



С.А. Ботников

**СОВРЕМЕННЫЙ АТЛАС ДЕФЕКТОВ  
НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ  
И ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОРЫВОВ  
КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ КОРОЧКИ МЕТАЛЛА**



С.А. Ботников

**СОВРЕМЕННЫЙ АТЛАС ДЕФЕКТОВ  
НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ  
И ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОРЫВОВ  
КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ КОРОЧКИ МЕТАЛЛА**



Волгоград  
2011

УДК 620.19

Ботников Сергей Анатольевич, канд. техн. наук

**Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла.**

Издание второе.

Волгоград, 2011

Атлас содержит все наиболее встречающиеся дефекты литой заготовки в процессе производства непрерывнолитых заготовок сечением (диаметром) не более 220 мм.

В атласе учтено влияние дефектов заготовок на дальнейший прокатный передел и предложены мероприятия по их устранению.

Атлас был подготовлен с учетом применяемой современной технологии высокоскоростной непрерывной разливки стали на таких предприятиях, как Челябинский металлургический комбинат, Западно-Сибирский металлургический комбинат, Молдавский металлургический завод и комбинат «Ижсталь». Немалый вклад в подготовку справочника-атласа внесли работы специалистов фирм «DANIELI», «STS s.r.l.», «SMS CONCAST» и «SMS Siemag».

Справочник предназначен для инженерно-технических работников предприятий, научных работников металлургической промышленной отрасли, а также может быть полезен студентам и аспирантам учебных заведений металлургического профиля.

## Оглавление

Введение .....	7
Перечень регламентируемых параметров МНЛЗ.....	9
Общая схема формирования структуры заготовки.....	13
1. ДЕФЕКТЫ ФОРМЫ (ГЕОМЕТРИИ).....	15
1.1. Вздутие (выпуклость) одной или более граней квадратной или прямоугольной заготовки .....	15
1.2. Вогнутость: вогнутая деформация одной или более граней .....	16
квадратной заготовки.....	16
1.3. Ромбичность.....	17
1.4. Овальность .....	19
1.5. Отклонение по сечению заготовки.....	20
1.6. Отклонение по длине .....	21
1.7. Скручивание .....	22
1.8. Кривизна (коробление) .....	22
2. ДЕФЕКТЫ ТОРЦОВ ЗАГОТОВКИ (ДЕФЕКТЫ РЕЗА) .....	23
2.1. Волнистый рез.....	23
2.2. Грат (“борода“) .....	24
2.3. Заусенец.....	25
2.4. Косой рез .....	26
2.5. Недорез.....	27
2.6. Рассредоточенный рез .....	27
2.7. Сплющивание.....	28
3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ.....	29
3.1. Поверхностные трещины .....	29
3.1.1. ПОПЕРЕЧНЫЕ ТРЕЩИНЫ.....	30
3.1.1.1. Поперечные трещины в угловом участке и в зоне нижнего следа качания .....	30
3.1.1.2. Поперечные трещины по граням .....	32
3.1.2. ПРОДОЛЬНЫЕ ТРЕЩИНЫ .....	34
3.1.2.1. Продольные трещины в угловых участках.....	34
3.1.2.2. Продольные трещины по граням.....	36
3.1.3. Трещины звездообразные (паукообразные) и сетчатые .....	36
3.1.4. Поверхностные термические трещины напряжения из-за неравномерного охлаждения НЛЗ на воздухе .....	38
3.2. УЖИМИНЫ (ВМЯТИНЫ) .....	41
3.2.1. Поперечные ужимыны (вмятины).....	41
3.2.2. Продольные ужимыны (вмятины).....	42
3.3. ПОВЕРХНОСТНЫЙ ШЛАК.....	43
3.3.1. Сгустки шлака большого размера .....	43
3.3.2. Шлак размером более 5 мм.....	44
3.3.3. Шлак размером менее 5 мм .....	45
3.4. Брызги металла на поверхности заготовки .....	46
3.5. Заливины (нахлестка или наплыв) .....	47
3.6. Металлизация (заворот корки и плена).....	49

3.7. Перфорированные отверстия (газовая шероховатость) .....	50
3.8. Поверхностные царапины (задиры, риска).....	51
3.9. Пояс .....	52
3.10. Фаска .....	53
3.11. Глубокие складки, следы качания кристаллизатора.....	54
4. ВНУТРЕННИЕ ДЕФЕКТЫ.....	55
4.1. Внутренние трещины (ЛПТ).....	55
4.1.1. Диагональные трещины (ромбичность) ЛПТугл .....	56
4.1.2. Трещины или ликвационные полосы, перпендикулярные граням заготовки (ЛПТпр) .....	58
4.1.3. Центральные и осевые трещины (ЛПТос).....	62
4.1.4. Внутренние трещины из-за вмятин (ужимин) .....	64
4.1.5. Межкристаллитные трещины.....	65
4.1.6. Внутренние трещины вследствие неравномерного охлаждения заготовки на воздухе.....	66
4.2. Осевая ликвация (ОЛ).....	66
4.3. Центральная пористость (ЦП) .....	67
4.4. V – образная осевая ликвация .....	69
4.5. Светлый контур (полоса) (СК).....	69
4.6. Газовые пузыри (подкорковые каналы).....	70
4.7. Инородные металлические макровключения .....	71
4.8. Краевое точечное загрязнение (эндогенные неметаллические включения).....	72
4.9. Экзогенные неметаллические макровключения .....	73
4.10. Развитая столбчатая структура заготовки .....	74
4.11. Асимметрия кристаллических зон заготовки .....	74
4.12. Усадочная раковина .....	75
4.13. Флокены.....	76
5. Прорывы кристаллизующейся корочки на.....	78
непрерывнолитых заготовках .....	78
6. Гильзы кристаллизаторов МНЛЗ .....	87
Библиографический список.....	97

## Введение

Качество готового проката во многом определяется качеством исходной заготовки. В настоящем атласе рассмотрены виды дефектов непрерывнолитых заготовок, факторы, влияющие на образование и развитие дефектов, а также их трансформацию в процессе прокатки.

Под дефектом понимают нарушение сплошности металла. Дефекты формируются в процессе затвердевания и могут развиваться как внутри литой заготовки, так и на внешней поверхности. В большинстве случаев дефекты оказывают негативное влияние на производство, вызывая отбраковку или увеличение себестоимости производства в результате необходимости приведения заготовок в соответствие с требуемыми техническими условиями перед их прокаткой.

В зависимости от причин образования дефекты можно разделить на две группы:

дефекты, специфичные для определенного ручья (встречаются только на одном ручье из-за проблем оборудования или его настроек, например, из-за дефектов кристаллизатора, нарушений вторичного охлаждения, неправильной настройки тянущих и правящих валков и др.);

дефекты, специфичные для определенной плавки (связаны со свойствами жидкой стали и вызваны перегревом, наличием примесей, раскислением на этапе внепечной обработки стали).

Каждую группу дефектов можно разделить на четыре основных типа:

- дефекты формы (геометрии);
- дефекты торцов заготовки (дефекты реза);
- дефекты поверхности;
- внутренние дефекты.

Некоторые химические элементы, часто нежелательные и присутствующие в металле в виде примесей, могут являться причиной образования дефектов [1]:

- Cu, Sn, Sb, As: поверхностные трещины;
- O, S, Al: неметаллические включения;
- S, P: внутренние или подкорковые трещины, внутренняя ликвация;
- O, N, H: поверхностная пористость, газовые пузыри, газовые и усадочные раковины.

## **Элементы технологии, обеспечивающие качество продукции и контроль за процессом формирования заготовки [1]:**

### *1. Стальковш:*

- чистота стали по содержанию примесных элементов и неметаллических включений;
- раскисление стали;
- температура стали.

### *2. Промковш:*

- оптимизация потоков металла в промежуточном ковше (перегородки, турбостоп и др.);
- защита струи на участке стальковш-промокш (защитная труба, защитная инертная атмосфера, плавкие вставки и др.);
- защита поверхности стали теплоизолирующими смесями;
- защита струи из промокша (разливка закрытой струей).

### *3. Кристаллизатор:*

- уровень металла в кристаллизаторе;
- качание;
- смазка;
- геометрия гильзы;
- центровка гильзы в водяной рубашке;
- скорость истечения и температура воды;
- центровка поддерживающих роликов под кристаллизатором.

### *4. Зона вторичного охлаждения (ЗВО) и опорная система роликов ручья:*

- качество воды для вторичного охлаждения;
- контроль расхода воды и состоянием форсунок;
- центрирование коллекторов и роликов ЗВО;
- температура поверхности заготовки;
- радиальный участок;
- участок разгиба.

### *5. Тянуще-правильный агрегат (ТПА):*

- состояние поверхности роликов ТПА;
- усилие прижатия роликов ТПА на заготовку;
- усилие вытягивания заготовки.



**Перечень регламентируемых параметров  
машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [2]**

Таблица 1.

Элемент технологии непрерывной разливки	Регламентируемые параметры
МНЛЗ	Производительность, сортамент, тип машины
Стальковш	Конструкция кожуха, футеровка, теплозащитная крышка, шиберный затвор, система защиты металлопроводки от вторичного окисления
Промежуточный ковш	Объем и форма полости, футеровка, технология разогрева, функции дополнительного рафинирования металла
Погружной стакан (стакан-дозатор)	Конструкция, материал, форма канала и выходных отверстий
Кристаллизатор	Материал рабочих стенок, схема и режимы охлаждения, форма полости и конусность
Механизм качания	Конструкция, режим высокочастотного регулируемого качания и амплитуды
Электромагнитное перемешивание (ЭМП)	Конструкция, расположение на технологической оси, режимы э/м воздействия
Шлакообразующая смесь (ШОС)	Расход, режимы подачи, химический и минералогический состав, вязкость
Система и режимы ЗВО	Конструкция, охлаждающая среда, управляемый режим
ТПА	Конструкция устройства, режим работы в нестационарных условиях
Машина резки заготовок	Тип, конструкция, режим управления и резки
Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП)	PLC – контроллеры, SCADA – системы, базы данных, ИТ – технологии

Таблица 2. Влияние процесса непрерывной разливки на качество заготовок [1]

Производственный участок на МНЛЗ	Фактор влияния	Фактор, подверженный влиянию		
		Неметаллические включения	Дефекты поверхности	Внутренние дефекты
Промковш	Температура стали	+	+	+
	Защитная труба на участке стальнойковш – промковш	+		
	Форма и объем	+		
	Огнеупорная футеровка	+	+	
	Крышка	+	+	
	Стакан-дозатор (форма, защита струи)	+	+	+
Кристаллизатор	Форма и геометрия		+	
	Качение		+	
	Смазка		+	
	Контроль подачи масла		+	
	Качество масла		+	
	Химический анализ стали и структура затвердевания		+	+
	Контроль уровня металла		+	
	Настройка технологической оси		+	+
Вторичные направляющие ролики и охлаждение	Тип и контроль вторичного охлаждения		+	+
	Температура поверхности заготовки		+	+
	Химический анализ стали и структура затвердевания		+	+
	Центрирование и геометрия направляющих роликов		+	+
Тянуще-правильный агрегат (ТПА)	Обжатие заготовки роликами		+	+

Таблица 3. Факторы, влияющие на возникновение и развитие дефектов геометрии непрерывнолитой заготовки [3]

Фактор	Вздутие (выпуклость)	Волнуатость	Ромбичность	Овальность	Кривизна (коробление, серповидность)	Скручивание	Искажение формы поперечного сечения	Отклонение по длине	Дефекты торцов
Химический состав стали	+	+	+	+	+				+
Температурно-скоростной режим разливки	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Нарушение рабочей геометрии гильзы кристаллизатора			+	+			+		
Неравномерная смазка в кристаллизаторе (масло или ШОС)			+	+			+		
Режим вторичного охлаждения	+	+	+	+			+		
Подвод металла в кристаллизатор (центрирование подвода металла в кристаллизатор)			+	+					
Несоосность кристаллизатора и поддерживающей системы (нарушение траектории движения кристаллизатора), нарушение технологической оси ручья	+	+	+	+			+		
Настройка тянуще-правильной машины	+				+	+	+		
Неадекватное третичное охлаждение (после порезки слитка на заготовке)					+				
Настройка машины для резки слитка на заготовке (режимы резки, АСУТП и механика).								+	+

Таблица 4. Факторы, влияющие на возникновение и развитие дефектов поверхности непрерывнолитой заготовки [3]

Фактор	Трещины					Грубые следы качания кристаллизатора	Пузырь	Шлаковые включения	Пояс
	Угловые поперечные	Поперечные	Продольные ребровые	Продольные	Сетчатые и паукообразные				
Химический состав стали	+	+	+	+	+		+	+	
Температура металла	+	+	+	+		+	+	+	
Уровень металла в промежуточном ковше								+	
Подвод металла в кристаллизатор	+		+	+				+	
Защита металла в кристаллизаторе	+	+	+	+	+	+	+	+	
Скорость разливки		+		+					
Режим вторичного охлаждения	+	+	+	+	+				
Конусность гильзы	+	+	+	+					
Режим качания кристаллизатора	+	+				+			
Несоосность кристаллизатора и поддерживающей системы (нарушение траектории движения кристаллизатора)		+		+					
Нарушение рабочей геометрии гильзы кристаллизатора	+	+	+	+					
Температура слитка в зоне разгиба	+	+							
Резкие колебания уровня металла в кристаллизаторе				+				+	
Остановки вытягивания слитка		+							+
Неравномерная смазка в кристаллизаторе (масло или ШОС)	+	+		+					

Таблица 5. Факторы, влияющие на развитие внутренних дефектов непрерывнолитой заготовки [3]

Фактор	Угловые трещины	Трещины в промежуточной зоне	Трещины в осевой зоне	Осевая ликвация	Осевая пористость	Осевые трещины	Пузырь	Краевое точечное загрязнение
Химический состав стали	+	+	+	+	+	+	+	+
Внепечная обработка					+		+	+
Тип МНЛЗ								+
Температурно-скоростной режим разливки		+	+	+	+	+		
Вторичное охлаждение	+	+			+	+		
Подача металла в кристаллизатор	+			+	+		+	+
Геометрия рабочей стороны Гильзы	+	+						+
Смазка в кристаллизаторе	+						+	
Состояние поддерживающей Системы	+	+	+	+	+	+		
Состояние тянуще-правильного механизма			+			+		

## **Общая схема формирования структуры заготовки по технологической оси ручья МНЛЗ**

### **Кристаллизатор и верхняя часть ЗВО**

В начале затвердевания формируется мелкозернистая корочка (приблизительно 5...10 мм), которая состоит из мелких и равноосных зерен, образующихся в результате быстрого охлаждения (скорость охлаждения ~100°С за 1 секунду). Затем образуется смежная зона, в которой зерна перерастают в так называемые дендриты, расположенные приблизительно перпендикулярно к поверхности; этот рост является однонаправленным по отношению к центру заготовки и выражен столбчатой структурой.

### **Средняя часть ЗВО**

Столбчатые головки отсоединяются от фронта затвердевания и образуют так называемые “кристаллиты”, но вскоре они переплавляются из-за перегрева, который, в свою очередь, становится ниже.

Жидкая сталь становится переохлажденной: её температура падает ниже ликвидуса, так что кристаллиты могут сохраниться и продолжать расти; опускаясь вниз, они захватываются столбчатыми дендритами.

Перегрев постепенно уменьшается, и также снижается рост однонаправленных дендритов: следовательно, образование равноосных (или глобулярных) дендритов более вероятно, чем образование столбчатых дендритов.

### **Нижняя часть ЗВО**

Образуется центральная зона, состоящая из равноосных дендритов; жидкая ванна густеет, но при этом ведет себя как жидкость. Текучесть рыхлой зоны постепенно уменьшается, и ликванты начинают просачиваться через рыхлую зону.

### **Зона перед и после ТПА**

Полуплотные ликванты растекаются вдоль маленьких каналов и концентрируются на литой оси. Происходит окончательное затвердевание ликвантов, вовлеченных в твердую фазу. В конечном итоге, как результат уменьшения объема, может также иметь место центральная пористость и V-образная ликвация.

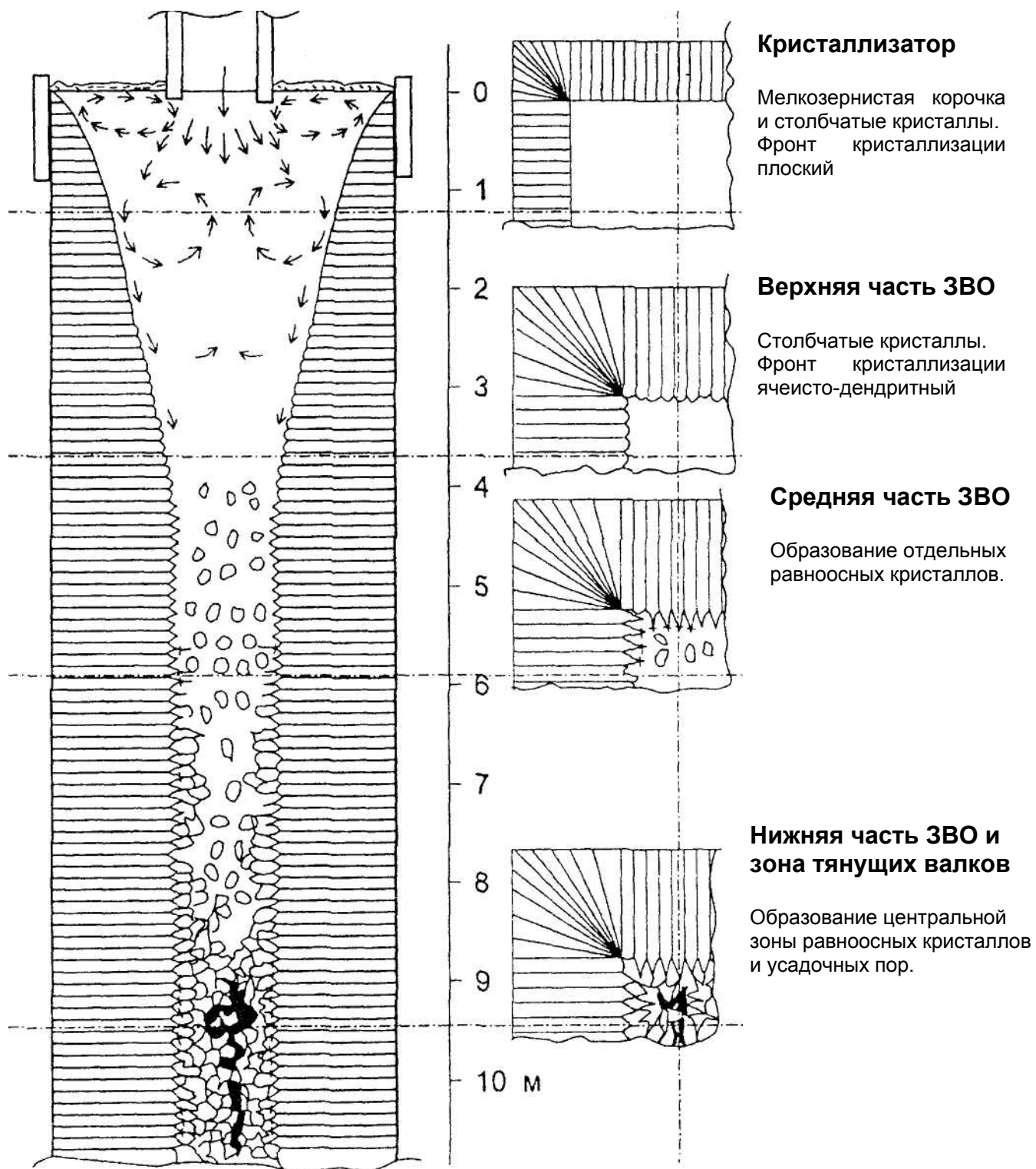


Рис. 1. Схема кристаллизации непрерывнолитой заготовки по технологической оси ручья МНЛЗ [4]

# 1. ДЕФЕКТЫ ФОРМЫ (ГЕОМЕТРИИ)

Искажение профиля заготовок или изменение геометрии отдельных участков их периметра могут быть косвенными показателями пораженности заготовок трещинами. Искажение профиля заготовок, даже если оно не сопровождается трещинами, создает целый ряд затруднений при дальнейшем переделе.

## 1.1. Вздутие (выпуклость) одной или более граней квадратной или прямоугольной заготовки

Выпуклость – раздутие, искажение профиля заготовок, как правило, на двух противоположных гранях из 4-х. Раздутие граней слитка происходит, когда суммарные напряжения от ферростатического давления и разогрева его поверхностных слоев превышают прочность оболочки, а поддерживающая система в зоне вторичного охлаждения не обеспечивает постоянства его геометрии. Устойчивость против раздутия определяется формой слитка, размерами поперечного сечения и прочностью корки. Прочность корки определяется её толщиной, температурой и маркой стали. Может сопровождаться ромбичностью, продольными ужиминами, наружными и внутренними трещинами. Большее развитие данный вид дефекта получает на прямоугольных заготовках (на широких гранях). Максимальное – на плоской продукции (на слябах). На боковых (узких) гранях может образоваться в результате сильного раздавливания слитка в роликах.

Таблица 6. Вздутие (выпуклость)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	-прочность корки затвердевшей стали не достаточна для удержания ферростатического давления; -слишком высокая скорость разливки -слишком высокая температура стали в проковше; -давление роликов ТПА на заготовку очень высокое	-недостаточное первичное и вторичное охлаждение; -разливка низкоуглеродистой стали ( $C < 0,10$ мас. %); -нарушение настройки опорных роликов; - смещение вертикальности погружного стакана	-проверка скорости разливки; -проверка режима вторичного охлаждения; -проверка температуры стали в проковше; -проверить настройку опорных роликов под кристаллизатором с применением шаблона		-внутренние трещины

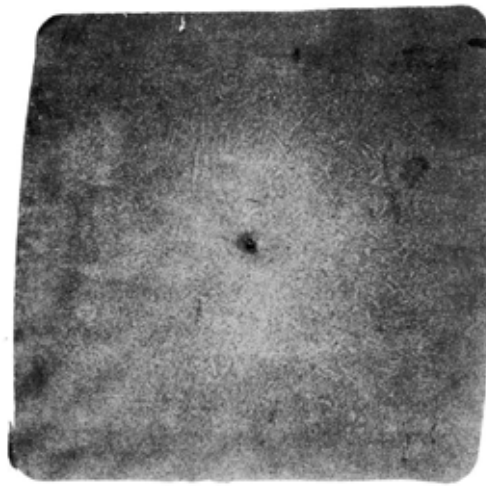


Рис. 2, а

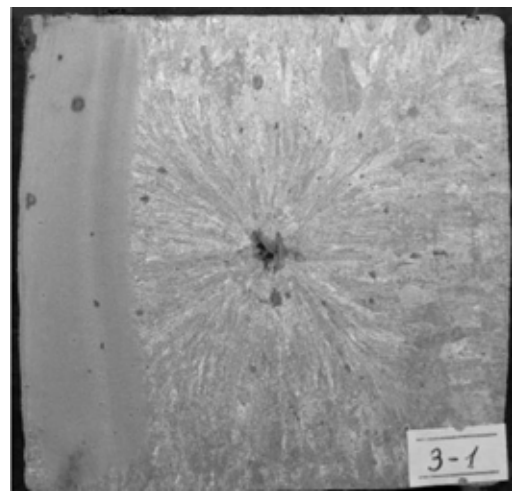


Рис. 2, б

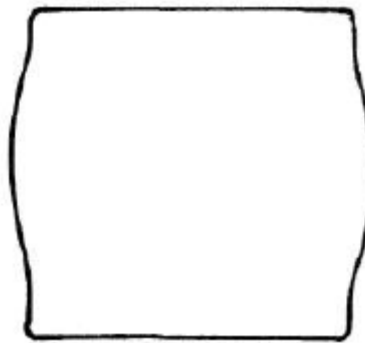


Рис. 2, в

**Рис. 2. Выпуклость заготовки**

а и б – выпуклость на квадратной непрерывнолитой заготовке (травлённые поперечные темплеты); б – схема выпуклости заготовки

## 1.2. Вогнутость: вогнутая деформация одной или более граней квадратной заготовки

Вогнутость – искажение профиля с прогибом граней заготовки. Коробление непрерывнолитой заготовки может приводить к образованию вогнутой поверхности.

Таблица 7. Вогнутость

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	-неравномерное вторичное охлаждение (ЗВО №1 и 2); - износ гильзы; - несоосность кристаллизатора и роликов ЗВО	-высокая скорость разливки	-проверка вторичного охлаждения; -проверка расходов воды по секциям ЗВО и соответствие требуемого режима охлаждения		-внутренние трещины



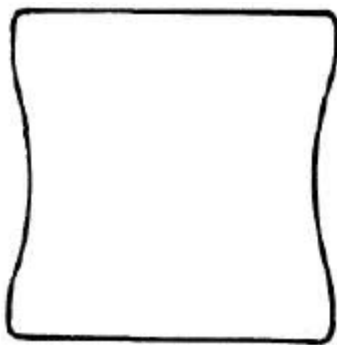


Рис. 3, а



Рис. 3, б

**Рис. 3. Вогнутость заготовки**

а – вид вогнутости в поперечном сечении квадратной заготовки, схема;

б – вогнутость, искажение формы сечения заготовки, схема.

### 1.3. Ромбичность

Ромбичность (разность диагоналей), трапециедальность – искажение профиля заготовки, образуется как в кристаллизаторе, так и далее, в зоне вторичного охлаждения непрерывнолитых заготовок. Ромбичность является результатом прогрессирующего коробления оболочки слитка, зародившегося в кристаллизаторе и проявляющегося уже на расстоянии 100...150 мм от мениска. Оболочка слитка в районе тупых углов, которые уже не имеют контакта со стенками кристаллизатора, затвердевает с меньшей скоростью, чем в районе острых углов, имеющих контакт. Такое положение сохраняется в течение всего времени пребывания оболочки слитка в кристаллизаторе. Поэтому чем длиннее кристаллизатор, тем, при прочих равных условиях, больше ромбичность заготовок. Она значительно возрастает в течение первой минуты пребывания слитка в зоне вторичного охлаждения. Затем, после выравнивания толщины оболочки по поперечному сечению, рост ромбичности прекращается. При мягком вторичном охлаждении увеличение её после выхода оболочки из кристаллизатора замедляется. Образование ромбичности в непрерывнолитых заготовках является процессом автокаталитического увеличения разнотолщинности оболочки, образовавшейся вблизи зеркала металла. В ЗВО, рост ромбичности может прекратиться, оставаясь на минимальном уровне, или прогрессировать. Может развиваться от местной, локальной (на отдельном участке одной заготовки), до периодической на нескольких заготовках и до постоянной на всех заготовках данного ручья (ручьев) отдельной плавки или нескольких плавков. Величина и направление может изменяться даже по длине одной заготовки. Трапециедальность более характерна для узких граней прямоугольной заготовки.

