

УДК 669-1:620.186.82:539.375.5

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ТИПА 10Г2ФБ

НОСЕНКО О.П., к.т.н., доцент

Кафедра материаловедения и обработки материалов. Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-17-31, e-mail: nosenko@mail.pgasa.dp.ua, ORCIDID: 0000-0002-9945-260X

Аннотация. *Цель.* Целью разработки является поиск новых технологических приемов повышения механических и эксплуатационных свойств 10Г2ФБ для металлических конструкций ответственного назначения. *Методика.* Структуру образцов стали изучали методами количественной и качественной световой микроскопии на микроскопах „Эпиквант“, „Неофот-2“. Испытания механических свойств на растяжение проводили по ДСТУ EN 10002 1:2006, ударную вязкость определяли на образцах с U- и V-образным надрезами по ДСТУ EN 10045-1:2006. Влияние температуры конца деформации в черновой клети на комплекс механических свойств было изучено на основе анализа данных более пятисот прокаток стали 10Г2ФБ в заводских условиях. Для оценки влияния режимов деформации в черновой клети толстолистового стана 3000 на структуру и свойства листа из стали марки 10Г2ФБ были прокатаны опытно-промышленные партии слябов с увеличенным числом пропусков в черной клети при сохранении суммарной деформации металла. *Результаты.* Разработан температурно-деформационный режим горячей деформации толстолистовых низкоуглеродистых микролегированных сталей, который отличается повышенным количеством проходов в черновой клети, что стабилизирует субструктуру аустенита и способствует измельчению ферритного зерна в готовом листе. *Научная новизна.* Впервые показано, что увеличение цикла прокатки в черновой клети толстого листового стана совместно с принудительным водяным охлаждением раскатов приводит к стабилизации субзеренной структуры горячедеформированного аустенита, к снижению разброса механических показателей и служебных свойств листового проката, способствует разрушению феррито-перлитной полосчатости. *Практическая ценность.* Повышает как прочностные так и пластические свойства металла для строительных конструкций.

Ключевые слова: экономнолегированная сталь, субзеренная структура, аустенит, механические характеристики, феррито-перлитная полосчатость, толстолистовой прокатный стан.

ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОВУГЛЕЦЕВИХ МІКРОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ТИПУ 10Г2ФБ

НОСЕНКО О.П., к.т.н., доцент

Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів. Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-17-31, e-mail: nosenko@mail.pgasa.dp.ua, ORCIDID: 0000-0002-9945-260X

Анотація. *Мета.* Метою розробки є пошук нових технологічних прийомів підвищення механічних й експлуатаційних властивостей 10Г2ФБ для металевих конструкцій відповідального призначення. *Методика.* Структуру зразків сталі вивчали методами кількісної та якісної світлової микроскопії на микроскопах "Епиквант", "Неофот-2". Випробування механічних властивостей на розтягнення проводили за ДСТУ EN 10002 1: 2006, ударну в'язкість визначали на зразках з U- та V-подібним надрізами за ДСТУ EN 10045-1: 2006. Вплив температури кінця деформації в чорновій клітці на комплекс механічних властивостей було вивчено на основі аналізу даних понад п'ятисот прокаток сталі 10Г2ФБ у заводських умовах. Для оцінювання впливу в режимі деформації в чорновій клітці товстолистового стану 3000 на структуру й властивості листа зі сталі марки 10Г2ФБ були прокатані дослідно-промислові партії слябів зі збільшеним числом пропусків у чорновій клітці при збереженні сумарної деформації металу. *Результати.* Розроблено температурно-деформаційний режим гарячої деформації товстолистових низкоуглецевих мікролегованих сталей, який відрізняється підвищеною кількістю проходів у чорновій клітці, що стабілізує субструктуру аустеніту і сприяє подрібненню феритного зерна в готовому листі. *Наукова новизна.* Вперше показано, що збільшення циклу прокатки в чорновій клітці товстого листового стану разом із примусовим водяним охолодженням розкатів веде до стабілізації субзеренної структури горячедеформованого аустеніту, до зниження розкиду механічних показників і службових властивостей листового прокату, сприяє руйнуванню ферито-перлітної смугастості / смужкуватості. *Практична цінність.* Підвищує як міцність, так і пластичні властивості металу для будівельних конструкцій, особливо в Z-напряму, що є дуже важливим для будівельних конструкцій.

Ключові слова: Економнолегована сталь, субзеренна структура, аустеніт, механічні характеристики, ферито-перлітна смугастість / смужкуватість, товстолистовий прокатний стан.

