



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Лаборатория МГНМ  
им. А.П. Жилиева

Версия 1

СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25

Лист 1  
Всего листов 16

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Д.В. Терентьев

Ввести в действие с «26» 09 2025 г.



## Технологический регламент

### изготовления горячекатаных листов из низкоуглеродистых С-Mn сталей различных классов прочности (от S355MC до S700MC в соответствии с EN 10149-2) методом листовой прокатки со скоростной асимметрией

Настоящий технологический регламент (далее – ТР) разработан для условий научно-исследовательской лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева» с целью выполнения работ на уникальной научной установке – экспериментальном реверсивном стане дуо листовой прокатки с индивидуальным приводом рабочих валков – стане дуо 400 листовой прокатки со скоростной асимметрией.

Технологический регламент должен применяться в качестве руководства для выполнения работ по изготовлению горячекатаных листов из низкоуглеродистых С-Mn сталей различных классов прочности (от S355MC до S700MC в соответствии с EN 10149-2) без использования легирующих добавок Nb, V, Ti, Mo, Cr, Ni, Cu, B.

#### 1 Термины и определения

В настоящем технологическом регламенте применены следующие термины с соответствующими определениями:

1.1 **Скоростная асимметрия** – неравенство частоты вращения (угловой скорости, линейной скорости) рабочих валков при равенстве их диаметров;

1.2 **Коэффициент соотношения скоростей валков** – отношение частоты вращения (угловой скорости, линейной скорости) рабочего валка, вращающегося с большей скоростью (быстрый), к частоте вращения (угловой скорости, линейной скорости) рабочего валка, вращающегося с меньшей скоростью (медленный);

1.3 **Заготовка** – исходный плоский полуфабрикат в состоянии поставки;

1.4 **Раскат** – плоский полуфабрикат после прокатки;

1.5 **Лист** – плоский полуфабрикат после прокатки и отделки;


1.6 **Ac1** – температура (точка фазового превращения), при которой начинается образование аустенита при нагревании стали;

1.7 **Ac3** – температура (точка фазового превращения), при которой заканчивается превращение феррита в аустенит при нагревании стали;

1.8 **Ar3** – температура (точка фазового превращения), при которой начинается превращение аустенита в феррит при охлаждении стали;

1.9 **Ar1** – температура (точка фазового превращения), при которой заканчивается превращение аустенита в перлит при охлаждении стали;

1.10  $T_{A \rightarrow \Phi}^k$  – температура (точка фазового превращения), при которой заканчивается превращение аустенита (А) в феррит (Ф) при охлаждении стали;

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 2 Всего листов 16

1.11  $\Delta T_{\epsilon}$  – величина понижения температуры прокатываемого металла в очаге деформации, необходимая для реализации механизма полного динамического фазового превращения.

1.12 **Уникальная научная установка** – комплекс научного оборудования, не имеющий аналогов в Российской Федерации, функционирующий как единое целое и созданный научной организацией и (или) образовательной организацией в целях получения научных результатов, достижение которых невозможно при использовании другого оборудования. Уникальная научная установка – экспериментальный реверсивный стан дуо листовой прокатки с индивидуальным приводом рабочих валков – стан дуо 400 листовой прокатки со скоростной асимметрией.

В настоящем Регламенте применены следующие сокращения:

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»;

НИЛ МГНМ – научно-исследовательская лаборатория «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева»;

ОТ – охрана труда;

ПБ – промышленная безопасность;

НД – нормативный документ.

## 2 Общие положения

2.1 В состав работ по изготовлению горячекатаных листов из низкоуглеродистых С-Mn сталей различных классов прочности (от S355MC до S700MC в соответствии с EN 10149-2) методом листовой прокатки со скоростной асимметрией входят:

- подготовка исходных заготовок к прокатке (порезка, химический анализ, дилатометрический анализ);
- нагрев исходных заготовок в электропечи;
- горячая прокатка раскатов;
- охлаждение раскатов;
- отделка раскатов (удаление окалина, правка, обрезка);
- контроль качества готовых листов (поверхностные дефекты, геометрия, микроструктура, механические свойства).

2.2 Работы, связанные с нагревом исходных заготовок, горячей прокаткой и охлаждением раскатов, должны выполняться в условиях НИЛ МГНМ. Работы, связанные с отделкой раскатов и контролем качества готовых листов, могут выполняться в условиях НИЛ МГНМ или в условиях сторонних организаций.

2.3 Исполнители работ в условиях НИЛ МГНМ:

- научные сотрудники НИЛ МГНМ;
- аспиранты по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением, 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

2.4 Исполнители работ должны быть ознакомлены с данным технологическим регламентом и инструкциями по ОТ и ПБ.

2.5 Все работы должны выполняться в соответствии с данным технологическим регламентом.

2.6 Отступление от регламента не допускается.

## 3 Подготовка исходных заготовок к прокатке

3.1 Исходные заготовки должны иметь следующий химический состав:


	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			Лист Всего листов	3 16
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25		

Таблица 3.1 – Требования к химическому составу исходных заготовок

C	Mn	Si	P	S	Примечание
мас.%, не более					
0,12	2,10	0,60	0,025	0,015	Без использования легирующих добавок Nb, V, Ti, Mo, Cr, Ni, Cu, B

Таблица 3.2 – Допустимые пределы отклонения содержания химических элементов

C	Mn	Si	P	S	Примечание
мас.%					
+0,02	+0,1	+0,05	+0,005	+0,002	В соответствии с EN 10149-1

3.2 Исходные заготовки должны быть изготовлены из промышленного горячекатаного листа методом лазерной резки (рис. 3.1) или другим методом (гидроабразивная резка, электроэрозионная резка), обеспечивающим точность резки не хуже  $\pm 0,1$  мм.

3.3 Размеры исходных заготовок после лазерной резки (гидроабразивной резки, электроэрозионной резки) должны соответствовать следующим ограничениям:

- толщина от 2,5 мм до 12,0 мм;
- ширина от 50 мм до 300 мм;
- длина от 200 мм до 500 мм.

