



УДК 66.546.3

*Н.Г. Колбасников, И.А. Шишов,
А.М. Корчагин, А.А. Беляев*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ
ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ РАСКАТА НА ХАРАКТЕР НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА
В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ ТОЛСТОГО ЛИСТА**

*N.G. Kolbasnikov, I.A. Shishov,
A.A. Korchagin, A.A. Belyaev*

**INVESTIGATION
OF THE PLATE TEMPERATURE FIELD IRREGULARITY INFLUENCE
ON THE METAL STRESS-STRAIN STATE
IN THE DEFORMATION ZONE DURING PLATES ROLLING**

С помощью методов математического моделирования исследовано влияние температурного градиента по сечению раската и характера распределения температур по высоте раската на напряженно-деформированное состояние металла в очаге деформации при прокатке толстого листа. Установлено, что за счет создания определенного температурного градиента можно управлять характером напряженно-деформированного состояния, добиваясь исчезновения растягивающих напряжений в центральной части высокого очага деформации и повышения прорабатываемости центральных слоев металла.

ПРОКАТКА ТОЛСТОГО ЛИСТА. ВЫСОКИЙ ОЧАГ ДЕФОРМАЦИИ. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

The plate cross section temperature gradient and the behavior of plate height temperature distribution influence on the metal stress-strain state in the deformation zone was shown in this work with the help of mathematical modeling methods. It was found, that it is possible to control the behavior of the stress-strain state by creating a certain temperature gradient to avoid the tensile stress in the high deformation zone central part and to reach high strain of central metal layers.

ROLLING OF PLATES. HIGH DEFORMATION ZONE. STRESS-STRAIN STATE. TEMPERATURE FIELD IRREGULARITY. MATHEMATICAL MODELING.

Постановка задачи. Известно [1], что однородность конечной структуры и механических свойств по толщине готового толстолистового проката в значительной мере определяются характером напряженно-деформированного состояния (НДС) металла в очаге деформации при прокатке. В зависимости от характера распределения деформаций по высоте полосы различают низкие, средние и высокие очаги деформации [2]. Формальным признаком, по которому определяют высоту очага деформации при прокатке, является значение критерия l/h_{cp} , где l — длина дуги захвата, h_{cp} — средняя высота очага деформации [2].

При назначении режимов прокатки толстого листа из трубных марок стали технологи вынуждены ограничивать относительные обжатия в черновых проходах из-за возможности превышения допустимых значений энергосиловых параметров. Черновую прокатку зачастую ведут так, что практически всегда выполняется соотношение $l/h_{cp} < 1$, что позволяет назвать очаг деформации высоким [2].

Высокий очаг деформации характеризуется крайне неравномерным распределением напряжений, степеней и скоростей деформации по высоте раската, поскольку деформация не про-

никает на всю глубину сечения, как это показано на рис. 1 [3]. Это обуславливает существование зон активной и пассивной деформации. При этом в зонах активной деформации металл деформируется непосредственно от действия валков, в зонах же пассивной деформации металл вынужден вытягиваться вдоль направления прокатки под действием активных зон в силу выполнения условия неразрывности деформации. Характер НДС во многом определяется взаимодействием активных и пассивных зон. Чем выше очаг деформации, тем больше объем пассивных зон и значительней их роль в формировании НДС.

Известно [4], что в зонах пассивной деформации, которыми являются приконтактные слои полосы на входе в геометрический очаг деформации, центральные слои и боковые грани раската, возникают растягивающие напряжения. При определенных условиях эти напряжения могут превышать предел текучести металла, что может приводить к нарушениям сплошности металла. Кроме того, из-за действия растягивающих напряжений может наблюдаться уменьшение ширины полосы в средней ее части — поперечная утяжка.

Поскольку центральные слои металла являются зонами пассивной деформации, они деформируются (прорабатываются) слабо, что может негативно сказываться на конечной структуре и механических свойствах готового толстого листа [5, 6]. Кроме того, пассивные зоны создают дополнительный подпор течению металла в активной зоне, препятствуя удлинению, что приводит к повышению силы прокатки. Чем выше очаг деформации, тем выше (при

прочих равных условиях) среднее давление металла на валки p_{cp} [3].

Необходимо отметить, что теория прокатки толстого листа создавалась без учета неравномерности температурного поля металла в очаге деформации. Между тем прокатка непрерывнолитого сляба в черновых пропусках на толстолистовом стане всегда сопровождается значительной неравномерностью распределения температур по толщине раската [7], что, очевидно, может существенно влиять на характер напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации [1]. В работах [1, 8] установлено, что подстуживание поверхностных слоев в условиях высоких очагов деформации обеспечивает снижение или полное устранение растягивающих напряжений в центральных слоях полосы, что позволяет получить более высокие и равномерные механические свойства по сечению готового листа. На этом же принципе основана технологияковки «с подстуживанием», которая широко применяется при производстве крупных валов. Она заключается в том, что после нагрева слитков длительное время выдерживают на воздухе до значительного остывания поверхностных слоев, а затем куют с предельно большими обжатиями, что обеспечивает высокую интенсивность деформации горячих внутренних слоев [9]. Авторы работы [10] отмечают, что определение напряженного состояния без решения температурной задачи может привести к значительным погрешностям и ошибкам при расчете режимов деформации листовой прокатки.