INCREASED STRENGTH CHARACTERISTICS OF LOW CARBON MICRO-ALLOYED STEEL GRADE 10G2FB

NOSENKO O.P., *Ph.D., Associate Professor*

The Department of Material Studies and Materials Processing. State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", ul. Chernyshevsky, 24-a, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-17-31, e-mail: nosenko@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9945-260X

Annotation. *Aim.* The purpose of research is the search of new technological methods of increasing mechanical and performance properties of the steel grade 10G2FB for metal structures of responsible appointment. *Methods.* The structure of the steel samples was studied by qualitative and quantitative light microscopy at microscopes "Epikvant", "Neofot-2". Testing mechanical properties of tensile was carried out according to DSTU EN 10002 1: 2006. Effect of temperature at the end of deformation of the roughing stand on complex mechanical properties has been studied based on the analysis of over five hundred steel rollings of 10G2FB grade factory to assess the effect of the deformation modes in the roughing stand plate mill 3000 on the structure and properties. Sheet steel of 10G2FB grade was rolled in pilot batches of slabs with the increased number of passes in a black cage, while maintaining the total deformation of the metal. *Results.* Temperature-deformation of hot deformation mode of thick low-carbon micro-alloyed rolled products was developed, which is characterized by an increased number of passes in the roughing stand that stabilizes substructure of the austenite and ferrite grain refinement contributes to the finished sheet. *Scientific novelty.* It was shown that the increase in the cycle of rolling plate mill roughing stand combined with rapid water-cooled rolls leads to the stabilization of hot-subgrain structure of austenite, reduces the spread of mechanical performance and service properties of sheet metal, and destroys the ferrite-pearlite banding. *Practical value.* It improves both the strength and plastic properties of the metal for building structures.

Keywords: sparingly alloyed steel, subgrain structure, austenite, mechanical properties, ferrite-pearlite banding, heavy plate rolling mill.

Введение

В настоящее время наблюдается рост применения в строительных металлических конструкциях ответственного назначения хорошо свариваемого металлопроката из малоуглеродистых микролегированных сталей с повышенной прочностью [1-6].

При выборе стали для проектирования высотных и большепролетных сооружений целесообразно отдавать предпочтение низкоуглеродистым экономнолегированным сталям, поскольку они при одинаковом уровне прочности со низколегированными сталями того же класса, имеют менее высокую стоимость. Использование в промышленном и гражданском строительстве экономнолегированных сталей является экономически целесообразным из-за экономии денежных средств в связи меньшим потреблением легирующих элементов, обеспечивающих прочностные характеристики выплавляемых низколегированных сталей. Исходя из этих соображений нами для исследований была выбрана сталь марки 10Г2ФБ, которая соответствует классу прочности С490 по СНИП 11-23-81*.

Цель

Целью настоящей разработки является повышение комплекса механических и эксплуатационных свойств металлопроката из низкоуглеродистых экономнолегированных сталей для строительных металлических конструкций ответственного

назначения путем совершенствования существующей технологии его производства.

Для достижения указанной цели поставлены следующие основные задачи:

- экспериментально определить влияние условий горячей деформации и длительности последеформационной выдержки на формирование зеренной и полигонизированной структуры аустенита высокотемпературной области;
- оценить в условиях «ММК им.Ильича» требуемые параметры термомеханической обработки стали способное в листовом прокате из стали марки 10Г2ФБ повысить прочность при сохранении высокого уровня пластичности.
- объект исследования — структурообразование при горячей деформации малоуглеродистых сталей.

Результаты

Результаты выполненных нами исследований [7] показали, что в аустените после горячей деформации некоторое время существует высокодисперсная субструктура в виде полигональных малоугловых границ, служащая основной для гетерогенного зарождения зерен доэвтектоидного феррита. Если создать условия для сохранения такой полигонизированной субструктуры, то она может способствовать общему измельчению конечной α -зеренной структуры и повышению как прочностных, так и пластических свойств готового проката.

Таким образом, основной идеей, которая может быть положена в основу при разработке технологического режима, повышающего

прочностные свойства готового проката без существенного понижения пластических характеристик, является **принцип сохранения тонкой структуры горячедеформированного аустенита**, формирующейся к моменту окончания процесса деформации в черновой клетке прокатного стана.

Это может быть осуществлено **путем регулируемого охлаждения после деформации в черновой клетке**, так как в дальнейшем мелкая структура полигонизованного аустенита порождает во время $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения мелкое ферритное зерно, с которым металл поступает на последующую горячую деформацию в чистовой клетке. Во время чистовой прокатки формируется новая еще более дисперсная окончательная структура деформированного феррита ответственного за прочностные и пластические характеристики готового изделия.

