



Рис. 1. Широкополосный стан горячей прокатки QSP

Применение технологии термомеханической прокатки для получения листового проката по стандарту API 5L из тонких стальных слябов

Требования к температуре вязкохрупкого перехода (DBTT – ductile to brittle transition temperature) являются важнейшим ограничивающим фактором при прокатке стальных листов по стандарту API 5L из тонких слябов, что объясняется трудностями получения равномерной мелкозернистой микроструктуры. Результаты, достигнутые при применении планировки Danieli QSP на новом мини-заводе "ОМК-Сталь" в Выксе (входит в состав группы ОМК), можно оценить как весьма многообещающие. Для листов класса X70M толщиной 12,7 мм достигнуты показатели DBTT на уровне $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Возможность прокатки более толстой полосы возрастает в случае ослабления требований к показателям DBTT.

Марио Гуаньелли, Паоло Бобиг, компания **Danieli Wean United**, Буттрио, Италия

Контакт: www.danieli.com
E-mail: m.guagnelli@danieli.it

Введение

Производство стального проката по стандарту API 5L вызывает большой интерес в связи с увеличением потребления газа и планируемой прокладкой новых магистральных газопроводов в ближайшем будущем [1–3]. Условиями экономичного транспортирования газа по трубопроводам являются высокие рабочие давления и большой диаметр труб. Это, в свою очередь, требует применения толстостенных труб и/или труб из материала с высоким уровнем механических свойств. Высокая вязкость, характеризующаяся как поглощенной энергией при испытании на ударную вязкость по Шарпи образцов с V-образным надрезом, так и низким значением DBTT (drop weight tear test), а также отличная свариваемость дополняют перечень требований, предъявляемых к стали для производства магистральных трубопроводов. Поэтому производство проката из стали по стандарту API 5L является перспективным направлением развития рынка плоского стального проката, привлекательным для производителей.

С другой стороны, технология прокатки тонких слябов позволяет уменьшить потребление энергии и, соответственно, сократить производственные расходы, а также уменьшить загрязнение окружающей среды. Кроме того, благодаря компактной планировке сокращается объем инвестиций. Благодаря этим особенностям технология прокатки из тонких слябов предпочтительна при сооружении новых станков, хотя необходимо учитывать и ограничения сортамента, связанные с потребностями рынка. Указанные потребности стимулируют сооружение новых мини-заводов, дополняющих производство высококачественной полосы в рулонах. Высококачественные стальные листы, используемые для производства толстостенных магистральных трубопроводных труб, занимают все большее место в сортаменте новых цехов. В связи с этим большой интерес представляет определение потенциальных возможностей — с точки зрения механических свойств и толщины листов — современной технологии получения плоского стального проката по стандарту API 5L из тонких слябов.

Планировка мини-завода QSP

В соответствии с концепцией мини-заводов QSP (quality strip production — производство высококачественной полосы) компании Danieli весь процесс горячей прокатки подразделяется на две стадии (рис. 1). Эта концепция соответствует двухступенчатой схеме термомеханической прокатки, приспособленной к характерным особенностям прокатки тонких слябов.

Двухступенчатая схема термомеханической прокатки успешно применяется для получения толстолиствого проката: ее используют при получении листовой заготовки для труб магистральных трубопроводов класса X100M (20 мм), X80M (25 мм) и X70M (40 мм) при показателях DBTT ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Классическая схема прокатки на толстолистовых станах выглядит следующим образом. На первом этапе микроструктуру, характерную для сляба на выходе из подогревательной печи, измельчают в ходе прокатки при высокой температуре с заданным режимом обжатий: во время пауз между проходами прокатки микроструктура, деформированная в предыдущих проходах, претерпевает рекристаллизацию. Регулируя содержание легирующих элементов (в частности, наиболее важную роль играют Nb, Ti, C и N), а также изменяя распределение температуры по проходам прокатки, можно добиться, чтобы в процессе рекристаллизации происходило измельчение микроструктуры. Типичные размеры зерен аустенита на входе в чистовую группу клетей находятся в пределах 20–30 мкм (рис. 2).

На втором этапе измельчение микроструктуры происходит в результате накопления деформаций. Когда температура ниже известного уровня, при котором отсутствует рекристаллизация

и небольшого количества мартенсита и остаточного аустенита.

