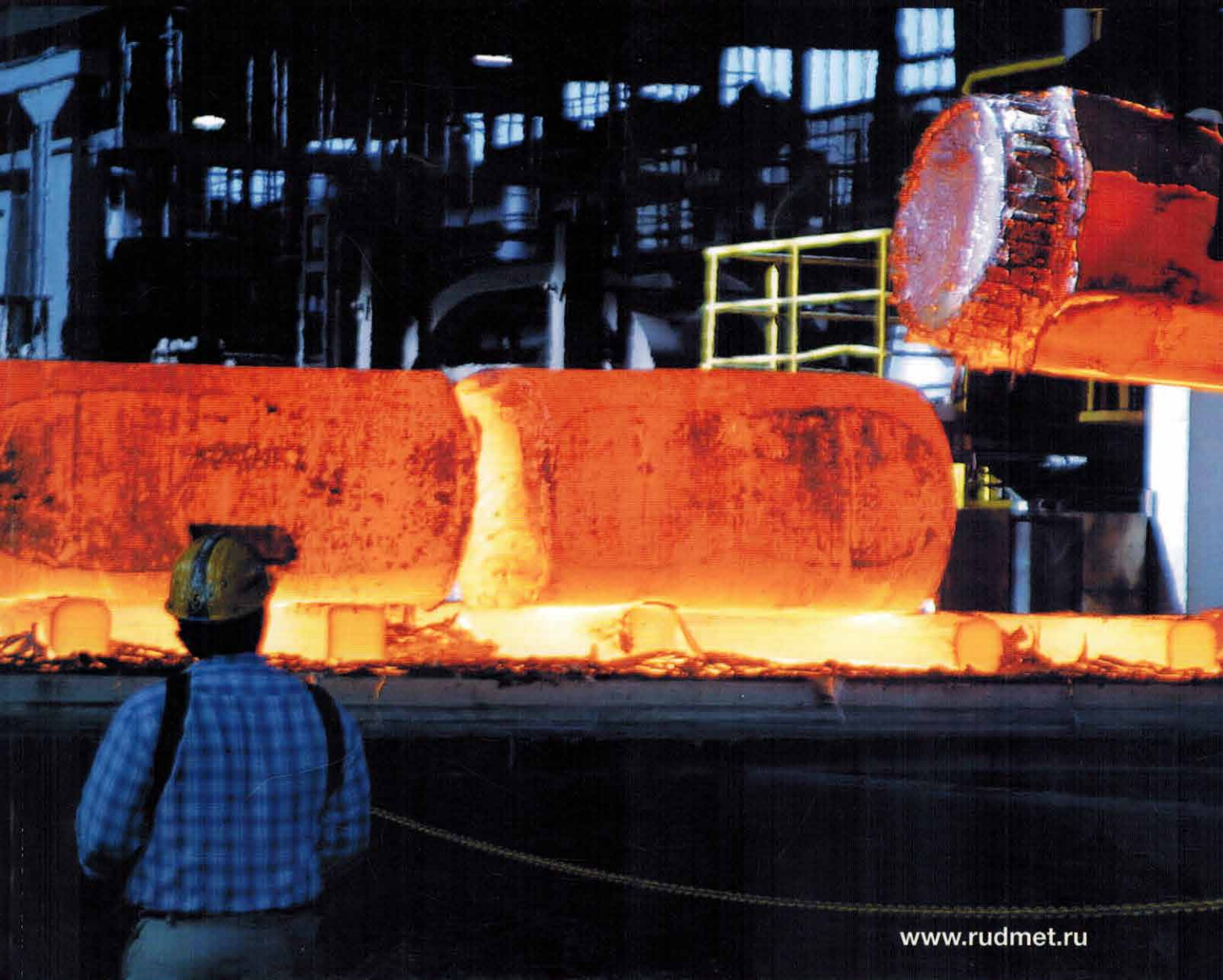


Перевод с немецкого **ДЕКАБРЬ 2008**

**stahl**  
und  
**eisen**

**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**ПО АКТУАЛЬНЫМ ПРОБЛЕМАМ МЕТАЛЛУРГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ  
ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН**



