

исходной неплоскостностью рулонов. Повышенная исходная неплоскостность требует применения больших перекрытий роликов в ЛПМ, а также применения правки в ЛПМ с меньшим диаметром роликов (ЛПМ-2).

Одновременная правка листов толщиной 2 мм в двух ЛПМ (партия 16796, 7102 и 7513) приводит к значительному увеличению σ_T от 35 до 42 Н/мм² и σ_B от 10 до 20 Н/мм², при этом удлинение снижается на 3,5%.

Правка проката в двух ЛПМ толщиной 3 мм приводит к большему увеличению σ_T относительно режима правки в ЛПМ-1 (партия 3933, 7099), что обусловлено дополнительной правкой в ЛПМ-2 с меньшим диаметром роликов. При этом следует добавить, что на толщине 3 мм наблюдается различное по величине увеличение σ_B от 2,5 до 21 Н/мм² что является следствием применения больших перекрытий до 3,2 мм в ЛПМ-1 (партия 27986).

Анализ механических свойств показывает, что правка проката из стали марки 20(ЮА) изменяет механические свойства следующим образом: прочностные характеристики проката увеличиваются (предел текучести до 18 МПа, предел прочности до 17 МПа) пластические характеристики снижаются (относительное удлинение до 6%), при этом твердость проката не меняется.

Анализ механических свойств показывает, что правка проката изменяет механические свойства следующим образом. Прочностные характеристики проката увеличиваются (предел текуче-

сти до 17 МПа, предел прочности до 20 МПа) пластические характеристики снижаются (относительное удлинение до 3%).

На **рис. 1** и **2** представлены результаты изменения ударной вязкости КСЧ и КСВ до и после применения правки в ЛПМ проката из стали марки 09Г2С.

Анализ полученных результатов показал, что правка листов приводит к снижению значений ударной вязкости до 11,5 Дж/см². Уровень значений ударной вязкости после проведения правки для середины рулона меньше, от 20 до 40 Дж/см².

Анализ механических свойств показывает, что правка проката изменяет механические свойства следующим образом: прочностные характеристики проката увеличиваются (предел текучести на 5–27,5 МПа, предел прочности на 2,5–10 МПа) пластические характеристики снижаются (относительное удлинение на 2%).

На **рис. 3** и **4** представлены результаты изменения ударной вязкости КСЧ и КСВ до и после применения правки в ЛПМ на прокате из стали марки 10ХСНД.

Таким образом, при производстве широкополосной горячекатаной стали, поставляемой в листах, должно учитываться изменение ФМС в процессе правки. Полученные данные могут использоваться для принятия оперативных корректирующих действий при текущем производстве листового проката.

УДК 621.771

В.М. Салганик, Т.В. Коляда, А.И. Брусьянина

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ХОЛОДНОКАТАНОГО МЕТАЛЛА

Холоднокатаный листовой прокат относится к высококачественной металлопродукции. Ее потребители, особенно автозаводы, выдвигают все более жесткие требования к такому металлу, в частности к качеству его поверхности. Для их удовлетворения возникает необходимость в разработке и применении новых научно обоснованных технологических подходов и решений.

В исследованиях процесса холодной прокатки значительное место уделяется изучению влияния различных технологических факторов на появление дефектов поверхности металла. В частности, в условиях ЛПЦ-5 ОАО «ММК» поставили задачу выявления параметров, оказывающих ключевое воздействие на образование дефекта «излом». Ак-

туальность работы обусловлена достаточно частым появлением этого трудноустраняемого дефекта поверхности.

«Излом» проявляется в виде темных шероховатых полос и разветвленных линий, расположенных преимущественно под углом 45° к направлению прокатки или дрессировки, которые образуются под действием локальных напряжений, превышающих предел текучести металла (**рис. 1**) [1].

Данный дефект появляется на отдельных участках полосы вследствие пластической деформации поверхностных слоев и представляет собой линии, отличающиеся от материала полосы по цвету, а зачастую и по толщине [2].



Рис. 1. Внешний вид дефекта «излом»

Основными факторами, влияющими на возникновение и развитие «излома», считают [3]:

- неудовлетворительный поперечный профиль подката;
- натяжение полосы при смотке, превышающее установленные нормы;
- неплоскостность полосы после холодной прокатки;
- низкая шероховатость полосы;
- режимы термообработки;
- условия размотки рулона на дрессировочном стане.