Следует отметить, что существующие сегодня компьютерные программы, используемые для расчетов НДС различных технологических процессов обработки металлов давлением, способны решать одновременно температурную и деформационную задачи. В связи с этим были сформулированы цели нашей работы:

исследование влияния неравномерности температурного поля раската на характер НДС в очаге деформации при черновой прокатке толстого листа;

разработка технологических рекомендаций для снижения растягивающих напряжений в центральных слоях раската и увеличения прорабатываемости этих слоев.

Для достижения поставленных целей решали термо-деформационную задачу о прокатке

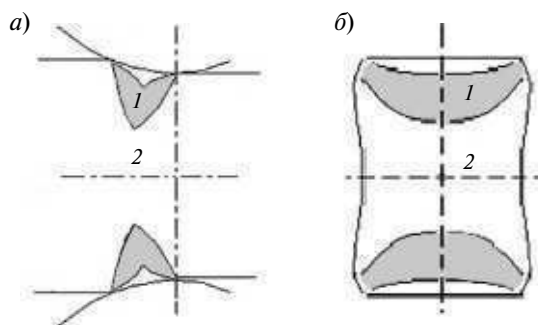


Рис. 1. Зоны активной (1) и пассивной (2) пластической деформации при высоком очаге деформации: а — в продольном сечении; б — в поперечном сечении раската

толстого листа с использованием пакета конечно-элементного моделирования *Deform-3D*, который позволяет учесть влияние неравномерности распределения температуры по объему раската на неравномерность деформации.

Методика моделирования. Расчеты осуществляли при помощи созданной конечно-элементной модели, адаптированной к условиям прокатки на стане 5000 [7]. На рис. 2, а представлено поле температур в слябе в первом черновом проходе, рассчитанное в пакете *Deform-3D* [7]. Видно наличие захлажденных приповерхностных слоев (корочки), температура которых изменяется от температуры разогретых центральных слоев до температуры поверхности. Упрощенная схема, принятая для анализа влияния на НДС толщины и температуры захлажденных областей, представлена на рис. 2, б. В качестве упрощения температуру захлажденных слоев принимали постоянной в пределах их заданной толщины, которую в расчетах варьировали от 30 до 50 мм при исходной толщине литой заготовки 250 или 315 мм. Температуру захлажденных корочек в численном эксперименте принимали в пределах 700–1000 °С, температуру разогретых центральных слоев сляба (разогретое ядро) — 1200 °С.

Моделировали первый проход черновой прокатки сляба из трубной стали категории прочности К60 толщиной 250 мм и длиной 3000 мм с относительными обжатиями от 1,6 до 19 %. Сляб считали пластичным телом, его свойства задавали кривыми пластического течения, полученными экспериментально на комплексе *Gleeble-3800* [11].

Результаты моделирования. Результатами решения задачи были картины напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации в зависимости от выбранных обжатий, соотношений температур и толщин ядра

и корочки. Пример подобных картин приведен на рис. 3.

На рис. 3 хорошо видна неравномерность НДС и наличие областей продольных растягивающих напряжений в центральных и приконтактных слоях прокатываемого сляба. Для оценки изменения характера НДС в центральной части очага деформации в случае наличия температурного градиента использовали отношение $h_{\text{раст}}/h_{\text{ср}}$, где $h_{\text{раст}}$ — высота области растягивающих продольных напряжений в центральных слоях; $h_{\text{ср}}$ — средняя высота очага деформации. Графики зависимости $h_{\text{раст}}/h_{\text{ср}}$ от относительного обжатия ε в проходе, толщины и температуры захлажденных приповерхностных слоев представлены на рис. 4. Видно, что в очаге деформации присутствуют зоны растягивающих напряжений в приконтактных и центральных слоях металла, занимающие до 70 % высоты очага деформации. По высоте области растягивающих напряжений можно судить о соотношении зон активной и пассивной деформации.

На рис. 5 показаны графики зависимости $p_{\text{ср}}/K$ (K — сопротивление деформации) от обжатия в проходе при различных толщинах и температурах корочек. На рис. 5 на дополнительной оси абсцисс приведены показатели высоты очага деформации $l/h_{\text{ср}}$.

Напряжение $p_{\text{ср}}$ рассчитывали с помощью стандартной подпрограммы пакета *Deform-3*, а сопротивление металла деформации — с помощью программы *AusEvol+* [12], в основе которой лежит база данных по сопротивлению деформации для трубных марок стали, полученная в результате экспериментальных исследований на комплексе *Gleeble-3800*. В расчетах в качестве значений степени и скорости деформации принимали средние значения этих параметров по очагу деформации.

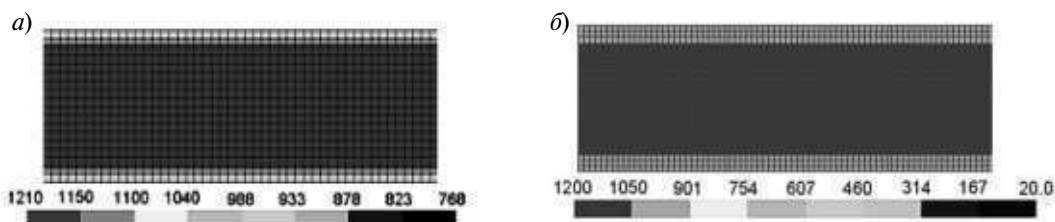


Рис. 2. Распределение температур по толщине сляба, рассчитанное при помощи *Deform-3D*, (а) и упрощенная схема, принятая для анализа влияния неравномерности температурного поля на НДС, (б)