## ПРИРОДА ДЕФЕКТОВ ГОРЯЧЕКАТАНОГО ЛИСТА ИЗ ТРУБНЫХ МАРОК СТАЛИ

### Часть 2. ДЕФЕКТЫ, ОБРАЗОВАВШИЕСЯ НА ЭТАПЕ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА\*

А. А. КАЗАКОВ, П. В. КОВАЛЕВ, С. Д. АНДРЕЕВА, А. А. НЕМТИНОВ,  
С. Д. ЗИНЧЕНКО, А. А. ДРОБИНИН\*\*

*В статье приведены результаты исследования дефектов горячекатаного листа из трубных марок сталей, имеющих прокатную природу образования. Предложенная в работе методика металлургической экспертизы, основанная на анализе панорамных изображений сечения листа в районе дефекта, позволила с помощью характерных внешних и микроструктурных особенностей дефектов установить причины их образования, а также предложить рекомендации по их минимизации или полному устранению. На основании результатов работы создан атлас и разработан классификатор дефектов горячекатаного листа, которые широко используются в промышленности.*

*Ключевые слова:* горячекатаный лист, панорамные изображения, алгоритм, дефекты, окалина, неметаллические включения.

Настоящая статья является продолжением, опубликованной в ноябре 2007 г. статьи, посвященной исследованию дефектов горячекатаного листа, имеющих сталеплавильную природу образования. Во второй части статьи основное внимание уделено поверхностным дефектам, причины которых связаны с нарушением технологии пластической деформации. Необходимо отметить, что по внешнему виду рассмотренные в данной статье дефекты были ошибочно отнесены к дефектам сталеплавильного производства. Однако, как будет показано ниже, все эти дефекты имеют совершенно определенные микроструктурные признаки и особенности, позволяющие сделать однозначное заключение об их прокатной природе.

В работе исследовали образцы горячекатаного листа из стали категории прочности Х70. Особенности разработанной методики исследования дефектов горячекатаного листа в части шлифподготовки, травления, а также микрорентгеноспектрального анализа описаны в первой части статьи [1]. Остановимся более детально на оригинальной методике построения панорамных изображений с использованием анализатора изображения «Thixomet.Pro», так как только панорамные исследования позволяют увидеть всю площадь макродефекта на фоне микроструктуры стали. В основу этой методики положен

алгоритм склеивания смежных полей зрения «на лету»: пока предметный столик микроскопа перемещается на очередное смежное поле зрения, предыдущее поле прецизионно «пиксель в пиксель» стыкуется к полю, захваченному накануне. Таким образом, поле за полем формируется панорама размером в несколько десятков или сотен полей зрения и разрешением несколько десятков мегапикселей, при этом удельная площадь пограничных объектов сокращается в несколько раз, а воспроизводимость результатов измерений возрастает многократно.

Причины образования таких поверхностных дефектов горячекатаного листа, как «волосовина», «прикромочная трещина» и «плена», зачастую связывают с неметаллическими включениями сталеплавильного происхождения [2–4]. Проведенные исследования показали, что все они являются разновидностью дефекта прокатного происхождения «закат» и образуются вследствие неравномерного течения металла в приповерхностных зонах кромки листа. Именно по причине единой природы образования все три дефекта часто проявляются одновременно и распространяются вдоль кромки листа на несколько метров. Дефект, условно называемый на производстве «волосовина», представляет собой вытянутое в направлении прокатки поверхностное нарушение сплошности листа в виде неглубоких нитевидных трещин протяженностью до нескольких метров. Данному дефекту присуще групповое расположение вблизи продольных кромок листа: трещины располагаются параллельно друг другу на верхней поверхности листа (рис. 1).

Как известно из литературы, основной причиной возникновения дефекта «волосовина» являются строчки неметаллических включений, которые при

\* Казаков А. А., Ковалев П. В., Чигинцев Л. С. и др. Природа дефектов горячекатаного листа из трубных марок стали. Часть 1. Дефекты, имеющие сталеплавильную природу // Черные металлы. 2007. № 11. С. 8–15.

\*\* А. А. Казаков, П. В. Ковалев, С. Д. Андреева, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; А. А. Немтинов, С. Д. Зинченко, А. А. Дробинин, ОАО «Северсталь», Россия; kovalev@thixomet.ru





Рис. 1. Внешний вид дефекта «закат» (старое название «волосовина»)