Влияние каждой из этих причин по отдельности широко описано в литературе [4–6], но совместное воздействие различных факторов на образование дефекта «излом» изучено еще недостаточно.

Наиболее исследована вероятность возникновения изломов на полосе, связанная с видами эпюр удельных натяжений, отражающих одно-стороннюю краевую, некраевую и, особенно, локальную неплоскостность [7].

Полосу, имеющую заданную поперечную разнотолщинность (поперечный профиль), необходимо прокатывать с определенным распределени-

ем удельных натяжений для выравнивания межвиткового давления по высоте рулона. Но в литературе информация по этому вопросу отсутствует.

Проводили исследование совместного влияния поперечного профиля горячекатаного подката и шероховатости холоднокатаного отожженного недрессированного проката по параметру Ra на появление дефекта «излом».

В ходе работы оценивался поперечный профиль горячекатаной полосы, оптимальной формой которого считается «чечевица» [8]. Проводились замеры шероховатости по параметру Ra в трех точках по ширине холоднокатаного металла: край, середина, край. А также с двух его поверхностей: верхней и нижней. Величина микроизнашивания неодинакова по длине бочки рабочих валков: наиболее сильно изнашиваются участки, расположенные у кромок прокатываемой полосы. Наблюдается также разница в значениях шероховатости проката снизу и сверху. Параметр Ra снизу меньше, чем сверху из-за неодинаковых условий смазки верхнего и нижнего рабочих валков. Также в рамках исследования велось наблюдение за топографией дефекта «излом».

Был набран массив данных, который позволил сделать разведочный статистический анализ с использованием программы «Statistica».

Так как дефект сложно описать в относительных переменных, то его описывали в интервальных переменных:

101 (случай, когда «излом» наблюдался);

102 (случай, когда «излом» не наблюдался).

Все значения меньше 101 – это случаи 100 % появления дефекта на полосе, а больше 102 – его отсутствия. Внутри этого интервала (от значения 101 к значению 102) вероятность исчезновения дефекта возрастает согласно некоторому закону, для удобства взяли линейную зависимость (рис. 2).

Для определения тесноты связи между переменными вычислили матрицу корреляции (табл. 1).

Зависимость наблюдается между параметрами «излом» и шероховатость металла, а также «излом» и выпуклость горячекатаного подката. Коэффициенты их парной корреляции значимы с доверительной вероятностью 95%.

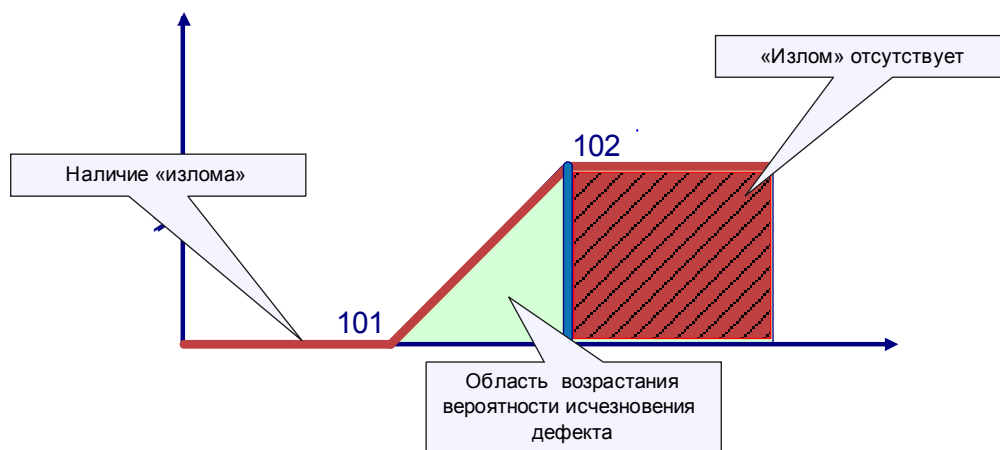


Рис. 2. Представление дефекта «излом» в интервальных переменных

Матрица корреляции выпуклости горячекатаного подката, шероховатости по середине полосы и дефекта «излом», расположенного по центру полосы

Параметр	Выпуклость, мм	Ra по середине, мкм	Излом по середине
Выпуклость, мм	1,0000	-0,1117	0,3263
	$\rho = \text{—}$	$\rho = 0,504$	$\rho = 0,046$
Ra по середине, мкм	-0,1117	1,0000	0,6037
	$\rho = 0,504$	$\rho = \text{—}$	$\rho = 0,000$
Излом по середине	0,3263	0,6037	1,0000
	$\rho = 0,046$	$\rho = 0,000$	$\rho = \text{—}$

Диапазон значений параметров, в которых получена регрессионная зависимость:

$$X_1 = 0-0,10 \text{ мм}; X_2 = 0,5-1,7 \text{ мкм.}$$

$$Y_1 = 100,1022 + 7,3377X_1 + 1,0795X_2, \quad (1)$$

где Y – вероятность появления дефекта «излом» по середине полосы; X₁ – выпуклость профиля горячекатаной полосы; X₂ – шероховатость по середине полосы по параметру Ra.