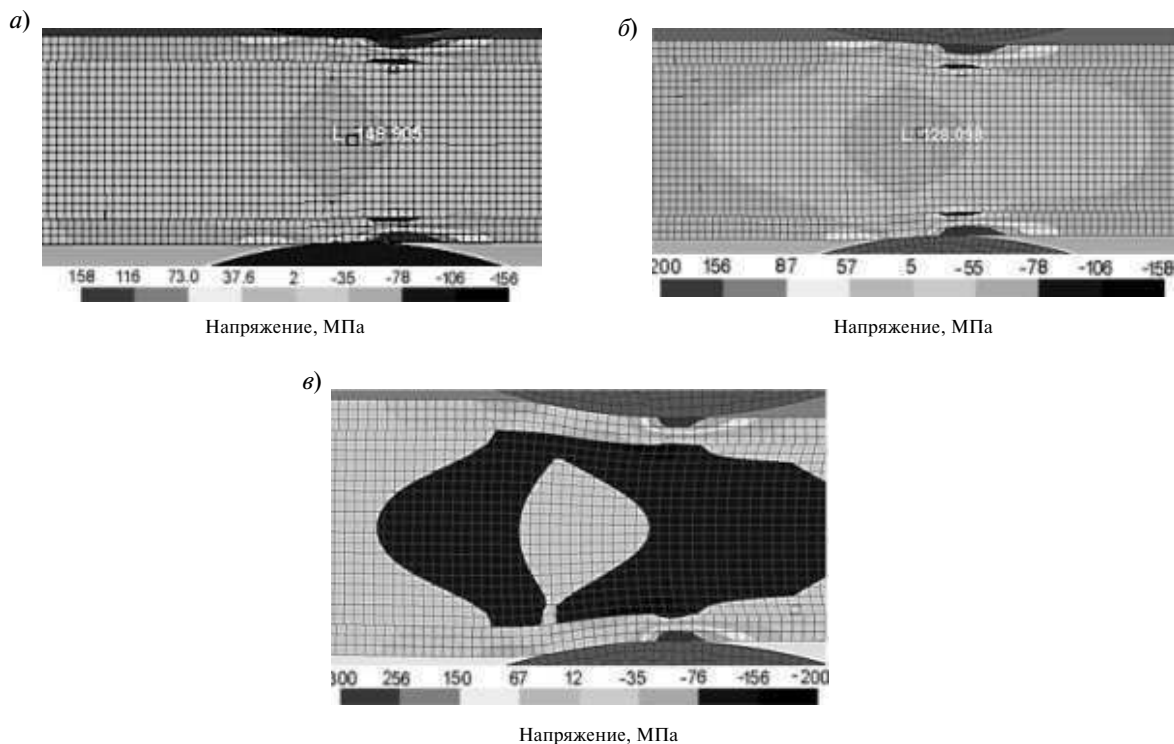


Рис. 3. Поля распределения продольных напряжений в очаге деформации при прокатке сляба с толщиной корочек 30 мм и их температурой 700°C при относительных обжатиях, %:
а — 1,6; б — 3,3; в — 13,6

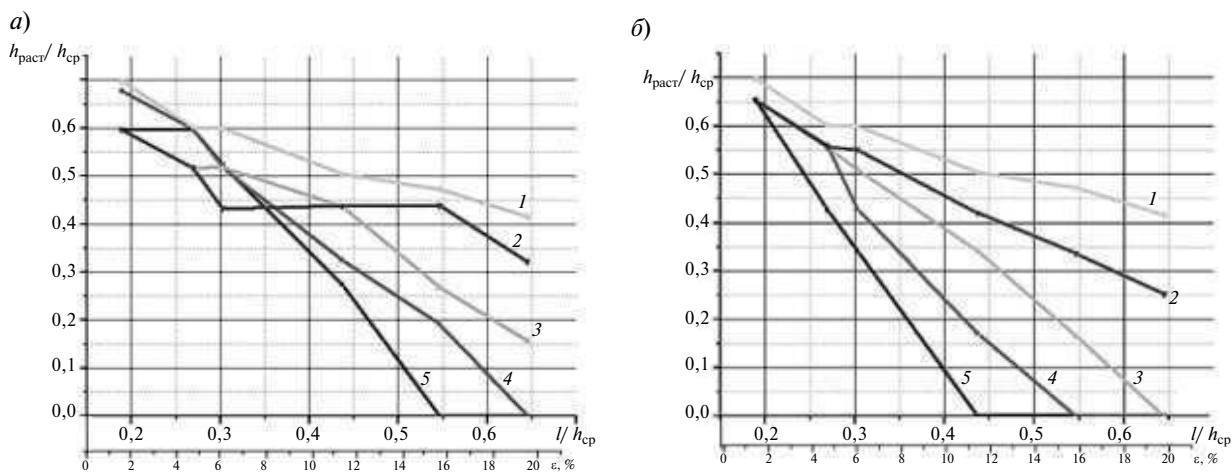


Рис. 4. Зависимость $h_{раст}/h_{ср}$ от относительного обжатия ϵ при температурах приповерхностного слоя 1200 (1), 1000 (2), 900 (3), 800 (4), 700 (5) °C и толщинах корочки 30 (а) и 50 (б) мм