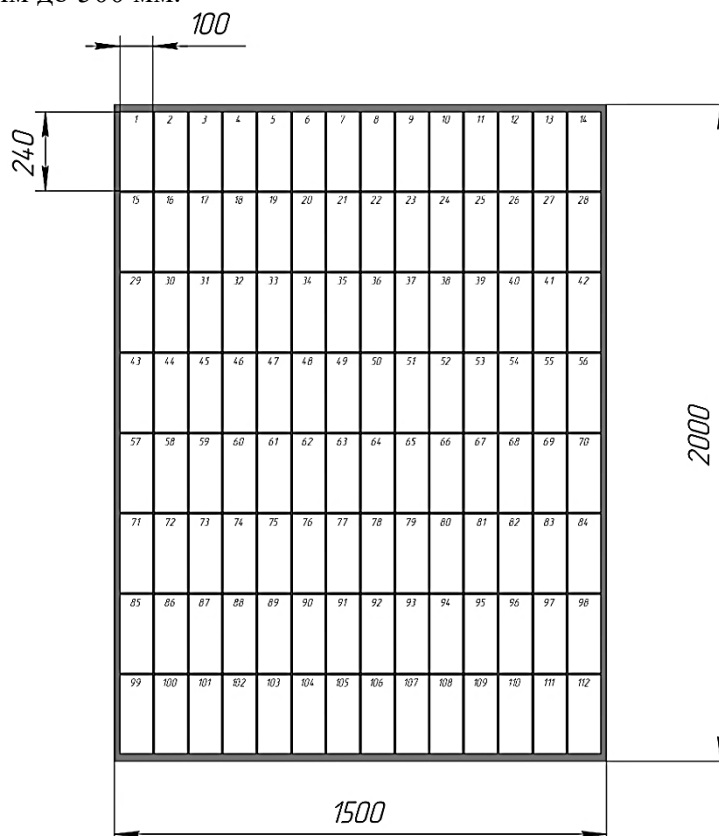



Рис. 3.1. Пример схемы лазерной резки 1 промышленного горячекатаного листа размером 5×1500×2000 мм на 112 исходных заготовок размером 5×100×240 мм

3.4 Регистрация исходных заготовок должна производиться в регистрационном журнале.

3.5 Перед горячей прокаткой (перед загрузкой заготовок в печь для нагрева) должен быть проведен внешний осмотр заготовок на наличие поверхностных дефектов.

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 4 Всего листов 16

3.6 Перед горячей прокаткой должен быть проведен внешний осмотр рабочих валков на наличие поверхностных дефектов.

3.7 Перед горячей прокаткой должен быть проведен количественный химический анализ материала заготовок спектральным или энергодисперсионным рентгенофлуоресцентным методом на соответствие требованиям таблицы 3.1.

3.8 Перед горячей прокаткой должен быть проведен дилатометрический анализ материала заготовок и определены точки фазовых превращений  $A_{c1}$ ,  $A_{c3}$  (при нагреве) (рис. 3.2) и  $A_{r3}$ ,  $A_{r1}$  (при охлаждении) (рис. 3.3).

3.9 Перед горячей прокаткой должна быть определена температура  $T_{A \rightarrow \Phi}^K$ . Температура  $T_{A \rightarrow \Phi}^K$  должна определяться на основе графика ускорения  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения (рис. 3.4). Температуре  $T_{A \rightarrow \Phi}^K$  соответствует температура, при которой ускорение  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения становится равным нулю.

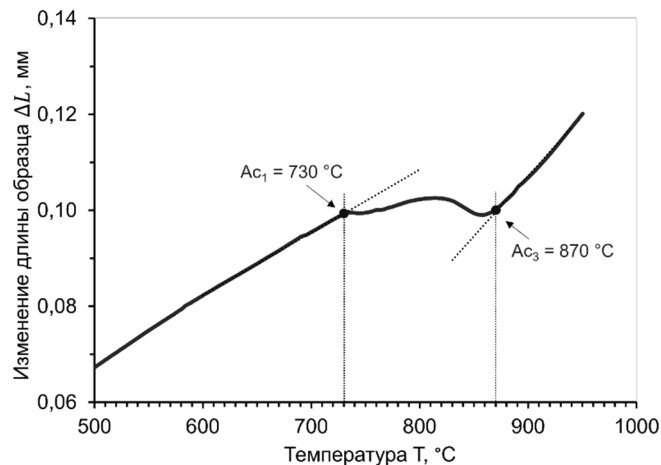


Рис. 3.2. Пример дилатограммы для экспериментального определения точек фазовых превращений  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  при нагреве

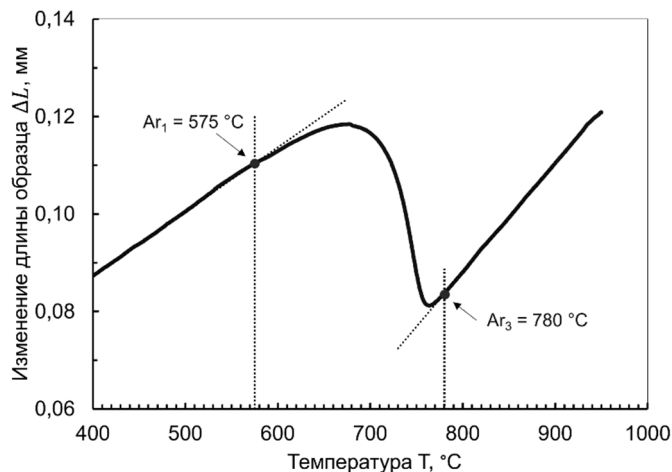



Рис. 3.3. Пример дилатограммы для экспериментального определения точек фазовых превращений  $A_{r1}$  и  $A_{r3}$  при охлаждении

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 5 Всего листов 16

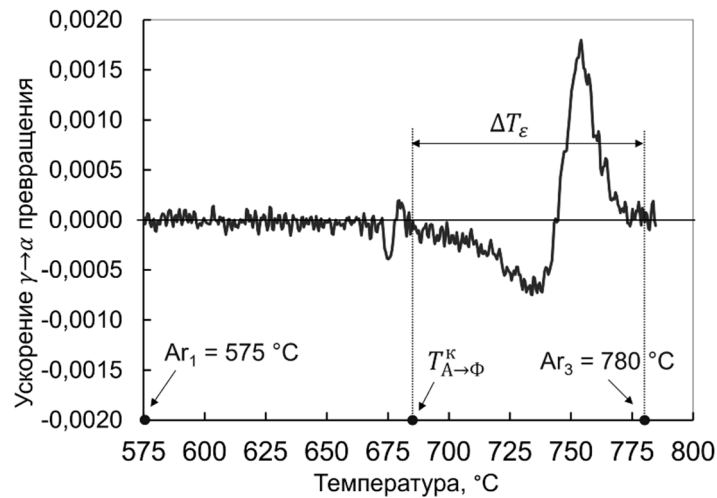


Рис. 3.4. Пример определения температуры  $T_{A \rightarrow \Phi}^K$  по графику ускорения  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения

#### 4 Горячая прокатка заготовок

4.1 Нагрев исходных заготовок должен осуществляться в предварительно разогретой электропечи. Продолжительность разогрева электропечи должна составлять не менее 3 часов с момента включения.