Станы для прокатки тонких слябов отличаются от толстолистовых прокатных станов и от традиционных

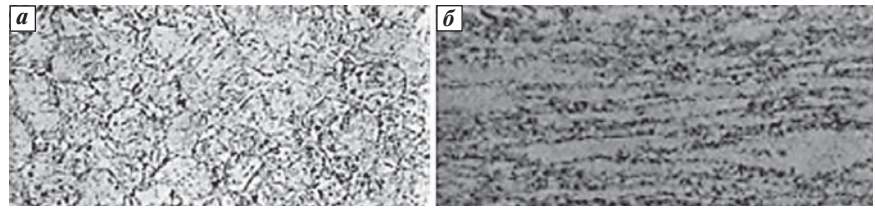


Рис. 2. Примеры эволюции микроструктуры при горячей прокатке: а — рекристаллизованные зерна после черновой прокатки, б — сплюснутые деформированные зерна после чистовой прокатки

(так называемая температура отсутствия рекристаллизации TNR — no-recrystallization temperature), то процесс рекристаллизации замедляется или полностью прекращается, и с каждым следующим проходом прокатки деформация накапливается, а зерна аустенита удлиняются и сплющиваются. Это явление называется «расплющивание зерен». Типичное суммарное обжатие в чистовой группе клетей составляет 67–75 %, а толщина сплюснутых зерен лежит в пределах 5–7 мкм.

После горячей прокатки листы принудительно охлаждают в температурном интервале 650–350 °С, при этом происходит превращение аустенитной микроструктуры, которая принимает окончательный вид: в зависимости от скорости охлаждения, температуры конца охлаждения и состава стали это может быть смесь полигонального феррита (классическая форма феррита в конструкционных сталях), игольчатого феррита, бейнита

широкополосных станов горячей прокатки следующими особенностями:

- меньшей толщиной сляба и, соответственно, меньшим суммарным обжатием, требуемым для прокатки листов (полос) заданной толщины;
- прямой прокаткой после литья, вследствие чего заготовка имеет на входе в стан более грубую микроструктуру;
- возможностью осуществления больших обжатий, особенно на стадии черновых проходов.

Двухступенчатую термомеханическую прокатку тонких слябов проводят в определенной последовательности (рис. 3):

- на первом этапе грубая микроструктура сляба, полученная после литья и подогрева в туннельной печи, становится более тонкой после двух-трех проходов с большими обжатиями в черновой группе клетей при высокой температуре (суммарное обжатие составляет порядка 50 %);

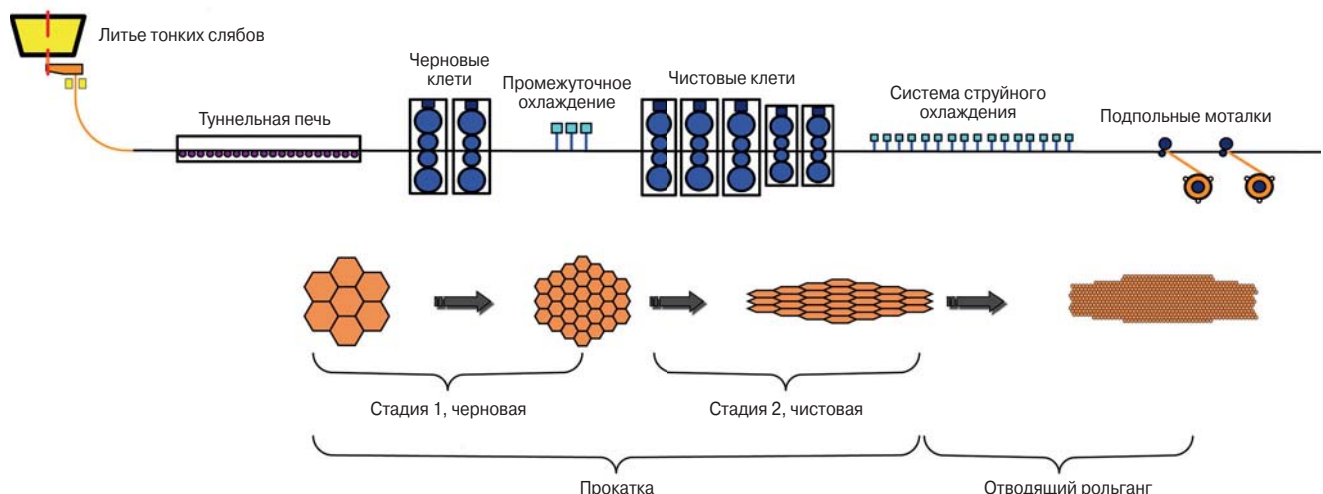


Рис. 3. Концептуальная схема мини-завода компании Danieli (планировка QSP)