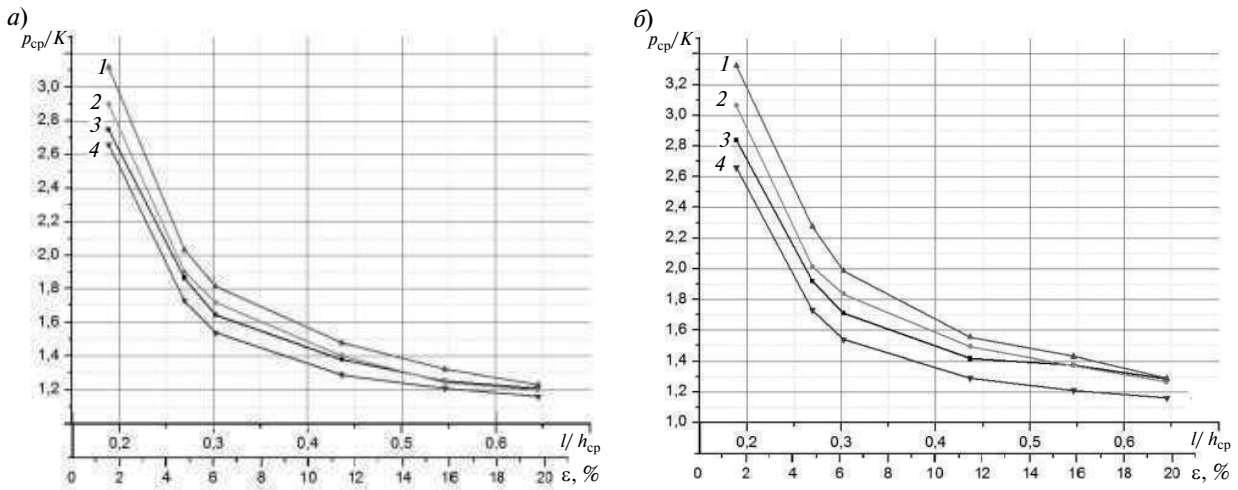


Рис. 5. Зависимости безразмерных напряжений p_{cp}/K от относительного обжатия ϵ при толщине корочек 50 (1), 40 (2), 30 (3) мм при температурах корочек 1000 (а) и 700 (б) °С. Линией 4 показана зависимость p_{cp}/K от ϵ при отсутствии захлажденных корочек

На рис. 6 представлено распределение интенсивностей деформаций по высоте раската в зависимости от толщины и температуры корочек захлажденного металла.

Анализ результатов моделирования. По результатам численного эксперимента, результаты которого представлены на рис. 3, 4 можно заключить, что на НДС металла в очаге деформации существенно влияет не только наличие температурного градиента по сечению, но и характер распределения температур по высоте раската, определяемый толщиной и температурой корочек.

Согласно данным рис. 4 чем выше толщина захлажденного слоя и ниже его температура, тем интенсивнее убывают растягивающие напряжения в центральных слоях металла с увеличением обжатия. Так, при толщине захлажденного поверхностного слоя 50 мм и температуре 700 °С напряжения в центральных слоях раската становятся сжимающими уже при относительном обжатии 11,5 % и значении параметра очага деформации $l/h_{cp} = 0,44$. При равномерно нагретом слябе растягивающие напряжения не исчезают даже при относительном обжатии

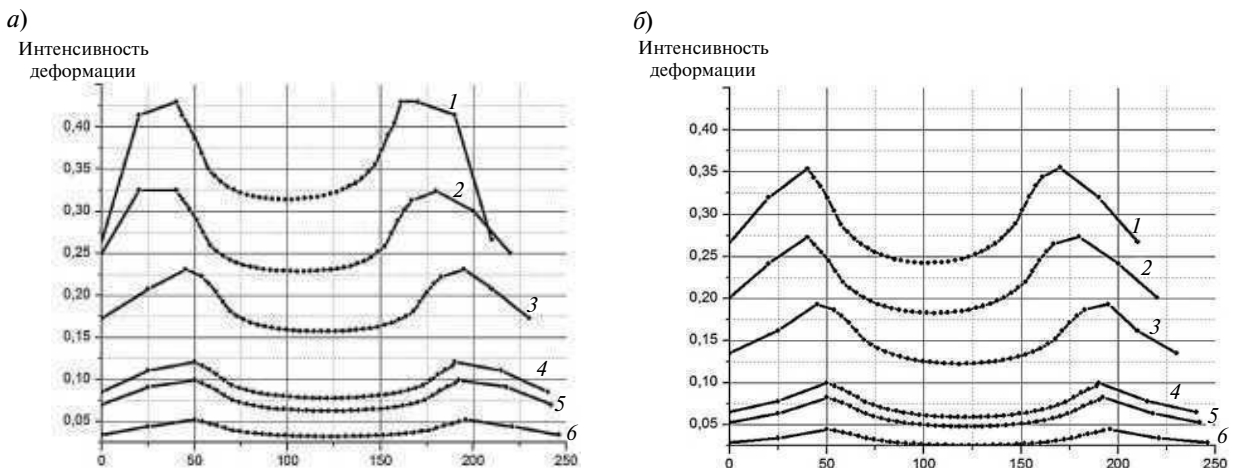


Рис. 6. Распределение интенсивностей деформации по высоте раската при прокатке сляба толщиной 250 мм с относительными обжатиями 19 (1), 16 (2), 12 (3), 6 (4), 3,3 (5), 1,6 % (6) при толщине захлажденных корочек 50 мм и их температуре 700 (а) и 1000 (б) °С

20 % и значении критерия $l/h_{cp} = 0,65$. При этом существенно (в 1,35 раза) возрастает интенсивность деформации в центральных слоях раската (рис. 7).