Таблица 8. Ромбичность

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	-неоднородное первичное охлаждение; - неравномерный теплоотвод в кристаллизаторе (неравномерная подача ШОС, отложения на внутренней поверхности гильзы кристаллизатора); - разливка в изношенную или деформированную гильзу; - недостаточное или неравномерное вторичное охлаждение; - неправильная настройка поддерживающих роликов или их поломка; - несоосность кристаллизатора и технологической оси ручья; - слишком высокая скорость разливки	- высокая температура стали, перегрев металла; - высокое содержание в металле S, P; - несоосность струи металла из промковша в кристаллизатор	- замена гильзы; - настройка ЗВО и кристаллизатора; - соблюдение температурно-скоростного режима разливки; - настройка технологической оси ручья		-ромбичность >5% может привести к трудностям при горячей прокатке; -при прокатке такие трещины обычно открываются в черновых клетях; -закаты, трещины, расслоения и ликвационные полосы



Рис. 4, а

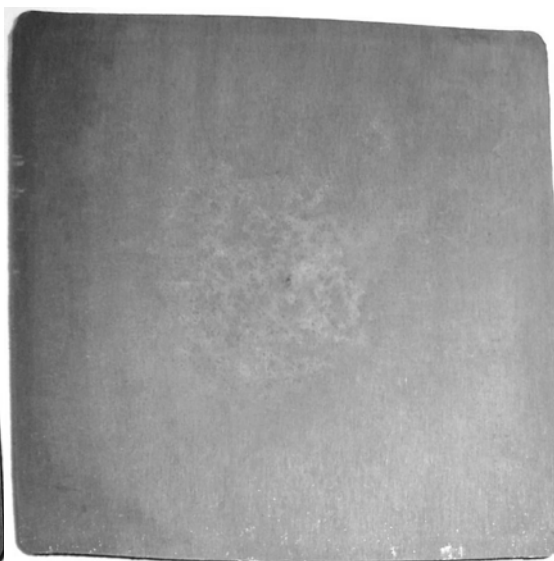


Рис. 4, б

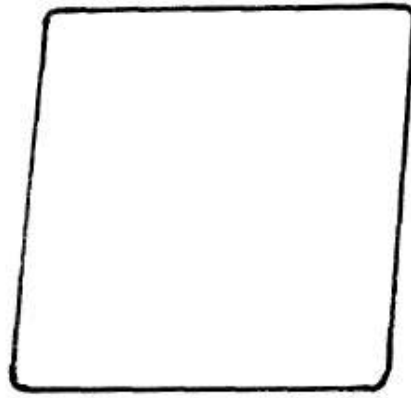


Рис. 4, в

**Рис. 4. Ромбичность заготовки**

а и б – поперечные темплеты с разностью диагоналей;  
в – ромбичность заготовки, схема.

## 1.4. Овальность

Овальность – искажение формы поперечного сечения заготовки выражается в нарушении пропорций поперечного сечения. Мера овальности – отношение разности отклонений размеров поперечного сечения заготовки, в %.

Причины образования овальности круглых заготовок аналогичны причинам образования ромбичности. Отличие заключается в том, что овальность круглого непрерывнолитого слитка может менять ориентацию в процессе разливки. Это обусловлено отсутствием ребер жесткости в круглом слитке. Искажение профиля круглой заготовки может происходить также при изгибе – выпрямлении слитка в линии МНЛЗ.

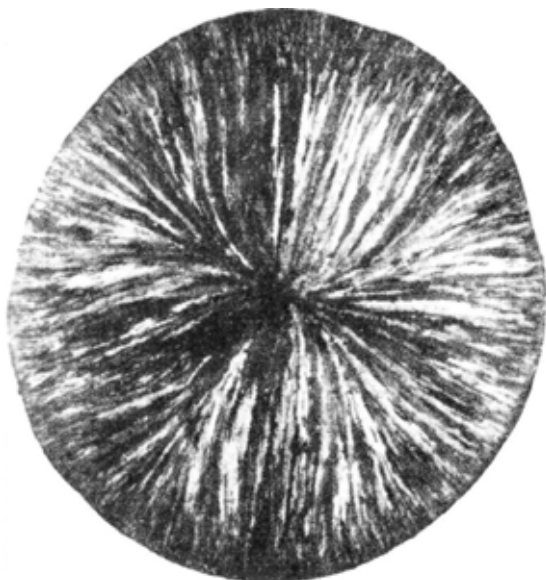


Рис. 5, а

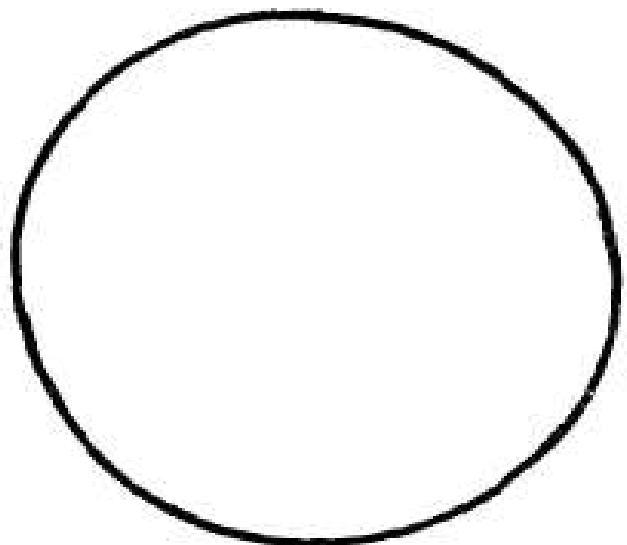


Рис. 5, б

**Рис. 5. Овальность заготовки**

а – поперечный темплет с овальностью;  
б – овальность заготовки, схема.

Таблица 9. Овальность

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие Причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	-неоднородное первичное охлаждение; - неравномерный теплоотвод в кристаллизаторе (неравномерная подача ШОС, отложения на внутренней поверхности гильзы кристаллизатора); - разливка в изношенную или деформированную гильзу; - недостаточное или неравномерное вторичное охлаждение; - неправильная настройка поддерживающих роликов или их поломка; - несоосность кристаллизатора и технологической оси ручья; - высокая скорость разливки	- высокая температура стали, перегрев металла; - высокое содержание в металле S, P; - несоосность струи металла из промковша в кристаллизатор	- замена гильзы; - настройка ЗВО и кристаллизатора; - соблюдение температурно-скоростного режима разливки; - настройка технологической оси ручья	-устраняется зачисткой перед температурно-деформационной обработкой	- овальность >2,5% может привести к трудностям при горячей прокатке -обычно овальность сопряжена с внутренними радиальными трещинами на большой оси овала и в ряде случаев подкорковыми продольными трещинами; -трещины, ликвационные полосы и расслоения

## 1.5. Отклонение по сечению заготовки

Отклонение по сечению – превышение максимальных допусков размеров заготовки по толщине и ширине.

Таблица 10. Отклонение по сечению

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие Причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	- перегрев металла выше нормы; - не соблюдение температурно-скоростного режима; - нарушение первичного и вторичного охлаждения; - износ гильзы; - неправильная настройка роликов под кристаллизатором	- износ роликов; - раздавливание слитка в тянуще-правильном агрегате	- соблюдение температурно-скоростного режима разливки; - заменить гильзу и изношенные ролики на ручье		

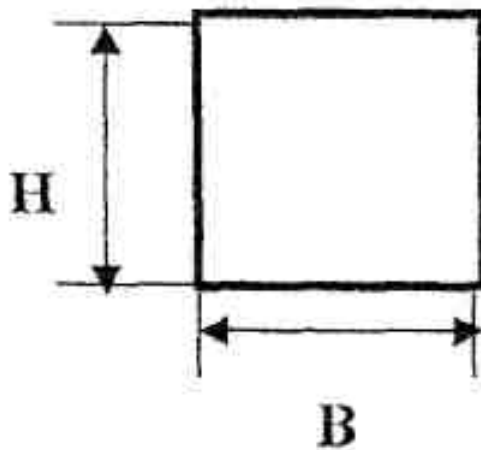


Рис. 6. Отклонение поперечных размеров заготовки, схема

### 1.6. Отклонение по длине

Отклонение по длине – превышение допусков размеров заготовки по длине как в положительную, так и в отрицательную сторону.

Таблица 11. Отклонение по длине

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	- перегрев металла; - несоблюдение температурно-скоростного режима; - неправильная установка коэффициента линейной усадки слитка в систему автоматизации МНЛЗ	- поломка системы отслеживания (АСУТП и механика) мерной длины заготовки	- откорректировать коэффициент усадки; - соблюдение температурно-скоростного режима разливки; - настройка системы отслеживания мерной длины заготовки	-подвергается резке заготовки на мерную длину	-потери металла при раскросе заготовки

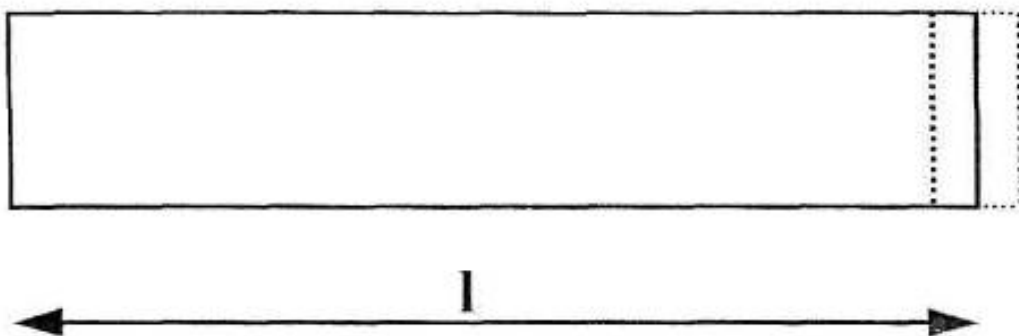


Рис. 7. Отклонение по длине заготовки, схема

## 1.7. Скручивание

Таблица 12. Скручивание

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	-неправильная настройка тянуще-правильного агрегата; -неадекватное третичное (воздушное) охлаждение заготовки	-нарушена технологическая ось ручья;	-настройка ТПА; -проверка состояний роликов и технологической оси ручья	-при малом скручивании выпрямление заготовки на правильной машине	

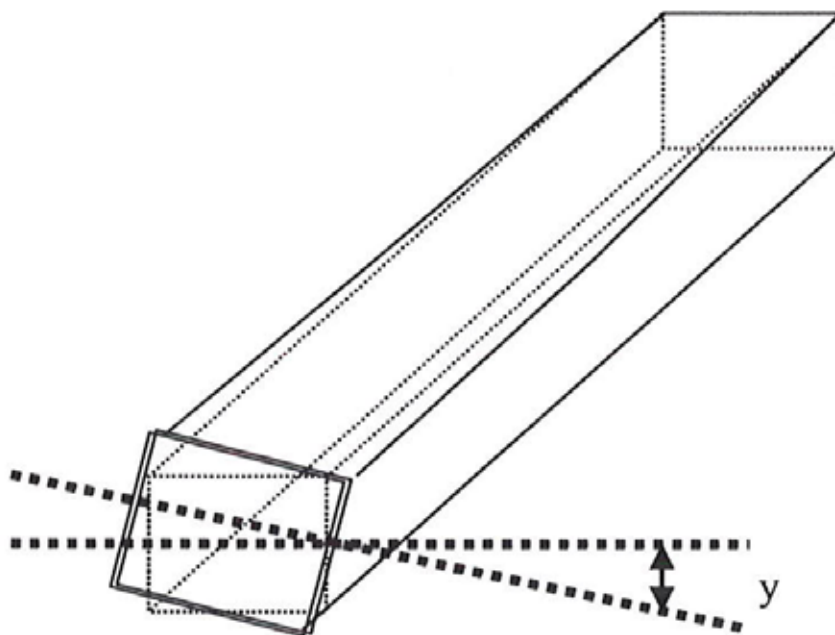


Рис. 8. Скручивание заготовки, схема  
y – максимальное скручивание вдоль длины заготовки (°/м)

## 1.8. Кривизна (коробление)

Кривизна (коробление) – искривление сортовой заготовки в вертикальном или горизонтальном направлении. Может быть на одном из концов заготовки. Характерно для первых и последних заготовок в серии или после аварийных остановок ручья.

Таблица 13. Кривизна (коробление)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	- неравномерное вторичное охлаждение; - первые и последние заготовки; - вытягивание переохлажденных заготовок (например, после остановок разливки) с невозможностью их полного выпрямления	- «бросание» заготовок на пол с температурой более 500°С	-настрой вторичного охлаждения; -исключение долгой задержки заготовок в ЗВО в случаях внезапной остановки ручья; -исключить провисание горячих заготовок	-выпрямление заготовок на правильной машине	

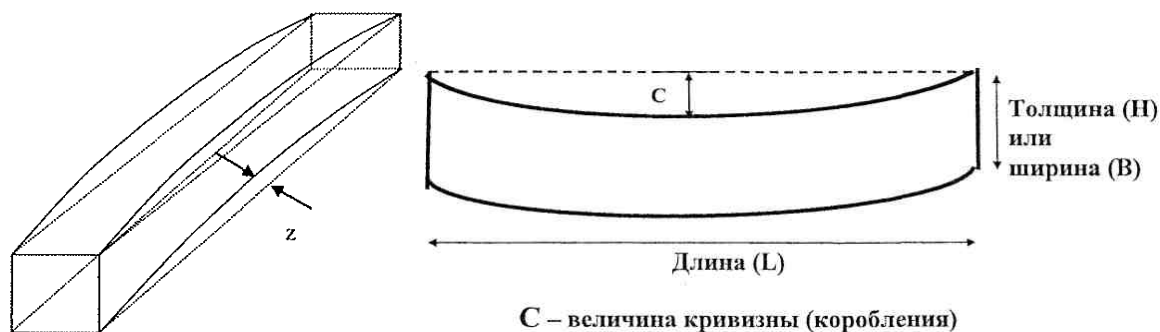


Рис. 9. Схема измерения кривизны заготовки

## 2. ДЕФЕКТЫ ТОРЦОВ ЗАГОТОВКИ (ДЕФЕКТЫ РЕЗА)

Дефекты торцов заготовки являются не только товарным видом заготовки, они также являются причиной зарождения различных дефектов прокатной продукции. Для исключения и полного отсутствия данного дефекта требуется использовать дополнительные средства (оборудование, механизмы, рабочие ресурсы) для удаления дефектов торцов.

### 2.1. Волнистый рез

Волнистый рез – неплоский, искривленный торец заготовки. Характерен для случаев ручной резки. При большой величине можно рассматривать как косой рез.

Таблица 14. Волнистый рез

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на Прокат
-выявляется визуально	- неисправность оборудования МГР; - порезка заготовок ручным газовым «резаком»	- отклонения в настройке МГР	- проверка оборудования МГР (состояние сопел и механики); -исключить резку заготовок ручным резаком		-не допустим в случае дальнейшей «бесконечной» прокатки с помощью стыковочной сварки заготовок «в торец»

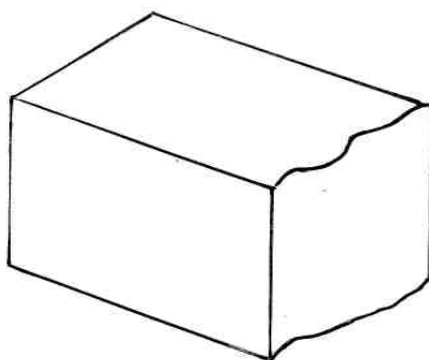


Рис. 10. Волнистый рез заготовки, схема

## 2.2. Грат («борода»)

Грат – «борода», шлакометаллические наплывы от порезки на МГР на торце заготовки и около торца, образуются всегда, т.к. обусловлены самим принципом газокислородной резки.

Величина наплыва зависит от технического совершенства и настройки МГР, размеров заготовки (увеличивается с повышением толщины и ширины) и марки стали (увеличивается при порезке заготовок из низколегированной стали, в т.ч. кремниймарганцовистой).

Таблица 15. Грат («борода»)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	- налипание на торце заготовок и около торца расплавившегося, в т.ч. окислившегося до шлака, металла при порезке непрерывнолитого слитка на МГР; - чистота кислорода менее 99,5 %; - отсутствие специального оборудования для съема грата (гратосниматель)	- слишком высокая скорость реза НЛЗ; - расстояние от головки резака до заготовки слишком большое	-улучшить качество кислорода; -настроить МГР по чистоте кислорода путем подбора давления кислорода; -уменьшить расстояние головки резака до НЛЗ с учетом возможной кривизны заготовки; -снизить скорость разливки; -установить механическое оборудование по съему грата	-удаление дефекта возможно вручную или при помощи механической абразивной обработки, а также в потоке с помощью специального оборудования	-не допустим в случае дальнейшей «бесконечной» прокатки с помощью стыковочной сварки заготовок «в торец»; - забивание профилированных валков при прокатке арматурного профиля





Рис. 11, а



Рис. 11, б

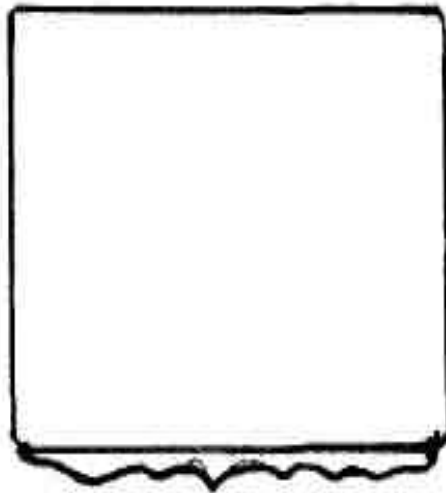


Рис. 11, в

**Рис. 11. Грат на торце заготовки**

а и б - вид образовавшегося грата на квадратных заготовках;  
в – грат на торце заготовки, схема.

### 2.3. Заусенец

Заусенец – выступы на торцах смежных заготовок, образующиеся во время порезки непрерывнолитого слитка при раннем отрыве мерной заготовки, не дожидаясь реза, из-за нарушения синхронизации работы МГР и рольганга удаления заготовок.

Таблица 16. Заусенец

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	- настройка оборудования МГР; - настройка рольгангов удаления		-настройка и проверка МГР перед запуском МНЛЗ; -настройка рольгангов удаления	- дефектная часть вырезается	-не допустим в случае дальнейшей «бесконечной» прокатки с помощью стыковочной сварки заготовок «в торец»

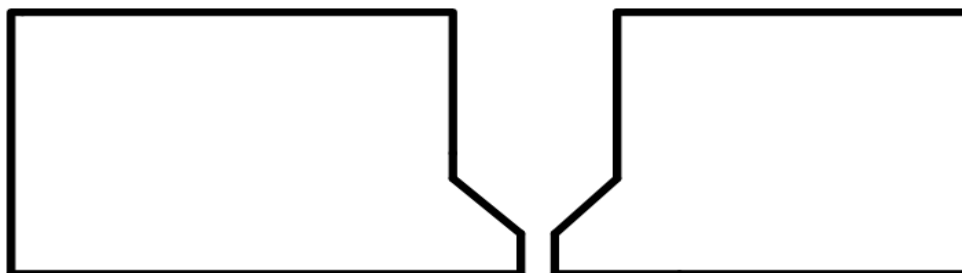


Рис. 12. Образование заусенца на заготовках, схема

## 2.4. Косой рез

Косой рез – отклонение от перпендикулярности реза свыше максимально допустимой величины.

Таблица 17. Косой рез

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	- отклонения в настройке МГР; - неисправность оборудования МГР		-настройка и проверка МГР перед запуском МНЛЗ	- дефектная часть вырезается	-не допустим в случае дальнейшей «бесконечной» прокатки с помощью стыковочной сварки заготовок «в торец»

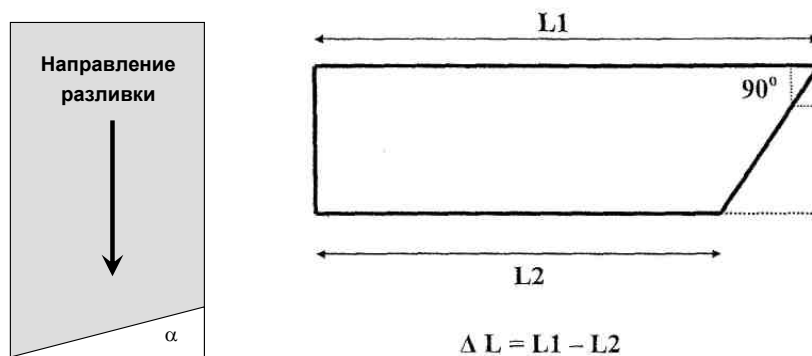


Рис. 13. Схема расчета косины реза на заготовке

## 2.5. Недорез

Недорез – незавершенный по какой-либо причине на МГР мерный рез непрерывнолитого слитка.

Таблица 18. Недорез

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	- неисправность АСУТП; - отклонения в настройке МГР; - неисправность оборудования МГР		-настройка и проверка МГР перед запуском МНЛЗ	- дефектная часть вырезается	-не допустим в случае дальнейшей «бесконечной» прокатки с помощью стыковочной сварки заготовок «в торец»

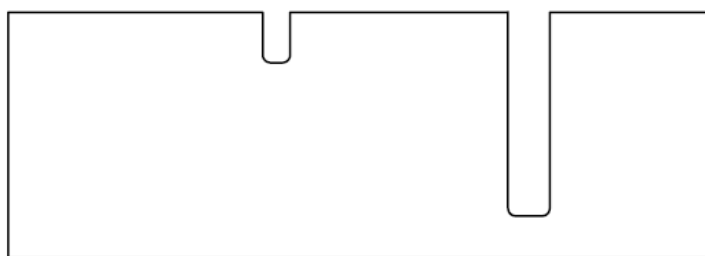


Рис. 14. Недорез заготовки, схема

## 2.6. Рассредоточенный рез

Рассредоточенный рез – оплавление торцов смежных заготовок у верхних граней (верхние поперечные ребра) при рассредоточенном газокислородном факеле МГР.

Таблица 19. Рассредоточенный рез

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	- отклонения в настройке МГР; - неисправность оборудования МГР		-настройка и проверка МГР перед запуском МНЛЗ	- дефектная часть вырезается	-не допустим в случае дальнейшей «бесконечной» прокатки с помощью стыковочной сварки заготовок «в торец»

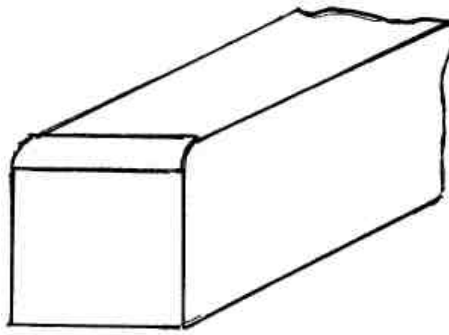


Рис. 15. Рассредоточенный рез заготовки, схема

## 2.7. Сплющивание

Сплющивание – это уменьшение размера между радиальными гранями заготовки в зоне контакта с режущим устройством (длина участка около 200 мм). Высокая величина сплющивания может вести к значительному уширению между боковыми сторонами НЛЗ.

Таблица 20. Сплющивание

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально	-резка заготовок на мерные длины на ножницах		- точная настройка резательной машины; -регулярный контроль за работой устройств порезки НЛЗ		-не допустим в случае дальнейшей «бесконечной» прокатки с помощью стыковочной сварки заготовок «в торец»

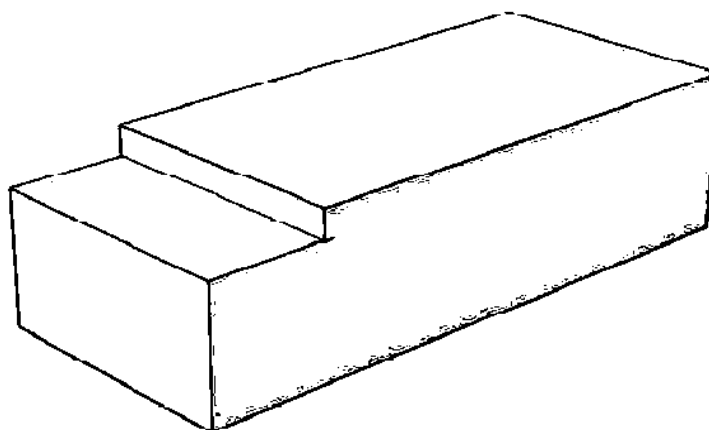


Рис. 16. Сплющивание торца заготовки

### 3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ

Для количественной оценки поверхностных дефектов используют различные единицы измерения см. таблицу 21.

Таблица 21. Количественная оценка дефектов поверхности

Название дефекта	Количественная оценка	Единица измерения
1. Трещины продольные и ребровые	Суммарная длина трещин, отнесенная к длине заготовки	мм/м
2. Поперечные трещины	Суммарное количество трещин, отнесенное к площади поверхности заготовки	шт/м <sup>2</sup>
3. Поперечные угловые трещины	Суммарное количество трещин, отнесенное к длине заготовки	шт/м
4. Сетчатые и паукообразные трещины	Суммарное количество трещин, отнесенное к площади поверхности заготовки	шт/м <sup>2</sup>
5. Пузырь	Суммарное количество пузырей, отнесенные к площади поверхности заготовки	шт/м <sup>2</sup>
6. Шлаковые включения	Суммарное количество включений, отнесенные к площади поверхности заготовки	шт/м <sup>2</sup>

#### 3.1. Поверхностные трещины

Основным дефектом поверхности непрерывнолитых заготовок круглого, квадратного и прямоугольного сечений являются трещины, которые разделяют на «горячие» (кристаллизационные) и холодные. Кристаллизационные трещины не пересекают осей дендритов; их стенки или окончание трещин обогащены ликватами. Холодные трещины пересекают оси дендритов.

[5] На образование горячих трещин влияют следующие технологические факторы и качественные параметры стали:

- перегрев жидкого металла, вызывающий увеличение перепада температур между его наружными слоями при охлаждении;
- повышенная скорость разливки металла, вызывающая образование тонкой и неравномерной по толщине корки слитка;
- повышенное содержание серы, влияющее на уменьшение пластичности стали;
- низкая теплопроводность стали (увеличивается перепад температур и разница напряжений в наружных и внутренних слоях слитка);
- способность затвердевающего металла к линейной усадке (чем она больше, тем более высокие напряжения возникают в наружных слоях слитка);
- малая толщина и увеличение разнотолщинности коркового слоя слитка (приводит к уменьшению прочности наружных слоев слитка);

- химический состав стали (чем меньше температурный интервал затвердевания металла, тем больше склонность его к трещинообразованию);
- форма отливаемой заготовки.

### 3.1.1. ПОПЕРЕЧНЫЕ ТРЕЩИНЫ

#### 3.1.1.1. Поперечные трещины в угловом участке и в зоне нижнего следа качания

Трещина поперечная угловая – появляется при подвешивании слитка в углах кристаллизатора, наличии усадочных напряжений в продольном направлении (переохлаждение ребер слитка), разрыве слишком холодной корочки слитка (перпендикулярно ребрам) при его выпрямлении. При значительном развитии может привести к прорыву жидкого металла.