- после принудительного охлаждения до температуры ниже точки TNR полосу прокатывают в чистовых клетях, где деформация, накопленная в нескольких проходах, приводит к образованию сплюсненной микроструктуры;
- после горячей прокатки полосу охлаждают на отводящем рольганге и сматывают в рулон, как и на традиционном широкополосном стане.

Моделирование температуры вязкохрупкого перехода при прокатке тонких слябов

При описанном подходе к технологическому процессу класс прокатанной стали определяется двумя основными параметрами, которые характеризуют прочность и вязкость. Характеристикой прочности служит предел текучести, измеренный как напряже-

ние при растяжении образца и определяемый нагрузкой, которой соответствует суммарное удлинение 0,5 % (Rt0.5). Вязкость, характеризующая температурой вязкохрупкого перехода DBTT, определяется как переходная температура, при которой доля вязкой составляющей SATT (Shear area transition temperature) после испытания образцов на ударный разрыв падающим грузом DWTT соответствует 85 % SATT.

Стандарт API 5L устанавливает, что предел текучести следует измерить и подтвердить, что он находится в пределах разброса, установленного для сталей данного класса; минимальное значение этого показателя отражено в обозначении класса. Показатель 85 % SATT непосредственно не измеряется, но испытание падающим грузом DWTT следует проводить при оговоренной стандартном температуре (0 °C или ниже, в зависимости от температуры, при которой будет происходить монтаж

или эксплуатация трубопровода, изготовленного из этой стали), а соответствующая доля вязкой составляющей в изломе должна быть не меньше 85 %. Это предполагает, что в таком случае показатель 85 % SATT для трубы будет ниже, чем при проведении испытаний при заданной стандартной температуре.

Важнейшими свойствами, ограничивающими возможность применения стали по стандарту API 5L, являются вязкость и, в частности, значение DBTT. В реальных условиях имеется несколько возможностей повысить предел текучести, а вязкость можно повысить только путем измельчения микроструктуры. При прокатке листов из тонких слябов ограниченные возможности измельчения микроструктуры связаны с последовательностью проходов при горячей прокатке (в частности, когда толщина листов увеличивается).

Показатель DBTT для полос, прокатанных из тонких слябов на мини-заводах QSP, моделируется с учетом ряда допущений. Подробности моделирования для решения подобных задач рассмотрены в работе [4]. Во-первых, значение DBTT было представлено как функция класса и марки стали, толщины полосы и эффективного размера зерна в микроструктуре. Далее эффективный размер зерна количественно оценивали, исходя из допущения, что при прокатке тонких слябов на стане QSP проводят два черновых прохода при высоких температурах с суммарным обжатием 50 %, и что такого обжатия достаточно для измельчения и гомогенизации литой микроструктуры с получением требуемых нормативными размерами зерна. Чистовые проходы прокатки, выполняемые при низких температурах (ниже TNR), обеспечивают дальнейшее измельчение микроструктуры, с получением в готовой прокатанной полосе микроструктуры со сплюсненными зернами.

Эффективный размер зерен окончательной микроструктуры можно определить как функцию толщины сплюсненных зерен, скорости охлаждения листов на отводящем рольганге и типа микроструктуры. Микроструктура обычно представляет собой смесь отдельных компонентов, объемные доли которых зависят от химического состава стали, размера зерен

| Класс API 5L | Объемная доля феррита (f_f) | Объемная доля бейнита (f_b) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|
| X60M | 1 | 0 |
| X70M | 0,6 | 0,4 |
| X80M | 0,2 | 0,8 |

Таблица 1. Справочные данные об объемных долях основных компонентов микроструктуры для различных марок стали