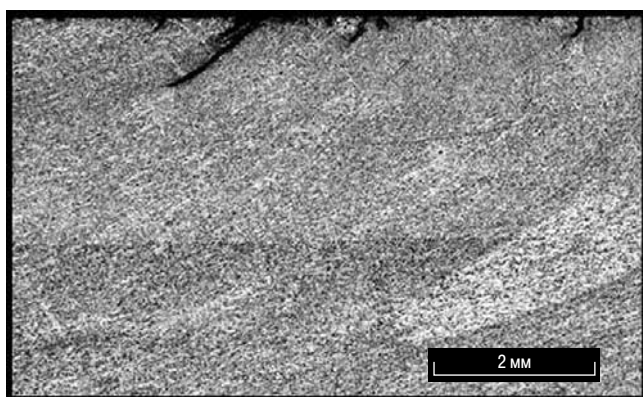


Рис. 2. Микроструктура горячекатаного листа в районе дефекта «закат»

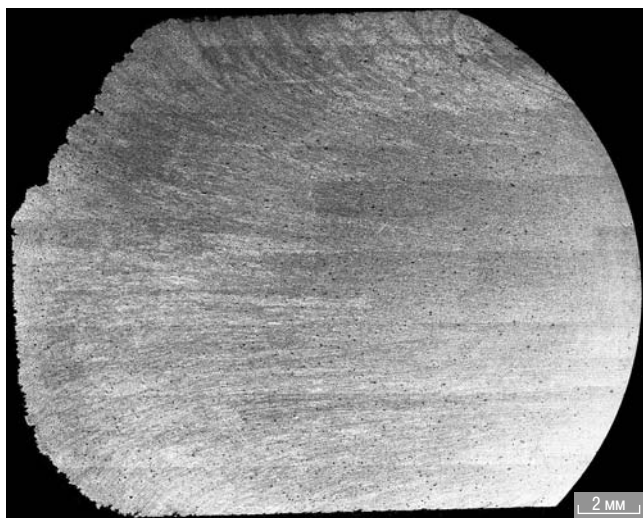


Рис. 3. Панорама линий течения металла на кромке листа вблизи дефекта «закат» («волосовина»), поперечное сечение травленого образца

деформации выстраиваются в направлении прокатки, нарушая тем самым сплошность металла [2, 3, 5]. Однако результаты настоящих исследований показали, что в зонах, непосредственно прилегающих к дефекту, отсутствуют какие-либо неметаллические включения эндо- или экзогенного происхождения, кроме того, нет ни обезуглероженного слоя, обычно сопутствующего горячим трещинам, ни сателлитных

включений, образованных по механизму внутреннего окисления при длительном высокотемпературном контакте окалины с поверхностью металла в трещине (рис. 2). В связи с этим отсутствие указанных микроструктурных признаков позволяет сделать заключение, что корни этого дефекта не связаны со сталеплавильным производством.

Панорамные изображения, состоящие из прецизионно склеенных нескольких сотен обычных полей зрения при увеличении  $\times 50$ , позволили обнаружить ярко выраженные линии течения металла, распространяющиеся по всей толщине горячекатаного листа, особенно в окрестности его дефектных кромок (рис. 3). Причем если в центральной зоне металл при деформации течет исключительно вдоль линии прокатки, то в приповерхностных зонах вблизи кромок наблюдается отклонение течения металла к верхней и нижней поверхностям листа. Это отклонение, как правило, наиболее заметно в верхней части листа, где течение металла имеет веерообразный характер: в центральной и нижней частях листа наблюдается лишь небольшое отклонение от горизонтального направления течения.

Исследование более грубых прикромочных дефектов, называемых «прикромочные трещины» и представляющих собой одиночные трещины с шириной раскрытия до 2 мм и распространяющихся практически по всей длине листа, показали, что микроструктурные признаки, а также характер течения металла в районе дефекта аналогичны описанному выше, однако веерообразность течения металла выражена сильнее, чем в окрестности «волосовин» (рис. 4, 5).

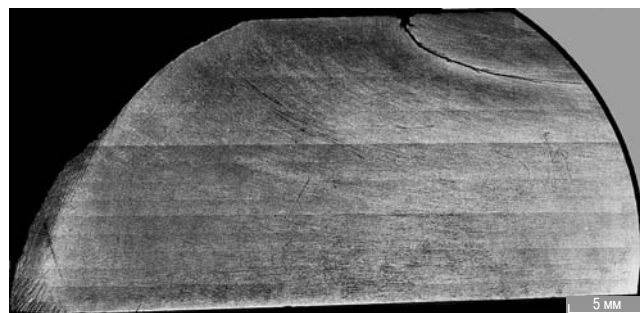


Рис. 4. Грубые трещины при дальнейшем раскрытии волосовин (старое название «прикромочная трещина»), поперечное сечение травленого образца