Второй путь измельчения и фиксации субструктуры аустенита – **снижение температуры прокатки путем увеличения количества проходов в черновой клетке**. Это позволит с одной стороны увеличить количество дефектов кристаллической решетки аустенита при горячей деформации, а с другой – зафиксировать требуемое структурное состояние снижением температуры конца прокатки и удержать это состояние вплоть до начала выделения доэвтектоидного феррита.

Таким образом:

1. Последеформационные паузы способствуют развитию постдинамических процессов полигонизации и рекристаллизации.

2. Размеры новообразовавшихся аустенитных зерен не превышают 50 мкм в условиях данного эксперимента.

3. Одним из факторов сдерживающих рост аустенитного зерна является выделение доэвтектоидного феррита по границам и субграницам.

4. Измельчение конечного ферритного зерна возможно путем сохранения полигональной субструктуры аустенита в постдеформационный период, с использованием двух технологических операций: а – повышением дробности деформации в аустенитной области; б – ускоренное понижением температуры до начала распада аустенита сопровождающегося выделением зародышей доэвтектоидного феррита по стыкам субзеренных и зеренных границ горячедеформированного аустенита.

Процессы структурообразования, которые происходят при высокотемпературной деформации имеют важное значение для последующего процесса распада аустенита в межкритическом интервале температур, поскольку они определяют количество зародышей и скорость роста доэвтектоидного феррита при снижении температуры [7]. Таким образом, даже небольшие включения аустенита в режиме горячей деформации влияют как на кинетику процесса фазового превращения, так и на структуру продуктов распада аустенита, а, следовательно, и на эксплуатационные свойства листа.

Влияние температуры конца деформации в черновой клетке на комплекс механических свойств было изучено на основе анализа данных более пятисот прокаток стали 10Г2ФБ в заводских условиях [8].

Анализ диаграмм показал тенденцию к повышению комплекса механических свойств толстолистового проката при более низких температурах конца прокатки в черновой клетке. Таким образом, основная идея, которая была положена в основу разработки нового технологического режима, является сохранение тонкой структуры горячедеформированного аустенита, которая формирует мелкозернистую структуру стали к моменту окончания процесса деформации в черновой клетке прокатного стана за счет увеличения числа циклов горячего деформирования.

Для оценки влияния режимов деформации в черновой клетке толстолистового стана 3000 на структуру и свойства листа из стали марки 10Г2ФБ были прокатаны опытно-промышленные партии слябов с увеличенным числом пропусков в черной клетке при сохранении суммарной деформации металла. Микроструктурный анализ показал [9], что после увеличения количества пропусков на 2, 4, и 6 наблюдается некоторое уменьшение размеров зерен и субзерен феррита в готовых листах. Благоприятное измельчение зерна феррита подтверждается ростом прочностных характеристик при повышении уровня пластичности.

Для исследования влияния последеформационной паузы на формирование структуры и комплекса механических свойств стали марки 10Г2ФБ, были проведены сравнительные прокатки слябов. Анализ структуры полученных листов [9] показал, что аустенитное зерно низкоуглеродистой стали марки 10Г2ФБ в течение первой минуты после горячей деформации вырастает медленно и достигает размера в среднем не более 20...25 мкм. В дальнейшем их поперечный размер увеличивается медленно, и к 6-той минуте достигает 40...45 мкм, а к окончанию времени пребывания на обводном рольганге не превышает 50 мкм в поперечнике, который отвечает 5-тому...6-тому баллу по ГОСТ 5639-82. Характер распределения ферритных зерен показывает, что при снижении температуры в межкритическом интервале они выделяются в виде мельчайших кристаллов, размеры которых составляют от 1,5 (внутри аустенитных зерен) до 8 мкм по границам аустенита. Это позволяет допустить, что их зарождение происходит одновременно как на бывших большеугловых, так и на субзеренных границах, которые сформировались во время горячей деформации аустенита.

Таким образом, проведенные исследования показали, что их результаты могут быть положены в основу корректировки промышленного режима высокотемпературного деформирования стали при контролируемой прокатке.