4.2 При размерах рабочего пространства электропечи 400×500×350 мм (ширина×длина×высота) количество одновременно нагреваемых исходных заготовок должно соответствовать требованиям таблицы 4.1.

4.3 Режим нагрева исходных заготовок должен соответствовать требованиям таблицы 4.1.

4.4 Укладка исходных заготовок в электропечи должна осуществляться таким образом, чтобы между заготовками был пространственный зазор не менее 10 мм (рис. 4.1).

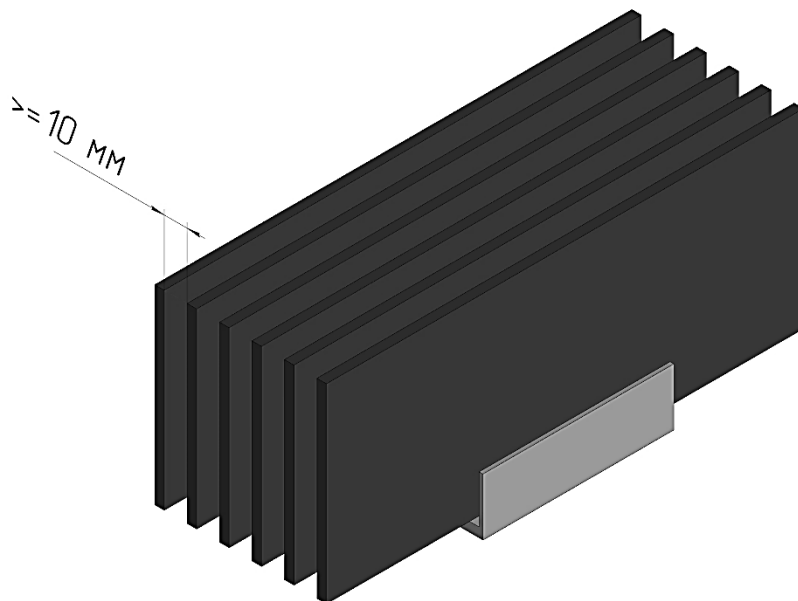


Рис. 4.1. Схема укладки исходных заготовок в электропечи для нагрева


	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 6 Всего листов 16

Таблица 4.1 – Требования к нагреву исходных заготовок

Класс прочности	Начальная толщина заготовки, мм	Количество одновременно нагреваемых заготовок в электропечи, не более	Температура нагрева заготовки	Общее время нагрева заготовки в печи, мин.
S355MC	от 2,5 до 6,0	8	Ac3+(50...100) °C	45±5
	от 7,0 до 12,0	6		65±5
S420MC	от 2,5 до 6,0	8	Ac3+(50...100) °C	45±5
	от 7,0 до 12,0	6		65±5
S460MC	от 2,5 до 6,0	8	Ac3+(50...100) °C	45±5
	от 7,0 до 12,0	6		65±5
S500MC	от 2,5 до 6,0	8	Ac3+(10...20) °C	45±5
	от 7,0 до 12,0	6		65±5
S550MC	от 2,5 до 6,0	8	Ac3+(10...20) °C	45±5
	от 7,0 до 12,0	6		65±5
S600MC	от 2,5 до 6,0	8	Ac3+(10...20) °C	45±5
	от 7,0 до 12,0	6		65±5
S650MC	от 2,5 до 6,0	8	Ac3+(10...20) °C	45±5
	от 7,0 до 12,0	6		65±5
S700MC	от 2,5 до 6,0	8	Ac3+(10...20) °C	45±5
	от 7,0 до 12,0	6		65±5

4.5 Горячая прокатка исходных заготовок должна выполняться на уникальной научной установке – стане дуо 400 листовой прокатки со скоростной асимметрией (в режиме «Асимметрия»).

4.6 Перед началом работы на стане дуо 400 необходимо ознакомиться с соответствующей инструкцией по ОТ и расписаться в регистрационном журнале по технике безопасности.

4.7 Для создания режима «Асимметрия» перед началом прокатки должны быть установлены следующие технологические параметры:


- частота вращения (об/мин) нижнего рабочего вала;
- частота вращения (об/мин) верхнего рабочего вала;
- зазор (мм) между рабочими валами.

4.8 **Внимание!** Создание режима «Асимметрия» за счет замедления скорости первого рабочего вала относительно скорости второго рабочего вала возможно только при величине межвалкового зазора  $\geq 0,8$  мм.

Создание скоростной асимметрии в рабочих валах, сведенных «в забой» или при величине межвалкового зазора  $< 0,8$  мм, недопустимо, т.к. это может привести к механическому повреждению поверхностей рабочих валков, а также поломке передаточных механизмов главного электропривода.

4.9 В зависимости от требуемого класса прочности (EN 10149-2) низкоуглеродистой С-Мп стали (таблица 4.2) выбор технологических параметров процесса листовой прокатки со скоростной асимметрией должен осуществляться на основе таблицы 4.3.

4.10 При охлаждении на воздухе раскаты должны укладываться на две опорные поверхности согласно схеме на рис. 4.2.