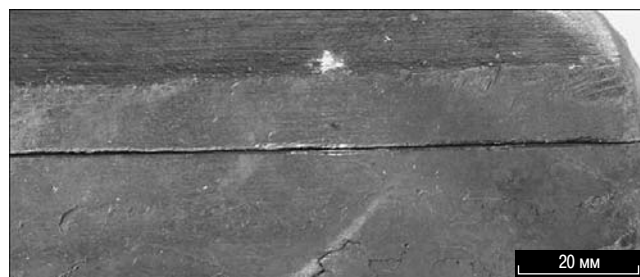


Рис. 5. Внешний вид поверхностного дефекта «закат», идентифицированного как «прикромочная трещина»



Рис. 6. Внешний вид дефекта «прокатная плена»

Очень часто на поверхности горячекатаного листа условно называемым дефектам «волосовина» и «прикромочная трещина» сопутствует третий тип дефекта — «прокатная плена». Внешний вид этого дефекта представляет собой тонкие отслоения металла языкообразной формы (рис. 6), вытянутые в направлении прокатки и распространяющиеся вдоль кромок листа практически по всей его длине. Отличительным микроструктурным признаком этого дефекта является отклонение течения металла от плоскопараллельного, наиболее резко проявляющееся в тонкой приповерхностной зоне листа (рис. 7).

Дефект представляет собой еще один вариант развития веерообразного течения металла, аналогичного наблюдавшемуся в двух предыдущих дефектах. Однако в данном случае дефект из-за особенностей неравномерного течения металла не раскрывается в виде трещины, а раскатывается в тонком приповерхностном слое в виде плены (см. рис. 7). Здесь линии течения металла выходят на поверхность листа под тупым углом, поэтому, попадая под валки, дефект раскатывается в виде тонких приповерхностных отслоений (см. рис. 6).

Таким образом, представленные в данной статье результаты панорамных исследований поперечного сечения листа в районе кромки позволили установить причины образования указанных поверхностных дефектов. Выявленная неравномерность течения металла по сечению листа в прикромочной зоне вызвана значительным температурным градиентом, обусловленным «прикромочными эффектами» и нарушением технологии подстуживания. После подстуживания захлажденная поверхность листа имеет более высокое сопротивление течению при последующей деформации, поэтому на последних проходах в валках скорость течения металла вблизи продольных кромок листа отстает от скорости течения сердцевины, формируя характерный веерообразный рисунок течения на кромках. Степень «раскрытия

веера» и его форма зависят от характера распределения температуры по сечению листа в окрестности кромки, а также от степени обжатия на очередном проходе при прокатке и сил трения на границе «валок—лист». Если линии течения металла выходят на поверхность листа под острым углом, то они закатываются под валками в нитевидные трещины, идентифицируемые ранее как дефект «волосовина» (см. рис. 1–3). В случае, когда линии течения металла выходят на поверхность листа под углом  $90^\circ$ , мощные растягивающие напряжения под валками разрывают волокна поперек и образуются грубые трещины, называемые ранее «прикромочными» (см. рис. 4, 5). Искривление линий течения металла до тупого угла приводит к образованию на поверхности листов характерных тонких языкообразных отслоений металла, которые раскатываются в тонком приповерхностном слое в виде «прокатной плены» (см. рис. 6, 7)

Таким образом, несмотря на совершенно разный внешний вид, природа всех этих трех дефектов одина и связана с неравномерным характером течения металла на кромках листа. Исходя из природы исследованных дефектов, в качестве мер для предотвращения их образования необходимо осуществлять следующие мероприятия: не допускать неравномерное охлаждение поверхности листа, особенно на его кромках, при подстуживании; производить прокатку слябов на разогретых валках; сокращать потери тепла излучением при подстуживании вдоль кромки листа за счет установки тепловых отражающих экранов вдоль рольгангов или утеплением кромок жароупорным войлоком [4–6].

**Дефект «закат» из-за глубоких следов зачистки.** Внешний вид дефекта представляет собой группу тонких криволинейных трещин, расположенных на поверхности горячекатаного листа. Контур дефекта имеет форму незамкнутой кривой, длина которой в отдельных случаях может достигать 20 мм (рис. 8).