Таблица 4

Механические свойства стали 10Г2ФБ после прокатки по штатному и предложенному режимам. The mechanical properties of steel after rolling 10G2FB on staffing and proposed regimes

Режимы	Предел текучести σ_T , МПа	Временное сопротивление σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение ψ , %	KCV (-20) МДж/м ²
Штатная	510	570	31	65	78
Штатная (Z-направление)	236	326	12	70	52
Предложенная	540	600	38	70	124
Предложенная (Z-направление)	450	500	27	71	74

Для этого на стане 3000 ММК им. Ильича (г. Мариуполь) были прокатаны опытные слябы из стали марки 10Г2ФБ, при этом в черновой клети стана число пропусков было увеличено на шесть при неизменной суммарной деформации металла. Температура конца деформирования слябов по штатной технологии составила в среднем 980°С. При увеличении числа пропусков, то есть при прокатке за 17 пропусков, температура конца деформации снизилась на 50...70°С, при этом длительность полного цикла прокатки по предлагаемому режиму не возрасла, поскольку на это же время сократилось время пребывания раскатов после черновой клети на обводном рольганге. Микроструктура готовых листов, прокатанных по предлагаемому режиму характеризовался высокой дисперсностью и развитой перлитной полосчатостью (рис.1).

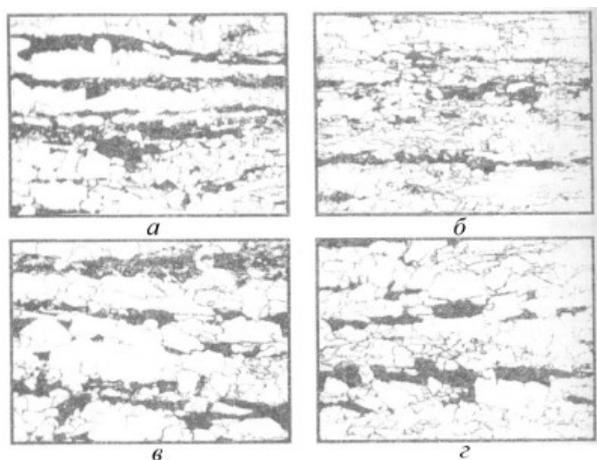


Рис.1. Микроструктура готовых листов из стали марки 10Г2ФБ x 1000. а, б – поверхность; в, г – середина; а, в – штатная технология, б, г – предложенная. / Fig.1. The microstructure of the finished sheets of steel 10G2FB x 1000 a, б - surface; в, г - midpoint; а, б - standard technology, в, г - proposed.

Механические испытания показали, что прочностные свойства экспериментальных листов были несколько выше по сравнению со штатными, а показатели пластичности более высокие как вдоль, так и поперек направления прокатки.

Одним из основных показателей применимости стали в строительстве является относительное сужение по толщине, то есть в Z-направлении. Для класса качества Z-35, который является предельным по EN 10164:1993, среднее значение относительного сужения после испытаний на разрыв должно быть не менее 35% в Z-направлении.

Проведенные в рамках данной работы испытания на растяжение экспериментальных листов в Z-направлении показали величину относительного сужения равную 60...70%. что почти вдвое превышает требования нормативной документации [9, 10].

Формирование требуемых показателей прочности при повышении толщины проката нуждается в поиске новых и совершенствовании существующих методов воздействия на структуру и свойства толстого листа. Одним из таких методов является технология формирования субструктурного состояния аустенита при горячей прокатке в черновой клети.

Таким образом:

1. Разработан температурно-деформационный режим горячей деформации толстолистовых низкоуглеродистых микролегированных сталей, который отличается повышенным количеством проходов в черновой клети, что стабилизирует субструктуру аустенита и способствует измельчению ферритного зерна в готовом листе.

2. Проведены промышленные испытания предложенного режима прокатки, который использует фиксацию субструктурного состояния горячекатаного аустенита путем повышения дробности деформации.

3. Сдаточные испытания показали, что увеличение циклов горячей деформации в черновой клети способствует повышению в готовом листе комплекса механических свойств: σ_B на 30...40 МПа; σ_T на 20...30 МПа; δ_5 на 2...5 %; KCV(-40) на 5...6 МДж/м².

4. Результаты механических испытаний в Z-направлении показали, что они удовлетворяют требованиям класса качества Z-35 по стандарту EN10164:1993 и даже их превышают: величина относительного сужения составляет 65...75%.

5. Получены положительные результаты промышленного опробования режима прокатки, основанного на стабилизации субзеренной структуры горячедеформированного аустенита, показали его перспективность применения в условиях ММК «им. Ильича» для снижения разброса механических показателей и повышения служебных свойств готовой продукции.

6. Сравнительный анализ структуры и механических свойств готового проката по существующей и предложенной технологиям показали, что с увеличением толщины готового листа

преимущества предложенной технологии проявляются в большей степени, поскольку снижается влияние условий прокатки в чистовой клети и повышается в черновой.

Формирование требуемых показателей прочности при повышении толщины проката нуждается в поиске новых и совершенствовании существующих методов воздействия на структуру и свойства толстого листа. Одним из таких методов является технология формирования субструктурного состояния аустенита при горячей прокатке в черновой клети.