Результаты расчетов показывают, что при толщине захоложенных корочек 50 мм и их температуре 700 °С деформирующие напряжения p_{cp}/K и сила прокатки возрастают приблизительно на 20–25 %, а напряжения на контакте с валками — приблизительно в 2 раза. В связи с этим улучшение прорабатываемости средних слоев металла для обеспечения хорошей многократно рекристаллизованной структуры аустенита требует жертвовать стойкостью валков и увеличением расхода электроэнергии.

Таким образом, схема НДС с неравномерным распределением температур сляба по сравнению с равномерным распределением становится более благоприятной: в средней по толщине области очага деформации отсутствуют растягивающие напряжения, повышается интенсивность деформаций в центральных слоях. Это должно положительно сказаться на структуре и свойствах готового листа и снизить вероятность нарушения сплошности в центральных слоях проката.

Можно отметить также, что неравномерность температур сдвигает условные границы высокого очага деформации в сторону меньших

значений критерия l/h_{cp} , в некоторых случаях (см. рис. 4) очаг деформации может становиться средним, в котором отсутствуют растягивающие напряжения, при значениях показателя формы $l/h_{cp} = 0,44$.

Отметим, что при черновой прокатке нежелательны малые обжатия, приводящие к низкой прорабатываемости центральных слоев раската и появлению в них растягивающих напряжений.

Возможность практического использования градиентов температур сляба для корректировки технологий прокатки на стане 5000. При черновой прокатке существуют два способа улучшения конечной структуры металла за счет лучшей проработки центральных слоев металла:

- повышение обжатий в проходах до достижения температур окончания рекристаллизации;
- преднамеренное создание температурного градиента в слябе перед прокаткой.

Первый способ имеет ограничения, поскольку с возрастанием обжатия могут быть превышены допустимые значения энергосиловых параметров прокатки. Возможно, что более предпочтителен второй способ. Один из вариантов его реализации на стане 5000 — трехстадийная прокатка. По этой технологии раскат после 3–4 черновых проходов отправляют на подстуживание, затем выполняют оставшиеся черновые проходы, дополнительное подстуживание, после которого следует чистовая прокатка.

Можно рассмотреть и другой вариант создания температурного градиента — за счет изменения времен предварительных операций. На толстолистовых станах, например на стане 5000, перед началом черновой прокатки сляб проходит ряд предварительных операций — транспортировку от методической печи к камере гидросбива, собственно гидросбив окалины, транспортировку после гидросбива к прокатной клетке [7]. Обычно длительности этих операций составляют 100–150 с, в том числе 50–70 с — транспортировка сляба от методической печи к камере гидросбива, 4–6 с — гидросбив окалины, 40–70 с — транспортировка от гидросбива к прокатной клетке.

На стане 5000 ОАО «Северсталь» используются слябы толщиной 250 и 313 мм. Расчет режимов изменения температуры этих слябов во время подготовительных стадиях обработки был

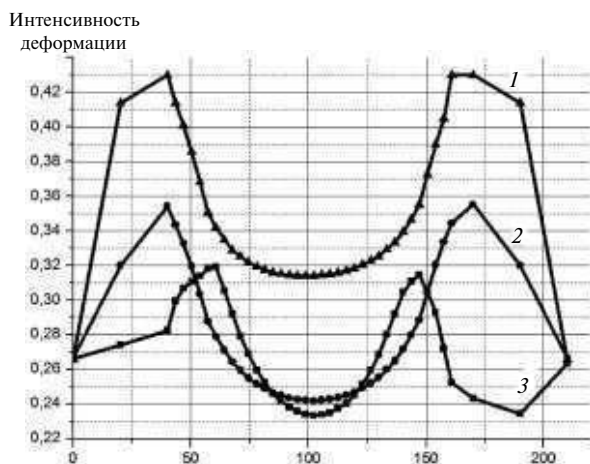


Рис. 7. Распределение интенсивностей деформации по высоте раската при прокатке сляба толщиной 250 мм с относительным обжатием 19 % при наличии корочки толщиной 50 мм с температурой 700 °С (1) и 1000 °С (2), а также при равномерной температуре раската 1200 °С (3)

выполнен в [7]. Показано, что за 66 секунд транспортировки сляба от методической печи к камере гидросбива, 5 сек. работы устройства гидросбива окалины, 55 сек. транспортировки сляба после гидросбива к прокатной клети толщины заохоложенных слоев составили примерно 25–28 мм для обеих толщин слябов, а их средние температуры — приблизительно 1060 °С (рис. 8, а). При известных толщине и температуре заохоложенных корочек при помощи программы *Deform-3D* было выполнено моделирование первого чернового прохода с относительным обжатием 15 %. На рис. 9, а представлено распределение продольных напряжений в очаге деформации и распределение интенсивности деформаций по толщине раската.

Видно, что в очаге деформации существует область растягивающих напряжений, а интенсивность деформаций в центральных слоях раската невысока и составляет приблизительно 0,15. Таким образом, рассмотренные длительности предварительных операций не могут обеспечить при прокатке схему НДС благоприятную для хорошей прорабатываемости структуры центральных слоев металла.