Значимыми оказались все коэффициенты в уравнении (уровень значимости $p < 0,05$). Но при этом шероховатость оказывает большее влияние на образование дефекта «излом» по середине полосы, чем параметр выпуклость, т.к. $\rho_{Ra} = 0,000003$ меньше $\rho_{\text{выпуклость}} = 0,001754$ (табл. 2 и 3).

При чечевице меньше 0,02 мм вероятность возникновения дефекта «излом» самая высокая. А при значении Ra больше 1,3 мкм – самая низкая (рис. 3 и 4).

Для наглядности отображения взаимного влияния этих двух причин на возможность появления рассматриваемого дефекта была построена диаграмма линий уровня (рис. 5). Очевидно, что вогнутый поперечный профиль горячекатаного подката недопустим, равно как и шероховатость холоднокатаной полосы ниже 0,6 мкм (независимо от значений Ra и чечевицы соответственно, на металле будет образовываться дефект – светлая зона на диаграмме). Наименьшая вероятность возникновения «излома» возникает при одновременном значении выпуклости 0,04–0,10 мм и Ra > 1,0 мкм (темная зона). Таким образом, получены рациональные сочетания значений исследуемых величин.

Повышенные требования предъявляют к подкату для холоднокатаного проката по клиновидности поперечного сечения [8]. Значительная разница толщины кромок горячекатаных полос усложняет настройку стана холодной прокатки, приводит к образованию неплоскостности, которая, в свою очередь, сказывается на появлении дефекта «излом».

Проводился анализ совместного влияния клиновидности горячекатаного подката

и шероховатости металла по кромке на возникновение «излома».

Коэффициент корреляции Пирсона r, который отражает степень линейной зависимости между переменными, показал существование связи между клиновидностью и наличием дефекта, а также между шероховатостью

полосы по кромке и «изломом» (статистический уровень значимости $p < 0,05$) (табл. 4).

Диапазон параметров, в которых получена регрессионная зависимость:

$$X_3 = 0 - 0,10 \text{ мм}; X_4 = 0,7 - 1,4 \text{ мкм.}$$

$$Y_2 = 101,2277 - 11,5181X_3 + 0,7711X_4, \quad (2)$$

где Y₂ – вероятность появления дефекта «излом» на кромке полосы; X₃ – клиновидность профиля горячекатаной полосы; X₄ – шероховатость по краю полосы по параметру Ra.

Знаки при коэффициентах в уравнении регрессии показывают, что чем больше значение клиновидности горячекатаного подката и меньше шероховатости по кромке, тем появление «излома» на металле более вероятно (табл. 5 и 6). Значимыми оказались все коэффициенты в уравнении регрессии. Но, исходя из значений p-уровня, можно сделать вывод о преобладающем влиянии поперечного профиля подката на возникновение дефекта по краю полосы ($\rho_{\text{клин}} = 0,002113$ меньше $\rho_{Ra} = 0,043002$) (рис. 6, 7).

Таблица 2

Результаты регрессионного анализа

Параметр	Значение
Коэффициент множественной корреляции R	0,72207
Коэффициент детерминации R ²	0,52138
Нормированный R ²	0,49403
Рассчитанное значение критерия Фишера Fp	19,06373
Табличное значение критерия Фишера Ft	3,466794851
Уровень значимости p	0,00000
Стандартная ошибка	0,35591
Значимость коэффициента корреляции	ДА

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа

Параметр	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t	Уровень значимости p
Y-пересечение	100,1022	0,221249	452,4421	0,000000
Выпуклость, мм	7,3377	2,165759	3,3881	0,001754
Ra по середине, мкм	1,0795	0,195964	5,5085	0,000003