Разработка основ технологии производства толстолистового проката повышенной прочности из малоуглеродистой микролегированной стали 10Г2ФБ.

Толстолистовой прокат из малоуглеродистой микролегированной стали высокой прочности типа 10Г2ФБ производится по технологии низкотемпературной контролируемой прокатки. Слябы в черновую клеть стана3000 поступают с температурой 1150 °С. Прокатка раскатов в черновой клети происходит за 13-15 пропусков(см. таблица 5).

Таблица 5

Режимы деформации слябов в черновой клети стана 3000 / Modes slab deformation in roughing mill stand 3000

Размер сляба: 250x1850x2650 мм. Размер раската после черновой клети:48,0x1985x12850 мм.

Номер пропуска	Обжатие		Усилие прокатки, т
	Абсолютное, мм	Относительное, %	
Разворот сляба на 90°			
1	12,0	4,80	1880
2	10,4	4,16	2507
Разворот сляба на 90°			
3	25,1	10,04	2399
4	23,5	9,40	2497
5	25,5	10,20	2591
6	24,1	9,64	2723
7	25,3	10,12	2905
8	23,7	9,48	2663
9	17,1	6,84	2842
10	15,2	6,08	-
11	-	-	-

Температура окончания прокатки черновой клети—1000...970 °С. Температура прокатки в чистовой клети —740...750 °С.

Подстуживание раскатов происходит на обводном рольганге «стана3000»(байпас). Время нахождения раскатов на байпасе —300...360 сек. При этом раскаты постоянно передвигаются реверсивно по рольгангу, охлаждаясь на воздухе (при непрерывном его «покачивании» взад-вперед). Подстуживание раскатов происходит до температур, обеспечивающих требуемую температуру начала прокатки в чистовой клети (в межкритической зоне температур).

Таким образом, низкотемпературная технология прокатки **исключает ускоренное охлаждение** раскатов водой.

Предлагаемая новая технология производства толстолистового проката предусматривают следующие операции:

1) Поступление слябов для прокатки в черновой клети с пониженной температурой 1100...1050°С;

2) В черновой клети стана3000 осуществляется дробная деформация раскатов путем увеличения числа пропусков(с 15-ти до 21-ти) без изменения конечной толщины раскатов, выходящих из черновой клети (таблица 2). Данный режим деформации защищен патентами на полезную модель №57579 «Способ изготовления листового проката с малоуглеродистой микролегированной стали» [13] и №56680 «Способ изготовления листового проката из низкоуглеродистой микролегированной стали» [12];

3) Принудительное водяное охлаждение раскатов за черновой клетью на установке ускоренного охлаждения раскатов (в межклетевой установке турбулентного камерного охлаждения);

4) Прокатка раскатов в чистовой клети в межкритическом интервале температур (без охлаждения раскатов через байпас).

В таблице 6 приведены режимы деформации раската толстолистового проката с увеличенной дробностью деформации использующее фиксирование субструктурного состояния горячекатанного аустенита

Таблица 6

Режимы деформации слябов с увеличенным числом пропусков (температура конца прокатки — 925°С) / Deformation modes of slabs with increased number of passes (end-rolling temperature of 925 °C)

Номер пропуска	Обжатие		Усилие прокатки, т
	Абсолютное, мм	Относительное, %	
Разворот на 90°			
1	12,9	5,16	2075
2	8,8	3,52	2152
Разворот на 90°			
3	21,1	8,44	2259
4	19,3	7,72	2012
5	18,3	7,32	2101
6	15,1	6,04	2036
7	15,7	6,28	2113
8	15,2	6,08	1823
9	12,9	5,16	1931
10	11,8	4,72	1846
11	11,9	4,76	2033
12	11,6	4,64	1671
13	8,4	3,36	2490
14	12,3	4,92	2098
15	6,7	2,68	-
16	-	-	-

Проведенные промышленные испытания нового режима прокатки с увеличенной дробностью деформации в черновой клети привело:

- кстабилизации субзеренной структуры горячедеформированного аустенита;
- к снижению разброса механических показателей и служебных свойств листового проката;

- к повышению как прочностных, так и пластических свойств;
 -способствовало разрушению феррито- перлитной полосчатости.

Краткое описание способа ускоренного охлаждения раскатов на транспортном рольганге между черновой и чистовой клетями «стана-3000»

А. Принудительное водяное охлаждение раскатов.

Способ ускоренного охлаждения раската за черновой клетью стана -300 разработан на основе патента Украины [10].

