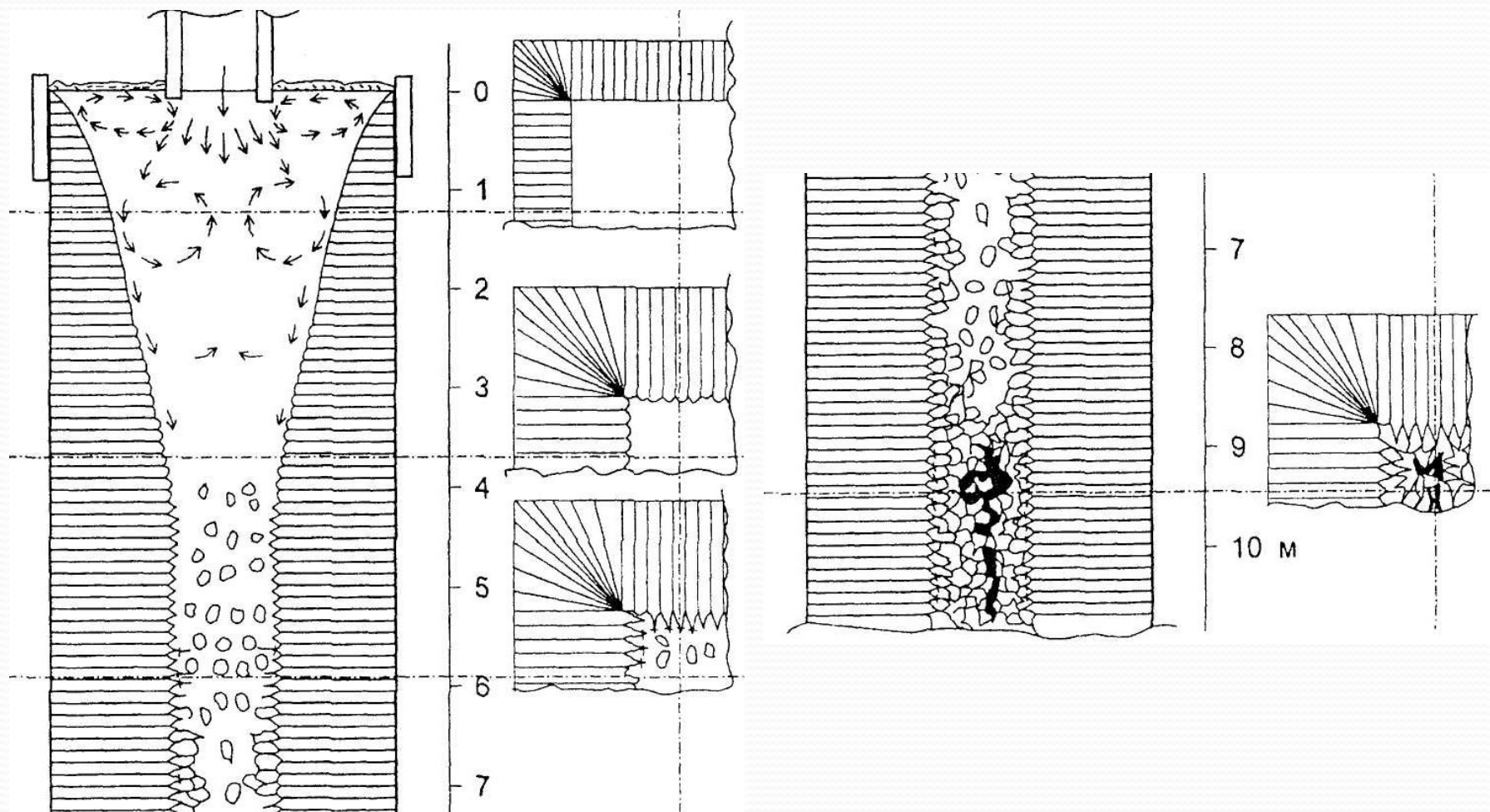


Дефекты непрерывнолитых заготовок

Курс: Разливка и
кристаллизация стали

Общая схема формирования структуры заготовки по технологической оси ручья МНЛЗ



Влияние процесса непрерывной разливки на качество заготовок

| Производственный участок на МНЛЗ | Фактор влияния | Фактор, подверженный влиянию | | |
|--|---|------------------------------|---------------------|--------------------|
| | | Неметаллические включения | Дефекты поверхности | Внутренние дефекты |
| Промковш | Температура стали | + | + | + |
| | Защитная труба на участке стальной – 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 | | + | + |

Основой получения качественной непрерывнолитой заготовки является оптимальная подготовка жидкой стали, в первую очередь, контроль за раскислением, усреднением металла по химическому составу и температуре, обеспечение требуемой температуры металла, минимальное содержание вредных примесей.

Дефекты непрерывнолитой заготовки могут быть разделены на три группы.