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 7 Всего листов 16

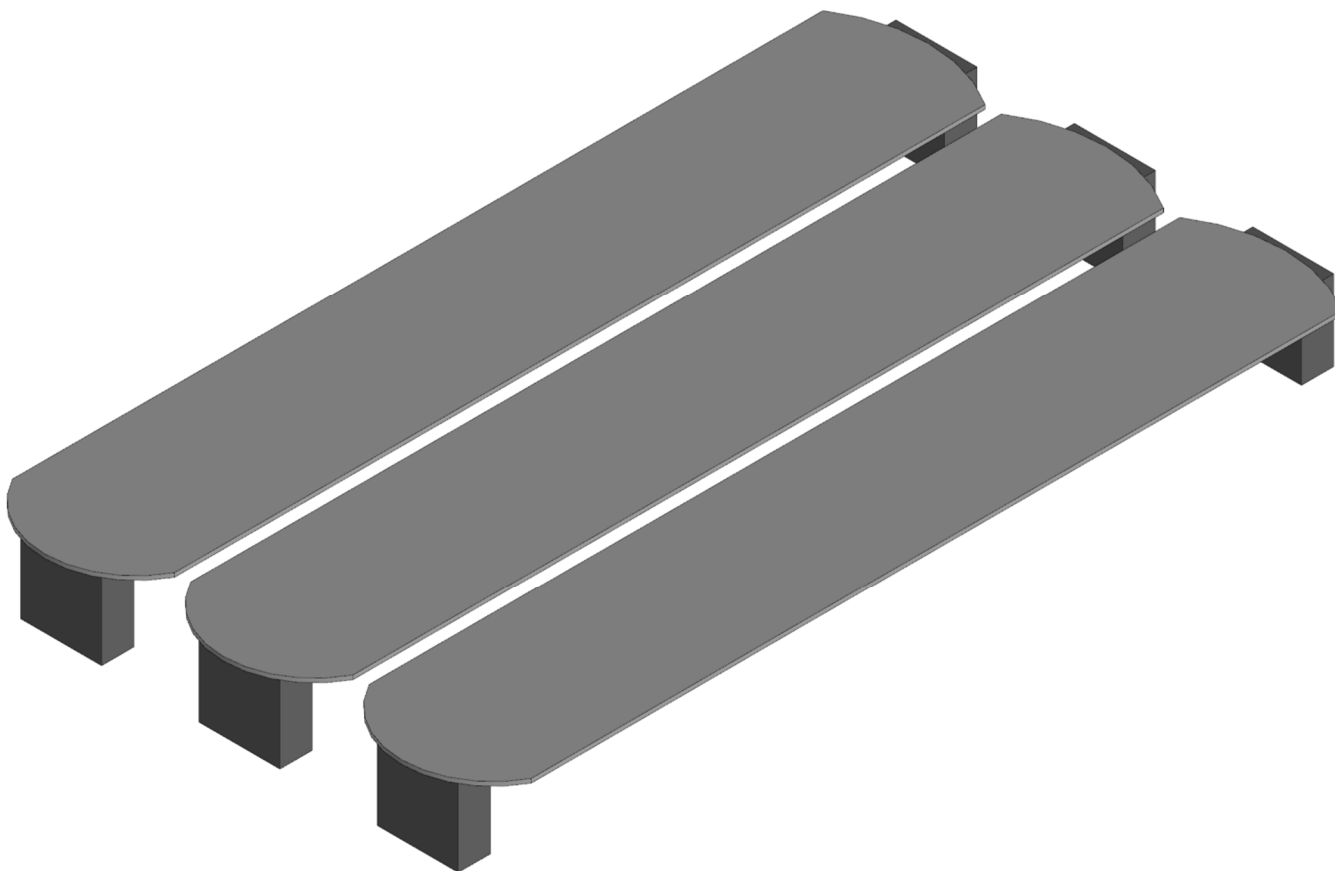


Рис. 4.2. Схема укладки раскатов при охлаждении на воздухе

4.11 Охлаждение водой должно осуществляться сразу после горячей прокатки методом полного погружения раскатов в глубокую емкость (бак) с водой с выдержкой в течение 30-60 сек.

4.12 Температура воды при охлаждении должна составлять  $25 \pm 15^\circ\text{C}$ .

Таблица 4.2 – Целевые характеристики микроструктуры и механических свойств низкоуглеродистой С-Mn стали для различных классов прочности (EN 10149-2)

Класс прочности EN 10149-2	Конечная толщина листа, мм	Средний диаметр ферритного зерна, мкм	Верхний физический предел текучести, МПа, не менее	Временное сопротивление (предел прочности), МПа	Относительное удлинение после разрыва, $\delta_{80}$ , %, не менее	Относительное удлинение после разрыва, $\delta_5$ , %, не менее
S355MC	от 1 до 5	$6,5 \pm 1,5$	355	430-550	19	23
S420MC	от 1 до 5	$4,2 \pm 0,1$	420	480-620	16	19
S460MC	от 1 до 5	$3,5 \pm 0,1$	460	520-670	14	17
S500MC	от 1 до 5	$2,8 \pm 0,1$	500	550-700	12	14
S550MC	от 1 до 5	$2,2 \pm 0,1$	550	600-760	12	14
S600MC	от 1 до 5	$1,8 \pm 0,1$	600	650-820	11	13
S650MC	от 1 до 5	$1,5 \pm 0,1$	650	700-880	10	12
S700MC	от 1 до 5	$1,2 \pm 0,1$	700	750-950	10	12


	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 8 Всего листов 16

Таблица 4.3 – Зависимость класса прочности (EN 10149-2) низкоуглеродистой С-Мн стали от технологических параметров процесса листовой прокатки со скоростной асимметрией