Таблица 22. Поперечные трещины в угловом участке заготовки

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-трудно выявить из-за малого размера трещин; -легко выявить после пескоструйной очистки или травления; -могут быть спрятаны в складках заготовки	- сгибание или разгибание заготовки при температуре менее 950 °С; - подвешивание корки слитка к стенкам кристаллизатора в силу недостаточной или неравномерной смазки (некачественная шлакообразующая смесь (ШОС) или неравномерная подача масла при открытой разливке); - неудовлетворительное качение кристаллизатора по причине проблем механического характера; - неправильно выполненная центровка кристаллизатора по отношению к роликam; - некачественная ШОС для кристаллизатора или перенасыщение ШОС Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – комкование шлака в районе углов; - неорганизованная струя в кристаллизаторе (колебания уровня металла в кристаллизаторе); - высокая конусность гильзы; - деформированная гильза на вогнуто-выпуклом участке; - химический состав стали (Mn/S≤20)	-анализ стали (особенно:С,S, Mn, V, Nb) -чрезмерное охлаждение кристаллизатора; - переохлаждение углов гильзы; - неправильно выбран угловой радиус гильзы; - чрезмерное охлаждение в ЗВО; -большая конусность кристаллизатора малая скорость разливки; -время опережения кристаллизатора по отношению скорости разливки менее 0,09 секунд	-проверка первичного и вторичного охлаждения; -проверка форсунок; -проверка смазки кристаллизатора (расход и качество масла); -проверка механизма и амплитуды качания, возможное смещение или зазоры стола качания; - выдержка времени опережения стола качания в пределах 0,09...0,23 секунд; -использование маловязкой ШОС для кристаллизатора	-точная обработка и шлифовка; -при обширности дефектов заготовка или вся плавка отбраковывается	-большие трещины на поверхности; -шероховатость поверхности (особенно у катанки); -возможные разрушения заготовки при горячей прокатке

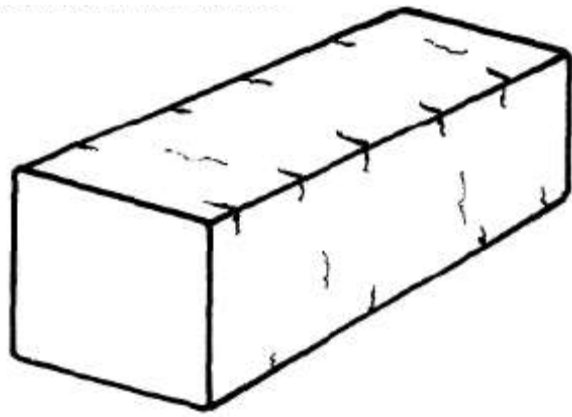


Рис. 17, а

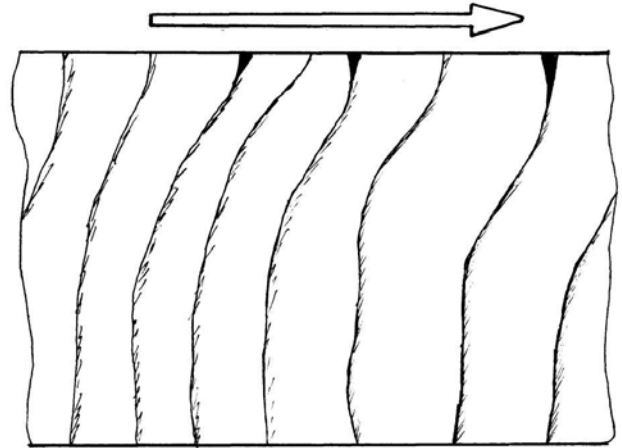


Рис. 17, б

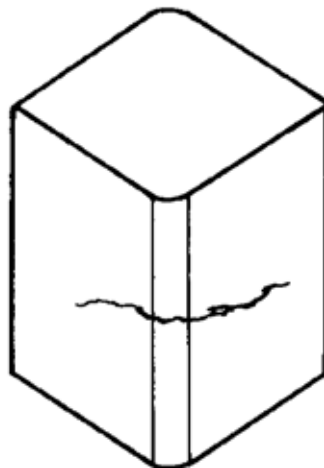


Рис. 17, в



Рис. 17, г



Рис. 17, д

**Рис. 17. Поперечные трещины на угловом участке заготовки**

- а – Множественное количество поперечных трещин на угловом участке, схема;
- б – Поперечные угловые трещины по нижнему следу качания кристаллизатора, схема;
- в – Одиночная поперечная угловая трещина на угловом участке заготовки;
- г и д – Фотографии поперечных трещин на угловом участке заготовки.

### 3.1.1.2. Поперечные трещины по граням

Трещина поперечная по грани – появляется при наличии растягивающих напряжений вдоль оси слитка; может сочетаться с поперечной усадкой («ужиминой»); может охватывать всю ширину стороны заготовки. Трещины располагаются по межосевым пространствам дендритной структуры и заканчиваются скоплением ликватов. При «залечивании» в кристаллизаторе приводит к образованию заливин (наплывов), при значительном развитии – к прорыву металла. Напряжения при выпрямлении заготовки могут также вызвать образование трещин, особенно при разливке чувствительной к трещинам марки стали и низкой температуре заготовки. В этом случае, трещины возникают сверху заготовки по малому радиусу разливки.



Таблица 23. Поперечные трещины по грани

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие Причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются визуально	-чрезмерное охлаждение в кристаллизаторе; -прилипание затвердевшей корки заготовки к поверхности стенки кристаллизатора; -некачественная ШОС для кристаллизатора; -чрезмерное охлаждение в ЗВО; -высокая температура; -большая конусность кристаллизатора	-недостаточная смазка кристаллизатора маслом; -недостаточное движение качания -неудовлетворительное качество масла; -изношенные подшипники механизма качания; - сгибание или разгибание заготовки при температуре менее 950 °С	-проверка системы первичного и вторичного охлаждения; -проверка системы смазки кристаллизатора (тип смазки и подача); -замена ШОС для кристаллизатора; -проверка системы качания столов качания	-дефекты удаляются вырубкой и шлифовкой и только при небольшой глубине трещин; -в более серьезных случаях заготовку пускают на лом	-трудности при горячей прокатке, возможность разрыва



Рис. 18, а

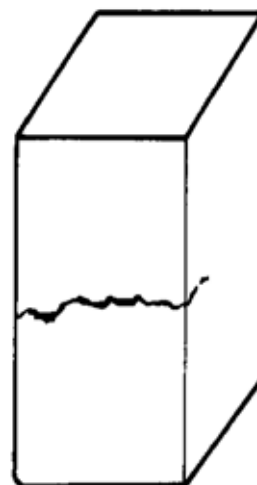


Рис. 18, б



Рис. 18, в

Рис. 18. Поперечные трещины по грани

- а – Поперечные трещины на поверхности заготовки;
- б – Поперечная трещина на грани заготовки, схема;
- в – Фотография поперечной трещины на поверхности заготовки.

## 3.1.2. ПРОДОЛЬНЫЕ ТРЕЩИНЫ

### 3.1.2.1. Продольные трещины в угловых участках

Трещины продольные в угловом участке – располагаются вдоль направления движения слитка на уровне углов и прилегающих к ним зон граней. Могут сопровождаться искажением профиля слитка, одновременным раздутием перпендикулярных граней заготовки, продольными «ужиминами», а также внутренними приугловыми трещинами (или быть их развитием), являются предварительной ступенью для образования прорывов жидкого металла.

Таблица 24. Продольные трещины в угловых участках

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие Причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на поверхности визуально; -очень выражены после пескоструйной очистки	-изношенная гильза; -слишком большой угловой радиус в гильзе; -сильное охлаждение кристаллизатора или неравномерное охлаждение; -слишком высокая температура стали в промковше; -неверная центровка опорных роликов или направляющих роликов и форсунок; - потеря конусности гильзы	-химический анализ стали (много примесей: S, P, As, Sn, Sb); - высокая скорость разливки; - отложения на внешней поверхности гильзы; -при содержании углерода свыше 0,15 мас. % и достигается максимум по вероятности образования трещин при углероде 0,41 мас. %.	-замена гильзы; -проверка геометрии гильзы; -проверить температуру стали после внепечного агрегата; - проверить центровку гильзы; -очистка внешней поверхности гильзы; -увеличить расход ШОС в кристаллизатор	-обработка требуется для материалов, используемых для производства качественной продукции	-длинные и глубокие поверхностные трещины; -снижение механических свойств металла

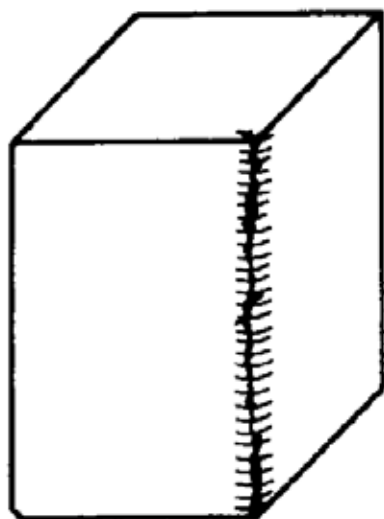


Рис. 19, а

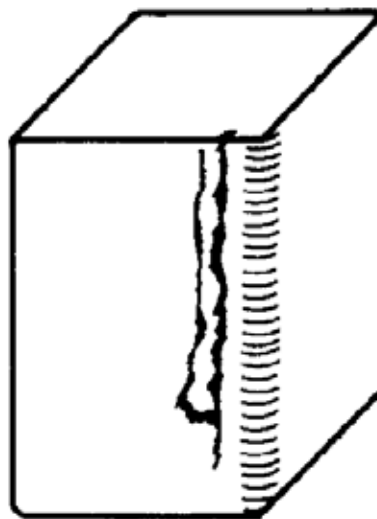
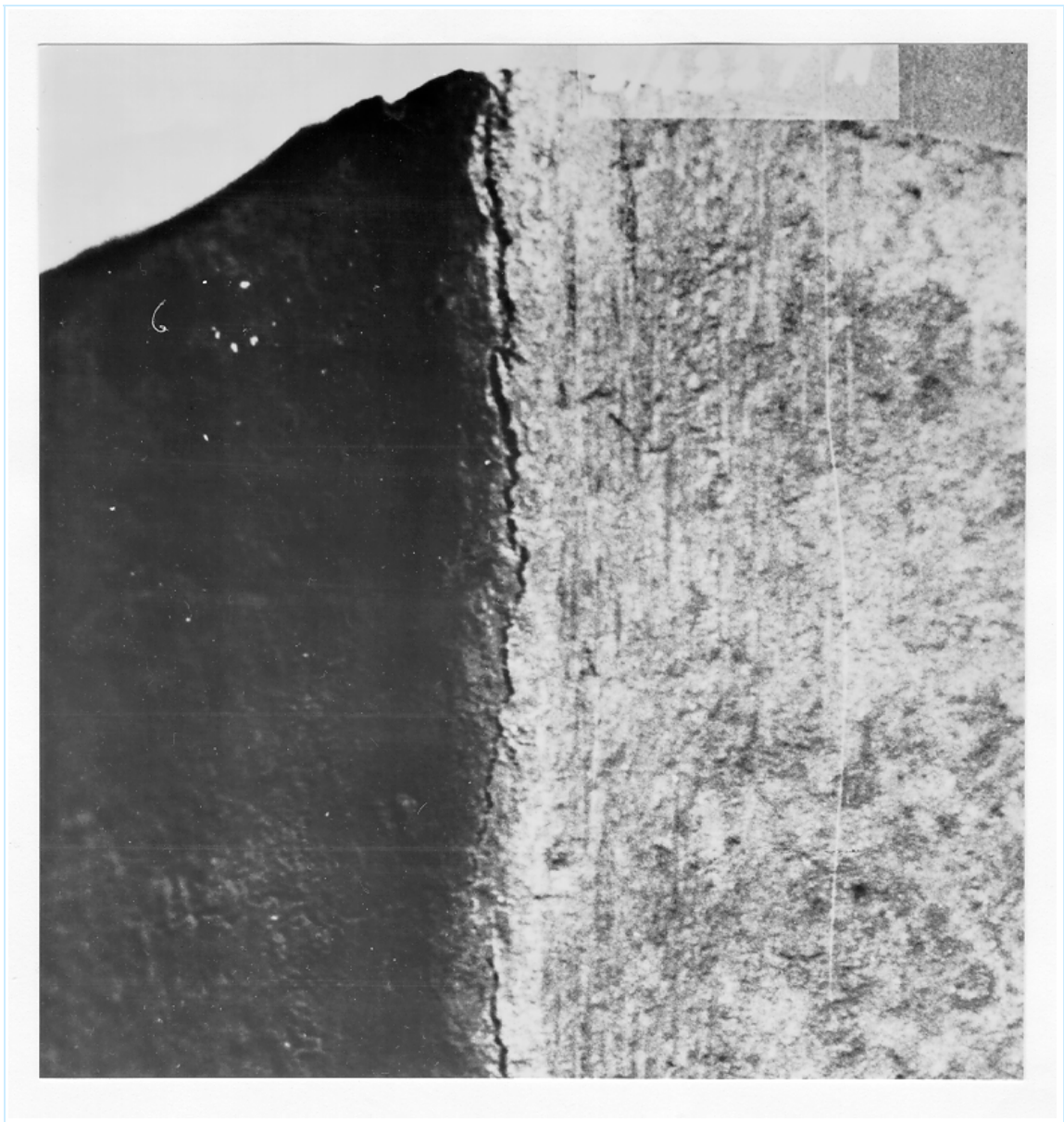


Рис. 19, б



**Рис. 19, в**

**Рис. 19. Продольные трещины в угловых участка заготовки**

- а – Продольная трещина по ребру заготовки, схема;
- б – Продольная трещина на грани около ребра заготовки, схема;
- в – Фотография продольной трещины по углу заготовки.

### 3.1.2.2. Продольные трещины по граням

Таблица 25. Продольные трещины по граням

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие Причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на поверхности визуально, особенно после пескоструйной зачистки	-изношенность и деформация гильзы, особенно, в районе мениска; -неравномерность первичного охлаждения; -неотцентрованная струя стали из промковша в кристаллизатор; -неправильная центровка опорных роликов под гильзой кристаллизатора -неравномерное охлаждение заготовки в зоне вторичного охлаждения по причине засорения или расцентровки форсунок вторичного охлаждения;	-слишком высокая температура стали в промковше (перегрев над температурой ликвидуса более 45°С); -недостаточная смазка кристаллизатора; -отложения на внешней поверхности гильзы кристаллизатора; -несоответствующая работа стола качания - высокая степень окисленности металла; - присутствие в стали примесей, таких как сера, фосфор или мышьяк в количествах больше НД	-замена гильзы; -проверка первичного охлаждения; -проверка положения разливочного стакана в промковше; -проверка амплитуды и механизма качания; -проверка смазки кристаллизатора	-дефекты необходимо удалять с помощью вырубки или шлифовки; -в более серьезных случаях заготовку пускают на лом	-продольные устойчивые трещины; -проблемы при горячей прокатке; -снижение механических свойств металла

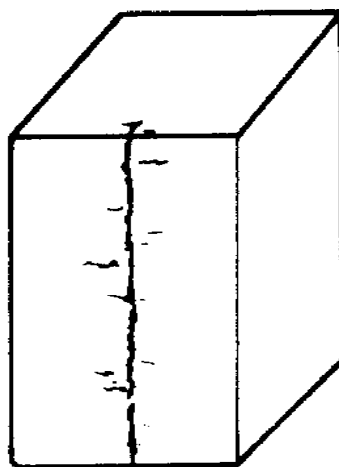


Рис. 20. Продольная трещина по центру грани, схема

### 3.1.3. Трещины звездообразные (паукообразные) и сетчатые

Трещины звездообразные (паукообразные) и сетчатые – образуются в результате межзёренного разрушения сплошности поверхности («змейка»). Данный дефект редко проявляется на сортовых заготовках, обычно эти трещины присущи для слэбов и блюмов.

**Паукообразные трещины** (расходящиеся от центра тонкие трещины в виде «звезды» или «паука») возникают при температурах ликвидуса и проходят по границам первичных зерен, ослабленным жидкими пленками сульфидов, цветных металлов или их легкоплавкими оксидами.

Сетчатые трещины (взаимно пересекающиеся небольшие извилистые трещины в виде сетки) образуются ниже температур солидуса, в ЗВО, по границам зёрен, ослабленным неметаллическими включениями.

Таблица 26. Трещины звездообразные (паукообразные) и сетчатые

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие Причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
- выявляются на поверхности визуально, особенно после пескоструйной зачистки	- высокая температура металла; - недораскисленный металл; - некачественная шлакообразующая смесь; - диффузия меди в межкристаллитное пространство при истирании стенок гильз кристаллизаторов; - переохлаждение заготовки в кристаллизаторе	- повышенное содержание вредных примесей (S, Cu, Sn и др.); - высокий уровень В, Al и N <sub>2</sub> в борсодержащих сталях; - выделения нитридов алюминия (AlN) в сталях, раскисленных алюминием	- соблюдение требований по содержанию серы, меди и олова, раскислению, модифицированию, продувки аргоном сталях; - замена ШОС на смесь требуемого состава и свойств; - использование гильз кристаллизаторов с качественным защитным покрытием; - замена изношенных гильз; - добавить никель до отношения [Cu]:[Ni]=1	-дефекты удаляют с помощью вырубки или шлифовки	- трансформируются в плены; -снижение механических свойств металла



Рис. 21, а



Рис. 21, б

**Рис. 21. Поверхностные трещины**

а – Паукообразные трещины;

б – Сетчатые и поперечные трещины по следам качания кристаллизатора.

### 3.1.4. Поверхностные термические трещины напряжения из-за неравномерного охлаждения НЛЗ на воздухе

Согласно литературным данным [6, 7] на поверхности непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) высока вероятность образования термических трещин (трещины напряжения) вовремя охлаждения. На образование термических трещин НЛЗ влияет:

*1. Профиль заготовки (размер и форма).*

Чем больше масса заготовки, тем больше при охлаждении градиент температур по сечению и склонность к трещинообразованию. Круглая заготовка более подвержена к термическим трещинам по сравнению с квадратной или прямоугольной.

*2. Химический состав стали и скорости охлаждения НЛЗ.*

С повышением содержания в стали углерода, марганца, хрома, никеля, и др. элементов влияющих на структурно-фазовые превращения в стали повышается склонность к трещинам в процессе охлаждения.

*3. Скорость охлаждения НЛЗ*

Для выбора скорости охлаждения трещино-склонных сталей необходимо руководствоваться сводными диаграммами построенные в координатах температура превращения – время или в координатах температура превращения – скорость охлаждения. Также режимы охлаждения заготовок устанавливают опытным путем для конкретных условий производства и сортамента продукции. За рубежом некоторые исследователи строят диаграммы кинетики превращения аустенита при непрерывном охлаждении в координатах температура – диаметр охлаждаемой заготовки.

Заготовки сложнелегированных аустенитных сталей и крупные заготовки мартенситного, перлитно-мартенситного и перлитного классов подвергаются замедленному охлаждению после разлива на МНЛЗ или передаче в футерованных контейнерах для нагрева с горячего посада. Для предотвращения растрескивания заготовки, поступающие с МНЛЗ (температура поверхности  $>700^{\circ}\text{C}$ ), укладывают в штабель для замедленного охлаждения под футерованным колпаком или загружают вагон-термос (авто-термос). Основная цель замедленного охлаждения трещино-склонных марок стали – это обеспечение более полного распада аустенита и не допущение мартенситного превращения.

Все марки стали можно разбить на три группы стали по склонности к трещинообразованию: 1 группа – нечувствительные стали; 2 группа – малочувствительные стали; 3 группа - чувствительные стали.



К 1-ой группе относятся стали с низким углеродным эквивалентом (углеродистые стали, низколегированные). Эти заготовки охлаждают на воздухе, без каких либо средств замедленного охлаждения.

Ко 2-ой группе можно отнести стали со средним значением углеродного эквивалента (углеродистые, легированные стали). Охлаждение заготовок данной стали производят в штабели на воздухе или под термическим колпаком.

3-я группа – это высоколегированные стали с высоким значением углеродного эквивалента. Охлаждение в этом случае проводят в ямах или в закрытых колодцах, а также возможно в некоторых случаях производить охлаждение под футерованным колпаком в штабели.

Очень трудно теоретически выбрать правильно тот или иной режим охлаждения непрерывнолитой заготовки, особенно для марок стали переходных зон по химическому составу (2 и 3 группа). Поэтому часто требуется проведение дополнительных экспериментально-промышленных опытов по выбору того или иного метода охлаждения заготовок (на воздухе в штабели, под колпаком в штабели, в укрытых колодцах или ямах).

Таблица 27. Поверхностные термические трещины напряжения

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие Причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на поверхности визуально	-высокая скорость охлаждения крупных заготовок из трещиностойкой стали на воздухе; -неравномерное распределение температурного профиля заготовки	- элементы понижающие температуру превращения аустенита при охлаждении (C, Mo, Ni, Si, W, B, Cr, Mn);	-обеспечение равномерного и замедленного охлаждения заготовок; -минимизация времени от выдачи заготовки с МНЛЗ до укладки в штабель (колодец)	-неисправный брак	-приводит к разрыву и разрушениям проката



Рис. 22, а

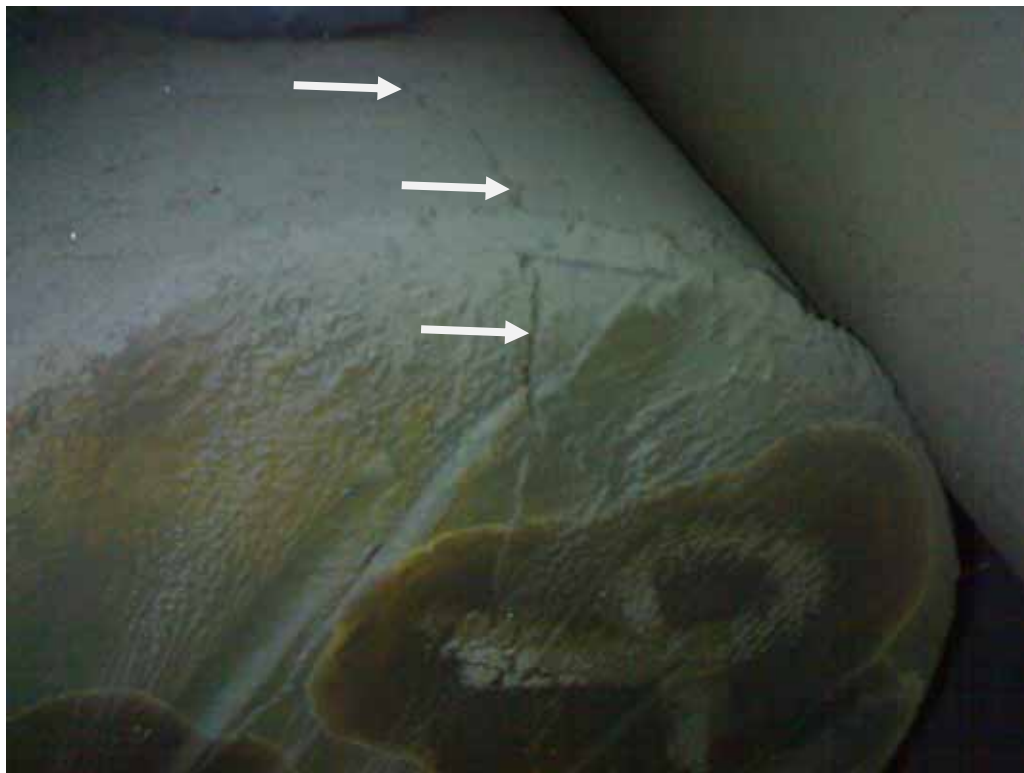


Рис. 22, б



Рис. 22, в

Рис. 22. Поверхностная термическая трещина напряжения на круглых заготовках большого диаметра (а, б и в)



## 3.2. УЖИМИНЫ (ВМЯТИНЫ)

### 3.2.1. Поперечные ужимины (вмятины)

Поперечные ужимины – углубления, располагающиеся в поперечном направлении разливки, которые по направлению к оси кристаллизатора становятся плоскими. Могут повторяться через определенный интервал. При большом развитии при остановках разливки может переходить в пояс. Ужимины, не сопровождающиеся трещинами, не оказывают влияние на дальнейший передел заготовки.

Таблица 28. Поперечные ужимины (вмятины)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются визуально на поверхности; -необходимо тщательно обследовать на наличие подкорковых трещин, которые обычно сопутствуют вмятинам	- недостаточный контакт стали со стенками кристаллизатора по причине неудовлетворительной смазки стенок кристаллизатора (некачественная ШОС или неравномерная подача масла при открытой разливке); -неравномерная смазка кристаллизатора; -чрезмерное охлаждение гильзы; -резкое колебание уровня стали в кристаллизаторе	-неустойчивый поток стали из промковша, связанный с затягиванием стакана промковша и последующими попытками открыть кислородом или резкое колебание уровня жидкой стали в промковше	-проверка первичного охлаждения; -поддерживать постоянный уровень стали в промковше	-не требуется в случае незначительных вмятин -проверка вырубкой наличия подкорковых трещин и в случае необходимости и, их удаления	-подкорковые трещины могут привести к возникновению серьезных дефектов проката; -образование группы мелких волосовин (глубина не более 0,20 мм)

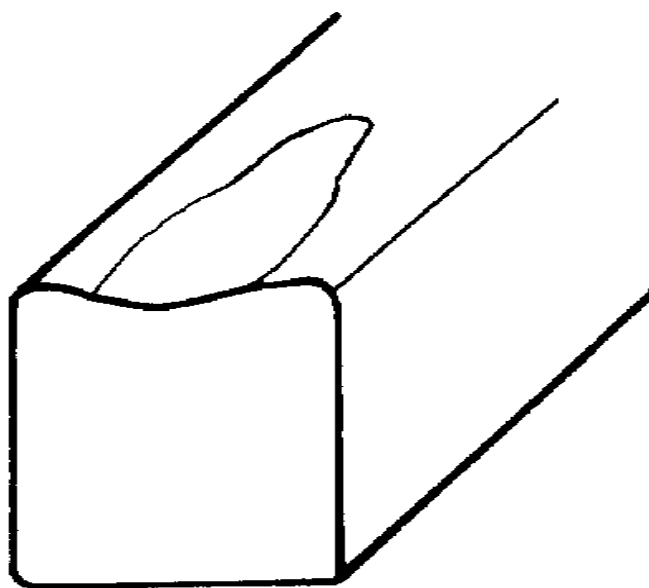


Рис. 23. Поперечная ужимина, схема

### 3.2.2. Продольные ужимины (вмятины)

Продольные ужимины – углубление в виде впадин, может сопровождаться грубыми наружными продольными или внутренними трещинами (в основном, по месту расположения), а также искажением профиля («ромбичность», «трапецевидность») заготовок. Ужимины, не сопровождающиеся трещинами, не оказывают влияние на дальнейший передел заготовки.