В технологической схеме:черновая клеть – выдержка металла на транспортном рольганге - чистовая клеть в период охлаждения раската на воздухе после его прокатки в черновой клети возможен рост зерен и частичная их рекристаллизация, приводящая к разнотерности феррита, ухудшающей ударную вязкость стали. Одним из путей, позволяющих устранить это явление, является применение **ускоренного охлаждения раскатов водой** или водовоздушными смесями после их прокатки в черновой клети.

На толстолистовых станах 3600 и 3000 ранее рассматривался вопрос ускоренного охлаждения раскатов между их прокаткой в черновой и чистовой клетями, однако конструктивные недостатки спроектированных установок и неэффективность принятых способов охлаждения из-за возникновения "паровой рубашки" при контакте охладителя (воды) с поверхностью раската не позволили реализовать разработанные проекты.

Нами был разработан и предложен принципиально новый способ охлаждения раскатов толщиной 30..80 мм непосредственно после их прокатки в черновой клети. Предложенная меткомбинату конструкция межклетьевого устройства учитывала возможность входа в установку раскатов с загнутым передним концом до 1000 мм. Разработанная установка эффективна, поскольку процесс охлаждения раскатов происходил без образования "паровой рубашки", а также экономичной по расходу оборотной воды без ограничения примесей в воде.

Межклетьевая установка турбулентного камерного охлаждения (ТКО) для ускоренного охлаждения раскатов предполагалось располагать на транспортном рольганге между черновой и чистовой клетями. Она состояла из шести секций охлаждения, включающих в себя верхнюю (над раскатом) (1) и нижнюю (под раскатом) (2) камеры охлаждения (рис.2). Раскат передвигается по рольгангу (4) с постоянной скоростью $V_{мет} = 0,4м/сек$. В зависимости от толщины раската и требуемой среднемассовой температуры определяется количество работающих секций. Вода под давлением $PВ$ попадает в верхнюю и нижнюю камеры, образуя турбулентный сплошной поток, движущийся по поверхности раската со скоростью $Vв > 3м/сек$ (число $Re > 40000$). Вода перемещается по верхней и нижней поверхностям раската по направлению от его

продольной оси к боковым кромкам раската, не соприкасаясь с их боковой поверхностью.

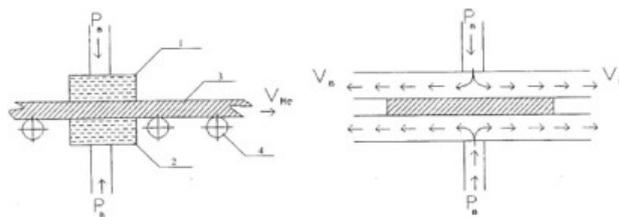


Рис.2 Схема межклетьевого устройства турбулентного камерного охлаждения (ТКО) для ускоренного охлаждения раскатов.

Высокотурбулентный поток воды хорошо перемешивается, что усредняет температуру воды и сокращает время контакта микрообъемов воды с поверхностью проката. Предотвращается появление паровой рубашки или же создаются условия для ее разрушения.

Предлагаемый способ охлаждения раскатов в потоке стана 3000 является очень эффективным. Он позволяет снизить время пребывания раскатов на участке транспортного рольганга между черновой и чистовой клетями, достичь требуемой по технологии прокатки в чистовой клети температуры, обеспечить равномерные значения уровня механических свойств по длине раскатов, снизить вторичное окисление и глубину обезуглероженного слоя. Следует отметить, что время охлаждения раскатов существенно сокращается в связи с более интенсивным теплосъемом, так как турбулентный поток с $Re > 40000$ обеспечивает быструю смену микрообъемов воды на поверхности металла и выравнивает температуры воды по всему объему.

Б. Межклетьевая установка ускоренного охлаждения (ТКО).

Межклетьевая установка ускоренного охлаждения (см. рис.2) состоит из шести секций. Каждая секция состоит из двух камер охлаждения: верхней (1) и нижней (2).

Верхняя камера охлаждения крепится к трубчатому валу трапецидальной формы, установленному на опорах. Форма вала позволяет поднять камеру охлаждения таким образом, чтобы предотвратить возможность столкновения переднего конца раската, поступающего в межклетьевою установку с верхней камерой охлаждения. Высота подъема верхней камеры - 1000 мм. Это дает возможность раскатам с передним загнутым концом свободно проходить через межклетьевою установку. Нижняя камера охлаждения устанавливается между роликками рольганга жестко.

Во время входа переднего конца раската в зону охлаждения верхняя камера опускается. Подъем и опускание камеры охлаждения производится пневмоцилиндром.