Температуру заохоложенных поверхностных слоев можно снизить, а толщину их повысить, увеличив времена предварительных операций. Для оценки возможных изменений темпера-

турного градиента сляба при увеличении длительностей предварительных операций был выполнен численный эксперимент. В первом варианте увеличили время гидросбива окалины до 30 с, во втором — дополнительно увеличили время транспортировки сляба до прокатной клети, приняв его равным 400 с. Расчеты показали, что в рассмотренных случаях толщина заохоложенных слоев, как и в предыдущем случае, не зависит от толщины сляба и составляет приблизительно 40 и 60 мм для различных вариантов расчета, а их средние температуры — приблизительно 930 и 960 °С (рис. 9, б, в). Характер НДС и распределение интенсивности деформаций по толщине раската показаны на рис. 9, б, в и рис. 10. Время транспортировки от методической печи до гидросбива при проведении численного эксперимента не увеличивали, поскольку на этом этапе сляб покрыт толстым слоем окалины и его температура при этом снижается медленно [7].

При помощи стандартной подпрограммы *Deform-3D* определяли значения силы прокатки в проходах без учета участков захвата и выхода полосы из клети. При увеличении времени гидросбива сила прокатки возросла от 29918 до 31028 кН, а при дополнительном увеличении времени транспортировки — до 35549 кН. Результаты расчетов показывают (см. рис. 8), что

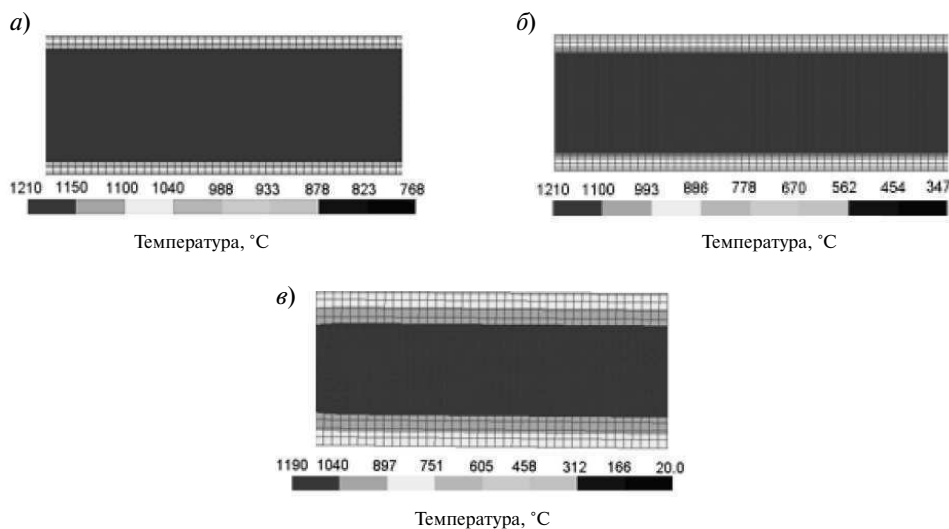


Рис. 8. Температурный градиент сляба толщиной 313 мм перед первым проходом в случае использования стандартной технологии предварительных операций (а), при увеличении времени удара гидросбива (б), при увеличении времени удара гидросбива и времени транспортировки от гидросбива к прокатной клети (в)

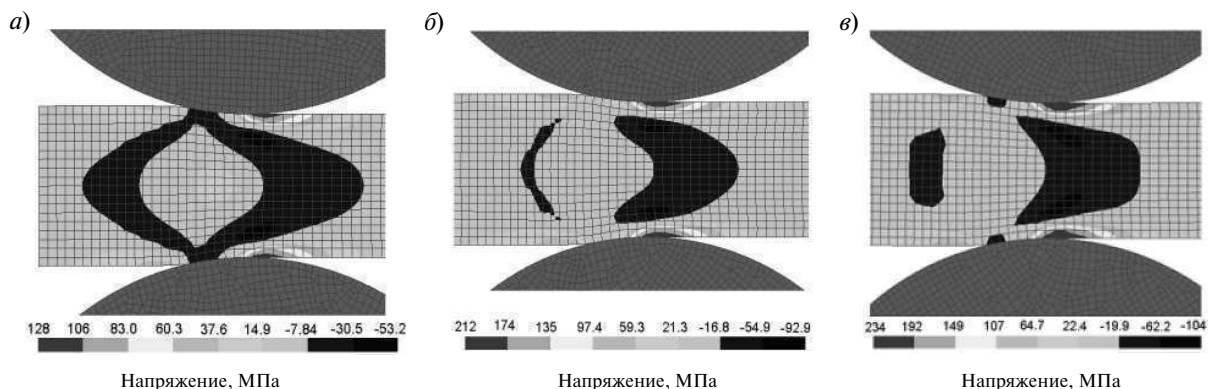


Рис. 9. Распределение продольных напряжений при прокатке сляба толщиной 313 мм с относительным обжатием 15 % при обычной технологии предварительных операций (а), после увеличения времени гидросбива окалины до 30 с (б) и после увеличения времени транспортировки до прокатной клетки 400 с (в)

увеличение времени гидросбива окалины существенно снижает температуру захлажденной корочки сляба, но слабо влияет на толщину этого слоя. Увеличение времени транспортировки сляба от гидросбива к прокатной клетке приводит к увеличению толщины захлажденного слоя, но при этом его температура повышается за счет теплового взаимодействия с разогретыми центральными слоями.