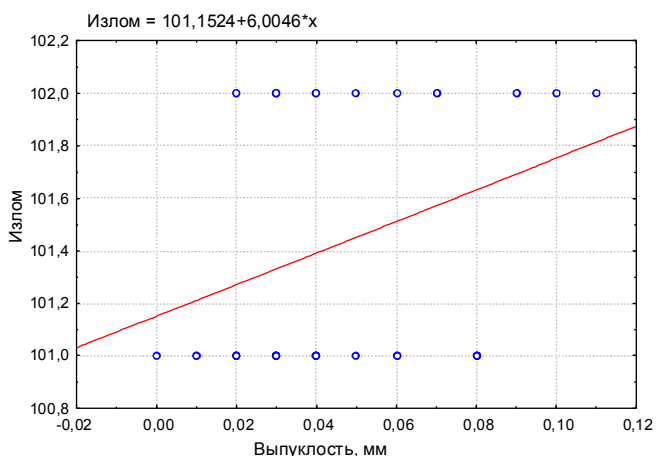


Рис. 3. Диаграмма рассеяния параметров «выпуклость» и «излом»

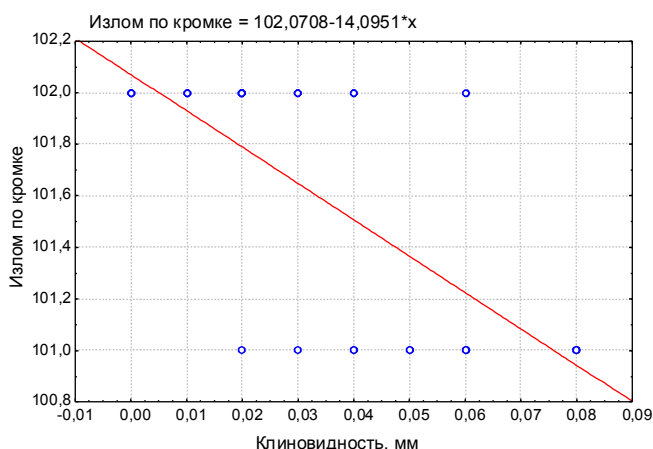


Рис. 6. Диаграмма рассеяния параметров «клиновидность» и «излом»

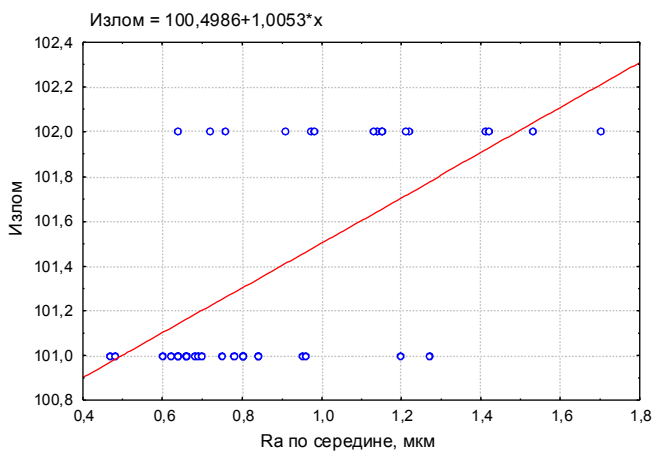


Рис. 4. Диаграмма рассеяния параметров Ra и «излом» по середине полосы

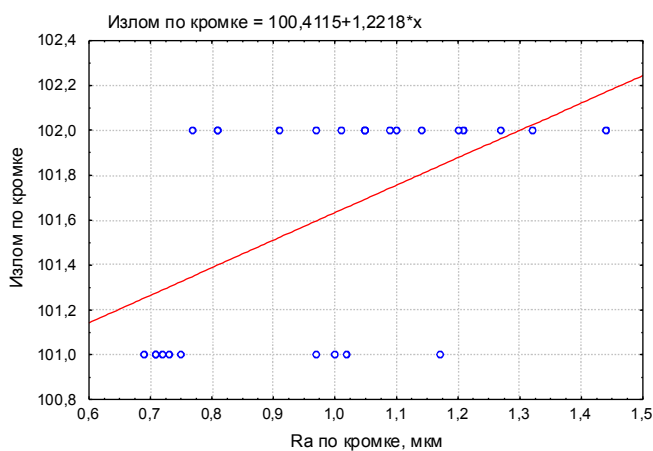


Рис. 7. Диаграмма рассеяния параметров Ra по кромке и «излом»