Таблица 29. Продольные ужимины (вмятины)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются визуально на поверхности	-износ гильзы кристаллизатора; -неправильная центровка гильзы; -неравномерное первичное охлаждение - причины образования продольных поверхностных трещин (см. п. 3.1.2.1 и 3.1.2.2)	-химический состав стали; -неотцентрованная струя стали относительно оси кристаллизатора; -слишком высокая температура стали	-замена гильзы кристаллизатора; -проверка первичного охлаждения; -проверка центровки гильзы; -проверка центровки разливочного стакана	-вырубка и шлифовка трещин, возможные дополнительные трещины, которые могут проявляться при обработке	-подкорковые трещины могут привести к образованию более крупных трещин и разрывов при горячей прокатке



Рис. 24, а

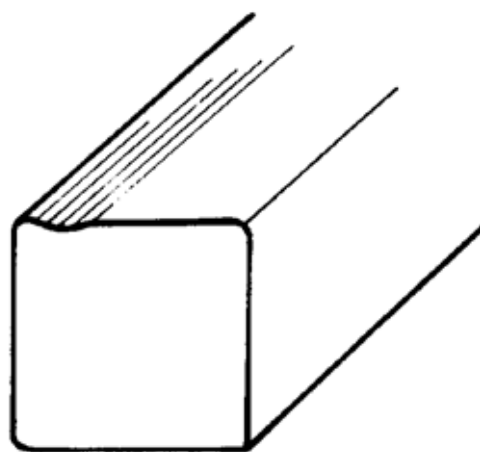


Рис. 24, б

**Рис. 24. Продольные ужимины**

а – Темплет с продольной ужиминной и внутренней угловой трещиной;  
б – Продольная ужимина, схема

### 3.3. ПОВЕРХНОСТНЫЙ ШЛАК

Шлаковые включения – скопления на поверхности заготовки неметаллических включений, которые могут встречаться совместно со скоплениями пор, заворотами корки, и заливиными (пленами). На поверхности заготовки после отслоения вместе с окалиной могут оставаться углубления (отдельные или скопления) неправильной формы, локальные или удлиненные в направлении вытягивания заготовки. Размер, форма и глубина залегания могут варьироваться в широких пределах.

На мениске металла в кристаллизаторе накапливаются неметаллические включения вследствие всплывания частиц шлака, в т.ч. из промежуточного ковша МНЛЗ, продуктов раскисления, размыва огнеупорных материалов, отрыва от стенок стаканов затягивающих их включений, которые увлекаются и затвердевают в поверхностных слоях заготовки, в основном, в корочке.

#### 3.3.1. Сгустки шлака большого размера

Таблица 30. Сгустки шлака большого размера

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются визуально	-элементы продуктов раскисления и огнеупорных материалов; -защитные смеси кристаллизатора не соответствуют марке стали или плохо распределены на поверхности металла (продукты раскисления потоком металла переносятся к стенкам кристаллизатора в область образования корки); - «холодный» металл (захват шлака на зеркале металла в кристаллизаторе) или перегретый металл (размыв огнеупоров)	-слишком низкий уровень жидкой стали в промковше; -низкое качество огнеупоров (эрозия); -определенный химический состав стали или вторичное окисление	-поддержание постоянного уровня стали в промковше; -использование огнеупоров лучшего качества; -замена защитной смеси	-вырубка и шлифовка участка с дефектом	- поверхностные дефекты в виде трещин, раскатов

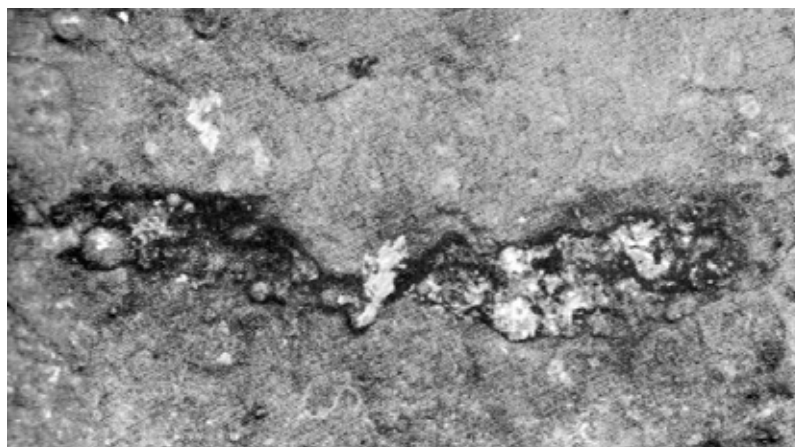


Рис. 25, а

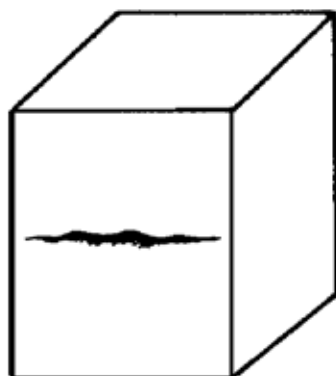


Рис. 25, б

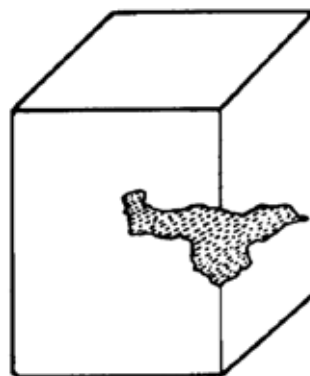


Рис. 25, в

Рис. 25. Шлак на поверхности заготовки

- а – Сгустки шлака на поверхности заготовки;
- б – Захваченный шлак на грани заготовки, схема;
- в – Захваченный шлака на поверхности угла заготовки, схема.

### 3.3.2. Шлак размером более 5 мм

Таблица 31. Шлак размером более 5 мм

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на поверхности визуально; -выражены после пескоструйной очистки	-слишком много шлака в промковше; -захват продуктов раскисления; -захват продуктов эрозии огнеупоров; -отношение [Mn]:[Si] ниже 2,5; -неравномерное распределение защитной смеси по поверхности промковша; -внезапное и устойчивое изменение уровня стали в кристаллизаторе; -открытие шибера с кислородом; - работа кислородом в промковше	-низкий уровень стали в промковше; -низкое качество огнеупоров; - тип защитной смеси не соответствует марке стали; - химический анализ стали и вторичное окисление струи металла	- удаление шлака из кристаллизатора «удочками»; -защита струи (ковш-промковш-кристаллизатор); -использование огнеупоров лучшего качества	-огневая зачистка и шлифовка	-четко видимые трещины и разрывы; -закаты содержащие шлак; - стальные профили с не полностью сформированными внешними кромками (не полностью заполнены металлом)

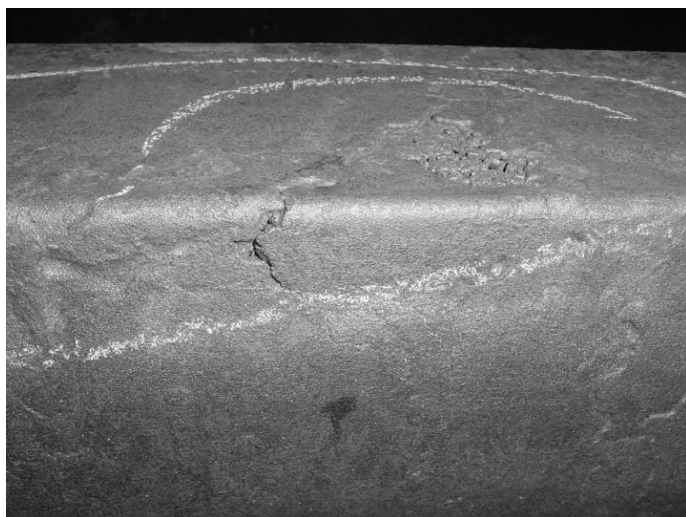


Рис. 26, а

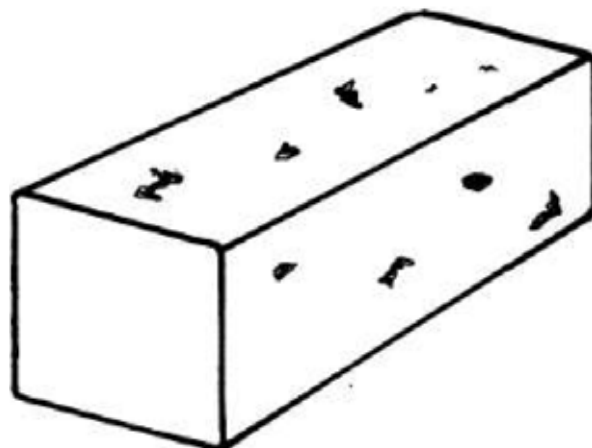


Рис. 26, б

Рис. 26. Шлак размером более 5 мм на поверхности заготовки  
 а – Шлак размером более 5 мм на поверхности заготовки;  
 б – Шлак размером более 5 мм на поверхности заготовки, схема.

### 3.3.3. Шлак размером менее 5 мм

Таблица 32. Шлак размером менее 5 мм

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на поверхности визуально; -выражены после пескоструйной очистки	-слишком большое количество шлака в промковше; -очень низкое отношение [Mn]:[Si] ( $\leq 2,0$ ); -вторичное окисление; - захват защитной смеси из промковша в кристаллизатор	-низкий уровень стали в промковше; -внезапное изменение и непостоянный уровень стали в кристаллизаторе; -химический анализ; -не соответствующая марке стали защитная смесь или ее неравномерное распределение в промковше; -низкое качество огнеупоров	-удаление шлака из кристаллизатора; -защита струи (ковш - промковш - кристаллизатор) -использование огнеупоров лучшего качества; -соответствующая обработка стали перед разливкой	-частичная или полная зачистка	-трещины различных размеров соответствующие размерам частиц шлака; -включения выкрашиваются, оставляя лунки и не вызывая изменений в микроструктуре, или образуют тонкие волосовины глубиной не более 0,15 мм

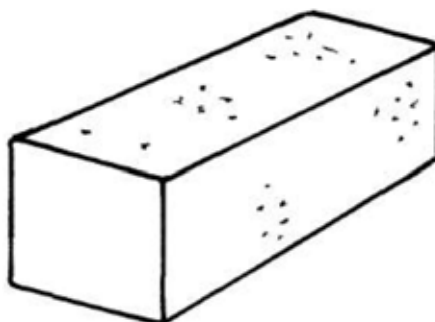


Рис. 27. Шлак размером менее 5 мм на поверхности заготовки, схема.

### 3.4. Брызги металла на поверхности заготовки

Нерегулярно распределенные брызги на поверхности заготовки в результате захвата между затвердевшей коркой и стенками кристаллизатора.

Таблица 33. Брызги металла на поверхности заготовки

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
- выявляется визуально	- брызги расплавленного металла в кристаллизаторе; - неравномерная подача металла в кристаллизатор	- неправильная установка разливочного стакана; - повреждение канала разливочного стакана после промывки кислородом; - некачественные разливочные стаканы	- правильная подготовка разливочного узла промковша перед началом разливки; - использовать разливочные стаканы лучшего качества	- вырубка и шлифовка дефектных участков	- дефекты поверхности



Рис. 28, а

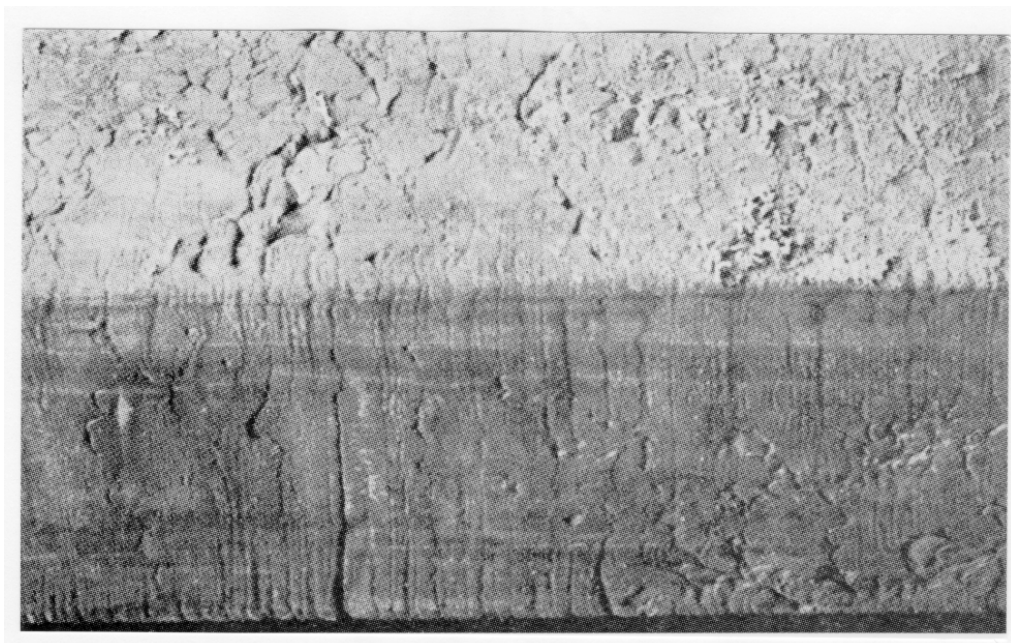


Рис. 28, б

Рис. 28. (а и б) Брызги металла на поверхности заготовки

### 3.5. Заливины (нахлестка или наплыв)

Заливина (наплыв) – неплоскостность в виде раковин на поверхности, может сопровождаться поверхностными трещинами. Заливина в основном образуется при микропрорывах металла в кристаллизаторе с последующим их «залечиванием», а также в начале разливки при заплесках металла на стенки кристаллизатора или при разливке «открытой» плохо организованной струей.

Таблица 34. Заливины (нахлестка или наплыв)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
- выявляется визуально	- причины, приводящие к образованию поперечных трещин (с надрывом оболочки и выливанием жидкого металла в зазор между заготовкой и кристаллизатором); - изношенная или деформированная гильза; - некачественная ШОС, неравномерная подача смазки при открытой разливке. Обрызгивание стенок кристаллизатора из-за неудовлетворительной организации струи при открытой разливке; - внезапные остановки вытягивания заготовки; - температура в проковше выше нормы	- неправильная установка разливочного стакана (колебание уровня в кристаллизаторе, турбулентность струи стали из проковша); - большое количество шлака в кристаллизаторе (отношение $[Mn]:[Si] < 2,5$ ); - не удовлетворительное первичное охлаждение; - низкая скорость разливки	-заменить гильзу кристаллизатора; -проверить смазку кристаллизатора; - соблюдение температурно-скоростного режима разливки; - выполнить удаление шлака с поверхности стали в кристаллизаторе (улавливание)	-шлифовка и вырубка дефекта	-грубые и разветвленные трещины, закаты и рванины; -опасность разрушения заготовки при горячей прокатке

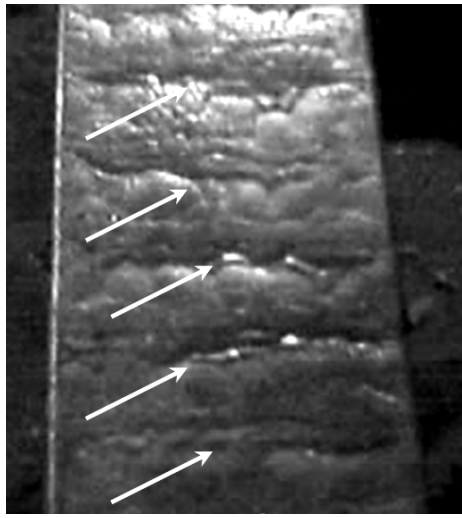


Рис.29, а

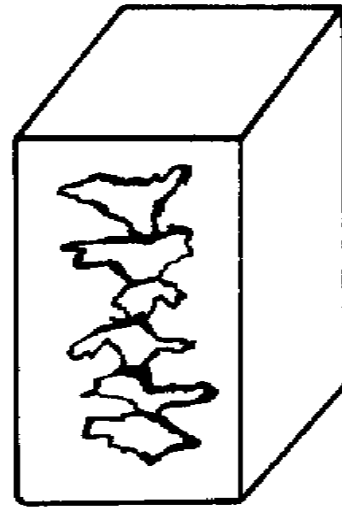


Рис.29, б



Рис.29, в

**Рис. 29. Заливины**

а – Наплывы на поверхности заготовки из-за микропорывов в кристаллизаторе (подвисяния);

б – Заливины на поверхности заготовки, схема:

в – Фото поверхности НЛЗ с заливинами.



### 3.6. Металлизация (заворот корки и плена)

Заворот корки – местный на поверхности, залегающий на глубину до 30...40 мм, образуется в результате увеличения оксидной или шлаковой корочки с мениска в поверхностный слой заготовки. Заворот корки может являться одной из причин прорывов металла в кристаллизаторе, появления подкорковых пузырей.

Таблица 35. Металлизация (заворот корки и плена)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
- выявляется визуально	- низкая температура металла; - пониженная жидкотекучесть стали; - недостаточная раскисленность стали; - низкое остаточное содержание алюминия (менее 0,015 мас. %); - загрязнение стали неметаллическими включениями; - резкое изменение скорости вытягивания; - некачественная ШОС, неравномерная подача смазки при открытой разливке; - внезапная остановка вытягивания заготовки	- улавливание брызг металла; - недостаточная глубина погружения стакана в металл в кристаллизаторе; - разливка стали с повышенным содержанием высокоактивных элементов (Ti, Cr, Si)	- подготовка металла к разливке с соблюдением режимов раскисления, модифицирования, продувки аргоном; - четкая стыковка серийных плавков по выплавке, внепечной обработке и разливке, корректировка температуры стали	- вырубка и шлифовка зоны дефекта	- дефекты поверхности

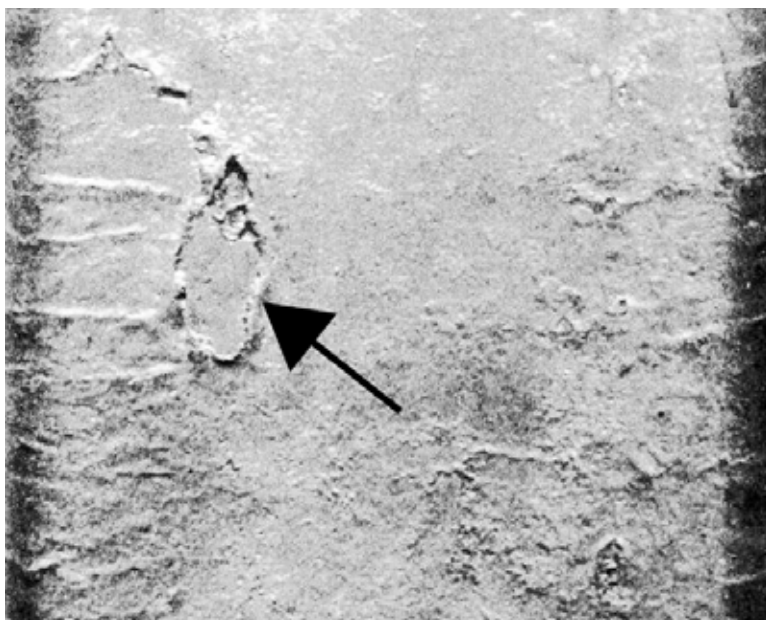


Рис. 30, а

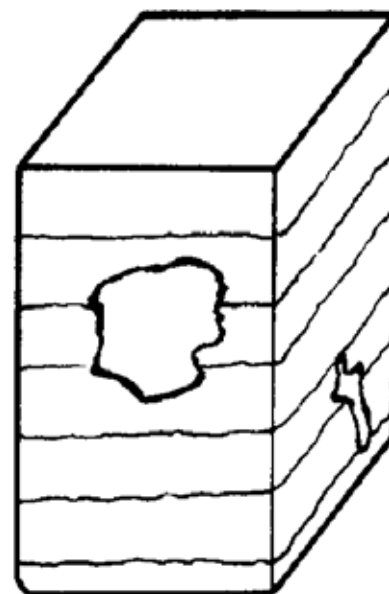


Рис. 30, б



Рис.30, в

Рис. 30. Заворот корки (плена)

- а – Плена на поверхности заготовки;
- б – Плена на поверхности заготовки, схема;
- в – Фото поверхности НЛЗ с пленой.

### 3.7. Перфорированные отверстия (газовая шероховатость)

Перфорированные отверстия – дефект поверхности в виде небольших пустот круглой формы глубиной залегания не более 5 мм. Данный дефект присущ для разливки открытой струей, где используется масло в качестве смазки между корочкой заготовки и гильзой кристаллизатора. Высокое содержание газообразных элементов  $H_2$ ,  $N_2$  и  $CO$  вызывает давление более 1 бар. Дефект газовая шероховатость обостряется при низком содержания кремния и высоком содержании углерода.

Таблица 36. Перфорированные отверстия

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-распознаются визуально на поверхности без специальной обработки	- вторичное окисление (разливка открытой струей); - чрезмерное содержание водорода и кислорода в стали; -использование слишком большого количества смазочного масла в кристаллизаторе	- не просушенная огнеупорная футеровка промковша; - «холодное» масло для кристаллизатора (не прогретое); - влажные ферросплавы	- уменьшить содержание в стали кислорода и водорода; - проверка системы подачи и распределения масла; -очистка после каждой серии зазоров подачи масла на фланцах в кристаллизаторе; - не использовать влажные ферросплавы особенно FeSi; -улучшить сушку промежуточного ковша	- зачастую не требуется	-очень незначительное влияние на качество горячекатаной продукции



Рис.31, а

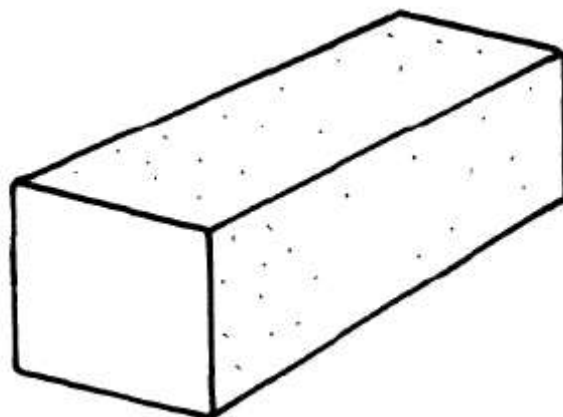


Рис.31, б

Рис. 31. Перфорированные отверстия

а – Перфорированные отверстия на поверхности заготовки;  
б – Перфорированные отверстия на поверхности заготовки, схема.

### 3.8. Поверхностные царапины (задиры, риска)

Таблица 37. Поверхностные царапины (задиры, риска)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на поверхности визуально	- заклинивание направляющих, правильных тянущих или неподвижных роликов; - неправильно отцентрированы ролики; - попадание окислы или скрапины на направляющие ролики	- неудовлетворительная очистка ряда направляющих роликов после прорыва; - не удовлетворительная уборка мусора в роликовой проводке после планового ремонта	-проверка направляющих роликов; -тщательная очистка ряда роликов после прорыва	-обычно не требуется	- не влияет на прокат

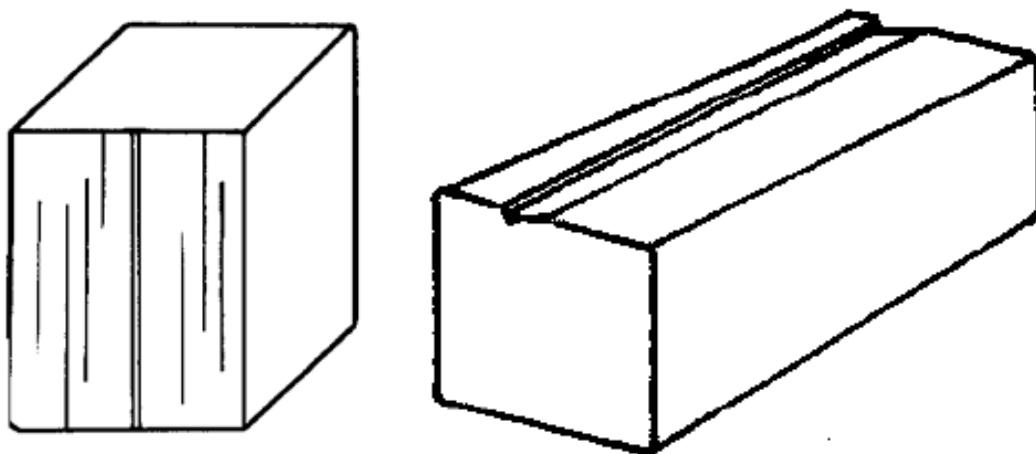


Рис. 32 Поверхностные царапины и задиры

### 3.9. Пояс

Пояс – «перехват», грубый дефект, охватывающий часть или весь периметр непрерывнолитой заготовки. Образуется, в основном, вследствие перерыва подачи стали в кристаллизатор.

При остановке разливки в кристаллизаторе образуется остывающая и оксидированная зона жидкого металла (вплоть до корки на «зеркале» слитка и усадочной раковины). Учитывая малую площадь поперечного сечения сортовых заготовок и высокую скорость их охлаждения без подпитки жидким металлом, усадочная раковина с коркой металла на поверхности слитка (мост) образуется по всему сечению уже за время менее 1 минуты после остановки ручья.

Таблица 38. Пояс

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются визуально на поверхности	-прерывание струи стали из промковша; - пониженная температура металла, нарушения в технологии раскисления, приводящие к затягиванию разливочного стакана промежуточного ковша; - резкие колебания уровня металла в кристаллизаторе	-слишком длительное время выдержки ручья на желобе; -другие технологические причины; - кратковременные остановки вытягивания заготовки из-за нарушений работы отдельных узлов МНЛЗ	-более тщательное и точное проведение процесса разливки	-обрезка и утилизация в лом участка с «поясом»	-опасность разрыва горячекатаного проката или «бурёжки» во время прокатки



Рис.33, а

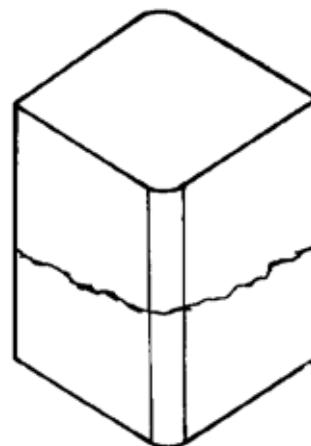


Рис.33, б

Рис. 33. Пояс на заготовке

а – Пояс на непрерывнолитой заготовки;  
б – Пояс, схема.

### 3.10. Фаска

Фаска – дефект, представляющий собой скошенное ребро слитка вдоль оси заготовки.