Класс прочности	Конечная толщина листа, мм	Температура заготовки на входе в очаг деформации	Температура раската на выходе из очага деформации	Относительное обжатие за проход, %	Частота вращения		Коэффициент соотношения скоростей валков	Условия охлаждения
					нижний валок, об/мин	верхний валок, об/мин		
S355MC	от 1 до 5	Ar3+(50...100) °C	Ar3+(10...50) °C	20±5	10,0	10,0	1,0	Воздух
S420MC	от 1 до 5	Ar3+(50...100) °C	Ar3±10 °C	45±5	10,0	7,1	1,4	Воздух
S460MC	от 1 до 3	Ar3+(50...100) °C	Ar3±10 °C	45±5	10,0	6,6	1,5	Воздух
	от 3 до 5				8,0	5,3		
S500MC	от 1 до 3	Ar3±10 °C	$T_{A \rightarrow \Phi}^K + (40...50) \text{ °C}$	50±5	8,0	5,0	1,6	Вода
	от 3 до 5				7,0	4,4		
S550MC	от 1 до 3	Ar3±10 °C	$T_{A \rightarrow \Phi}^K + (30...40) \text{ °C}$	50±5	8,0	4,7	1,7	Вода
	от 3 до 5				6,0	3,5		
S600MC	от 1 до 3	Ar3±10 °C	$T_{A \rightarrow \Phi}^K + (20...30) \text{ °C}$	55±5	6,0	4,0	1,5	Вода
	от 3 до 5				4,0	2,7		
S650MC	от 1 до 3	Ar3±10 °C	$T_{A \rightarrow \Phi}^K + (10...20) \text{ °C}$	55±5	6,0	3,7	1,6	Вода
	от 3 до 5				4,0	2,5		
S700MC	от 1 до 3	Ar3±10 °C	$T_{A \rightarrow \Phi}^K + (0...10) \text{ °C}$	55±5	5,0	2,9	1,7	Вода
	от 3 до 5				4,0	2,4		

4.13 На основе выбранных технологических параметров с помощью пульта управления стана дуо 400 должна быть установлена частота вращения (об/мин) нижнего рабочего валка, частота вращения верхнего рабочего валка, зазор между рабочими валками.

4.14 Контроль температурных условий листовой прокатки со скоростной асимметрией должен осуществляться с помощью тепловизора.

4.15 Заготовки должны задаваться в рабочую зону толкателем.

4.16 Перед запуском стана в работу необходимо:

- выполнить визуальный осмотр узлов и механизмов стана;
- проверить наличие и целостность защитных ограждений у вращающихся частей стана.


4.17 Горячая прокатка низкоуглеродистых С-Мн сталей должна выполняться за один проход в рабочих валках без использования смазки.

4.18 После каждого прохода выключать стан не рекомендуется. Переустановка частоты вращения рабочих валков и зазора между ними на пульте управления стана дуо 400 должна производиться без его отключения.

4.19 В процессе прокатки с помощью системы управления прокатным станом дуо 400 должна быть обеспечена запись количественного изменения параметров технологического процесса (с шагом 10 мс) в файлы электронных таблиц MS Excel формата \*.xlsx, в том числе:

- изменение усилия прокатки (тс) в зависимости от времени;
- изменение крутящего момента (Н·м) на верхнем рабочем валке в зависимости от времени;
- изменение крутящего момента (Н·м) на нижнем рабочем валке в зависимости от времени;
- изменение частоты вращения (об/мин) верхнего рабочего валка в зависимости от времени;
- изменение частоты вращения (об/мин) нижнего рабочего валка в зависимости от времени.

4.20 Описание информационных окон пульта управления станом дуо 400 приведено в руководстве по эксплуатации станом.

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 9 Всего листов 16

4.21 Учет технологических параметров процесса прокатки должен производиться исполнителем работ в регистрационном журнале.

## 5 Отделка и контроль качества

5.1 После горячей прокатки с поверхности раскатов должна быть удалена окалина методом пескоструйной обработки или лазерной очистки.

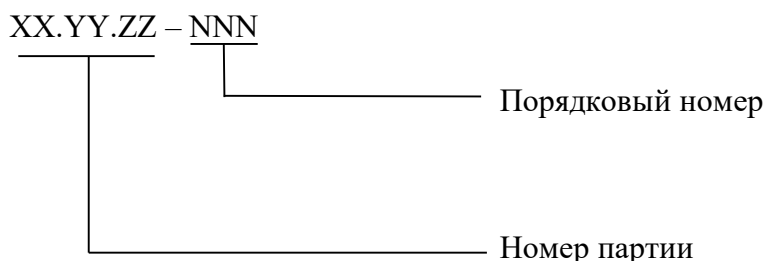
5.2 После удаления окалины должен быть выполнен визуальный осмотр качества поверхности раскатов.

5.3 Если визуальный осмотр не выявил дефектов (вкатанная окалина, трещины, отпечатки и т.д.), то должна быть выполнена правка раскатов для получения заданной плоскостности в соответствии с требованиями НД.

5.4 После правки раскатов должен быть выполнен контроль толщины цифровым микрометром в соответствии с требованиями НД.

5.5 Далее, по согласованию с заказчиком, должна быть выполнена обрезка переднего и заднего концов раската, а также, при необходимости, обрезка боковых кромок. После обрезки должны быть получены листы заданных размеров в соответствии с требованиями НД.

5.6 Готовые листы должны нумероваться согласно шаблону:



Пример обозначения:

30.06.25 – 101 – лист № 101 в партии от 30 июня 2025 года.

5.7 Контроль качества должен включать:

– определение соответствия геометрических размеров (толщина, ширина, длина) листов требованиям НД;

– определение механических свойств (предел текучести, временное сопротивление, относительное равномерное удлинение, относительное удлинение после разрыва) методом статических испытаний на растяжение в соответствии с ГОСТ 1497-2023 для листов толщиной от 3,0 мм до 5,0 мм (рис. 5.1), или в соответствии с ГОСТ 11701-84 для листов толщиной от 1,0 мм до 3,0 мм (рис. 5.2). Количество повторов при испытании – 3;

– определение среднего диаметра ферритного зерна (мкм), определение номера (балла) зерна, а также оценка однородности (разнозернистости) структуры в соответствии с ГОСТ 5639-82 по толщине листов не менее чем в трех позициях в продольной плоскости согласно схеме на рис. 5.3. Примеры оптических, РЭМ (SEM) и EBSD изображений микроструктуры с баллом ферритного зерна  $G = 16$  представлены на рис. 5.4-5.8. Примеры гистограмм распределения зерен и углов разориентировки представлены на рис. 5.9-5.10. Количество повторов при испытании – не регламентируется.

5.8 По результатам всех требуемых испытаний и контроля качества должен составляться протокол испытаний по форме (Приложение А).