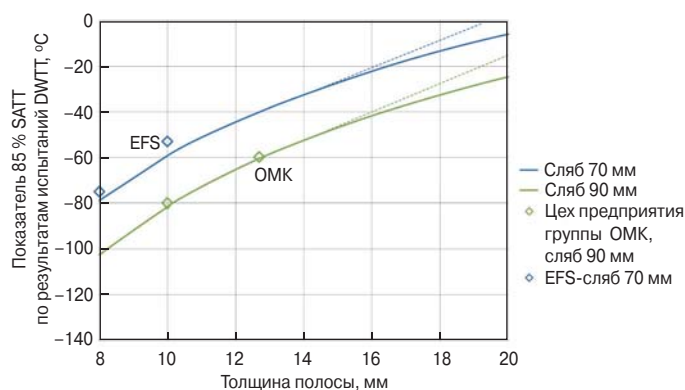


Рис. 4. Моделирование температуры вязкохрупкого перехода (DBTT) в зависимости от толщины полосы при прокатке из слябов различной толщины и сопоставление расчетных результатов с экспериментальными (для стали X70M)

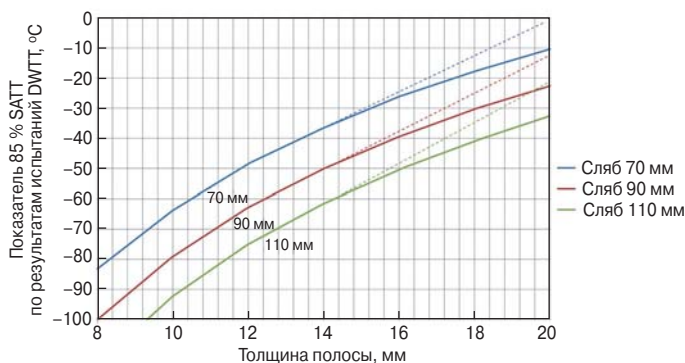
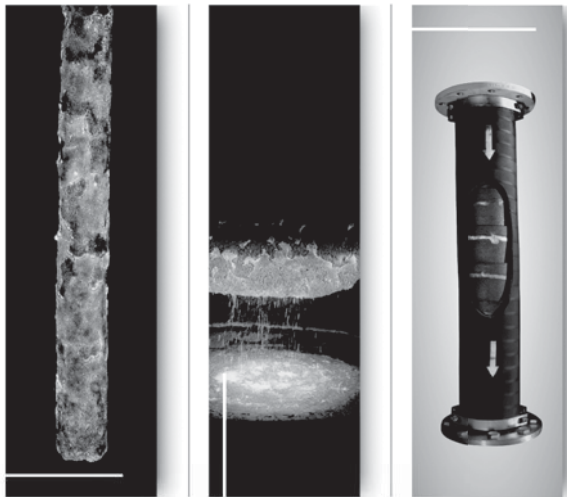


Рис. 5. Изменение температуры вязкохрупкого перехода (DBTT) в зависимости от толщины прокатанной полосы для исходных слябов различной толщины



GSB

Хорошая Надежная Основа
для проверенной продукции

Мы занимаемся поставками огнеупорных монолитных форм, заранее отлитых профилей, погружных труб для циркуляционного вакуумирования и гибких колен. Уникальная компетенция и обширный опыт фирмы GSB в области стальных конструкций и огнеупорных технологий позволяет ей комбинировать «лучшее из двух». Индивидуальный подход к проектам и исключительное качество продукции делают фирму GSB Вашим надежным партнером для реализации жестких требований по огнеупорам.

Feuerfesttechnik
GSB
Group
Verschleißtechnik
Stahlbau

GSB Group GmbH
Flotmannstraße 57
D-44807 Bochum

Тел.: +49 (0)2 34 - 9 04 53-0
Факс: +49 (0)2 34 - 9 04 53-33
Эл. почта: info@gsb-group.de
Интернет: www.gsb-group.de

© www.keller-msr.de

KELLER M,S,R,

INFRARED TEMPERATURE SOLUTIONS

Переносные и стационарные неизнашиваемые
пирометры CellaCast для бесконтактного
измерения температуры жидких металлов



-40 – 3500 °C

www.keller-msr.de · info@keller-msr.de

Реклама

Без цепей, без строп, без проблем!

Трубные траверсы фирмы «LUBAS» позволяют перемещать стальные и бетонные трубы любой длины и тяжести, в горячем и холодном состоянии, с гладкой и шероховатой поверхностью. Благодаря применению вакуумной технологии грузы перемещаются с высокой степенью точности и надежности, отпадает необходимость в ремнях и зажимах, исключается возможность проскальзывания. Несмотря на высокую мощность и крупные габариты, траверсы просты в управлении, а в случае необходимости могут работать в полностью автоматическом режиме. Траверсы «LUBAS» – цепкая хватка!