На рис. 10 представлены результаты расчета изменения интенсивности деформаций по высоте после первого прохода при прокатке сляба

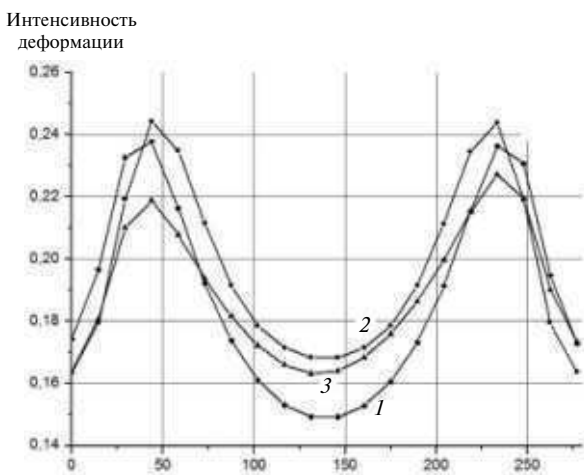


Рис. 10. Распределение интенсивности деформаций при прокатке сляба толщиной 313 мм с относительным обжатием 15 % при обычной технологии предварительных операций (1), после увеличения времени гидросбива окалины до 30 с (2) и после увеличения времени транспортировки до прокатной клетки 400 с (3)

толщиной 313 мм после обычного времени подготовительных операций и после изменения времени гидросбива окалины и транспортировки к клетке прокатного стана. Видно, что при увеличении времени гидросбива окалины интенсивность деформации центральных слоев может возрасти более чем на 13 %. Увеличение времени транспортировки сляба к прокатной клетке не приводит к повышению прорабатываемости центральных слоев, наоборот, она даже несколько снижается из-за повышения температуры захлажденного слоя.

По результатам работы сделаны следующие выводы:

На характер напряженно-деформированного состояния металла в высоком очаге деформации при прокатке толстого листа существенно влияет не только наличие температурного градиента по сечению раската, но и характер распределения температур по высоте раската, определяемый толщиной и температурой захлажденных слоев.

При преднамеренном создании температурного градиента в слябе перед черновой прокаткой удастся снизить растягивающие напряжения в центральных слоях раската вплоть до их полного отсутствия, а также существенно повысить прорабатываемость центральных слоев раската. При этом энергосиловые параметры прокатки возрастают незначительно.

При помощи управления соотношением толщины и температуры захлажденных корочек сляба, формирующихся на стадиях предварительных



операций перед прокаткой, можно управлять характером напряженно-деформированного состояния металла вплоть до полного исчезновения растягивающих напряжений в центральной части

высокого очага деформации и повышать прорабатываемость структуры центральных слоев металла за счет возрастания интенсивности сдвиговых напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ /

1. **Полухин, П.И.** Прокатка толстых листов [Текст] / П.И. Полухин и др.— М.: Metallurgiya, 1984.— 288 с.
2. **Чекмарев, А.П.** Теория прокатки крупных слитков [Текст] / А.П. Чекмарев, В.Л. Павлов, В.И. Мелешко, В.А. Токарев— М.: Metallurgiya, 1968.— 252 с.
3. **Рудской, А.И.** Теория и технология прокатного производства [Текст]: Учеб. пособие / А.И. Рудской, В. А. Лунев.— СПб.: Наука, 2008.
4. **Колмогоров, В.Л.** Пластичность и разрушение [Текст] / В.Л. Колмогоров, А.А. Богатов, Б.А. Мигачев— М.: Metallurgiya, 1977.— 366 с.
5. **Казаков, А.А.** Влияние структурной анизотропии в ферритно-бейнитных сталях после термомеханической обработки на уровень их механических свойств [Текст] / А.А. Казаков, Д.В. Киселев, Е.И. Казакова [и др.] // Черные металлы.— 2010. №6.— С. 7–14.
6. **Колбасников, Н.Г.** Исследование бейнита речной морфологии в высокопрочной трубной стали [Текст] / Н. Г. Колбасников, О. Г. Зотов, А. И. Шамшурин, А. А. Лукьянов // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov.— 2013. №6.— С. 3–9.
7. **Лунев, В.А.** Тепловые потери при прокатке толстого листа на стане 5000. Часть 1: Теплопотери на операциях, предшествующих прокатке [Текст] / В.А. Лунев, И. А. Шишов, П.А. Глухов, А.А. Беляев // Научно-технические ведомости СПбГПУ.— 2013. №1(166).— С. 146–153.
8. **Бровман, М.Я.** Энергосиловые параметры непрерывных заготовочных станов [Текст] / М.Я. Бровман— М.: Metallurgizdat, 1962.
9. **Троицкий, В. П.** Исследование процессаковки крупных слитков с предварительным подстуживанием поверхности [Текст]: Дис.... канд. техн. наук. / В. П. Троицкий.— М., 1966.
10. **Ершов, С.В.** Влияние температурного поля на напряженно-деформированное состояние металла при сортовой и листовой прокатке [Текст] / С.В. Ершов, В.В. Степчук, С.А. Воробей // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический университет».— Вестник машиностроения.— 2011. № 63.
11. **Колбасников, Н.Г.** Исследование возможностей повышения свойств стали 10Г2ФБ за счет реализации технологии прокатки TRIP-сталей [Текст] / Н.Г. Колбасников, О.Г. Зотов, В.В. Мишин, А.А. Немтинов, А.В. Голованов, С.В. Сосин // Черные металлы.— 2009. №7.— С. 12–16.
12. **Соколов, С.Ф.** Исследование и моделирование эволюции микроструктуры и сопротивления деформации сталей при горячей обработке давлением [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук / С.Ф. Соколов.— СПб., 2013.