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 10 Всего листов 16

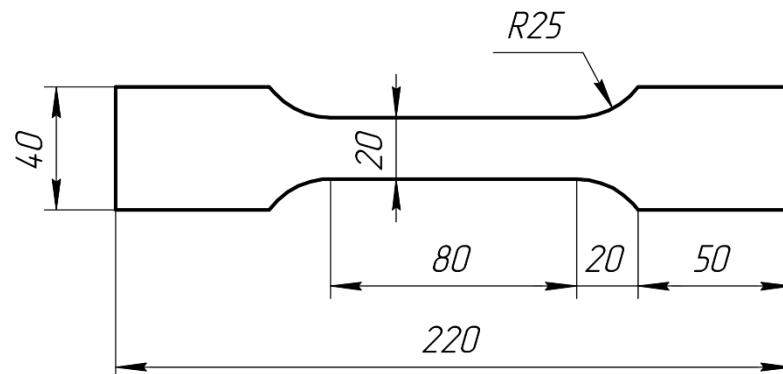


Рис. 5.1. Размеры пропорционального плоского образца с головками (тип I) для испытаний на растяжение (толщина образца от 3,0 мм до 5,0 мм)

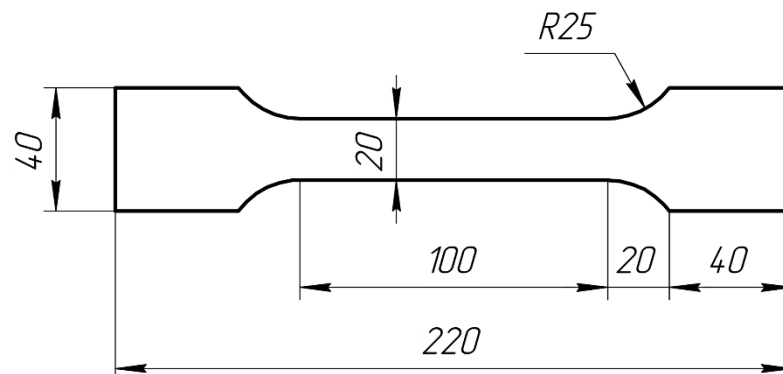


Рис. 5.2. Размеры пропорционального плоского образца с головками (тип I) для испытаний на растяжение (толщина образца от 1,0 мм до 3,0 мм)

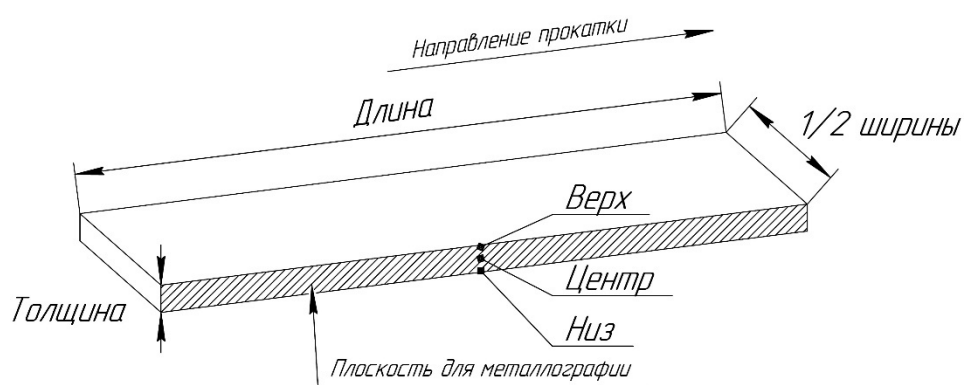



Рис. 5.3. Схема отбора проб для металлографии

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 11 Всего листов 16

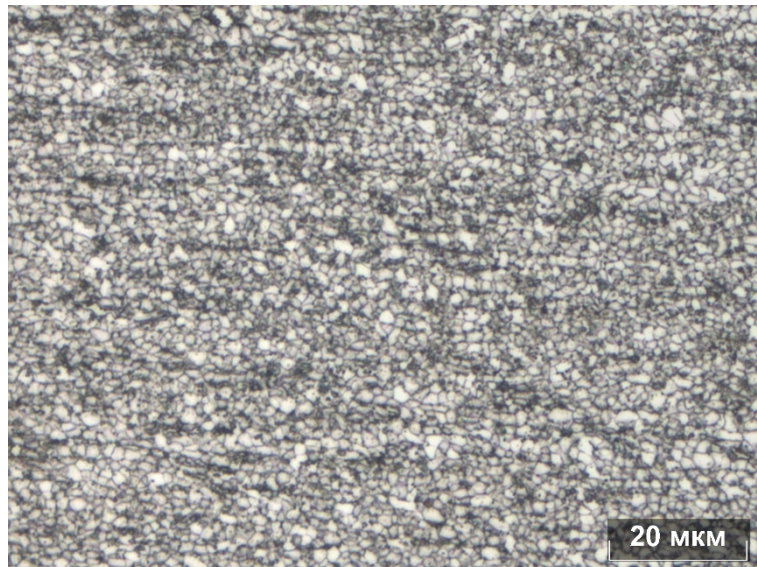


Рис. 5.4. Пример оптического изображения (увеличение  $\times 1000$ ) ферритно-перлитной микроструктуры с баллом ферритного зерна  $G = 16$

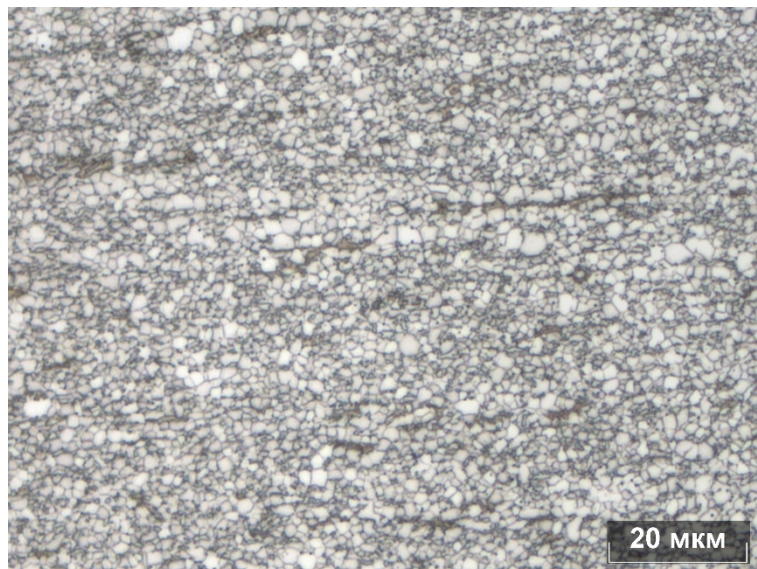



Рис. 5.5. Пример оптического изображения (увеличение  $\times 1000$ ) ферритно-бейнитной микроструктуры с баллом ферритного зерна  $G = 16$