LUBAS Maschinen
Rostocker Straße 1
D-41540 Dormagen
тел. +49 (0) 2133 47 71 72
факс +49 (0) 2133 4 34 61

Реклама

LUBAS®

www.lubas.de

MEDENUS
Gas-Druckregeltechnik GmbH

MEDENUS
Gas-Druckregeltechnik GmbH

MEDENUS
Gas-Druckregeltechnik GmbH

MEDENUS
Gas-Druckregeltechnik GmbH

MEDENUS
Gas-Druckregeltechnik GmbH

- Регулятор давления газа тип RS 250 / RS 251 с встроенным ПЗК, Рвх; 8 бар, Qmax 7500 нм³/ч
 - Регулятор давления газа тип R 100 / R 101, Рвх; 8 бар, Qmax 8000 нм³/ч
 - ПЗК тип S 100, Рвх; 5 бар; ПЗК тип S 50, Рвх; 5 бар
 - ПЗК тип SL 10, Рвх; 5 бар
- а также перепускные регуляторы
и регуляторы разрежения специальных конструкций



S 50 / S 100

SL 10

R 50

R 100

R 101

RS 250

RS 251

MEDENUS Gas-Druckregeltechnik GmbH · Saßmicker Hammer 40 · 57462 Olpe · Тел. +49 (0)27 61-8 27 88-0 · Факс +49 (0)27 61-8 27 88-9 · www.medenus.de

Реклама

аустенита, накопленной деформации и скорости охлаждения; типичные значения этих параметров для различных классов стали, обычно принимаемые в расчетах, приведены в **табл. 1**. С помощью такой модели можно вычислить значение DBTT как функцию толщины сляба, толщины готовой полосы и предела текучести полосы, характерного для данной марки стали.

Оценка модели по экспериментальным данным

Оценку адекватности разработанной модели выполнили на основе доступных производственных показателей (**рис. 4**). Экспериментальные значения оказались близкими к расчетным кривым.

Для лучшего подтверждения правильности такой методики требуется более широкий массив данных. В частности, большее внимание необходимо уделить листам толщиной более 13 мм. При отсутствии дополнительных данных полученные зависимости можно считать действительными только для толщин до 13 мм, а для листов большей толщины предлагается более консервативный способ оценки по линейным зависимостям в виде касательных, проведенных к кривым в точках, соответствующих толщине 13 мм (касательные обозначены пунктирами на диаграмме). В любом случае очевидно, что показатель DBTT 60 °C для полосы толщиной 12,7 мм соответствует показателю DBTT 20 °C для полосы толщиной порядка 19 мм, прокатанной из сляба с той же толщиной 90 мм.

Практическая реализация технологии прокатки стальных листов по стандарту API 5L из тонких слябов

Кривые для слябов различной толщины из стали одного класса со стандартным химическим составом (класс X70 и химический состав выбраны по результатам оптимизации производственных показателей) приведены на **рис. 5**. Как следует из диаграммы, влияние толщины сляба на показатель DBTT может быть четко выявлено и количественно оценено. В част-

| Сталь стандарта API 5L | Толщина полосы, мм | | |
|-------------------------------------|--------------------|-----|-----|
| | 26 | 24 | 20 |
| X60M | 26 | 24 | 20 |
| X70M | 22 | 19 | 16 |
| X80M | 19 | 16 | 14 |
| Ориентировочный показатель DBTT, °C | 0 | -20 | -40 |

Таблица 2. Потенциальные возможности применения стана QSP при прокатке полос различной толщины с разными значениями температуры DBTT из слябов толщиной 105 мм

максимальную толщину полосы. Например, если принять требуемый показатель DBTT равным 60 °C, то максимальная толщина полосы увеличится с 10,5 до примерно 12,4 и 14,2 мм при прокатке из слябов толщиной, соответственно, 70, 90 и 110 мм.