Таблица 39. Фаска

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются визуально на поверхности	- неисправность поддерживающих роликов; -неравномерный износ роликов	-нарушение технологической оси ручья	-контроль состояния роликов, зачистка, замена вышедших из строя		

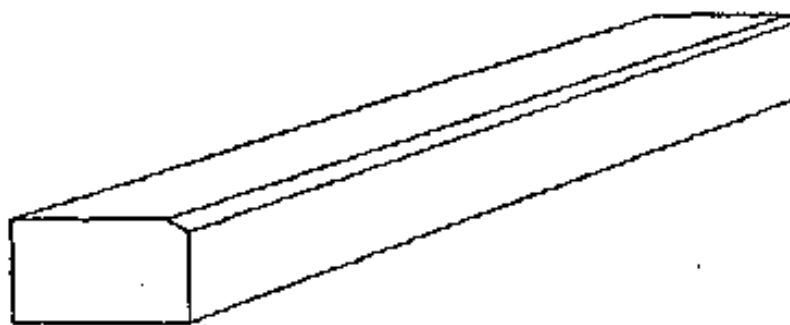


Рис. 34. Фаска на заготовке

### 3.11. Глубокие складки, следы качания кристаллизатора

Следы качания – впадины, надрывы оболочки заготовки в виде поперечных углублений. Острые или глубокие следы качания рассматриваются как дефекты, т.к. они являются началом процесса растрескивания. Они также увеличивают зазор между стенкой кристаллизатора и коркой. При разливке блюмов и заготовок эти следы возникают в результате механического взаимодействия кристаллизатора и заготовки в процессе хода вниз в цикле качания. Было также отмечено, что сильные следы качания возникают, когда разливка происходит при чрезмерно высокой температуре стали. При глубине более 2...2,5 мм становятся местом возможного возникновения наружных трещин (особенно при содержании углерода в стали 0,15...0,25 мас.%).

Таблица 40. Глубокие складки, следы качания кристаллизатора

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на поверхности визуально, особенно после пескоструйной зачистки	- разливка сталей перитектического состава (Ст3, А500С и др.); -чрезмерная конусность гильзы кристаллизатора; -амплитуда качания кристаллизатора слишком большая; -неверное соотношение между частотой качания и скоростью разливки; - неудовлетворительное качество ШОС для кристаллизатора (повышенная вязкость) или несоответствие ШОС разливаемой марки стали; -неравномерная смазка кристаллизатора	-изношенность гильзы кристаллизатора, особенно в зоне мениска; -низкая скорость разливки, при которой конусность кристаллизатора оказывается завышенной; -«холодный» или перегретый металл; - нарушения в работе механизма качания кристаллизатора; -высокая жесткость воды для первичного охлаждения;	-проверка качания на механические движения и на установление соотношения амплитуды и частоты качания; -проверка смазки кристаллизатора; -проверка конусности гильзы; -проверка первичного охлаждения кристаллизатора; -скорость разливки должна соответствовать сечению заготовки и марке стали	-обработка шлифовкой необходима для спецсталей и нержавеющей сталей	-очень редко способствует образованию поверхностных дефектов проката; -иногда приводит к образованию небольших трещин на поверхности проката; -грубые следы приводят к образованию мелких плен, которые не влияют на качество проката

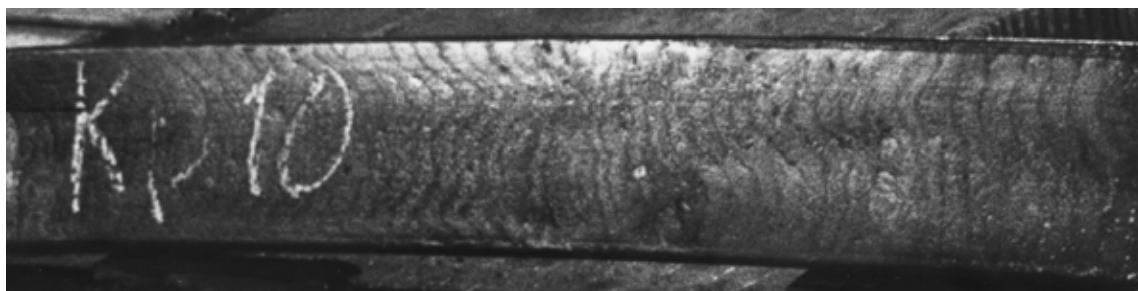


Рис. 35, а

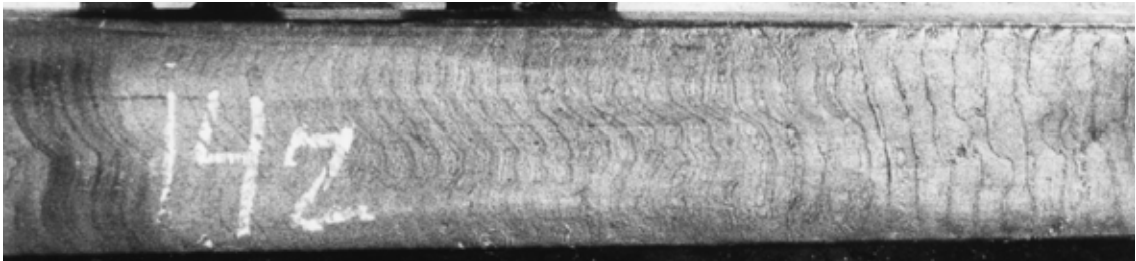


Рис. 35, б

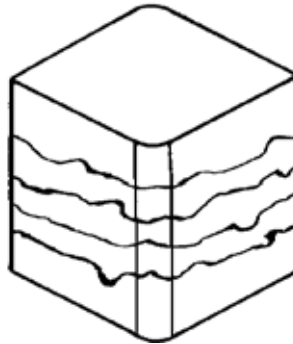


Рис. 35, в

Рис. 35. Следы качания на поверхности заготовки (а, б) и (в) - схема.

## 4. ВНУТРЕННИЕ ДЕФЕКТЫ

Дефекты внутреннего строения заготовки выявляют и оценивают на продольных и поперечных темплетях. Оценку макроструктуры проводят путем сравнения протравленных темплетов или серных отпечатков с эталонами шкал баллов. Осевую химическую неоднородность в некоторых случаях оценивают количественным методом. Для этого сверлом отбирают пробы на анализ из осевой зоны, промежуточной и краевой. Диаметр сверла – в пределах 5-10% размера стороны заготовки. Для исследовательских целей используют послойную строжку обжатой заготовки с анализом поверхности каждого слоя спектральным и радиографическим методом.

### 4.1. Внутренние трещины (ЛПТ)

Ликвационные полосы и трещины (ЛПТ) – нарушение сплошности внутренних слоев металла, представляют собой надрывы, распространяющиеся по межосным пространствам дендритной структуры, обогащенные ликватами, и сопровождающиеся скоплением сульфидов и ликвацией фосфора. На серных отпечатках по Бауману проявляются в виде темных полосок, в т.ч. извилистых, на темплетях после глубокого травления.

Ниже представлена классификация внутренних трещин.

## Классификация внутренних трещин

по степени развития	по причине образования	по направленности	по расположению	по глубине залегания
1. Трещины (не сплошности разной длины и ширины); 2. Ликвационные полосы («залечанные» трещины ликватами)	1. Усадочные напряжения; 2. Термические напряжения; 3. Деформационные напряжения	1. Диагональные; 2. Перпендикулярные граням; 3. Комбинированные – перпендикулярные, переходящие в диагональные; 4. Звездообразные (паукообразные)	1. Угловые; 2. В районе углов (приугловые); 3. В середине или около середины граней; 4. Осевые	1. Подповерхностные (подкорковые) – I ряд; 2. В промежуточной зоне – II ряд; 3. Осевые – III ряд; 4. Распространяющие из одного ряда в другой, и с выходом на поверхность

### 4.1.1. Диагональные трещины (ромбичность) ЛПТугл

Ликвационные полосы и трещины угловые (ЛПТугл) – проходят по диагоналям поперечного сечения вдоль границы различных фронтов кристаллизации, могут распространяться по всей длине диагонали сечения слитка. Данные трещины образуются в результате усадочных напряжений. При большом развитии с выходом на поверхность приводит к прорывам жидкого металла.

Таблица 41. Диагональные трещины (ромбичность) ЛПТугл

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляемая ромбичность при измерении диагоналей	-неравномерное первичное охлаждение в кристаллизаторе; -ромбичность гильзы кристаллизатора в нижней части; -неотцентрованные направляющие ролики; -слишком высокая температура разливки стали; - нарушение теплоотвода в углах кристаллизатора; - нарушение режимов вторичного охлаждения, приводящее к отогреву ребер заготовки	-чрезмерная конусность гильзы; -неправильная геометрия гильзы кристаллизатора и направляющих роликов; - нарушение центровки кристаллизатора; - смещение разливочного стакана от осевого положения; - повышенная выработка углов кристаллизатора; -отношение [Mn]:[S] менее 25...30	-проверка технологической оси между кристаллизатором и направляющими роликами; -проверка положения и эффективности работы форсунок; -заменить гильзу кристаллизатора; -обеспечение в стали отношения [Mn]:[S] более 25...30; -в низкоуглеродистых сталях с низким отношением [Mn]:[S] поддержание S<0,018 мас. %	-не поддается	-трещины в подкорковой области до 5 мм могут приводить к образованию дефектов проката; -ромбичность > 5 мм может привести к возникновению проблем при горячей прокатке





Рис. 36, а

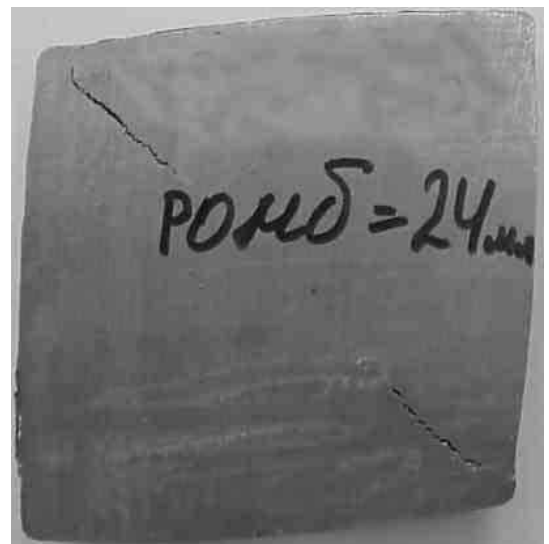


Рис. 36, б

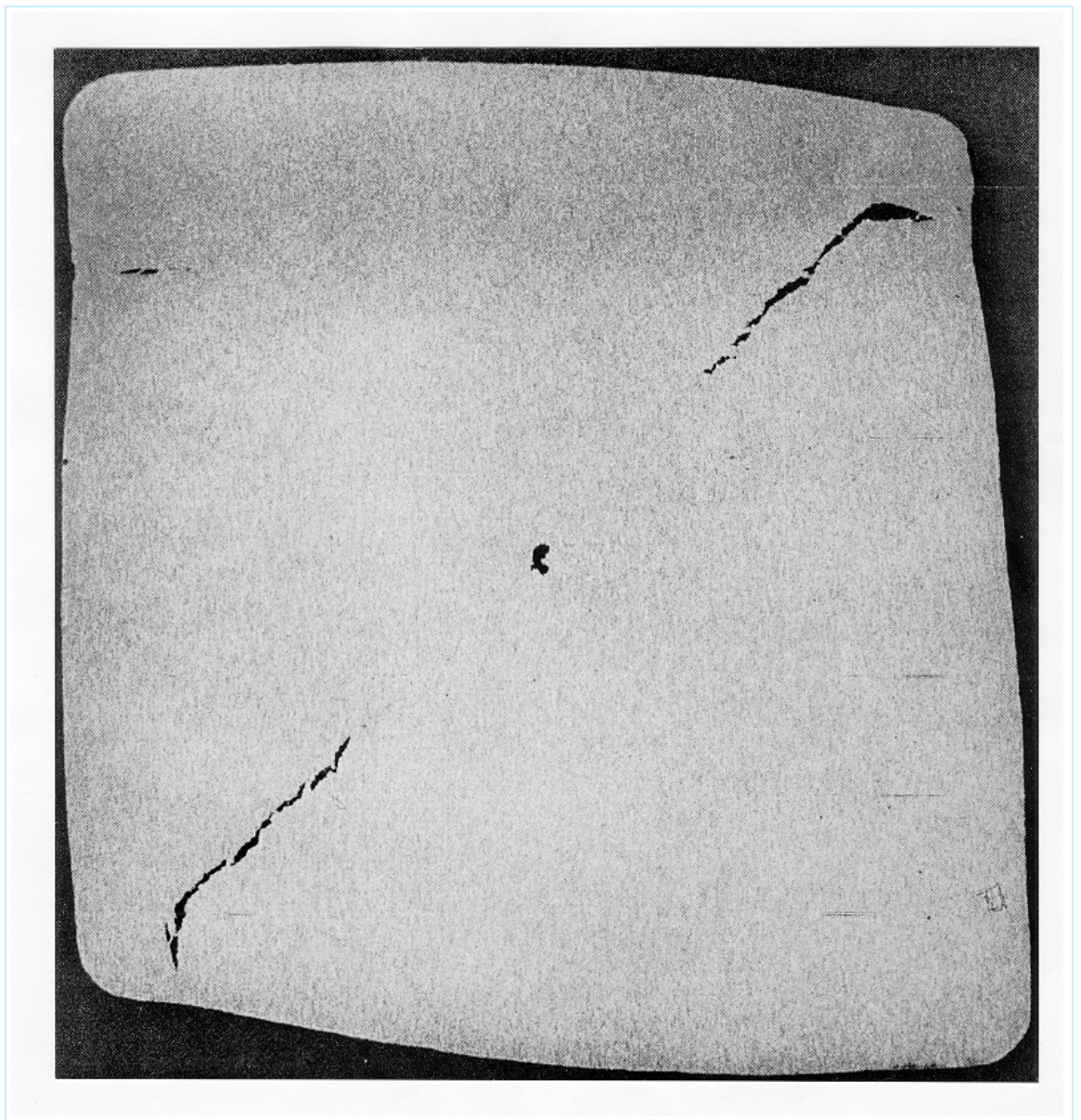
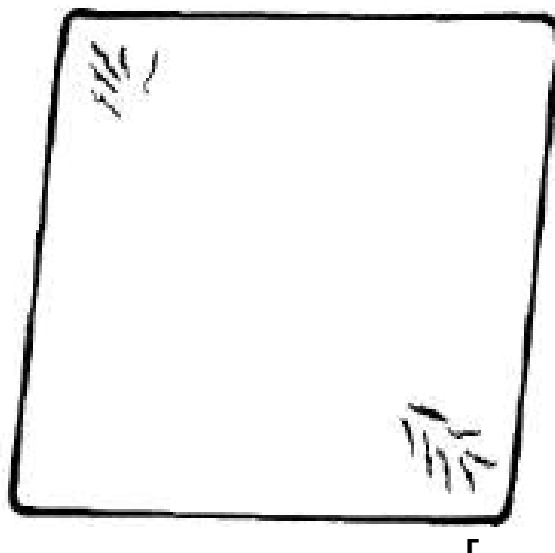


Рис. 36, в



**Рис. 36. Диагональные трещины (ЛПТугл) из-за ромбичность**

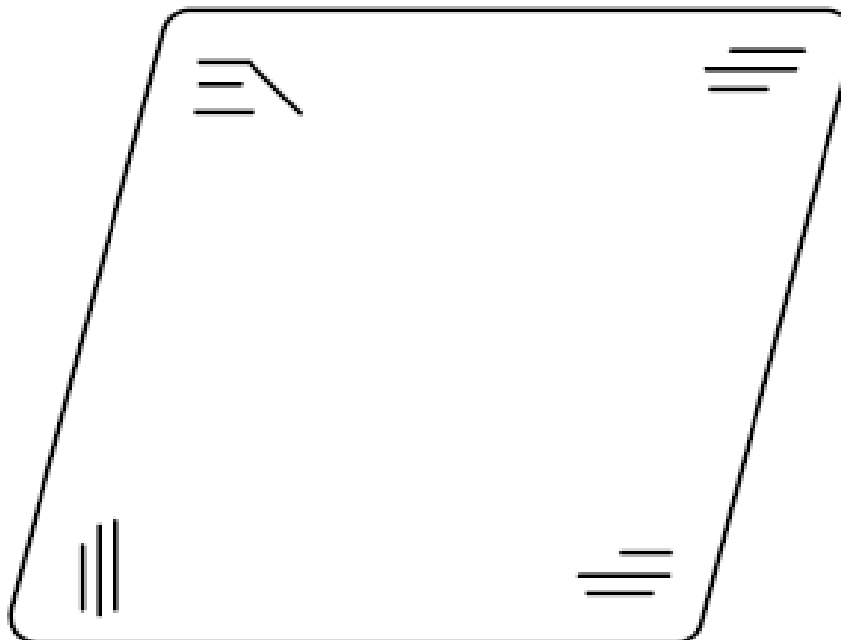
а-в – Травленные темплеты с ромбичностью и угловыми трещинами на тупом угле;  
 г – Угловые ликвационные трещины и полоски на заготовке с ромбичностью, схема.

#### 4.1.2. Трещины или ликвационные полоски, перпендикулярные граням заготовки (ЛПТпр)

##### **Ликвационные полоски и трещины перпендикулярные граням подповерхностные (подкорковые) в районе углов – I-ый ряд (ЛПТпр)**

*ЛПТ в районе тупых углов* (трещины искажения) зарождаются в кристаллизаторе и в зоне «подбоя» и далее, в ЗВО (растягивающие напряжения), при этом образование тупого угла может сопровождаться искажением прилегающей к нему части грани (с образованием продольной «ужимины») и ромбичностью заготовки. В основном, направлены перпендикулярно к граням и располагаются близко к вершине, иногда они могут углубляться в промежуточную зону заготовки (во II-ой ряд) по диагонали – по стыку растущих кристаллов. Начало трещины находится на расстоянии от 5...15 мм от поверхности до 20...50 мм. При большом развитии с выходом на поверхность приводят к прорывам жидкого металла.

*ЛПТ в районе острых углов* образуются уже после выхода слитка из кристаллизатора, в зоне «подбоя» (поэтому располагаются, как правило, на несколько большей глубине) и также развиваются далее, в ЗВО в результате разогрева и, вследствие этого, расширения участков корочки, примыкающих к острому углу.



**Рис. 37. Ликвационные полосы и трещины в районе острых и тупых углов**

**Ликвационные полосы и трещины перпендикулярные граням подповерхностные (подкорковые) в средней и около нее части граней – I-ый ряд (ЛПТпр)**

Данные ликвационные полосы и трещины направлены перпендикулярно граням слиткам, располагаются несколько дальше от углов, в том числе около средней части грани между поверхностью и центром заготовки (наиболее близко к поверхности – I-ый ряд, но могут развиваться из I-го во II-ой ряд). ЛПТ термические, образуются под кристаллизатором и в верхних секциях ЗВО в результате разогрева и, вследствие этого, температурного расширения средних участков корочки заготовки. Могут распространяться в глубину слитка и сопровождаться продольной ужиминной.

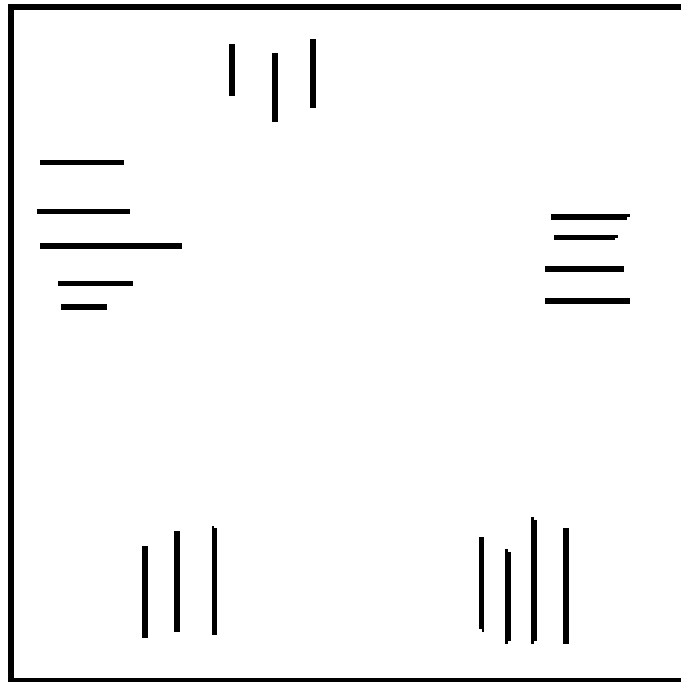
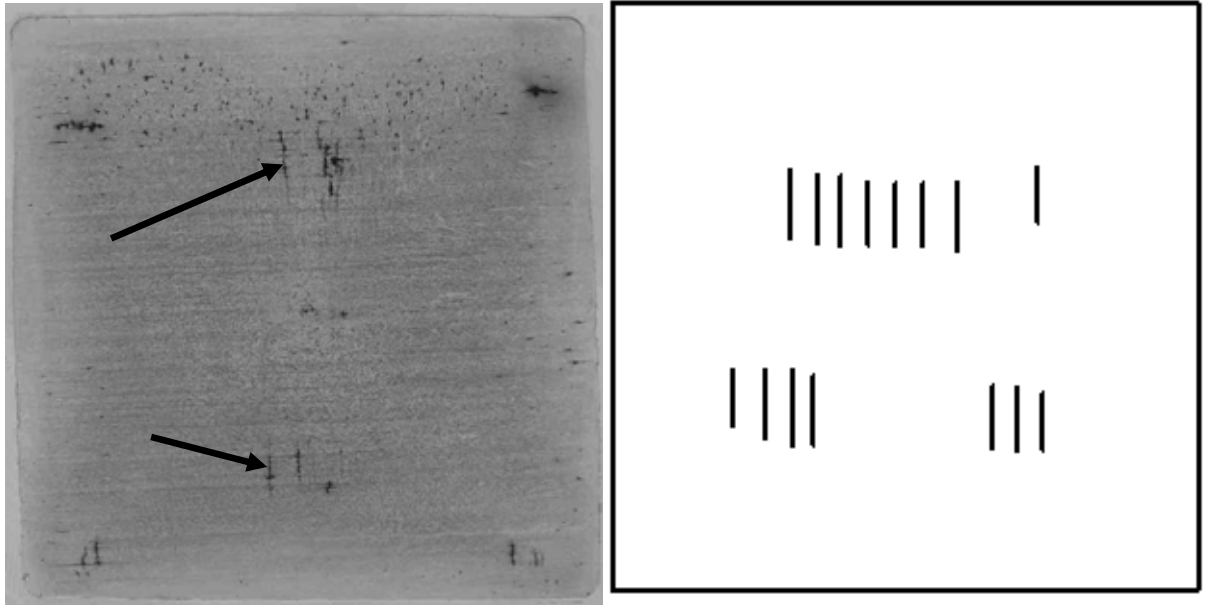


Рис. 38. Ликвационные полосы и трещины перпендикулярные граням заготовки

### **Ликвационные полосы и трещины перпендикулярные граням в промежуточной зоне – II-ой ряд (ЛПТпр)**

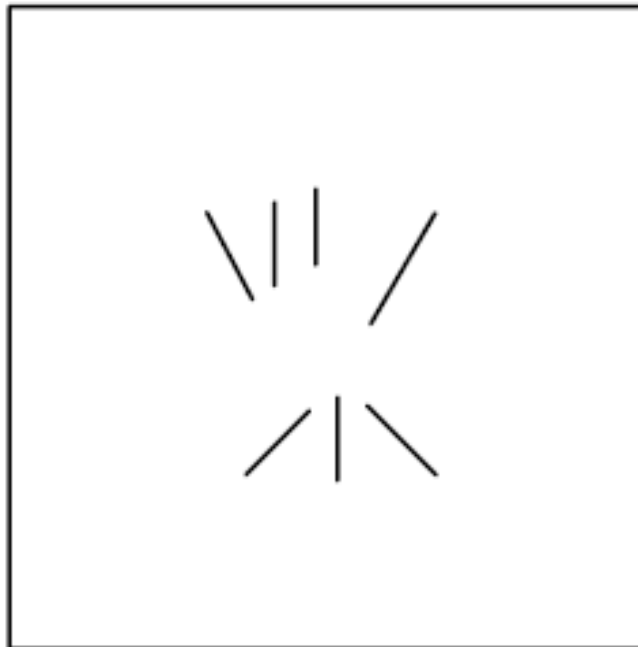
Эти ЛПТ расположены в промежуточной зоне, дендритная структура которой характеризуется направленной кристаллизацией, образуется, в основном, в ЗВО. Ликвационные полосы и трещины находятся в 20...40 мм от поверхности, длина их может быть до 40...50 мм.

*ЛПТ, расположенные в промежуточной зоне, образуются при охлаждении слитка в ЗВО. При интенсивном охлаждении могут изменяться величина и темп усадки, при этом затвердевшие наружные слои препятствуют усадке внутренних, в которых развиваются напряжения растяжения, а разогрев корочки увеличивает растягивающие напряжения и пораженность трещинам, то есть они образуются в результате одновременного воздействия усадочных и термических напряжений растяжения внутренних и внешних слоев. В зависимости о глубины залегания могут образовываться в средних и/или нижних секциях ЗВО или далее. Глубина трещин позволяет судить, насколько далеко от кристаллизатора возникли опасные напряжения.*



**Рис. 39.** Ликвационные и трещины расположенные в промежуточной зоне темплета заготовки (фото и схема)

*ЛПТ, расположенные в промежуточной зоне ближе к осевой зоне, могут образовываться в результате напряжений деформации не полностью затвердевшего слитка (с жидкой сердцевиной) и по другим причинам, приводящим также к получению ЛПТос III-го ряда перпендикулярным граням.*



**Рис. 40.** Ликвационные полосы и трещины расположенные в промежуточной зоне темплета ближе к осевой зоне.

Таблица 42. Трещины или ликвационные полосы, перпендикулярные граням заготовки (ЛПТпр)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-легко выявляются на серных отпечатках (по Бауману), после травления или при зачистке змейкой	- повышенное содержание вредных примесей (серы, фосфора) в разливаемой стали; - перегретый металл; - отсутствие или неравномерный «подбой» воды под кристаллизатором; - потеря конусности гильзы; - несоосность кристаллизатора и опорных устройств ЗВО	- неравномерное или резкое охлаждение поверхности заготовки; - повышенная, для данной температуры, скорость вытягивания заготовки; - разогрев поверхности заготовки в нижних горизонтах ЗВО; -слишком большое усилие ТПА на вытягивание и выпрямления	-соблюдение требований по вредным примесям в металле; -соблюдение температурно-скоростного режима разливки; - настройка технологической оси; -настройка ЗВО и выбор правильной интенсивности охлаждения заготовки	-не поддается	- трещины находятся далеко от поверхности заготовки и не вызывают проблем при прокатке. Они не окисляются и во время прокатки завариваются.



Рис. 41. Травленный темплет с дефектом ЛПТпр, ЛПТос (см. п. 4.1.3. ) и центральной пористостью (см. п. 4.3.)

#### 4.1.3. Центральные и осевые трещины (ЛПТос)

**Ликвационные полосы и трещины перпендикулярные граням осевые – III-й ряд (ЛПТос)** – трещины деформации, проходят через центр слитка и направлены, в основном, перпендикулярно граням (ролика), образуются в случае значительного обжатия заготовки при одновременном интенсивном вторичном охлаждении, при

обжиге заготовок с незатвердевшей сердцевиной, а также в результате разгиба заготовок при высоких скоростях вытягивания и температуре металла. Могут развиваться в промежуточную зону сечения слитка (во II-й ряд) и/или сопровождаться ЛПТпр II-го ряда.