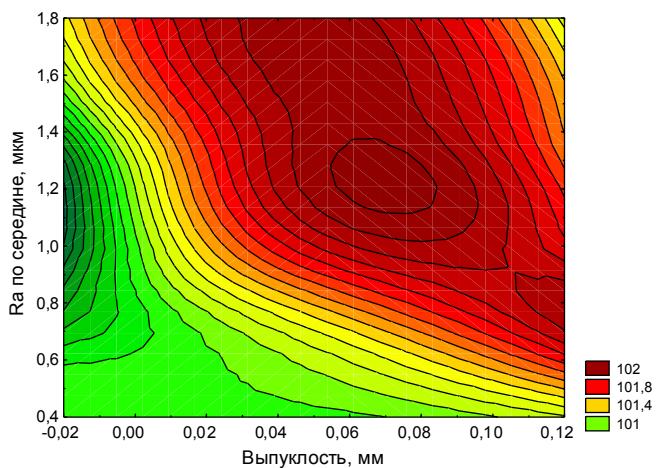


Рис. 5. Диаграмма линий уровня

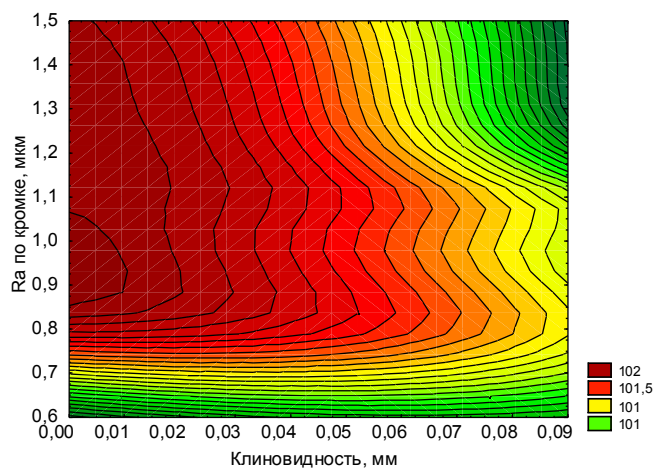


Рис. 8. Диаграмма линий уровня

Таблица 4

Матрица корреляции клиновидности, шероховатости по кромке и дефекта «излом»

Параметр	Клиновидность, мм	Ra по кромке, мкм	Излом по кромке
Клиновидность, мм	1,0000	-0,3616	-0,6543
	$\rho = \text{—}$	$\rho = 0,069$	$\rho = 0,000$
Ra по кромке, мкм	-0,3616	1,0000	0,5242
	$\rho = 0,069$	$\rho = \text{—}$	$\rho = 0,006$
Излом по кромке	-0,6543	0,5242	1,0000
	$\rho = 0,000$	$\rho = 0,006$	$\rho = \text{—}$

Таблица 5

Результаты регрессионного анализа

Параметр	Значение
Коэффициент множественной корреляции R	0,72336
Коэффициент детерминации R ²	0,52325
Нормированный R ²	0,48180
Рассчитанное значение критерия Фишера Fp	12,62178
Табличное значение критерия Фишера Ft	3,466794851
Уровень значимости p	0,00020
Стандартная ошибка	0,35715
Значимость коэффициента корреляции	ДА

Таблица 6

Результаты регрессионного анализа

Параметр	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t	Уровень значимости p
У-пересечение	101,2277	0,412109	245,6334	0,000000
Клиновидность, мм	-11,5181	3,326550	-3,4625	0,002113
Ra по кромке, мкм	0,7711	0,359951	2,1421	0,043002

позволит:

- оперативно прогнозировать качество продукции на стадии производства;
- производить своевременную корректировку технологии производства для предотвращения появления дефекта «излом»;
- снизить экономические потери производства за счет уменьшения переводов продукции в пониженную сортность.

Библиографический список

1. Классификатор дефектов / Центральная лаборатория ОАО «ММК».
2. Мазур В.Л., Добронравов А.И., Чернов П.П. Предупреждение дефектов листового проката. Киев: Техника, 1986. 141 с.
3. Улучшение качества поверхности холоднокатаных полос / Настич В.П., Чернов П.П., Божков А.И. и др. // Производство проката. 2003. № 3. С. 9–15.
4. Влияние режимов холодной прокатки и микрогеометрии валков на шероховатость холоднокатаных полос / Э.А. Гарбер, П.Б. Горелик, Е.В. Дилигенский др. // Производство проката. 1999. № 6. С. 7–10.
5. Настич В.П., Чернов П.П., Божков А.И. и др. Улучшение качества поверхности холоднокатаных полос // Производство проката. 2003. № 2. С. 11–15.