В рабочем положении секции при охлаждении раскатов зазоры между поверхностями раската и

камерами охлаждения составляет 5 мм. Для повышения жесткости конструкции камер охлаждения в горизонтальной плоскости предусмотрены стяжные стойки. Стяжные стойки на валу крепятся шарнирно, что позволяет удерживать нижнюю плоскость камеры в горизонтальном положении. Для того, чтобы верхняя камера не легла на поверхность раската предусмотрены ограничительные ролики.

Поскольку нижняя камера охлаждения крепится жестко, а зазор между камерой и нижней поверхностью раската - 5мм, то для соблюдения этого зазора при износе поверхности роликов рольганга (уменьшение наружного диаметра) предусмотрены съемные пластины которые меняются по мере износа роликов.

Охладитель подается в торец трубчатого вала через гидрошарнир, а через второй гидрошарнир - в камеру охлаждения. Вода в нижнюю камеру охлаждения подается снизу.

Проект межклетевой установки ускоренного охлаждения (ТКО) был рассмотрен на техсовете меткомбината и по результатам обсуждения было принято решение по изготовлению установки в службе главного механика меткомбината. К сожалению, по независящим от разработчиков обстоятельствам, изготовление установки было перенесено на неопределенный срок.

При проведении опытно-промышленных прокаток опытных слябов на стане 3000 ускоренное охлаждение раскатов за черновой клетью, ввиду отсутствия межклетевой установки ускоренного

охлаждения (ТКО), ускоренное охлаждение раскатов после их выхода из очага деформации осуществлялось посредством их обильного полива водой под давлением 10 атм.

Выводы

1. Разработан температурно-деформационный режим горячей деформации толстолистовых низкоуглеродистых микролегированных сталей, который отличается повышенным количеством проходов в черновой клетке, что стабилизирует субструктуру аустенита и способствует измельчению ферритного зерна в готовом листе.

2. Впервые показано, что увеличение цикла прокатки в черновой клетке толстолистового стана совмещенного с последующим принудительным водяным охлаждением раскатов приводит к стабилизации субзеренной структуры горячедеформированного аустенита, к снижению разброса механических показателей и служебных свойств листового проката, способствует разрушению феррито-перлитной полосчатости.

3. В результате разработки нового температурно-деформационного режима прокатки толстолистового проката из низкоуглеродистых микролегированных сталей повышаются как прочностные так и пластические свойства металла, в том числе вZ-направлении, что очень существенно для строительных металлоконструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жербин М.М. Высокопрочные строительные стали (характеристики, область применения, расчет и проектирование) / Жербин М.М. – К. : «Будівельник», 1974. -160 с.
2. Большаков В.И. Новые материалы и технологии в промышленном и гражданском строительстве / Большаков В.И. – К. 6 Вища школа, 1990.- 52 с.
3. Большаков В.И. Использование сталей повышенной прочности в новом высотном строительстве и реконструкции /Большаков В.И., Разумова О.В, - Днепропетровск: Пороги, -2008. -216 с.
4. Большаков В.И. Основы формирования стальных каркасов многоэтажных и высотных зданий / Большаков В.И., Жербин М.М., Разумова О.В. –Днепропетровск, ПГАСА, 2003. -124 с.
5. Большаков В.И. Разработка и использование сталей повышенной и высокой прочности в строительстве /Большаков В.И. // Вісник академії будівництва України. -1997. -№1. –с.21-26.
6. Большаков В.И.Обоснованиевыбораматериала для строительныхметаллическихконструкций / Большаков В.И., Воробьев Г.М., Лаухин Д.В. (и др.) // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. –Днепропетровск, 2008. –Вып.45, ч.3. –с.116-122.
7. Лаухин Д.В. Формирование субзеренной структуры аустенита в стали 10Г2ФБ во время последеформационных пауз./Лаухин Д.В. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. –Днепропетровск, 2014. – Вып 74.- с.169-174.
8. Лаухин Д.В. Анализ зависимости механических свойств низкоуглеродистых низколегированных сталей от температурно-деформационных параметров горячей прокатки./ Лаухин Д.В. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн.трудо. –Днепропетровск, 2013. –Вып 73.- с.191-195.
9. Большаков В.И. Влияние дробности деформации в черновой клетке и снижение содержания углерода в сталях микролегированных ниобием и ванадием на форирированиеструктуры и комплекса свойств проката./ Большаков В.И., Сухомлин Г.Д., Лаухин Д.В.// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн.трудо. –Днепропетровск, 2013. –Вып 73.- с.295-302.
10. Большаков В.И.Влияние дробности горячей деформации аустенита на формирование структуры и комплекса свойств толстолистового проката / Большаков В.И., Мурашкин А.В., Сухомлин Г.Д., Пушков В.В., Носенко О.П, и др.// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн.трудо. –Днепропетровск, 2009. –Вып 48, ч.1. . – с.25-30.
11. Патент на винахід № 79223, МКІ В21В 45/02 С21D 1/84, С21D 9/46. Спосіб охолодження довгомірного прокату, наприклад листового /Бойко В.С., Большаков В.І., Кліманчук В.В., Носенко О.П. та інш. (Україна).