REFERENCES

1. **Polukhin, P.I. [i dr.]**. Prokatka tolstykh listov [Tekst].— M.: Metallurgiya, 1984.— 88 s. (rus.)
2. **Chekmarev A.P., Pavlov V.L., Meleshko V.I., Tokarev V.A.** Teoriia prokatki krupnykh slitkov [Tekst].— M.: Metallurgiya, 1968.— 252 s. (rus.)
3. **Rudskoi A.I., Lunev V.A.** Teoriia i tekhnologiya prokatnogo proizvodstva: Ucheb. Posobie [Tekst].— SPb.: Nauka, 2008. (rus.)
4. **Kolmogorov V.L., Bogatov A.A., Migachev B.A.** Plastichnost' i razrushenie [Tekst].— M.: Metallurgiya, 1977.— 366 s. (rus.)
5. **Kazakov A.A., Kiselev D.V., Kazakova E.I. [i dr.]**. Vliianie strukturnoi anizotropii v ferritno-beinitnykh staliakh posle termomekhanicheskoi obrabotki na uroven' ikh mekhanicheskikh svoistv [Tekst] // Chernye metally.— 2010. №6.— S. 7–14. (rus.)
6. **Kolbasnikov N.G., Zotov O.G., Shamshurin A.I., Luk'ianov A.A.** Issledovanie beinita rechnoi morfologii v vysokoprochnoi trubnoi stali [Tekst] // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov.— 2013. №6.— S. 3–9. (rus.)
7. **Lunev V.A., Shishov I.A., Glukhov P.A., Beliaev A.A.** Teplovye poteri pri prokatke tolstogo lista na stane 5000. Chast' 1: Teplopoteri na operatsiiakh, predshestvuiushchikh prokatke [Tekst] // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU.— 2013. №1(166).— S. 146–153. (rus.)
8. **Brovman M.Ya.** Energosiilovye parametry nepreryvnykh zagotovochnykh stanov [Tekst].— M.: Metallurgizdat, 1962. (rus.)
9. **Troitskii V.P.** Issledovanie protsessa kovki krupnykh slitkov s predvaritel'nym podstuzhivaniem poverkhnosti [Tekst]: Dis.... kand. tekhn. nauk.— M.—1966. (rus.)
10. **Ershov S.V., Stepchuk V.V., Vorobei S.A.** Vliianie temperaturnogo polia na napriazhenno-deformirovannee sostoianie metalla pri sortovoi i listovoi prokatke [Tekst] // Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta Ukrainy «Kievskii politekhnicheskii universitet». Vestnik mashinostroeniia.— 2011. № 63. (rus.)

11. **Kolbasnikov N.G., Zotov O.G., Mishin V.V., Nemtinov A.A., Golovanov A.V., Sosin S.V.** Issledovanie vozmozhnostei povysheniia svoistv stali 10G2FB za schet realizatsii tekhnologii prokatki TRIP-stalei [Tekst] // Chernye metally.— 2009. №7.— S. 12–16. (rus.)

12. **Sokolov S.F.** Issledovanie i modelirovanie evoliutsii mikrostruktury i soprotivleniia deformatsii stalei pri goriachei obrabotke davleniem [Tekst]: Dis. ... kand. tekhn. nauk.— SPb., 2013. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КОЛБАСНИКОВ Николай Георгиевич — доктор технических наук профессор кафедры технологии и исследования материалов Института металлургии, машиностроения и транспорта, заведующий лабораторией исследования и моделирования структуры и свойств металлических материалов научно-технологического комплекса «Материалы и технологии» объединенного научно-технологического института СПбГПУ; 195251, ул. Политехническая, 29, Химический корпус, ауд. 24, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: nikolay.kolbasnikov@gmail.com

ШИШОВ Иван Александрович — инженер научно-исследовательской лаборатории пластической обработки металлов научно-технологического комплекса «Материалы и технологии» объединенного научно-технологического института СПбГПУ, аспирант кафедры технологии и исследования материалов института металлургии, машиностроения и транспорта СПбГПУ; 195251, ул. Политехническая, 29, Химический корпус, ауд. 24, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: shishov_i@list.ru

КОРЧАГИН Андрей Михайлович — кандидат технических наук старший менеджер Центра компетенции штрипса ОАО «Северсталь»; 196651, пр. Ленина, д.1, Колпино, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: amkorchagin@severstal.com

БЕЛЯЕВ Александр Анатольевич — специалист по технологии и оборудованию ЛПЦ-3 ОАО «Северсталь»; 196651, пр. Ленина, д.1, Колпино, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: belyaev@severstal.com

AUTHORS

KOLBASNIKOV Nikolay G. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: nikolay.kolbasnikov@gmail.com

SHISHOV Ivan A. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: shishov_i@list.ru

KORCHAGIN Andrej A. — JSC «Severstal»; 196651, Lenina Av., 1, Kolpino, St. Petersburg, Russia; e-mail: amkorchagin@severstal.com

BELYAEV Alexander A. — JSC «Severstal»; 196651, Lenina Av., 1, Kolpino, St. Petersburg, Russia; e-mail: belyaev@severstal.com