Для прокатки слябов толщиной 105 мм зависимости ожидаемых показателей температуры DBTT от толщины прокатанной полосы показаны на **рис. 6** для трех классов стали по стандарту API:

Рис. 6. Значение DBTT в зависимости от толщины полосы для сталей различных марок (толщина сляба 105 мм)

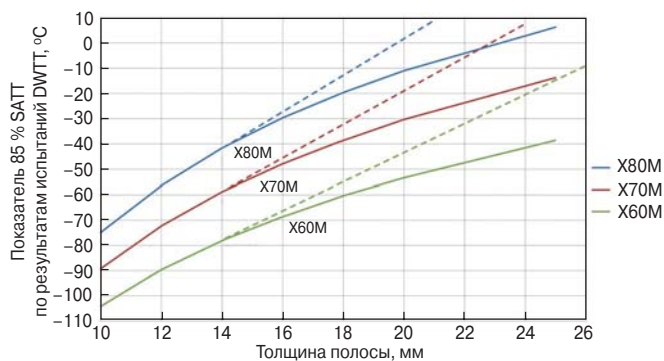
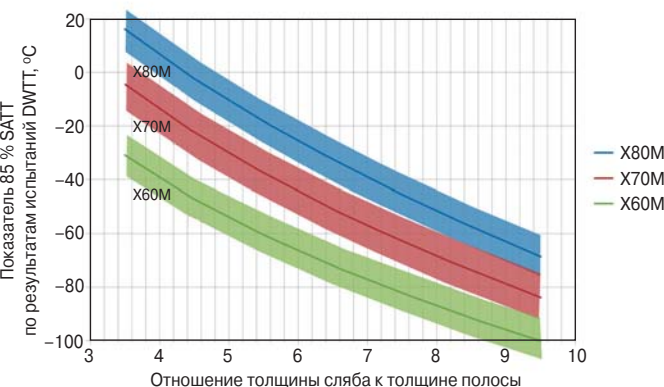


Рис. 7. Изменение показателя DBTT в зависимости от соотношения толщины сляба и толщины полосы



ности, расчетные кривые можно интерпретировать двумя способами.

1. Для заданных параметров (класс и марка стали, химический состав, толщина сляба, толщина полосы) кривые на диаграмме позволяют определить минимальную температуру, при которой ожидаемая площадь сдвига превысит 85 %. Например, для полосы толщиной 14 мм ожидаемый показатель DBTT снижается с -36 до -50 и -62 °C при увеличении толщины исходного сляба с 70 до 90 и 110 мм соответственно.

2. Для заданных параметров (класс и марка стали, химический состав, толщина сляба и требуемые значения показателя 85 % SATT при испытаниях DWTT) по кривым можно определить

X60M, X70M и X80M. Из приведенных зависимостей следует, что на стане QSP можно прокатывать слябы толщиной 105 мм из нескольких марок стали стандарта API 5L, получая полосы, сортамент которых по толщине обобщенно представлен в **табл. 2**.

Для того, чтобы разработать планировку стана, отвечающую принятому конкретному сортаменту проката, целесообразно провести дальнейшее уточнение модели. Для этого, например, можно учесть, как влияет толщина полосы на показатели DBTT:

- через накопленную деформацию (совместно с влиянием толщины сляба);
- с учетом скорости охлаждения на отводящем рольганге;

— непосредственное влияние толщины полосы на DBTT, так как эти показатели зависят от толщины образцов.

Среди перечисленных эффектов наименьшее влияние на температуру вязкохрупкого перехода оказывает скорость охлаждения. Даже при изменении толщины листа от 10 до 20 мм и уменьшении скорости охлаждения с 18 до 9 °C/с показатель DBTT изменится только на 2 °C. Второй по значимости эффект воздействия на температуру DBTT оказывает толщина образцов (примерно 16 °C), а наибольший эффект наблюдается в зависимости от накопленной деформации (порядка 35 °C).

Если принимать во внимание только последний из названных эффектов, то следует остановиться на двух вариантах толщины слябов и толщины готовых листов, представив их в виде относительных показателей. Результаты расчетов при таком допущении показаны на рис. 7; цветные области, выделенные вокруг каждой кривой, показывают, что диаграммы построены по усредненным значениям параметров.

В качестве примера применения этой методики можно рассмотреть синюю кривую для стали X80M. Производство полос из этой стали, предназначенных для стандартного при-

менения (температура 85 % SATP равна 0 °C), возможно только при отношении толщины сляба к толщине полосы, превышающем 4,4. Таким образом, для прокатки полосы толщиной 12 мм требуется сляб толщиной более 53 мм. Если необходимо получить полосу из стали того же класса и той же марки для низкотемпературного применения (например, при значении DBTT 40 °C), то отношение толщины сляба к толщине полосы должно быть более 7,1, т. е. для получения полосы той же толщины (12 мм) требуется сляб толщиной более 85 мм.