В поперечном сечении слиток может принять характерную бочкообразную форму; в результате в корочке могут появиться напряжения, которые с деформацией при растяжении переходят на фронт кристаллизации. Образуется трещина или несколько расположенных друг с другом трещин («ложных линий»), которые заполняются с большой ликвацией, но не выходят наружу.

**Ликвационные полосы и трещины осевые или звездообразные (ЛПТос)** - исходят радиально из центра заготовки, в отдельных случаях диаметр «паука» достигает 40...100 мм и более, развиваясь во II-й и даже в I-й ряды. Как правило, являются следствием интенсивного вторичного охлаждения в нижних секциях ЗВО. У заготовки, выходящей из ЗВО, поверхность может быть холодной, в то время как центральная часть горячей. Пока заготовка движется к ТПА тепло, передаваемое от центра к поверхности, может привести к разогреву корочки с последующим расширением. В центре, наоборот, имеется склонность к сжатию, вызванная снижением температуры. «Паук» («звезда») образуется в результате этих двух противоположных воздействий. Низкоуглеродистые стали с содержанием углерода менее 0,10 мас.% чувствительны к этому виду трещин даже при нормальном вторичном охлаждении.

Таблица 43. Центральные и осевые трещины (ЛПТос)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на серных отпечатках (по Бауману) или на протравленной поверхности	-слишком высокая температура стали в промковше; -слишком высокая скорость разливки; -слишком высокое давление на роликах ТПА; - заготовка с жидкой фазой в ТПА; -разливка низкоуглеродистой стали (C<0,10 мас.%); -присутствие в металле в вредных примесей (серы и фосфора)	-слишком интенсивное вторичное охлаждение; -нестабильное вторичное охлаждение (регулирование расходами воды в ручном режиме); -содержание кислорода или водорода выше нормы	-соблюдение температурно-скоростного режима разливки; -снижение давления прижатия на тянущих роликах; -снижение интенсивности вторичного охлаждения	-не поддается	-окисление трещин в зоне порезки; -плёны



Рис.42, а

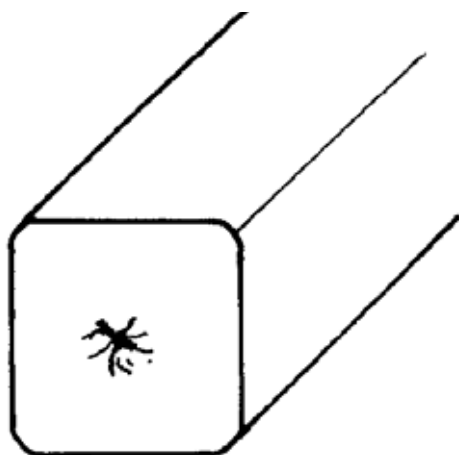


Рис.42, б



Рис.42, в

Рис. 42. Центральные и осевые трещины

а – Травленный темплет с дефектом ЛПТос;  
 б и в – Звездообразные трещины, схемы

#### 4.1.4. Внутренние трещины из-за вмятин (ужимин)

Таблица 44. Внутренние трещины из-за вмятин (ужимин)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-легко выявляются на серных отпечатках (по Бауману), после травления или при зачистке змейкой	-разливка сталей перитектического состава(Ст3, А500С и др.); -Mn/S≤20 -неравномерное первичное охлаждение; -деформированная гильза кристаллизатора; -нестабильное охлаждение в ЗВОН№1; -слишком высокая температура стали в промковше	-слишком высокая степень загрязнения стали; -деформация заготовки во время разливки	-выполнение отношения [Mn]:[S]>20; -замена гильзы кристаллизатора; -проверка форсунок на выходе из кристаллизатора (зона «подбоя»); -проверка температуры стали после АКП на соответствие требованиям	-не поддается	-глубокие трещины



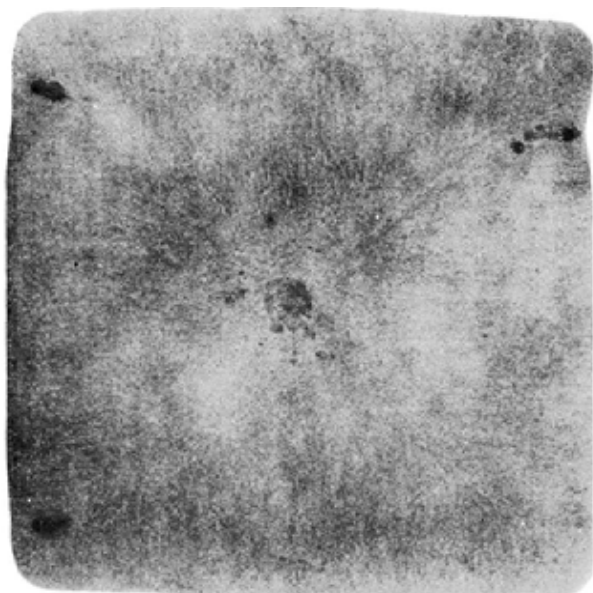


Рис.43, а

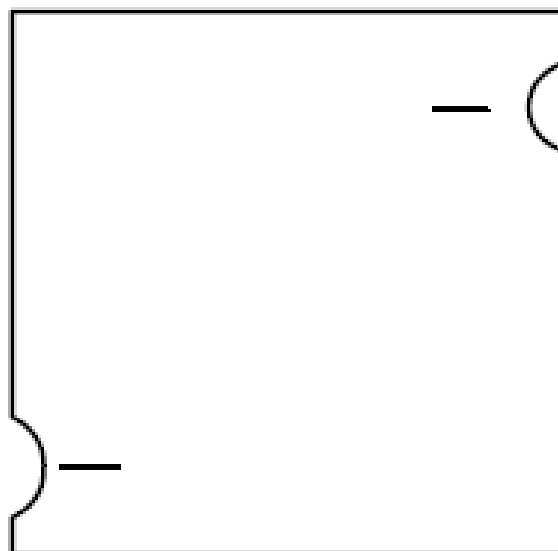


Рис.43, б

**Рис. 43. Внутренние трещины из-за вмятин (ужимин)**

а – Травленный темплет заготовки с внутренними трещинами из-за вмятин;  
 б – Внутренние трещины из-за вмятин, схема.

#### 4.1.5. Межкристаллитные трещины

Межкристаллитные трещины представляют узкие, прерывистые, извилистые разрывы металла, расположенные во внутренних слоях заготовки по границам кристаллов, зачастую в центральной (осевой) зоне. Межкристаллитные трещины могут образовываться и за пределами центральной зоны в междендритных пространствах. В непрерывнолитых заготовках межкристаллитные трещины в основном обнаруживаются визуально в торцах.

Таблица 45. Межкристаллитные трещины

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-обнаруживаются визуально на торцах заготовках	-термические напряжения в результате кристаллизации заготовки; -неравномерное вторичное охлаждение заготовки	-высокое содержание ликвидирующих элементов в стали	-соблюдение температурно-скоростного режима разливки; -настройка ЗВО; -снижение в стали содержания серы и фосфора	-не поддается	-разрыв металла; -вздутия и пленки на внутренней поверхности труб

## 4.1.6. Внутренние трещины вследствие неравномерного охлаждения заготовки на воздухе

Таблица 46. Внутренние трещины (см. пункт 3.1.4.)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-легко выявляются на серных отпечатках (по Бауману), после травления или при зачистке змейкой	-высокая скорость охлаждения трещиностойкой стали на воздухе; -неравномерное распределение температурного профиля заготовки	-элементы понижающие температуру превращения аустенита при охлаждении: С, Мо, Ni, Si, W, В, Cr, Mn; - C > 0,40 мас.%, - Mn > 1,30 мас.%, - Cr > 1,00 мас.%, - Ni > 1,50 мас.%	-обеспечение равномерного и замедленного охлаждения заготовок; -минимизация времени от выдачи заготовки с МНЛЗ до укладки в штабель (колодец)	-неисправимый брак	-приводит к разрыву и разрушениям проката



Рис. 44. Внутренние трещины вследствие неравномерного охлаждения заготовки на воздухе, схема.

## 4.2. Осевая ликвация (ОЛ)

Осевая химическая неоднородность, осевая ликвация – повышенная концентрация ликвирующих примесей в сердцевине заготовки. Осевая ликвация обусловлена ликвационным обогащением центральных зон примесями. Изменение геометрии сечения непрерывнолитой заготовки (выпуклость) усиливает осевую ликвацию.

Таблица 47. Осевая ликвация (ОЛ)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на серных отпечатках (по Бауману) или на протравленных поверхностях	-повышенное содержание ликвирующих элементов в стали (S, P и др.); -повышенная температура стали в промковше; -высокая скорость разливки; -недораскисленность стали	-широкий интервал кристаллизации стали; -высокое содержание в стали неметаллических включений	-снижение в стали ликвирующих элементов; -производить разливку при минимально низкой температуре ( $10 - 15^{\circ}\text{C} > T$ ликвидуса); -использование электромагнитного перемешивание	-не поддается	-возможные макродефекты браковочного бала (расслоение готовой продукции)

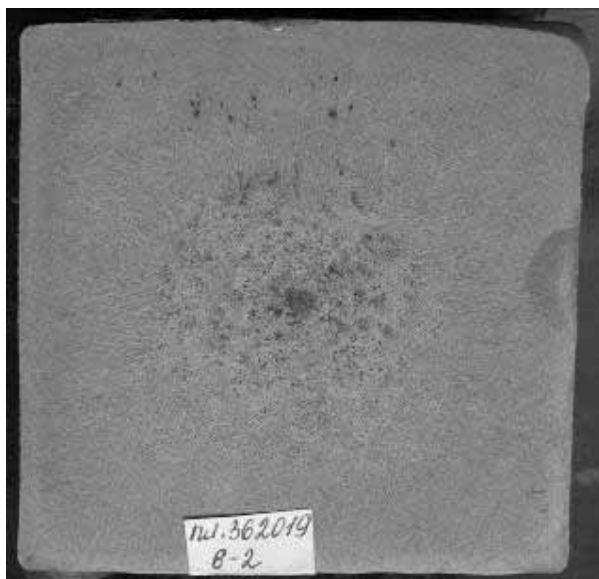


Рис.45, а



Рис.45, б

Рис. 45. Осевая ликвация

а – Травленный темплет заготовки с дефектом осевая ликвация;  
б – Серный отпечаток темплета с дефектом осевая ликвация

### 4.3. Центральная пористость (ЦП)

Центральная (осевая) пористость (ЦП) – скопление крупных и мелких пор вдоль теплового центра кристаллизации слитка в зоне встречи фронтов затвердевания, может быть рассредоточенной, представляющей собой усадочные поры небольшого сечения, разбросанные по осевой зоне, и сосредоточенной – более крупные усадочные поры, сконцентрированные по тепловому центру заготовки, которые могут образовываться в осевой зоне несплошности в виде цепочки усадочных полостей. В процессе дальнейшей прокатки несплошности, даже выходящие на торец заготовок, завариваются.

Таблица 48. Центральная пористость (ЦП)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально на шлифованном темплете	-повышенная скорость разливки и перегрев стали; -высокая температура стали и чрезмерные колебания скорости разливки; -повышенное содержание S, P, H <sub>2</sub> и др.; -широкий интервал кристаллизации стали (определяется маркой стали); - недораскисленность стали	- высокое содержание углерода в стали; -неадекватное вторичное охлаждение заготовки (переохлаждение); -неудовлетворительное состояние системы поддержания ручья	-соблюдение температурно-скоростного режима разливки; -снижение в стали S, P и неметаллических включений; -настройка режима охлаждения ЗВО; -настройка поддерживающих роликов	-не производится	-дефект исчезает при большой степени обжатия и не вызывает нежелательных последствий

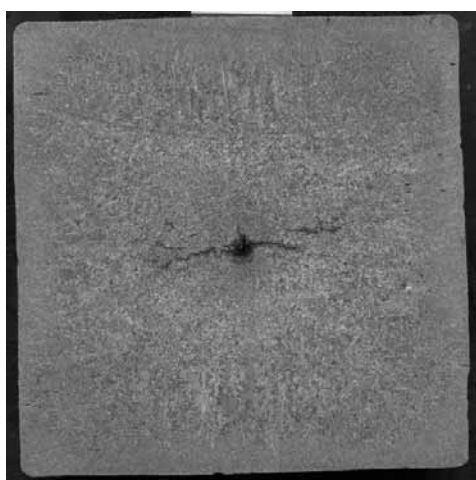


Рис.46, а

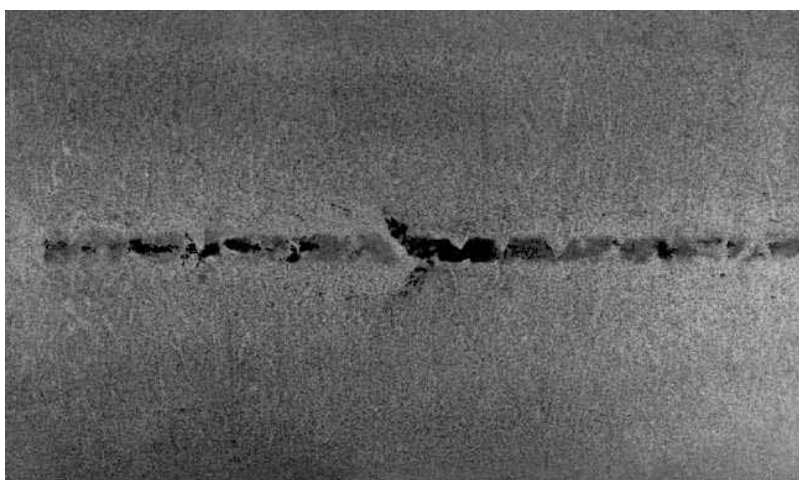


Рис.46, б

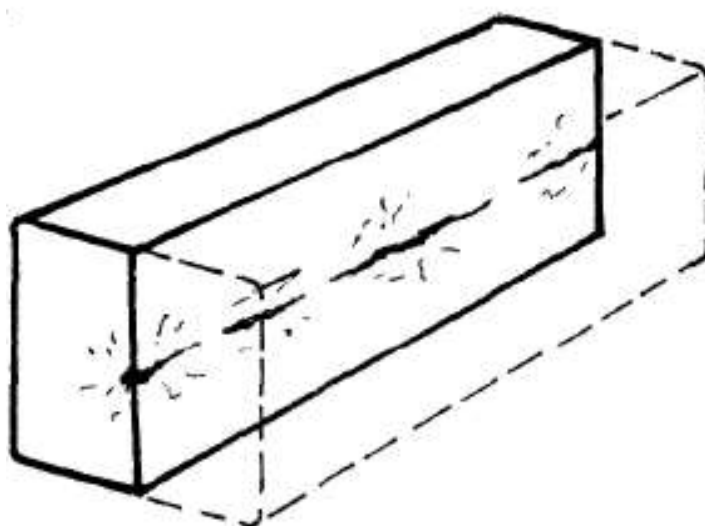


Рис.46, в

Рис. 46. Центральная пористость

а и б – Поперечный и продольный травленные темплеты заготовки с дефектом центральная пористость;  
в – Центральная пористость заготовки, схема.

## 4.4. V – образная осевая ликвация

Таблица 49. V – образная осевая ликвация

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на серных отпечатках (по Бауману) или на протравленных поверхностях	- большой перегрев над температурой ликвидуса	- низкая интенсивность вторичного охлаждения; - высокое содержание в жидкой стали: S, P, C и Mn	-уменьшение перегрева стали над температурой ликвидуса; - увеличение интенсивности вторичного охлаждения; - применение ЭМП	-не производится	Высокое содержание C в зоне сегрегации может вызвать образование твердых хрупких фаз в прокате.

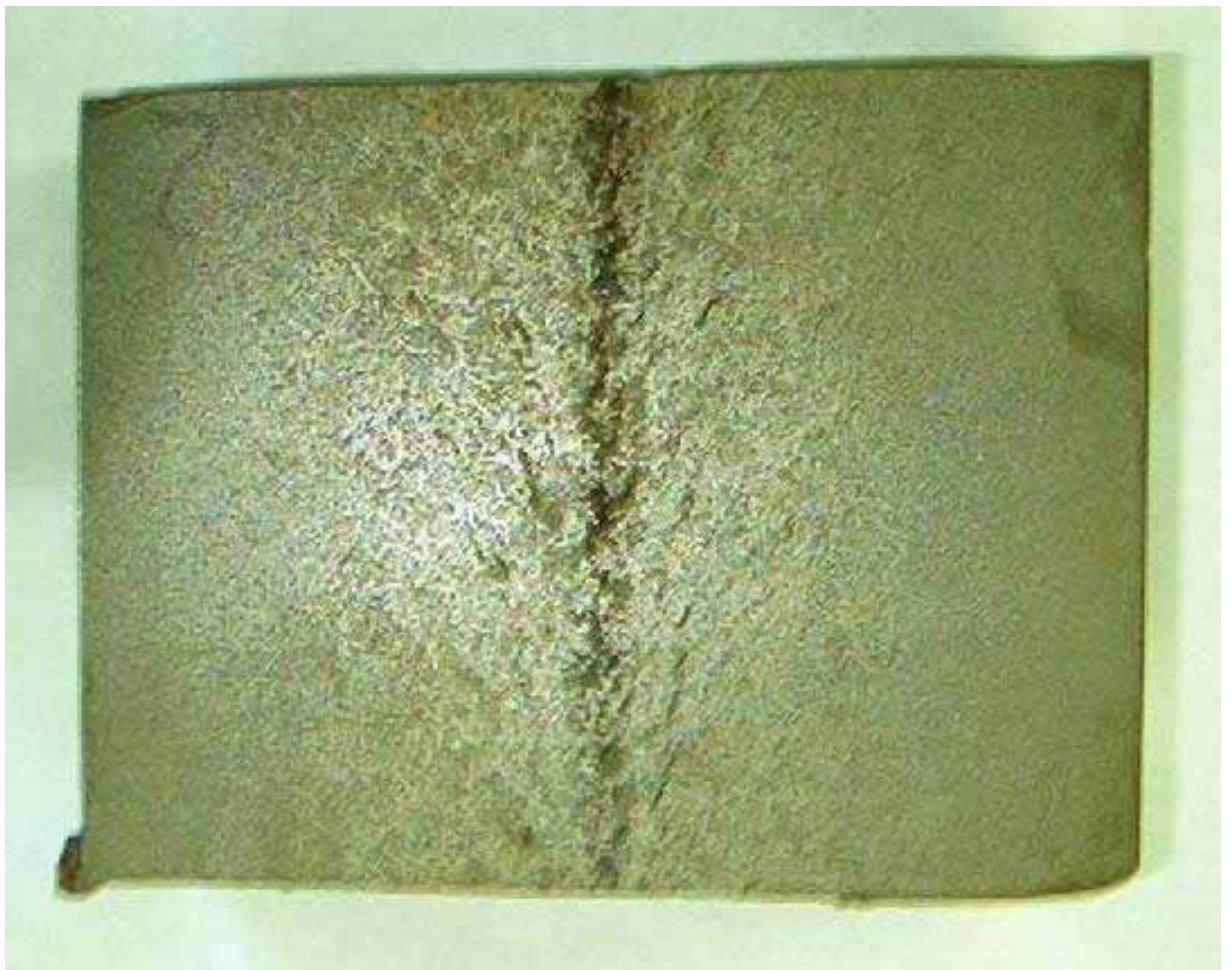


Рис. 47. Продольный травленный темплет заготовки с дефектом V-образная ликвация

## 4.5. Светлый контур (полоса) (СК)

Светлый контур – зона обратной ликвации (C, S, P, Cr и Mn), располагается параллельно граням внутри слитка частично или полностью по периметру в подкорковой или в промежуточной зонах.

Таблица 50. Светлый контур (полоса) (СК)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на протравленной поверхности макротемплета	-повышенная загрязненность стали; - сильная интенсивность перемешивания электромагнитной мешалки; -повышенная температура разливаемой стали	-вибрация и сотрясения кристаллизатора при качании	-снижение в стали S и P; -снижение интенсивности электромагнитного перемешивания; -настройка люфтов стола качания	-корректировка температурно-деформационных режимов обработки заготовки	-дефект понижает механические свойства металла

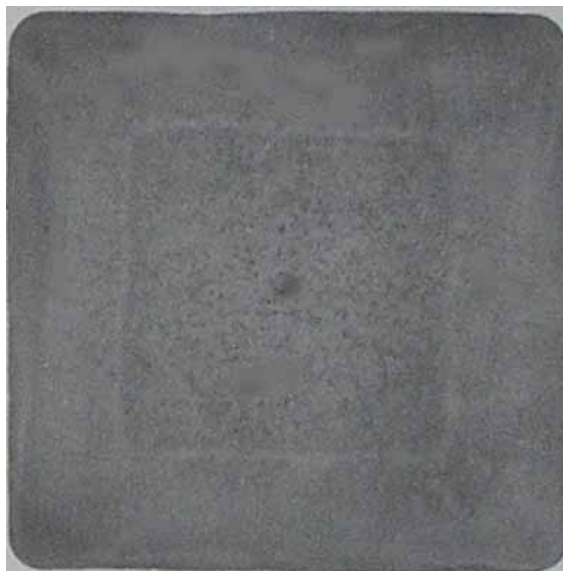


Рис. 48. Травленный темплет заготовки с дефектом светлый контур

#### 4.6. Газовые пузыри (подкорковые каналы)

Химический состав стали может стать причиной возникновения подкорковых каналов (раковин). Механизм образования подкорковых каналов такой же что и при образования перфорированных отверстий (см. пункт 3.7). Данный дефект образуется, когда давление газа в заготовке намного превышает давление 1 бар.

Таблица 51. Газовые пузыри (подкорковые каналы)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на серных отпечатках (по Бауману), после травления или при зачистке змейкой; -подкорковые каналы хорошо видны на первых отлитых заготовках и обычно исчезают после третьей заготовки	-недостаточное раскисление стали; - высокое содержание в стали газов ( $O_2$ , $N_2$ , $H_2$ ); - некачественная (влажная) ШОС для кристаллизаторов	- обдув металла кислородом в промковше; - перегретый металл; - не просушенный промковш; -использование влажных ферросплавов	-улучшение технологии раскисления стали; -вакуумирование стали; -использование сухих материалов для промежуточного ковша; -использование сухих ферросплавов	-не используется	-газовые пузыри/раковины могут раскатываться и вызывать трещины при прокатке



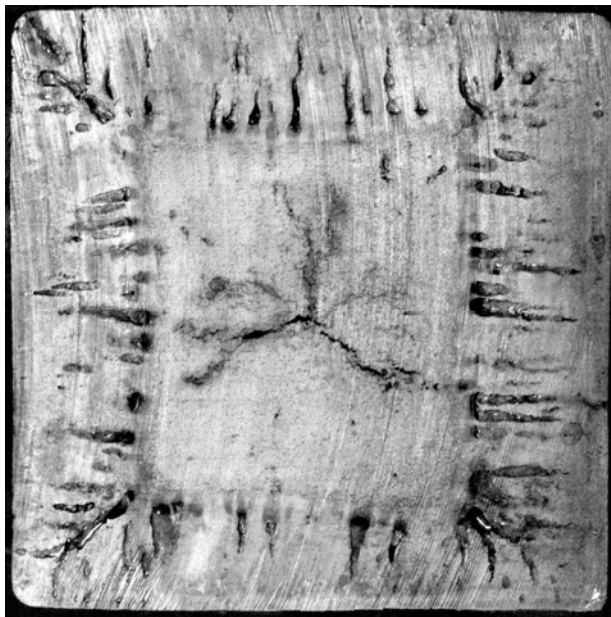


Рис.49, а



Рис.49, б

**Рис.49. Газовые пузыри и подкорковые каналы**

а - Травленный темплет заготовки с дефектами подкорковые каналы и ЛПТос;

б – Травленный темплет с дефектом подкорковые каналы.

#### 4.7. Инородные металлические макровключения

Инородные металлические макровключения выявляются в макроструктуре и представляют остатки ферросплавов и частиц нерасплавившихся металлических предметов, попавших в расплавленный металл, расположенных произвольно в заготовке и имеющих границу раздела с основным металлом.

Таблица 52. Инородные металлические макровключения

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются визуально на шлифованных и травленных темплатах	-попадание в кристаллизатор металлических предметов (холодильники, инструмент, частицы окисленного металла, скрапина и др.); -захват твердых частиц ШОС с поверхности мениска; -неполное растворение ферросплавов и легирующих в стальковше	-разливка холодного металла; - отдача ферросплавов в промежуточный ковш	-исключение попадания инородных предметов в кристаллизатор; -соблюдения температурного режима разливки	-бракуется	-раскаты, трещины, разрушение готовой продукции

#### 4.8. Краевое точечное загрязнение (эндогенные неметаллические включения)

Краевое точечное загрязнение – неметаллические включения в виде скоплений или единичных вкраплений, располагаются в поверхностных слоях слитка. Дефект определяется величиной точек-включений и плотностью их расположения в заготовке. Источниками их появления могут быть: ШОС и её расплав в кристаллизаторе с пониженной вязкостью из-за перенасыщения оксидами алюминия или другими тугоплавкими неметаллическими включениями, захватываемыми в металл быстродвижущимися потоками расплава, отслоившийся огнеупорный материал футеровки стальковша и промковша, продукты реакции стали и содержащегося в ней Al с огнеупорными материалами, продукты раскисления и вторичного окисления металла, захват струей стали тугоплавких неметаллических отложений после их отрыва от внутренней поверхности дозирующих устройств (стаканов), попадание ковшевых шлаков в кристаллизатор.

Эндогенные неметаллические включения могут состоять из: сульфидов, окисульфидов, оксидов точечных (алюмосиликатов или глинозёма), силикатов недеформирующихся (глобулей фаялита, силикатных пленок, сложных окислов), силикатов хрупкоразрушенных (сложных оксидов кремния с железом и другими элементами), шлаков, силикатов деформирующихся (пластичных, способных вытягиваться и менять форму при горячей деформации), различных шпинелей и других включений, состав которых зависит от химического состава стали и раскислителей.

В заготовках, отливаемых на криволинейных МНЛЗ, дефект в большей мере располагается по стороне малого радиуса заготовки.