Металлографические исследования поперечного сечения данного дефекта показали, что дефект расположен под острым углом относительно направления прокатки, глубина проникновения дефекта составляет чуть более 1 мм. В зонах, непосредственно прилегающих к дефекту, отсутствуют неметаллические включения эндогенного или экзогенного происхождения, а также сателлитные включения (рис. 9). В области дефекта не наблюдается обезуглероженного слоя и окисленных границ. Все

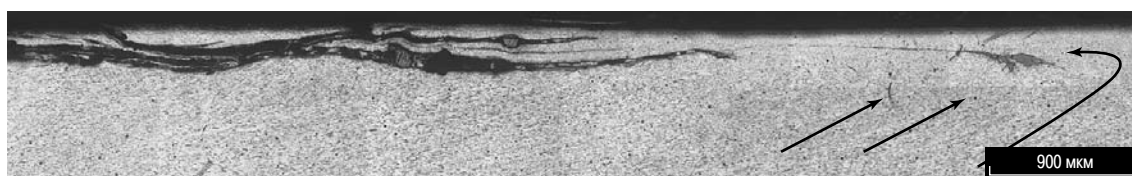


Рис. 7. Панорама дефекта на поперечном травленном шлифе. Характер течения металла в районе дефекта





Рис. 8. Внешний вид дефекта «закат» из-за глубоких следов зачистки

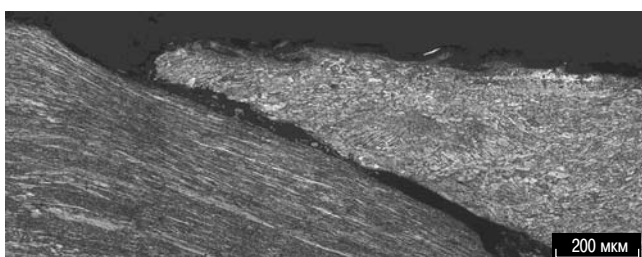


Рис. 9. Волокнистое строение металла в районе дефекта «закат» из-за глубоких следов зачистки

это указывает на несталеплавленную природу образования дефекта.

Принимая во внимание особенности микроструктуры данного дефекта, можно сделать вывод о том, что образование дефекта произошло в процессе прокатки и может быть связано с закатыванием выступа от следов слишком глубокой зачистки дефектов непрерывнолитой заготовки в поверхность горячекатаного листа. Микроструктура металла, расположенного под закатываемым выступом деформирована и полностью повторяет его форму. Это связано с тем, что температура выступа была ниже температуры основного металла, поэтому при попадании данного участка в очаг деформации верхний, более холодный металл вдавился в основной, более пластичный, деформируя его в соответствии со своими размерами и формой. На рис. 9 показано характерное волокнистое строение металла в районе дефекта, имеющее ряд участков сильно деформированных и искривленных при вдавлении выступа от грубой зачистки.

На основании указанных микроструктурных особенностей исследуемый дефект необходимо отнести к группе прокатных дефектов и идентифицировать его как «закат». Другими причинами возникновения «заката» могут быть глубокие царапины на поверхности прокатываемого металла, а также закатываемые металлические частицы (облоя со сляба, заусенца с кромки, отслоившейся частицы с поверхности листа и т. д.) в поверхность горячекатаного листа.

Для предотвращения возникновения рассмотренного дефекта необходимо соблюдать соотноше-

ние глубины и ширины профилей желобков при вырубке или огневой зачистке поверхности непрерывнолитой заготовки, тщательно контролировать поверхность сляба перед прокаткой и своевременно удалять облой, заусенцы, а также отслоившиеся частицы с его поверхности.

Таким образом, по результатам проведенных исследований, позволивших однозначно установить природу обнаруженных дефектов горячекатаного листа, были предложены следующие обобщенные визуальные и металлографические критерии для разделения брака между сталеплавильным и прокатным производством.

*Для дефектов, имеющих сталеплавильную природу, характерны следующие признаки:*

- одиночное расположение дефекта на поверхности листа;
- наличие неметаллических включений эндогенного и/или экзогенного происхождения в области дефекта;
- наличие большого количества крупных высокотемпературных сателлитных включений, декорирующих дефект;
- значительное количество окалины в полости дефекта;
- наличие широкой обезуглероженной зоны вблизи дефекта.

*Для дефектов, имеющих прокатную природу, характерны следующие признаки:*

- симметричное расположение дефекта на поверхности прокатанного листа;
- периодичность расположения дефекта на поверхности листа;
- наличие вблизи дефектов аномального характера течения металла;
- различная степень деформации отдельных участков металла вблизи дефекта.

Для разделения дефекта «плен» в зависимости от природы ее образования предложены следующие критерии.