12. Патент на корисну модель №56680. Спосіб виготовлення листового прокату з низьковуглецевої мікролегованої сталі./ Большаков В.І.,Кліманчук В.В.. Носенко О.П., Сухомлін Г.Д.та інш. (Україна).
13. Патент на корисну модель №57579. Спосіб виготовлення листового прокату з маловуглецевої мікролегованої сталі./ Большаков В.І.,Кліманчук В.В.. Носенко О.П., Сухомлін Г.Д.та інш. (Україна).

REFERENCES

1. 1. Zherbin MM High-strength steel construction (characteristics, scope, calculation and design) / MM Zherbin - K.: "Budivelnik", 1974. -160 p.
2. 2. Bolshakov VI New materials and technologies in industrial and civil construction / Bolshakov VI - K. 6 Vishcha School, 1990.- 52 p.
3. 3. Bolshakov VI The use of high-strength steels in the new building construction and renovation / Bolshakov VI Razumov OV - Dnepropetrovsk: Thresholds, -2008. -216 With.
4. 4. Bolshakov VI Basics of molding and steel-framed multi-storey high-rise buildings / Bolshakov VI, Zherbin MM, Razumov OV -Dnepropetrovsk, PGASA, 2003. -124 p.
5. 5. Bolshakov VI Development and use of steel increased and high strength in construction / Bolshakov VI // News budivnitstva Academy of Ukraine. -1997. -№1. -s.21-26.
6. 6. Bolshakov V.I.Obosnovanievyboramateriala for stroitelnyhmetallicheskihkonstruktsy / Bolshakov VI Vorobiev GM, Laukhin DV (Et al.) // Construction, materials science, mechanical engineering: Coll. Scien. works. -Dnepropetrovsk, -Vyp.45 2008, p.3. - s.116-122.
7. 7. Laukhin DV Formation subgrain austenite structure 10G2FB steel during poslededeformatsionnyh pauses. / DV Laukhin // Construction, materials science, mechanical engineering: Coll. Scien. works. -Dnepropetrovsk, 2014, vol 74.- c.169-174.
8. 8. DV Laukhin Analysis of the dependence of the mechanical properties of low-carbon low-alloy steels by temperature and strain parameters of hot rolling. / DV Laukhin // Construction, materials science, mechanical engineering: Coll. nauchn.trudov. - Dnepropetrovsk, 2013, vol 73.- s.191-195.
9. 9. Bolshakov VI . The effect of fractional deformation in the roughing stand and the reduction of carbon content in steels microalloyed with niobium and vanadium in the complex and forirovaniestrktury rental properties / Bolshakov VI, Suhomlin GD, Laukhin .// DV Construction, materials science, mechanical engineering: Sat. . nauchn.trudov. -Dnepropetrovsk, 2013, vol 73.- s.295-302.
10. 10. Bolshakov V.I.Vliyanie fractional hot deformation of austenite on the structure and properties of complex tolstolistvogo rental / Bolshakov VI, Murashkin AV ., Suhommlin GD, VV Pushkov, Nosenko OP, etc .// construction, materials science, mechanical engineering: Coll. nauchn.trudov. -Dnepropetrovsk, 2009, vol 48, p.1.,. - S.25-30.
11. 11. Patent for vinahid number 79223, MCI V21V 45/02 1/84 S21D, S21D 9/46. Sposib oholodzhennya dovgomirnogo rental napriklad sheet / Boyko VS Bolshakov V.I., Klimanchuk VV, Nosenko OP that insh. (UKRAINE).
12. 12. Patent for korisnu model №56680. Sposib vigotovlennya rolled sheet s nizkovugletsevoi mikrolegovanoi stali. / Bolshakov V.I., Klimanchuk VV .. Nosenko OP, Suhomlin G.D.ta insh. (UKRAINE).
13. 13. Patent for korisnu model №57579. Sposib vigotovlennya rolled sheet s malovugletsevoi mikrolegovanoi stali. / Bolshakov V.I., Klimanchuk VV .. Nosenko OP, Suhomlin G.D.ta insh. (UKRAINE).

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, В.И. Большаковым и д-ром техн. наук, Д.В. Лаухиным (Украина)