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жиляева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 12 Всего листов 16

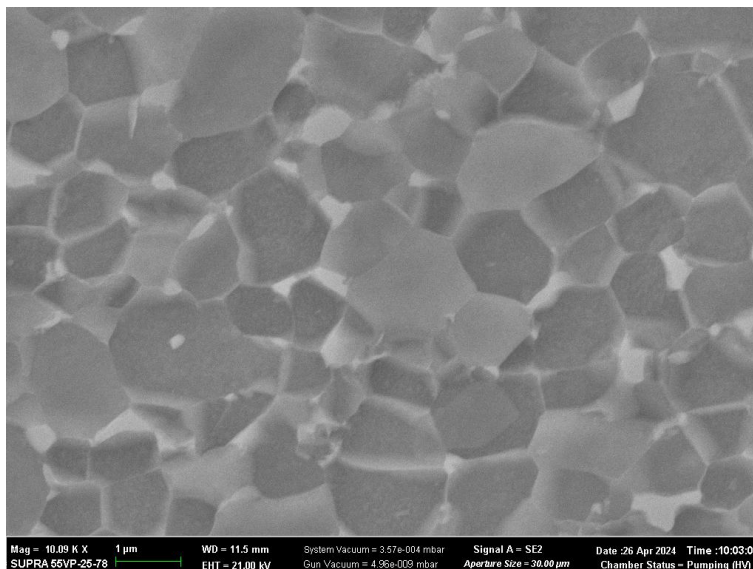


Рис. 5.6. Пример РЭМ (SEM) изображения (увеличение  $\times 10000$ ) ферритно-перлитной микроструктуры с баллом ферритного зерна  $G = 16$

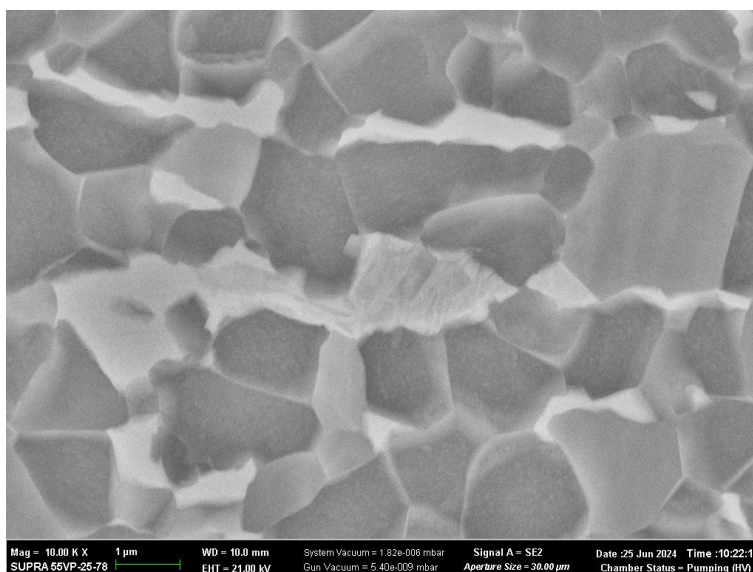



Рис. 5.7. Пример РЭМ (SEM) изображения (увеличение  $\times 10000$ ) ферритно-бейнитной микроструктуры с баллом ферритного зерна  $G = 16$

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 13 Всего листов 16

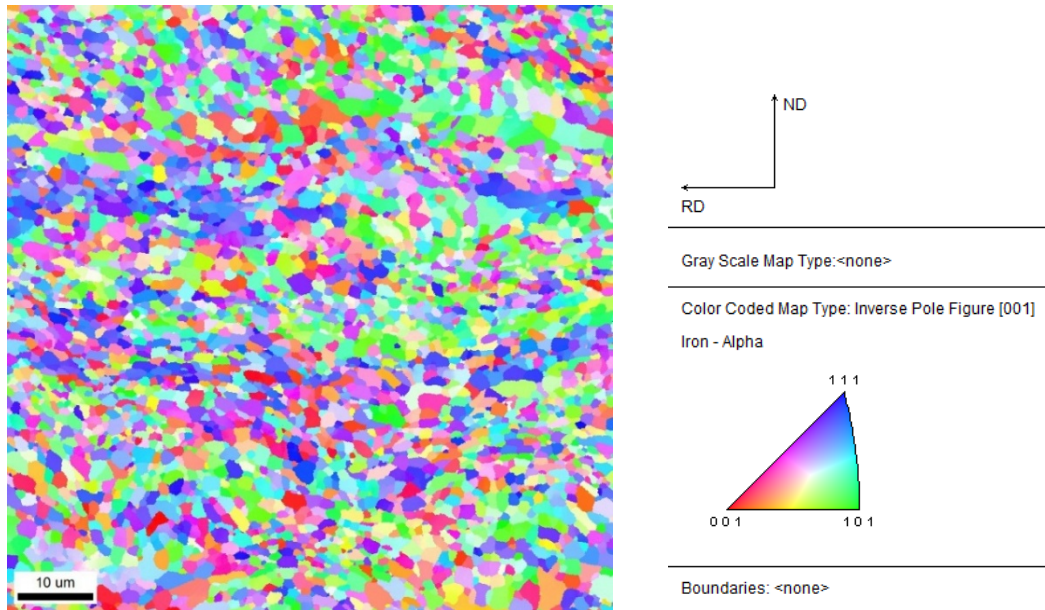


Рис. 5.8. Пример EBSD изображения микроструктуры с баллом ферритного зерна  $G = 16$