*«Плены» сталеплавильного происхождения:*

- хаотичное одиночное расположение на поверхности листа;
- значительная толщина отслоений (более 1 мм);
- большие размеры отслоений (более 35 мм в длину).

*«Плен» прокатного происхождения:*

- симметричное расположение на поверхности листа относительно его кромок;
- периодичность расположения;
- расположение в виде строчек на поверхности листа;
- расположение вблизи дефекта прокатного происхождения;
- незначительная толщина отслоений (менее 0,5 мм);
- небольшие размеры отслоений (менее 10 мм в длину).

Кроме того, в данной работе предложены критерии, позволяющие разделять, в зависимости от природы об-

разования, поверхностные дефекты горячекатаного листа в виде трещинообразных несплошностей.

*Для трещин металлургического происхождения характерно следующее:*

- расширение полости дефекта поверхности и сужение в глубь листа;
- разветвленность трещины;
- наличие окалины, сателлитных включений и обезуглероживания структуры в районе дефекта;
- расположение под произвольным углом к направлению прокатки;
- значительное проникновение в глубь листа.

*Несплошностям в виде трещин прокатного происхождения («закатам») присущи:*

- симметричность расположения на поверхности листа относительно его кромок;
- отсутствие разветвленности дефекта;
- волнообразный внешний вид;
- приближение контура трещины к незамкнутой дуге;
- направление вдоль прокатки.

Таким образом, разработанная в настоящей работе методика металлургической экспертизы поверхностных и внутренних дефектов горячекатаного листа позволяет не только определить природу их образова-

ния, но и служит основой совершенствования технологии сталеплавильного и прокатного производств. Это может стать ключевой информацией для разработки систем мониторинга и управления качества металлопродукции на всех этапах ее получения. **ЧМ**

#### Библиографический список

1. Казаков А. А., Ковалев П. В., Чигинцев Л. С. и др. Природа дефектов горячекатаного листа из трубных марок стали. Часть 1. Дефекты, имеющие сталеплавильную природу // Черные металлы. 2007. № 11. С. 8–15.
2. Дефекты стали. Справочное изд. / Под ред. С. М. Новокшеновой, М. И. Виноград. — М.: Металлургия, 1984. — 199 с.
3. Правосудович В. В. и др. Дефекты стальных слитков и проката. Справочное изд. — М.: Интермет Инжиниринг, 2006. — 384 с.
4. Трофимчук В. Д. Дефекты прокатной стали. — М.: Металлургия, 1954. — 631 с.
5. Гаврилин Е. Ф. Контроль дефектов проката. — М.: Металлургия, 1991. — 112 с.
6. Ежов А. А. Дефекты в металлах. Справочник-атлас. — М.: Русский университет, 2002. — 360 с.

УДК 621.771.6:621.746.5.047

## ПРОЦЕССЫ ПЛАНЕТАРНОЙ ПРОКАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

*Г. С. НИКИТИН, В. Б. ДЕМЕШКЕВИЧ, М. Н. ШУЛЯК, Н. А. КОСТРОВ, К. А. КРЮКОВ, Н. Е. ЖУКЕВИЧ-СТОША\**

*Представлена история создания процесса планетарной прокатки, этапы его развития и конструкции планетарных станов для прокатки профилей. Разработаны проекты промышленных агрегатов для производства мелкого сорта, катанки и арматуры производительностью 50–400 тыс. т/год, а также станы для прокатки в калиброванных валках подката круглого и прямоугольного сечения со скруглениями.*

*Ключевые слова: заготовка, обжатие, планетарная прокатка, стан, литейно-прокатный агрегат, дефекты, валки, оборудование.*

В 60-е годы прошлого столетия во многих странах (Канаде, Англии, Германии, России) проводились работы по исследованию процесса планетарной прокатки и созданию планетарных станов. Станы для

прокатки широкой полосы работали в Англии, Германии, Италии и Японии. В настоящее время планетарный стан работает на заводе института специальной металлургии в Шанхае (КНР). Планетарная прокатка имеет ряд преимуществ — высокую вытяжку за проход (до 40), интенсивный разогрев металла от работы деформации, компактность оборудования, низкий расход энергии из-за уменьшения на-

\* Г. С. Никитин, МГТУ им. Н. Э. Баумана; В. Б. Демешкевич, М. Н. Шуляк, Н. А. Костров, К. А. Крюков, ООО «АиМ инжиниринг»; Н. Е. Жукевич-Стоша, Москва, Россия.