Однако можно с уверенностью утверждать, что подобные диаграммы позволяют получать наилучшие усредненные оценки, основанные на достигнутом уровне знаний о процессе прокатки, и их следует использовать в основном для качественных оценок показателей значения DBTT, которые могут быть реализованы при прокатке тонких слябов на мини-заводах.

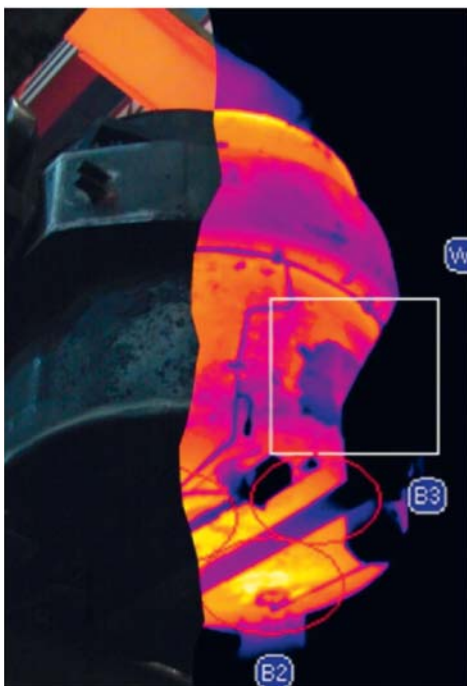
Выводы

Разработана модель для оценки показателей температуры вязкохрупкого перехода DBTT для полос из высокопрочных сталей по стандарту API 5L, прокатанных из тонких слябов на

мини-заводах улучшенной планировки QSP. С помощью этой модели оценены потенциальные возможности технологии QSP при производстве плоского проката из стали по стандарту API 5L. Показано, что с учетом допущений, принятых в этой модели, возможна прокатка полос из стали X80 толщиной до 19 мм из слябов толщиной 105 мм. При прокатке слябов толщиной 105 мм из сталей X70 и X60 можно получать полосы толщиной, соответственно, до 22 и 26 мм. Показано также, как предложенная методика может быть использована для определения толщины слябов, требуемых для производства заданного сортамента продукции. ■

Библиографический список

- [1] ExxonMobil: The outlook for energy: a view to 2040, 2013.
- [2] R. Tubb: Pipeline and Gas Journal's 2013 worldwide construction report. Pipeline and Gas Journal, vol. 204 No. 1, January 2013.
- [3] J. Share: Pipeline outlook 2013. Pipeline and Gas Journal, vol. 204 No. 1, January 2013.
- [4] P. Bobig, M. Guagnelli: API grades toughness analysis for thermo-mechanical rolling in QSP Thin Slab Rolling plants. 9th Int. Rolling Conf. and 6th European Rolling Conf., Venice (Italy), June 2013.




Системные решения для черной металлургии

Pieper GmbH

- поставщик промышленных видеосистем и систем безопасности (CCTV) «под ключ» от разных производителей
- продукция сертифицирована в соответствии с требованиями DIN EN ISO 9001, SCC и ATEX RL 94/9/EG
- имеет более чем 40-летний опыт планирования, разработки, монтажа, ввода в эксплуатацию и технического обслуживания комплексных систем по индивидуальным заказам **во все мире.**

Как поставщик CCTV, мы предлагаем

- Печные камеры и объективы
- Тепловизоры 
- Охлаждаемые защитные кожухи для камер
- Печные датчики
- Возвратные устройства
- Контрольные и информационные пульта

MOOG

PIEPER

Тел.: +61 3 9561 6044

Head office Schwerte
Тел.: +49 2304 4701-0
info@pieper-video.de

Moog Pieper USA
Тел.: +1 301 208 3920
Pieper-US@moog.com

Moog Australia
Тел.: +61 3 9561 6044
gdawson@moog.com

Moog South Africa
Тел.: +27 12 653 6768
wsteyn@moog.com

Pieper Ost - Ukraine
Тел.: +38 (050) 4108080
www.pieper-ost.ru

Реклама