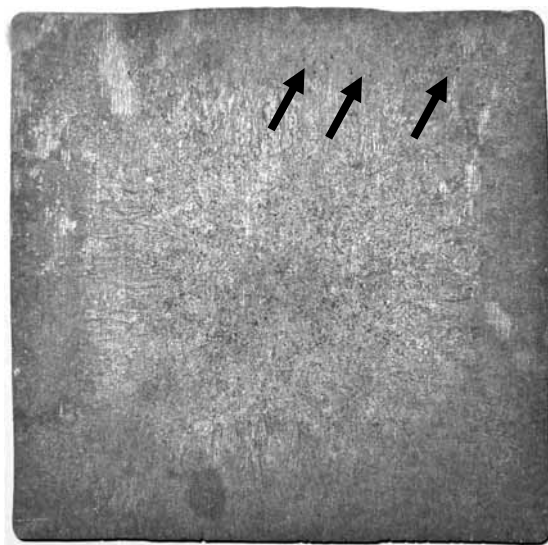


Рис. 50, а

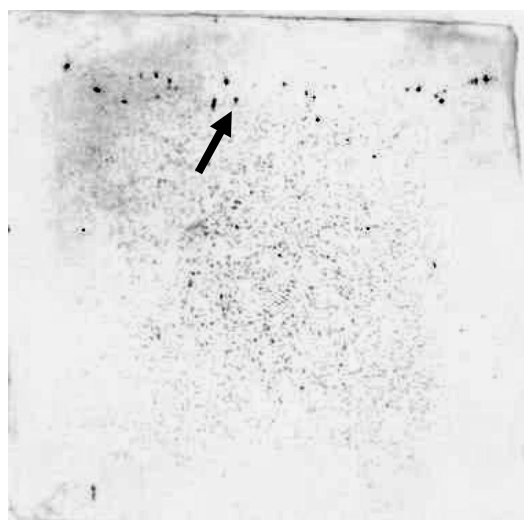


Рис. 50, б

**Рис. 50. Краевое точечное загрязнение**

а – Травленный темплет заготовки с дефектом КТЗ; б – Серный отпечаток темплета с дефектом КТЗ.



Таблица 53. Краевое точечное загрязнение (КТЗ)

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на серных отпечатках (по Бауману), после травления или при зачистке змейкой	-недораскисленный или «холодный» металл; - высокое содержание неметаллических включений в стали; - резкие колебания уровня металла в кристаллизаторе; - вторичное окисление металла; -недостаточное углубление погружного стакана по уровень металла	-высокое содержание в стали ликвирующих элементов; -неудовлетворительная внепечная обработка стали перед разливкой на МНЛЗ; - высокая вязкость расплава ШОС в кристаллизаторе; - колебания или низкий уровень металла в промковше; - эрозия огнеупоров; -неоптимальные условия для всплытия неметаллических включений в промковше	-снижение в стали неметаллических включений; -защита струи от вторичного окисления на воздухе; -уменьшение колебания уровня металла в кристаллизаторе	-не используется	-поверхностные и внутренние дефекты

#### 4.9. Экзогенные неметаллические макровключения

В макроструктуре крупные экзогенные макровключения чаще всего имеют темно-серый или черный цвет, но могут быть желто-зеленого, желтого, бурого цветов. Вокруг включений может иметь место ликвация легкоплавких элементов. Вокруг инородных макровключений в заготовке задерживается теплоотвод и в последнюю очередь кристаллизуется металл, обогащенный ликватами легкоплавких компонентов.

Таблица 54. Экзогенные неметаллические макровключения

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально на шлифованных темплетях	-попадания инородных неметаллических макровключений в кристаллизатор; -эрозия огнеупоров; -захват разливочного шлака в кристаллизатор	-внесение в металл с дефектом заворот корки	-исключение попадания в кристаллизатор инородных материалов; -использование огнеупоров высокого качества; -снижение колебания уровня металла в кристаллизаторе	-не используется	- поверхностные и внутренние дефекты

## 4.10. Развитая столбчатая структура заготовки

Большая протяженность и объем столбчатых кристаллов, и, как следствие, повышенная ликвационная неоднородность литой структуры. Дефект способствует образованию грубой осевой пористости, осевых трещин, осевой и внецентренной ликвации, а также химической неоднородности.

Таблица 55. Развитая столбчатая структура заготовки

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на протравленной поверхности макротемплета	-отклонение технологии раскисления и модифицирования стали; -отклонения в тепловом режиме разливки стали	-механическое отклонение в режиме качания стола	-настройка первичного и вторичного охлаждения МНЛЗ; -соблюдение температурно-скоростного режима разливки; -использование электромагнитного перемешивание в верхних зонах вторичного охлаждения МНЛЗ	-дополнительная температурно-деформационная обработка	-дефект может понижать механические свойства металла

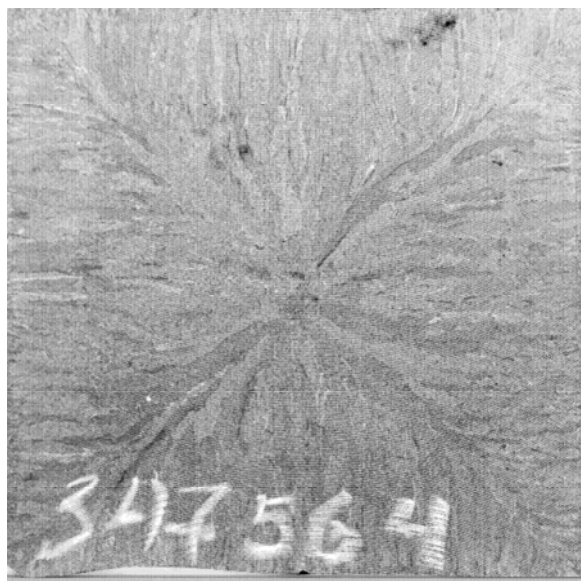


Рис. 51. Травленные макро темплеты с развитой столбчатой структурой.

## 4.11. Асимметрия кристаллических зон заготовки

Неоднородная протяженность и объем кристаллических структур в литом слитке, таких, как подкорковая зона, мелкокристаллическая зона и зона крупных столбчатых кристаллов.

Таблица 56. Асимметрия кристаллических зон заготовки

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляются на протравленной поверхности макротемплета	-отклонения в тепловом режиме разливки стали		-настройка первичного и вторичного охлаждения МНЛЗ; -соблюдение температурно-скоростного режима разливки	-дополнительная температурно-деформационная обработка	-дефект может понижать механические свойства металла



Рис. 52. Травленный макро темплет с асимметрией кристаллов заготовки

#### 4.12. Усадочная раковина

Данный дефект выявляется только на заготовках, на которых был осуществлен запуск ручья или окончена разливка ручья. В остальных случаях данный дефект схож с дефектом – центральная пористость.

Таблица 57. Усадочная раковина

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально с торцевой	-недорезанная головная или хвостовая обрезь; -неправильный вывод хвостовой части заготовки при окончании разливки (закрытие ручья)		-увеличить длину обрезки головной и хвостовой частей	-вырезается дефектная часть	-образование расслоений и снижение механических свойств

## 4.13. Флокены

Повышенная насыщенность металла водородом (более 3,0 ppm) приводит к флокенообразованию в непрерывнолитой заготовке. Повышенное содержание водорода недопустимо в стали, особенно в флокеночувствительных марках (марганцовистых, хромистых и др.), склонных к трещинообразованию. Обычно флокены образуются на крупных литых заготовках сечением более 200 мм.

Флокены представляют дефект макроструктуры в виде тонких извилистых (зигзагообразных) трещин длиной до нескольких десятков миллиметров, расположенных произвольно в разных направлениях по всему сечению проката за исключением краевой зоны, ориентированных чаще всего перпендикулярно к направлению деформации. В литой стали флокены имеют вид «светлых пятен». В одном поперечно сечении может быть от нескольких единиц до нескольких десятков флокенов.

Таблица 58. Флокены

Распознавание дефекта	Причины образования	Другие сопутствующие причины	Предлагаемые способы предупреждения	Обработка	Влияние на прокат
-выявляется визуально на шлифованном или травленном темплете	-повышенное содержание водорода (более 3,0 ppm); -элементы, увеличивающие растворимость водорода (Mo, Ni, W, Mn, Co); -элементы, понижающие температуру превращения аустенита при охлаждении (C, Mo, Ni, Si, W, B, Cr, Mn); -непрокаленные ферросплавы; -влажная шихта и сыпучие материалы	-непросушенная огнеупорная футеровка промковша; -течь кислородной фурмы в конвертере	-дегазация трещиночувствительных (флокеночувствительных) сталей; -замедленное охлаждение заготовок в ямах, колодцах или укрытие футерованным колпаком литых заготовок; -проведение противо флокеновой обработки (выдержка заготовок при постоянной температуре в течение длительного времени)	-флокены могут быть зачищены и заварены или продукцию бракуют	-снижаются механические свойства; -появление трещин в околосварной зоне в сварных соединениях; -плёны зигзагообразные

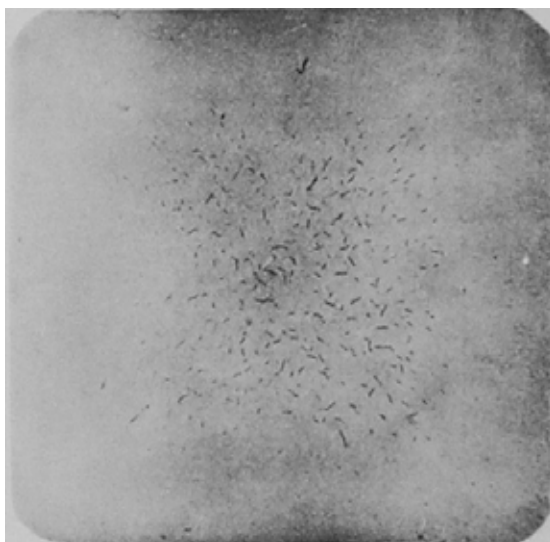


Рис. 53, а

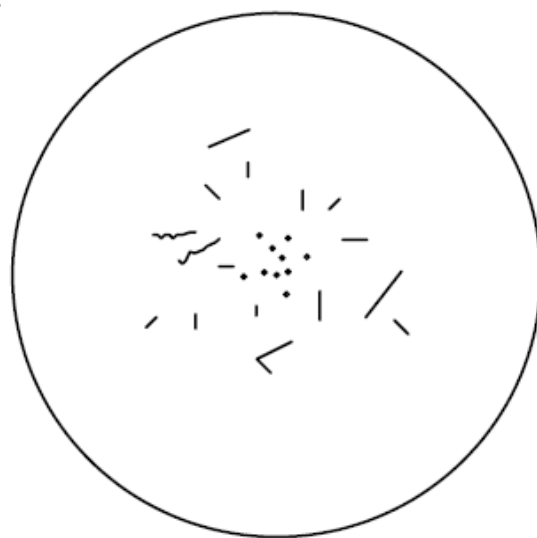


Рис. 53, б

**Рис. 53. Флокены**

- а – Травленный темплет с дефектом флокены;
- б – Флокены в круглой непрерывнолитой заготовки, схема.

## 5. Прорывы кристаллизующейся корочки на непрерывнолитых заготовках

Основной проблемой непрерывной разливки сортовых заготовок является образование прорывов жидкого металла через кристаллизующуюся корочку металла. Определение истинной причины прорыва позволяет в дальнейшем уменьшить и даже исключить количество прорывов.

Обычно прорывы корочки подразделяют на четыре типа:

1. Охлаждения;
2. Подвисяния;
3. Шлаковый;
4. Стартовый (на запуске ручья).

**Прорывы охлаждения** можно распознать по «чулку» (полая заготовка), поскольку прорыв оболочки проявляется в виде трещины, расположенной близко от угла заготовки (продольная трещина) рис. 54. В некоторых случаях возможно образование продольной трещины по центру грани заготовки. Недостаточное охлаждение заготовки приводит к образованию тонкой оболочки, прочность которой не выдерживает ферростатического давления столба жидкого металла и термических напряжений, создаваемых во время кристаллизации, что приводит к прорыву.



Рис. 54. «Хвост» ручья после прорыва охлаждения в ЗВО по продольной трещине

Основные места прорывов охлаждения: под кристаллизатором и в верхних зонах ЗВО. Очень редко прорывы охлаждения происходят в нижних зонах ЗВО, так как в этих зонах оболочка достаточно толстая.

Недостаточное охлаждение может также происходить от избыточной скорости разливки или температуры в промковше, создавая физическую невозможность извлечения тепла из кристаллизатора. Недостаточное охлаждение гильзы

кристаллизатора может быть вызвано следующим: слабым давлением и слишком высокой температурой воды на входе; присутствием осадков оксидов, жиров или карбонатов на внешней стороне гильзы; неправильной центровкой гильзы внутри водяной рубашки. Недостаточное охлаждение в ЗВО может быть вызвано засором форсунок, неправильным направлением сопел форсунок на заготовку. Вероятность прорыва охлаждения будет увеличиваться в результате низкого отношения в металле  $[Mn]:[S]$  (обычно ниже 22).

Снижение прорывов охлаждения на высокоскоростной сортовой МНЛЗ является комплексной задачей соблюдения скоростного режима разливки, выдерживания отношения  $[Mn]:[S]$  более 22 и обеспечения равномерного охлаждения заготовки в кристаллизаторе и зонах вторичного охлаждения.

**Прорывы подвисяния** происходят под кристаллизатором. Прорывы подвисяния образуются в результате прилипания кристаллизующейся корочки металла к поверхности охлаждаемой гильзы, последующего растягивания прилипшей корочки при вытягивании заготовки, приводящего к образованию поперечных трещин, по которым происходит разрыв под кристаллизатором. Прорыв из-за подвисяния происходит в момент движения стола качания вверх. При таком прорыве в кристаллизаторе остается часть заготовки, так называемый «чулок», извлечение которого приводит к деформации рабочей поверхности гильзы кристаллизатора. Поэтому прорывы подвисяния влияют на увеличение отбраковки гильз из-за образования задиров (рисок) и износа рабочей поверхности. Известно, что износ гильзы в области мениска более 1 мм уже является критическим для обеспечения безаварийной высокоскоростной разливки стали на сортовой МНЛЗ.

Для установления причины подвисяния необходимо анализировать «чулок» на наличие поверхностных дефектов. Еще одна сложность в данных прорывов состоит в том, что при прорыве под кристаллизатором «чулок» остается в кристаллизаторе, то есть создаются трудности по переподготовке ручья к перезапуску.

Основные причины подвисяния (рис. 55, 56 и 57): деформация гильзы, недостаточная или неравномерная смазка рабочей поверхности гильзы маслом (для открытой струи) или ШОС (разливка через погружной стакан под уровень металла), низкая температура вспышки масла, скрапина на поверхности гильзы, неправильная работа механизма качания, неверно выбранные параметры качания (частота, амплитуда).

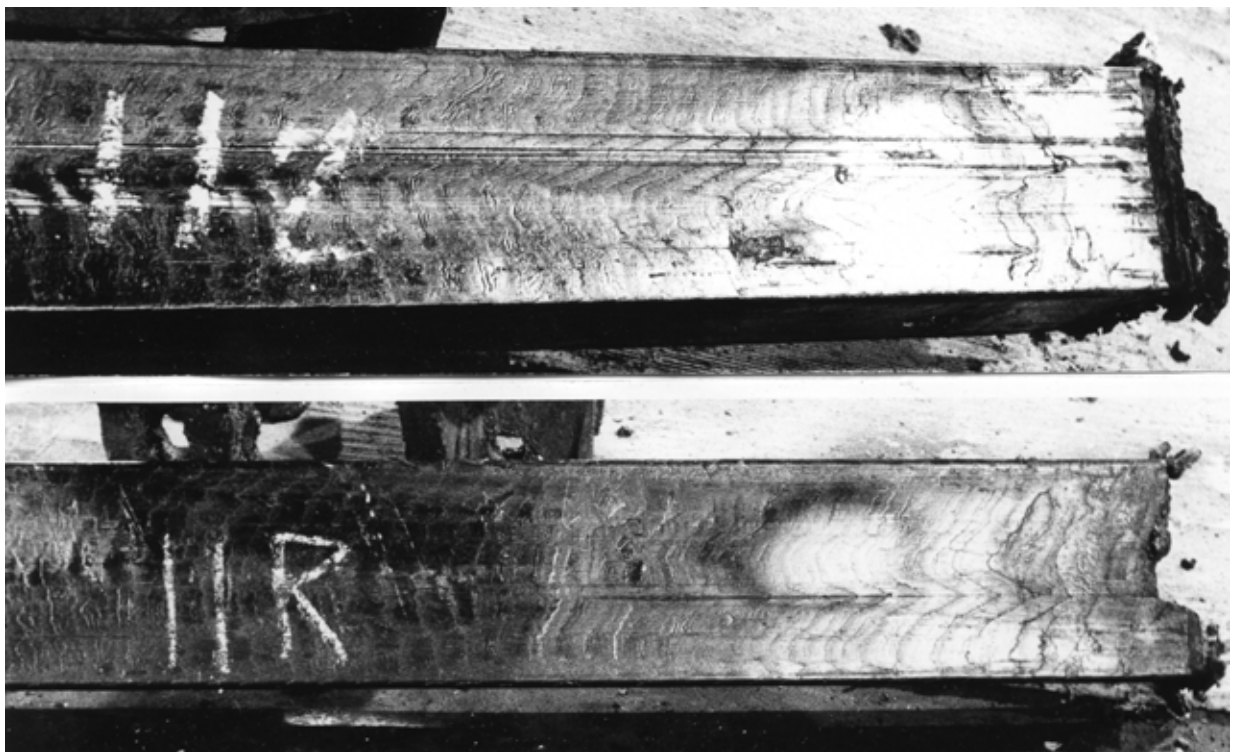
Для исключения подвисяния заготовки в кристаллизаторе из-за деформированной гильзы производится ревизия гильз через например, каждые 100-

120 плавков на специализированном участке по ремонту кристаллизаторов. Это мероприятие позволяет своевременно выводить гильзы из работы. Причины вывода гильз из работы:

- износ в нижней части (на выходе из кристаллизатора) более 1,5 % от первоначального размера стороны гильзы;
- разница между диагоналями более 1,5 мм;
- грубые задиры, вмятины, раковины глубиной более 1 мм на уровне мениска;
- явные грубые дефекты или пористость на внутренней поверхности;
- явно выраженная боковая деформация гильзы;
- изношенное закругление угла (в поперечном сечении гильзы).

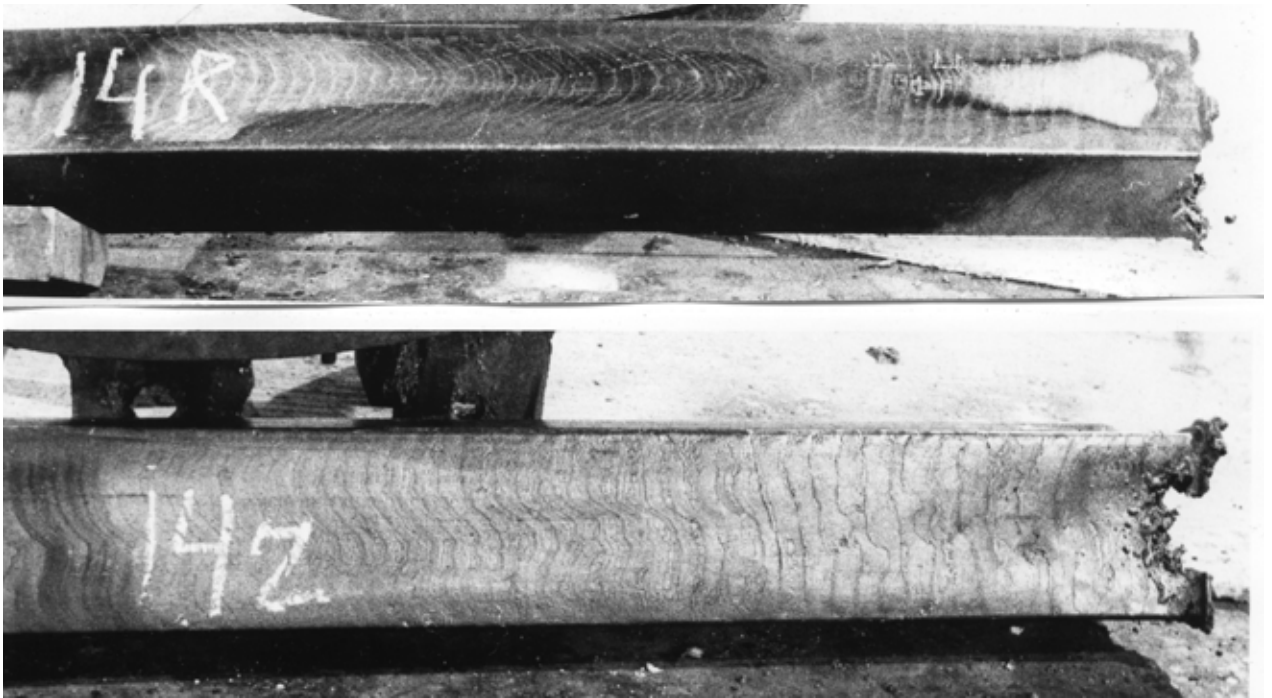


**Рис. 55. Извлеченный «чулок» из кристаллизатора после прорыва подвисяния из-за деформированной гильзы**



**Рис. 56. Подвисяние из-за задиrow на гильзе в области мениска**





**Рис. 57. Разливка перегретого металла на 45°С от температуры ликвидуса и неверная конусность гильзы привели к подвисанию слитка в кристаллизаторе**

Подача масла для смазки гильзы производится через верхний фланец кристаллизатора. Для равномерной подачи масла по всему периметру во время подготовки МНЛЗ к запуску производится чистка масляных каналов от брызг металлов и копоти.

Для исключения использования некачественного масла производится анализ каждой поставляемой партии на такие параметры: вязкость, температура вспышки, содержание влаги и летучих веществ.

Выбор параметров качания кристаллизатора осуществляли путём оптимизации времени опережения. Время опережения – определяется превышением скорости движения кристаллизатора скорости движения заготовки (скорость разливки). На современных сортовых МНЛЗ используют гидравлические столы качания кристаллизатора, с помощью которых во время разливки можно изменять частоту и амплитуду качания. Для расчета времени опережения ( $t$ ) использовать следующую формулу:

$$t = \frac{1}{\pi \cdot \frac{f}{60}} \cdot \arccos \left( \frac{V}{\frac{A}{1000} \cdot \pi \cdot f} \right), \text{ с}$$

где  $f$  – частота качаний, 1/мин;

$V$  – скорость разливки, м/мин;

$A$  – амплитуда хода стола качания, мм

Опытно было установлено, что при времени опережения менее 0,09 секунд происходит подвисяние заготовки в кристаллизаторе, а при более 0,20 секунд качество поверхности НЛЗ ухудшается из-за грубых следов качания. Поэтому необходимо устанавливать выдержку времени опережения в интервале от 0,09 до 0,20 секунды.

Разливка стали открытой струей через стаканы-дозаторы часто приводит к выплескам и разбрызгиванию металла из кристаллизатора, в результате чего происходит забрызгивание рабочей поверхности гильзы. Образование скрапин препятствует равномерной смазке гильзы и увеличивает вероятность прилипания кристаллизующейся корочки к гильзе. Для снижения разбрызгивания металла из кристаллизатора рекомендуется применять такие мероприятия, как улучшение организации струи металла из промковша в кристаллизатор за счет использования качественных огнеупорных стаканов-дозаторов (с высокой стойкостью к износу), центровки верхних стаканов в промковше относительно реального расположения кристаллизаторов на МНЛЗ. Хорошо организованная струя снижает колебание уровня металла в кристаллизаторе. Все это в совокупности уменьшает вероятность подвисяния слитка в кристаллизаторе МНЛЗ.

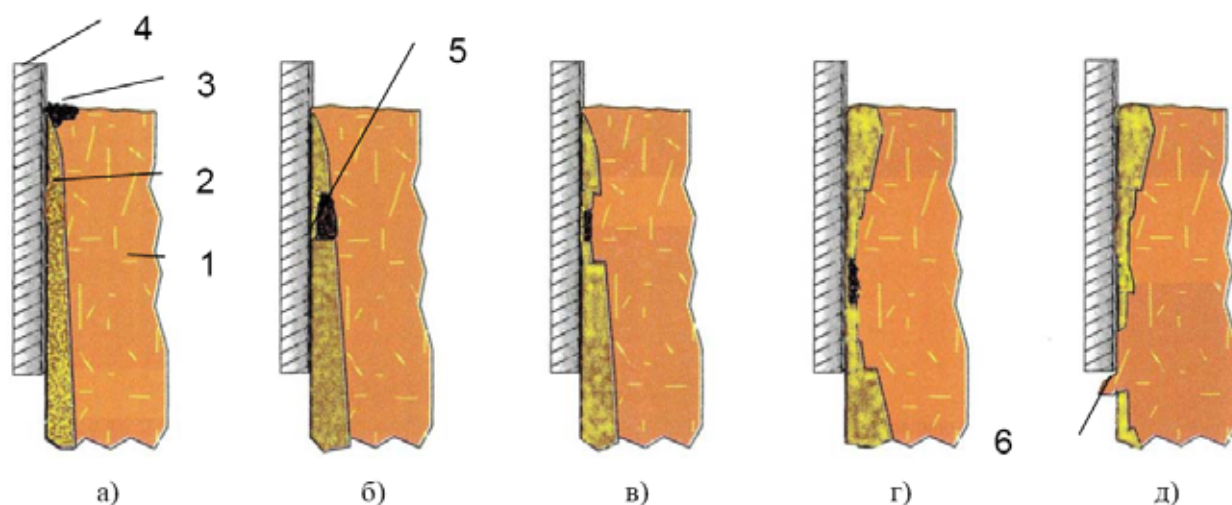
**Прорывы «по шлаку»** происходят при несоблюдении оптимального отношения  $[Mn]:[Si]$  в жидкой стали (зависит от марки стали см. таблицу 59), а также при разливке с низким уровнем металла в промковше (затягивание частиц шлака в стаканы-дозаторы), с низким качеством огнеупоров (быстрая эрозия футеровки). Основная зона прорывов «по шлаку» - это ЗВО под кристаллизатором. Обычно при данных прорывах на поверхности корочки образуются «дыры», через которые вытекает жидкий металл из тела слитка.

Таблица 59. Рекомендуемые оптимальные отношения  $[Mn]:[Si]$  для разливки открытой струей на сортовой МНЛЗ [8]

Марка стали	Среднее содержание углерода в металле, мас. %	Рекомендованное отношение $[Mn]:[Si]$ с целью снижения вероятности шлакового прорыва для разливки открытой струей
SAE1008, SAE1006, сталь 3	0,08	не менее 3,0
25Г2С	0,27	не менее 2,5
35ГС	0,35	не менее 2,0

Разливка «открытой струей» сталей разных марок приводит к образованию на мениске в кристаллизаторах твердого конгломерата, состоящий из продуктов раскисления и вторичного окисления металла. Значительное увеличение объема твердого конгломерата приводит к шлаковым прорывам кристаллизующейся корочки металла под кристаллизатором. Установлено [8], что образование конгломерат зависит от степени раскисленности, то есть от содержания кислорода в металле (от активности кислорода в металле), а от отношения  $[Mn]:[Si]$  зависит агрегатное состояние фазы (твердая или жидкая). Механизм шлаковых прорывов представлен на рис. 58.

Образовавшиеся твердые конгломератные включения на мениске металла в кристаллизаторе (рис. 58 – а) контактируют с корочкой металла. Значительное скопление этих включений на мениске металла и качание кристаллизатора приводит к прилипанию их к корочке заготовки (рис. 58 - б), то есть на оболочке заготовки зарождается аномальная (дефектная) корочка. Скорость роста дефектной корочки при дальнейшем прохождении кристаллизующейся заготовки через кристаллизатор (рис. 58 – в и г) отличается от скорости роста остальной, без оксидных отложений, корочки. Разнотолщинность поверхностной корочки приводит к образованию прорывов под кристаллизатором (рис. 58 - д) на дефектном участке под воздействием ферростатического давления жидкого металла внутри заготовки.