6. Улучшение качества поверхности холоднокатаных полос / Настич В.П., Чернов П.П., Божков А.И. и др.// Производство проката. 2003. № 3. С. 9–15.
 7. Профилирование валков листовых станов / А.А. Будаква, Ю.В. Коновалов, К.Н. Ткалич и др. Киев: Техніка, 1986. 190 с.

УДК 621.771

С.Н. Горшков, С.В. Денисов, А.В. Шаргунов, А.В. Титов, Г.Н. Посаженников, В.В. Галкин

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НА СТАНЕ 2500 Г.П. ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ МАРКИ 20 ПО ГОСТ 4041-71 И ТС 14-101-791-2004

До января 2004 года прокат из стали марки 20 толщиной 8,0...10,0 мм по ГОСТ 4041-71 и ТС 14-101-791-2004 при несоответствии механических свойств после горячей прокатки (обеспечение твердости не более 127 НВ) согласно ГОСТ 4041-71 подвергался последующей термической обработке (нормализации в проходной печи ЛПЦ-4).

В январе 2004 года (приказ ОАО «ММК» № 70 от 26.01.2004 г.) печь нормализации в ЛПЦ-4 была демонтирована.

Для выполнения заказов на данный металлопрокат с гарантией механических свойств, в условиях отсутствия средств термической обработки, на основе ранее проведенных исследований в условиях ОАО «ММК» [1–3] и других металлургических предприятиях [4–6] была разработана и предложена новая технология, особенностями которой являются снижение массовой доли следующих элементов: С=0,17...0,20%, Si=0,17...0,27% и Mn=0,35...0,45%; корректировка температурно-деформационных режимов прокатки (Т_з, Т_{кп}, Т_{см}, толщина раската перед чистовой группой, скорость и ускорение), последовательности выдержки и схемы ускоренного охлаждения полос на отводящем рольганге.

Отработку технологии производства металлопроката из стали марки 20 по ГОСТ 4041-71 и ТС 14-101-791-2004 можно разбить на три этапа.

Отличительные особенности этапов отработки технологии заключались в следующем:

1 этап – Тсм:

для толщины 8,0 мм – 655...685°C;
 для толщин 8,1...10,0 мм – 635...665°C,
 охлаждение полос на отводящем рольганге осуществляли с секции № 15;

2 этап – Тсм:

для толщины 8,0 мм – 660...700°C;
 для толщин 8,1...10,0 мм – 650...690°C,
 охлаждение полос на отводящем рольганге осуществляли с секции № 21;

3 этап – Тсм:

для толщины 8,0 мм – 670...710°C;
 для толщин 8,1...10,0 мм – 670...700°C,
 охлаждение полос на отводящем рольганге осуществляли с секции № 27.

На каждом этапе проводились опытные прокатки, в ходе которых фиксировались: химический состав стали, температурные и скоростные режимы прокатки, а также порядок включения секций установки ускоренного охлаждения.

Таблица 1

Химический состав стали марки 20, %

Этап освоения	Содержание	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	N2	Al	Mo	V
1	Минимальное	0,17	0,20	0,38	0,008	0,009	0,02	0,02	0,03	0,004	0,032	0,003	0,002
	Максимальное	0,20	0,25	0,55	0,022	0,019	0,04	0,07	0,07	0,007	0,053	0,007	0,010
	Среднее	0,182	0,219	0,435	0,015	0,014	0,028	0,031	0,052	0,005	0,046	0,004	0,005
2	Минимальное	0,17	0,20	0,40	0,009	0,007	0,01	0,02	0,02	0,004	0,038	0,003	0,003
	Максимальное	0,19	0,25	0,57	0,025	0,021	0,04	0,04	0,07	0,007	0,066	0,005	0,015
	Среднее	0,178	0,224	0,469	0,016	0,014	0,021	0,031	0,047	0,005	0,048	0,004	0,009
3	Минимальное	0,17	0,19	0,40	0,011	0,008	0,01	0,01	0,02	0,004	0,037	0,002	0,003
	Максимальное	0,18	0,27	0,52	0,025	0,019	0,04	0,08	0,10	0,007	0,055	0,011	0,015
	Среднее	0,172	0,218	0,448	0,017	0,014	0,022	0,029	0,041	0,005	0,046	0,004	0,007