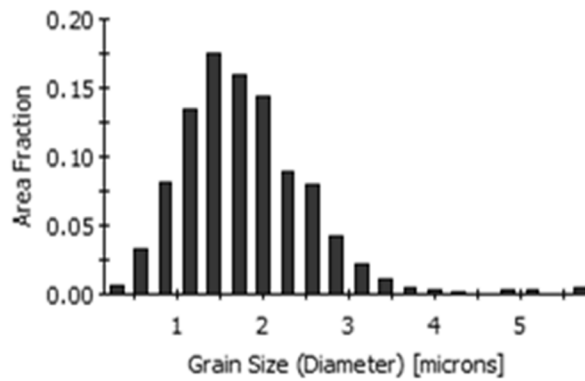


Рис. 5.9. Пример гистограммы распределения зерен по размерам (EBSD анализ)  
 (балл ферритного зерна  $G = 16$ , средний диаметр зерна  $\bar{d}_{cp} = \sum d_i p_i$ , где  $p_i$  – доля площади)

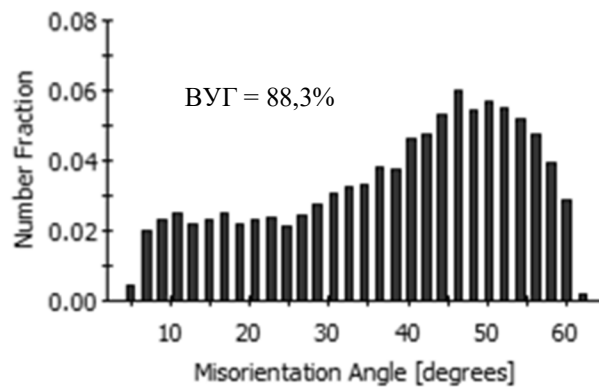



Рис. 5.10. Пример гистограммы распределения углов разориентировки (EBSD анализ)  
 (балл ферритного зерна  $G = 16$ , доля зерен с высокоугловыми границами ВУГ = 88,3%)

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 14 Всего листов 16

## 6 Ответственность


6.1 *Проректор по научной и инновационной работе*, Ведущий СМК по научно-инновационной деятельности несет ответственность за недопущение превышения полномочий вовлеченного персонала в выполнение работ с применением уникальной научной установки; за координацию всех действий по ликвидации и исправлению несоответствий, ограничивающих возможности выполнения работ с применением уникальной научной установки; за принятие решения об использовании данного технологического регламента.

6.2 *Заведующий лабораторией «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева»* несет ответственность за исполнение требований настоящего технологического регламента, координацию всех работ по изготовлению горячекатаных листов из низкоуглеродистых С-Мп сталей различных классов прочности (от S355MC до S700MC в соответствии с EN 10149-2) методом листовой прокатки со скоростной асимметрией, за соблюдение инструкций по ОТ при выполнении работ на уникальной научной установке.

6.3 *Исполнители работ* несут ответственность за выполнение всех операций в точном соответствии технологического регламента.

**СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25 Система менеджмента качества. Технологический регламент изготовления горячекатаных листов из низкоуглеродистых С-Мп сталей различных классов прочности (от S355MC до S700MC в соответствии с EN 10149-2) методом листовой прокатки со скоростной асимметрией разработали:**

Начальник отдела компьютерного моделирования  
научно-исследовательской лаборатории  
«Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
обработки материалов давлением им. М.И. Бояршинова

 Д.О. Пустовойтов


**Согласовано:**

Заведующий научно-исследовательской лабораторией  
«Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева»,  
доктор технических наук

 Г.И. Рааб

Заместитель заведующего научно-исследовательской лабораторией  
«Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева»,  
доктор технических наук, профессор кафедры  
обработки материалов давлением им. М.И. Бояршинова

 А.М. Песин

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 15 Всего листов 16

**Приложение А  
(обязательное)  
Форма акта испытаний**

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
\_\_\_\_\_ Д.В. Терентьев

**АКТ ИСПЫТАНИЙ**

№ \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заказчик, адрес \_\_\_\_\_

Исходное состояние материала заготовок \_\_\_\_\_

Материал заготовок \_\_\_\_\_

Цель проведения испытаний \_\_\_\_\_

Дата проведения испытаний \_\_\_\_\_

Испытательное оборудование \_\_\_\_\_

Таблица А1 – Химический состав

C	Mn	Si	P	S	Примечание
мас.%					

Таблица А2 – Точки фазовых превращений

Ac1, °C	Ac3, °C	Ar1, °C	Ar3, °C	T <sub>A→Ф</sub> <sup>K</sup> , °C	Примечание

Таблица А3 – Параметры процесса листовой прокатки со скоростной асимметрией

Номер образца	Размеры заготовки			Температура нагрева заготовки, °C	Пауза, сек	Зазор, мм	Относительное обжатие, %	Частота вращения		Коэффициент соотношения скоростей валков	Усилие прокатки, тс	Крутящий момент		Условия охлаждения
	толщина, мм	ширина, мм	длина, мм					верхний валок, об/мин	нижний валок, об/мин			верхний валок, Н·м	нижний валок, Н·м	

Таблица А4 – Геометрические размеры

Номер образца	Толщина листа, мм	Ширина листа, мм	Длина листа, мм	Примечание


	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»			
	Лаборатория МГНМ им. А.П. Жилиева	Версия 1	СМК-РЕ-ЛМГНМ-03-25	Лист 16 Всего листов 16

Таблица А5 – Механические свойства

Номер образца	Класс прочности EN 10149-2	Толщина листа, мм	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение после разрыва, $\delta_{80}$ , %	Относительное удлинение после разрыва, $\delta_5$ , %	Примечание

Таблица А6 – Микроструктура

Номер образца	Позиция по толщине листа	Количество измеренных зерен	Количество зерен на 1 мм <sup>2</sup>	Фазовый состав			Разнозернистость	Средний размер колоний второй фазы, мкм	Средний диаметр зерна феррита, мкм	Номер (балл) зерна феррита, G
				Доля феррита, %	Тип второй фазы	Доля второй фазы, %				
	Верх									
	Центр									
	Низ									

Дополнительная информация

по согласованию с заказчиком:

оптические изображения микроструктуры

РЭМ (SEM) изображения микроструктуры

EBSD изображения микроструктуры

Гистограммы распределения зерен по размерам

Гистограммы распределения углов разориентировки

Гистограммы распределения механических свойств

---

---

---

---

---

---

---

Заключение по результатам испытаний:

---

Исполнители:

---