**Рис. 58. Схема образования шлакового прорыва из-за твердых включений на мениске металла:**

1 – жидкий металл; 2 – корочка металла; 3 – конгломератное включение на мениске металла; 4 - кристаллизатор; 5 – дефектная корочка с оксидным конгломератом; 6 – прорыв металла под кристаллизатором на выходе дефектной корочки из кристаллизатора.

Согласно рекомендации зарубежных технологов фирм «DANIELI» и «SMS CONCAST», отношение содержаний марганца и кремния в металле, идущем на разливку, должно быть не менее 3, так как при более низком отношении в результате реакции раскисления и последующей трансформации образуются твердые

конгломераты оксидных соединений, а при отношении  $[Mn]:[Si] \geq 3,0$  – легкоплавкие соединения, не прилипающие к корочке металла. Из диаграммы состояния  $MnO-SiO_2$  следует, что с увеличением содержания  $SiO_2$  с 45 мас.% до 55 мас.% температура кристаллизации расплава  $MnO-SiO_2$  увеличивается с 1400 до 1705 °С с выделением твердой фазы в виде кристобалита. То есть, соблюдение оптимального отношения  $[Mn]:[Si]$  позволяет получать легкоплавкие и легкоудаляемые из стали включения, избежав при этом интенсивного выделения твердых включений, образовавшихся при раскислении стали и вторичном окислении на струе при разливке и в кристаллизаторе на мениске. Постольку увеличение отношения  $[Mn]:[Si]$  приводит к увеличению содержания  $MnO$  в равновесной оксидной фазе, можно полагать что отношение  $[Mn]:[Si]$  в металле корректирует составы неметаллических включений.

Было установлено [8], что для обеспечения процесса непрерывной разливки низкоуглеродистой стали открытой струей при отношении  $[Mn]:[Si]$  от 2,5 до 3 без образования твердых неметаллических включений на мениске металла и, соответственно, без шлаковых прорывов необходимо:

- для низкоуглеродистых сталей раскисление на сливе из печного агрегата производить вначале вторичным алюминием;
- разливку производить с обязательной установкой защитной трубы на шибер стальковша с заглублением ее в металл в промковше для снижения вторичного окисления;
- обновлять шлак в промковше путем скачивания отработанного шлака и наведения нового с использованием специальной шлакообразующей смеси.

Образующиеся жидкие включения уносятся в литую заготовку со стороны малого радиуса. Данные включения обнаруживаются во внутреннем дефекте НЛЗ – краевое точечное загрязнение (КТЗ, п. 4.8).

В результате проведенного термодинамического моделирования отношения марганца к кремнию для металла, который разливается открытой струей, было установлено следующее [8]:

1. На образование шлакового прорыва влияет состав металла: содержание углерода, кислорода и остаточного алюминия.
2. Установлено, что шлаковые прорывы под кристаллизатором при разливке стали открытой струей связаны с образованием твердого конгломерата на мениске металла в кристаллизаторе. Термодинамические расчеты и практика разливки металла показывает, что избежать образования твердого конгломерата на мениске металла можно, если отношение  $[Mn]:[Si]$  будет не ниже 2,5 при концентрации углерода в стали не менее 0,10 мас. %.

3. В зависимости от содержания углерода, кислорода в металле и остаточного алюминия возможно образование либо жидких шлаковых, либо твердых кремнеземистых образований на поверхности металла в результате взаимодействия металла с атмосферой воздуха и снижения температуры у стенки кристаллизатора. Увеличение содержания марганца в металле способствует снижению тугоплавкости силикатных образований.

**Прорывы на запуске ручья.** Эти прорывы происходят, как правило, в первые секунды разливки после запуска ручья (15...25 секунд). Место стартового прорыва – под кристаллизатором.

Запуск ручья на МНЛЗ производится автоматически, то есть после наполнения металлом кристаллизатора автоматика включает смазку (подачу масла или ШОС), вытягивание слитка, качание и охлаждение в ЗВО.

В результате анализа работы сортовых и блюмовых МНЛЗ было установлено, что пусковые прорывы происходят из-за:

- «неправильной» работы стола качания в момент запуска ручья;
- несоответствия стартовой скорости диаметру разливочного стакана (переливы, приводящие к прилипанию кристаллизующейся корочки на гильзе);
- неправильная центровка стакана-дозатора или погружного стакана относительно кристаллизатора;
- нарушения геометрии гильзы кристаллизатора;
- перегрев металла на 45°С выше температуры ликвидуса;
- неправильной подготовки головки затравки (уход металла между кристаллизатором и затравкой рис. 59);
- необеспеченность равномерной смазки гильзы маслом или ШОС в момент запуска ручья;
- отклонения технологической оси ручья.



Рис. 59, а



Рис. 59, б



Рис. 59, в

**Рис. 59. Прорыв на запуске ручья сортовой МНЛЗ**

- а – Прорыв металла между затравкой и кристаллизатором;
- б – Нижняя часть кристаллизатора после стартового прорыва;
- в – Головка затравки после стартового прорыва.

**Вероятность прорывов увеличивается в следующих случаях:**

1. Повышенная температура разливки (перегрев над температурой ликвидуса выше 45°C) и скорость разливки больше рекомендованной.

2. Присутствие в металле вредных примесей (S, P, Cu, Sn и др.) изменяют механические свойства стали, снижая способность оболочки выдерживать термические напряжения.

3. При неотцентрированной установке разливочного стакана относительно кристаллизатора, т.е. струя бьет на стенку кристаллизатора. Вымывающее действие ручья создает более тонкую, а значит, менее прочную оболочку.

4. Изношенные гильзы, а также гильзы, имеющие задиры на рабочей поверхности (особенно в области мениска), создают аномальные (неоднородные) условия передачи тепла.

5. Неверно выставлены поддерживающие ролики под кристаллизатором.

## 6. Гильзы кристаллизаторов МНЛЗ

Конечным продуктом отдельно взятого процесса непрерывной разливки стали, является литая заготовка. И именно литая заготовка является объектом, возможным носителем различных дефектов, рассмотренных выше. Заготовка как продукт процесса имеет свои свойства, такие как: геометрические размеры и внутренняя структура, которые, подвергаясь механическим, физическим и химическим воздействиям, как внешним, так и внутренним, приобретают некоторые свойства, ухудшающие те или иные предсказуемые и программируемые характеристики продукта. Это и есть – дефекты [9 и 10].

Узлом МНЛЗ, в котором жидкая сталь приобретает свойства конечного продукта – геометрическую форму и внутреннюю структуру, является кристаллизатор. В подавляющем количестве случаев, работа кристаллизатора прямо или косвенно влияет на зарождение, формирование и развитие дефектов.

Развитие технологии непрерывной разливки стали и ее широкое применение способствовало превращению кристаллизаторов из простых изложниц для жидкой стали в принципиальный технологический компонент, необходимый для достижения требуемых объемов производства и высокого качества продукта. Выбор из постоянно совершенствующихся материалов, увеличивающих срок эксплуатации изделий и улучшающих их теплообменные свойства, совместно со знаниями оптимальных форм сделал кристаллизатор высокотехнологичным продуктом. Характеристики кристаллизатора как изделия являются индивидуальными для каждой отдельно взятой МНЛЗ, и, таким образом, он должен проектироваться и разрабатываться в тесном сотрудничестве с конечным потребителем.

Главной деталью кристаллизатора сортовой МНЛЗ, несомненно, является медная гильза. Именно в неё попадает поток жидкой стали и именно в ней сталь начинает кристаллизоваться (затвердевать), приобретая материальные характеристики кристаллизующейся корочки заготовки:

- геометрические (сечение, поверхность, ребра);
- физико-химические (макро- и микроструктура, гомогенность и сегрегация).

Конструкция гильзы, правильный выбор материала и подбор оптимальных рабочих параметров – позволяют улучшить качество продукта – непрерывно литой заготовки. Пренебрежение указанными факторами может привести к полной остановке производства непрерывнолитых заготовок.

Проектирование гильзы – очень ответственный процесс. Он начинается с постановки задачи конечным потребителем:

- разливаемый типоразмер;
- марочный сортамент;
- производительность (скорость разливки).

Решая эти задачи, выбирается конструкция МНЛЗ: реже горизонтальная и вертикальная, чаще криволинейная и радиальная. Определив тип конструкции, определяется и тип кристаллизатора, а вместе с ним и тип гильзы. Конструкция гильзы является совокупностью связанных между собой параметров и требований, соединенных в одном изделии. Среди главных характеристик конструкции гильзы, можно выделить следующие:

1. Геометрические размеры и внешние конструктивные особенности:

- а) Форма и размеры сечения: круг, квадрат, прямоугольник, многогранник и др.
- б) Длина: короткая, удлиненная или др.

Проектируется с учетом:

- скорости разливки;
- марочного сортамента;
- параметрами охлаждения кристаллизатора;
- конструкцией кристаллизатора.

в) Кривизна: прямая, радиальная или др.

Проектируется с учетом:

- конструкции и типом МНЛЗ ;
- конструкции кристаллизатора.

г) Толщина стенок:

Проектируется с учетом:

- разливаемого типоразмера;
- скорости разливки;
- параметрами охлаждения кристаллизатора;
- конструкции кристаллизатора.

д) Наличие на внешней поверхности фасок, выемок и т.д.

Проектируется с учетом:

- конструкции кристаллизатора (места установок фланцев, датчиков, фиксаторов и т.д.);
- параметрами охлаждения кристаллизатора.



## 2. Внутренняя геометрия (профиль):

а) Конусность: прямая, одноконусная, многоконусная, параболическая или др.

Проектируется с учетом:

- типоразмера разливаемой продукции;
- скорости разливки;
- марочного сортамента;
- параметрами охлаждения кристаллизатора;

б) Радиус закругления внутренних углов.

Проектируется с учетом:

- типоразмера разливаемой продукции;
- марочного сортамента;
- скорости разливки.

Для обеспечения оптимальной эксплуатации гильзы кристаллизатора должны сохранять свои начальные характеристики на средних рабочих температурах как можно дольше, и, самое главное, должны иметь хорошую теплопроводность.

Термическое напряжение, которому подвержена нагреваемая поверхность кристаллизатора в зоне мениска, приводит к более или менее быстрой и неизменной деформации, что значительно снижает срок его эксплуатации. Эти деформации напрямую связаны с температурными уровнями внутри кристаллизатора и с разностью температур между горячими и холодными поверхностями, между зоной мениска и нижней зоной гильзы. Подходящее решение для каждого из возможных условий эксплуатации зависит от правильного выбора материала.

Практически все производители гильз в мире, используют сходные материалы и сплавы, на основе меди. В настоящее время наиболее распространенной продукцией в России и за рубежом являются гильзы фирмы «EM Moulds» (Италия), в основном за счет высокого качества производимых гильз. Материалы по классификации фирмы «EM Moulds» имеют следующие характеристики, которые представлены в таблице 60.

### **ММ1 – CuDHP** (медь раскисленная фосфором)

Качества этого материала хорошо известны. DHP медь до сих пор наиболее широко используемый материал в производства гильз кристаллизаторов для непрерывного литья заготовок, в случае когда термические потоки умерены и толщина стенки гильзы не велика. Это свойственно для разливки мелкосортной заготовки, где давление жидкой стали на стенки гильзы не столь высокое.

Таблица 60. Классификация материалов для кристаллизаторов МНЛЗ [9]

Материалы	<b>MM1 (CuDHP)</b>	<b>MM2 (CuAg)</b>	<b>MM3 (CuCrZr)</b>	<b>MM8 (CuNiP)</b>
Химический состав материала (мас. %)	P 0,015÷0,040	Ag 0,08÷0,12 P 0,004÷0,012	Cr 0,30÷1,20 Zr 0,03÷0,30	Ni 0,47÷0,53 P 0,0900÷0,0115
<b>Физические характеристики</b>				
Коэффициент термического расширения (K <sup>-1</sup> ) (при 20°C)	1,68×10 <sup>-5</sup>	1,68×10 <sup>-5</sup>	1,70×10 <sup>-5</sup>	1,68×10 <sup>-5</sup>
Теплопроводность [W/(m*K)] (при 200C)	340	377	325	284
Электропроводность [%IACS]	83	93	80	70
Температур рекристаллизации (°C)	330	370	700	600
Температура размягчения (°C)	-	-	500	400
Модуль Юнга (МПа)	1,2×10 <sup>-5</sup>	1,2×10 <sup>-5</sup>	1,3×10 <sup>-5</sup>	1,2×10 <sup>-5</sup>
<b>Механические характеристики</b>				
Предел прочности на разрыв [МПа] (при 20°C)	295	300	415	335
Предел прочности на разрыв [МПа] (при 200°C)	-	245	385	310
0,2 точка Елда [МПа] (при 20°C)	270	275	340	320
0,2 точка Елда [МПа] (при 200°C)	-	230	320	280
Удлинение [%] (при 20°C)	20	18	20	18
Твердость по Бринелю [НВ] (при 200°C)	93	95	125	115
Применение	гильзы сортовых и блюмовых МНЛЗ	гильзы сортовых и блюмовых МНЛЗ; плиты слябовых и блюмовых МНЛЗ	гильзы сортовых и блюмовых МНЛЗ; плиты слябовых и блюмовых МНЛЗ	гильзы сортовых и блюмовых МНЛЗ; плиты слябовых и блюмовых МНЛЗ

### **MM2 – CuAg** (медь с серебром)

Добавление 0,10 мас.% серебра в медь повышает температуру рекристаллизации примерно на 100°C. Благодаря своим особым качествам, этот сплав используется в производстве гильз для разлива среднесортной заготовки, где температура у мениска достигает и превышает 300°C. Такая высокая температура объясняется высокоактивными тепловыми потоками внутри кристаллизатора и толстыми стенками, способными выдержать высокое давление расплавленной стали. Тот факт, что данный материал сохраняет свою начальную твердость, НВ>80, на протяжении долгого времени при температуре 300°C, широко применять его для гильз, используемых в специальных условиях, таких как длительные серии плавок, высокая

скорость разливки, не оптимальные условия охлаждения, высокий перегрев стали над температурой ликвидуса и другие.

### **MM3 – CuCrZr (медь-хром-цирконий)**

Для улучшения механических характеристик медных сплавов с высокой теплопроводностью при высоких температурах, эксперты все больше предлагают использовать структурно уплотненные сплавы.

Основными элементами, используемыми в этих медных сплавах являются: Be, Cr, Co, Cd, Fe, Mg, Mn, Ni, Nb, P, Si, Sn, Ti, Zr – их содержание в сплаве зависит от возможной температуры при эксплуатации. Существует множество сплавов, которые можно получить при насыщении меди этими элементами, но результаты не всегда совместимы с реальными условиями производства, такими как чистота окружающей среды, стоимость конечной продукции, высокие потери теплопроводности. Таким образом, число сплавов, применяемых на практике, достаточно ограничено. Процент пригодных сплавов так же ограничивается необходимым балансом между твердостью и теплопроводностью. Сплав меди, хрома и циркония удовлетворяет всем этим требованиям и, более того, используется потому, что сохраняет свою твердость долгое время при высоких температурах. Такие условия чаще всего встречаются при разливке больших сечений, где очень трудно добиться оптимальных условий охлаждения вследствие высокоактивных тепловых потоков внутри кристаллизатора и толстой стенкой гильзы, выдерживающей очень высокое давление жидкой стали. Самая большая в мире гильза, диаметром 700 мм, была изготовлена «EM Moulds» именно из этого сплава.

### **MM8 – CuNiP (медь-никель-фосфор)**

Такой сплав дает возможность правильно комбинировать теплопроводность и механическую стойкость при высоких температурах, что позволяет минимизировать проблемы с перепадами температуры по всему периметру кристаллизатора. Это неоспоримое преимущество для затвердевания без чрезмерного теплового напряжения, как в затвердевающей корочке, так и в самом кристаллизаторе. Умеренная теплопроводность вышеупомянутого сплава значительно снижает критическую фазу стадии охлаждения, которая, как правило, связана с тремя факторами: толщиной слоя смазки, термическим потоком и усадкой твердой корочки. В результате, устраняется возможность теплового удара и трещин на поверхности. Такой материал получил наибольшее распространение для производства гильз, предназначенных для разливки специальных сталей.

Очень большое значение на стойкость гильзы кристаллизатора, и как следствие на качество конечной продукции, оказывает наличие защитного покрытия (слоя) на рабочей поверхности гильзы. Традиционно для такого покрытия используется хром. Толщина покрытия у разных производителей, варьируется от 0,1 мм до 1,0 мм. Но толщина слоя хрома еще не гарантирует улучшения эксплуатационных качеств. Если сравнивать коэффициент термического расширения и теплопроводность хрома и любого базового материала, то можно увидеть, что слой хрома испытывает механическое давление не только со стороны жидкой стали, но и со стороны расширяющейся меди. А увеличение толщины слоя хрома лишь ухудшает его относительную теплопроводность, вызывая еще большее внутреннее напряжение слоя, что ведет к активизации трещинообразования в хроме.

Специальные покрытия для гильз кристаллизаторов **EM NC** (EM никель-хром)

Для улучшения эксплуатационных характеристик своих гильз, фирма «EM MOULDS» предлагает своим потребителям свои усовершенствованные покрытия для гильз: EM NC - (никель – хром).

Покрытие EM NC для медных гильз кристаллизатора состоит из двух слоев: слоя никеля и слоя хрома. На медную поверхность гильзы, которая нагревается в процессе разлива, наносится слой никеля; а уже на этот слой наносится хром. Это новое покрытие способствует предупреждению образования трещин в хромовом покрытии, особенно в зоне мениска. В действительности никель имеет коэффициент теплового расширения в два раза больше, чем у хрома. Поэтому никелевый слой покрытия может выдержать большее расширение меди, которое происходит в зоне мениска во время процесса разлива. Сравнительные эксплуатационные испытания на нескольких заводах подтвердили значительное повышение среднего показателя стойкости гильз кристаллизатора с нанесенным на них EM NC покрытием в сравнении с гильзами с обычным хромовым покрытием.

**EM ECC** (EM покрытие, усиленное в углах)

Вывод из эксплуатации гильзы кристаллизатора происходит в основном по причине износа внутренней поверхности. Износ гильзы может привести к проблемам затвердевания и/или дефектам конечной продукции. Так же хорошо известно, что в первую очередь износу подвергаются углы гильзы кристаллизатора, так как там процесс затвердевания наиболее активен. Изучая эту проблему, «EM Moulds» разработала новый метод нанесения хромового покрытия со специальными геометрическими параметрами, с увеличенной толщиной слоя в углах. Уникальная

геометрия покрытия обеспечивает меньший износ гильзы по углам и теплопроводность, необходимую для процесса затвердевания, у плоских поверхностей гильзы. Испытания на предприятиях подтвердили, что эта новая и уникальная геометрия покрытия значительно уменьшает проблему износа гильзы по углам.

Таким образом, производители медных гильз для кристаллизаторов предлагают широкий спектр продукции, как например, «EM Moulds».

Характеристики производства фирмы «EM Moulds»:

- материал: MM1, MM2, MM3, MM8;
- форма: квадрат, прямоугольник, круг, многоугольник, «собачья кость»;
- размер: до 750 мм по диагонали (большие размеры по специальному заказу);
- внутренний профиль: параллельный, одноконусный, многоконусный, параболический, EM параболический Curvature Straight, криволинейный;
- радиус закругления: от 1 мм;
- длина: без ограничения;
- толщина стенок: без ограничений;
- покрытие: хромовое с максимальной толщиной – 0,2 мм, покрытие Ni+Cr и усиленное в углах по типу ECC;
- специальные кристаллизаторы для литейно-прокатного комплекса Luna ECR<sup>®</sup> (DANIELI, Италия).

Правильный выбор гильзы обеспечивает хорошее качество конечной продукции, бесперебойную работу МНЛЗ и необходимую производительность. Гильзы кристаллизатора имеют определенный конечный срок эксплуатации. Подбор оптимальных рабочих параметров позволяет продлить срок эксплуатации гильзы, как важнейшего компонента кристаллизатора. Производители МНЛЗ запуская машину в эксплуатацию, в своих рекомендациях всегда дают коридор тех или иных значений эксплуатационных показателей, например:

- расход воды на охлаждение (давление и расход воды на кристаллизатор, скорость движения воды между гильзой и обечайкой);
- $\Delta T$  (разница температур выходящей и входящей воды на кристаллизатор);
- параметры качания кристаллизатора;
- применение смазочных материалов в кристаллизаторе (масло или ШОСа) и их расход;
- расход воды в ЗВО;
- др.

Все эти значения зависят от многих переменных: марочного сортамента, температуры перегрева стали, скорости разливки и т.д.

В процессе эксплуатации МНЛЗ, инженерно-технический состав опытным путём сам определяет эти параметры, добиваясь наилучших показателей по качеству и производительности. Гильза кристаллизатора, одна из ключевых деталей МНЛЗ, напрямую влияющая на эти показатели. Равномерный износ гильзы на протяжении всего периода ее эксплуатации, сохранение геометрических размеров – это показатель правильности конструкции гильзы, выбора материалов и оптимальных условий эксплуатации.

При эксплуатации гильза кристаллизатора подвергается деформации, которая может привести к прорывам под кристаллизатором и образованию овальности (ромбичности) литой заготовки. Рекомендуется проверять состояние гильзы кристаллизатора перед каждым запуском на наличие царапин, трещин, локальной поверхностной эрозии, выпирания на уровне мениска, загрязнений и других механических дефектов, влияющих на эффективность работы кристаллизатора.

При получении гильз от производителя, необходимо тщательно ее измерить, сопоставив данные измерений с формуляром, сопровождающим каждую гильзу. Необходимо вести собственный формуляр каждой гильзы, отражая в нем всю историю использования гильзы и регулярно внося измерения, которые необходимо производить при каждом профилактическом обслуживании.

Для обеспечения измерения гильзы, особенно внутренней геометрической формы (профиля) целесообразно применять специальные приборы, например, типа ЕМТМ-66 [11], выпускаемые Итальянской фирмой Sider Sistem s.r.l.

Такой прибор позволяет производить следующее [11]:

- измерять конусность гильзы по 1-6 направлениям (3 с каждой стороны);
- измерять геометрические размеры сечения гильзы;
- измерять диагонали гильзы по 2 направлениям;
- настраивать (регулировать) опорные ролики по отношению к поверхности гильзы;
- считывать данные измерения в режиме реального времени с дисплея компьютера;
- измерять до 10 гильз и передавать данные на компьютер через радио канал или кабель;
- обрабатывать данные измерения на компьютере с построением графиков и таблиц;
- сравнивать показатели, сделанные в разное время;

- изображать данные измерения в формате 3D;
- автоматически калибровать измерительные головки прибора;
- печать данных и графиков;
- архивировать полученные данные;
- и др.

Причем этим прибором можно пользоваться не только в условиях кристаллизаторной мастерской, когда гильза изъята из кристаллизатора, и с ней можно работать без затруднений. Этим прибором можно производить замеры гильзы, когда она находится и в корпусе кристаллизатора. Иначе говоря, измерения можно производить и на разливочной площадке МНЛЗ. Таким образом, можно не только отслеживать изменения в геометрии гильзы – следствие износа, но и прогнозировать время ее дальнейшего использования.

Разработка и внедрение в промышленное производство новых гильз кристаллизаторов является одним из направлений улучшения работы высокоскоростной МНЛЗ. Именно это мероприятие дало самый высокий толчок по увеличению скорости разливки МНЛЗ без ухудшения качества самой заготовки. В отечественной практике разливки сортовых заготовок необходимо, должным образом уделять работам по разработке совершенно новых гильз для кристаллизатора МНЛЗ совместно с мировыми их производителями.

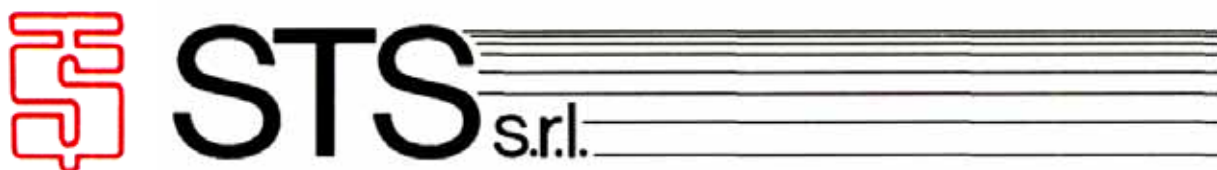


## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность Джорджио и Фабрицио Кабаи (STS s.r.l.) за предоставленную информацию по дефектам сортовой заготовки. Особую благодарность автор выражает Стефано Карретти (EM Moulds s.r.l.) за возможность использовать материалы из брошюры под его редакцией.

Автор считает своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность российской компании ООО «САТЕ» (г. Волгоград) и лично Чернышову Андрею Альбертовичу и Богдановой Н.В. за помощь в выпуске второго издания настоящего атласа.

Наконец, автор заранее признателен читателям за внимание и с благодарностью примет все их замечания и пожелания адресованные на электронную почту: [sbotnikov@bk.ru](mailto:sbotnikov@bk.ru)





## Библиографический список

1. G. Cabai. Continuous casting of steel. Some principles and practical notes. - STS s.r.l., 1993. – 71 p.
2. Паршин В.М. Повышение эффективности процесса непрерывной разливки стали // Международная конференция «Технологии и оборудование для внепечной обработки и непрерывной разливки стали». – 2005.
3. Либерман А.Л. Дефекты непрерывнолитых заготовок // Электromеталлургия – 2006. №3 – 20-25 с.
4. Еланский Г.Н., Косырев А.И., Е.В. Сургаев Е.В., Грибкова М.С. / Формирование корочки при затвердевании непрерывнолитой заготовки квадратного сечения// Московский государственный вечерний металлургический институт, ОАО «Московский металлургический завод «Серп и молот».
5. Правосудович В.П., Сокуренок В.П., Данченко В.Н. и др. Дефекты стальных слитков и проката. Справочник. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2006 – 382 с.
6. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: Справочник. Т.2 – Строение стали и чугуна/ под ред. Рахштадта А.Г., Капуткиной Л.М. и др. –М.: Интермет Инжиниринг, 2005.-526 с.
7. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: Справочник. Т.3 - Термическая и термомеханическая обработка стали и чугуна/ под ред. Рахштадта А.Г., Капуткиной Л.М. и др. –М.: Интермет Инжиниринг, 2007.-919 с.
8. Ботников, С.А. Влияние химического состава и технологии рафинирования низкоуглеродистой и среднеуглеродистой стали на параметры разливки сортовой МНЛЗ: Диссертация канд. техн. наук. – Челябинск, 2009 – 171 с.
9. EM Moulds: We give shape to steel./ Ed. S.Carretti. – EM Moulds s.r.l., 2010. – 21 p.
10. G.Cabai, F.Cabai. Continuous casting of steel. Some principles and practical notes. – STS s.r.l., 2010. – 112 p.
11. F.Fossi. Measuring instrument and auxiliary plant for continuous casting. – Sider Sistem s.r.l., 2007. – 12 p.