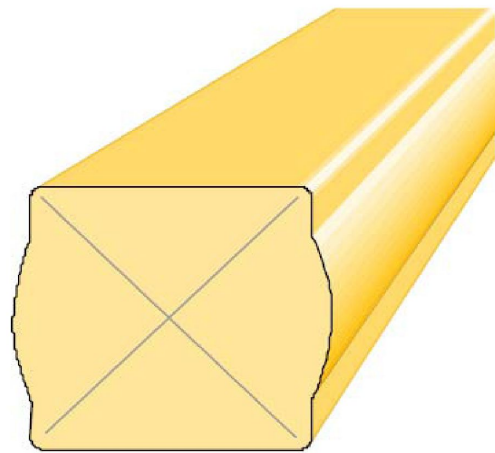
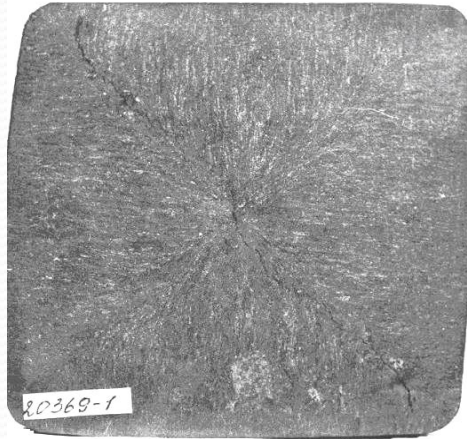
1. Дефекты профиля.
2. Дефекты поверхности.
3. Дефекты внутренней структуры.

Факторы, влияющие на возникновение и развитие дефектов геометрии непрерывнолитой заготовки

| Фактор | Вздутие (выпуклость) | Волнуость | Ромбичность | Овальность | Кривизна (коробление, серповидность) | Скручивание | Искажение формы поперечного сечения |
|---|-------------------------|-----------|-------------|------------|--|-------------|---|
| 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) | | | | | + | | |

Отклонения от заданных размеров сечения.

Выпучивание граней непрерывнолитой заготовки возникает при деформации корочки слитка за счет ферростатического давления жидкого металла при чрезмерной скорости разливки, недостаточном вторичном охлаждении слитка, высоком перегреве металла или вследствие повышенного обжатия заготовок в тянуще-правильной машине.

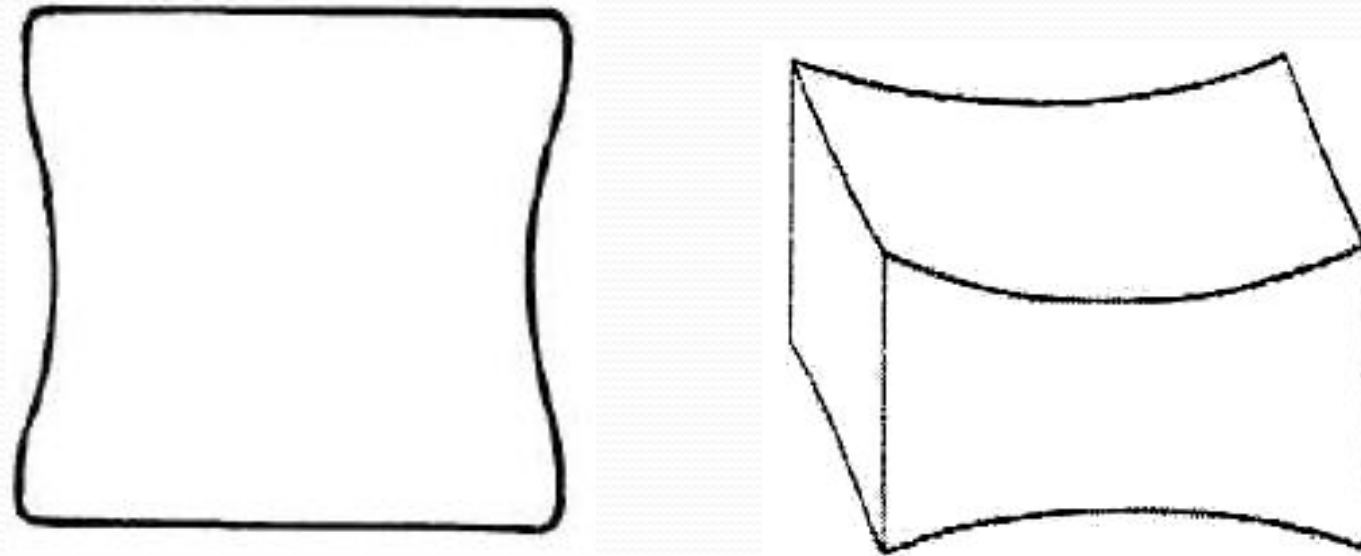


При развитии *выпучивания граней* непрерывнолитой заготовки выше допустимых значений необходимо:

- проверить скорость разливки;
- проверить режим вторичного охлаждения;
- проверить температуру стали в промковше;
- проверить настройку опорных роликов под кристаллизатором с применением шаблона.

Отклонения от заданных размеров сечения.

При неравномерном вторичном охлаждении по граням слитка может возникать *вогнутость граней непрерывнолитой* заготовки.



При развитии *вогнутости граней* непрерывнолитой заготовки выше допустимых значений необходимо:

- проверить систему вторичного охлаждения;
- проверить расход воды по секциям ЗВО и соответствие требуемого режима охлаждения

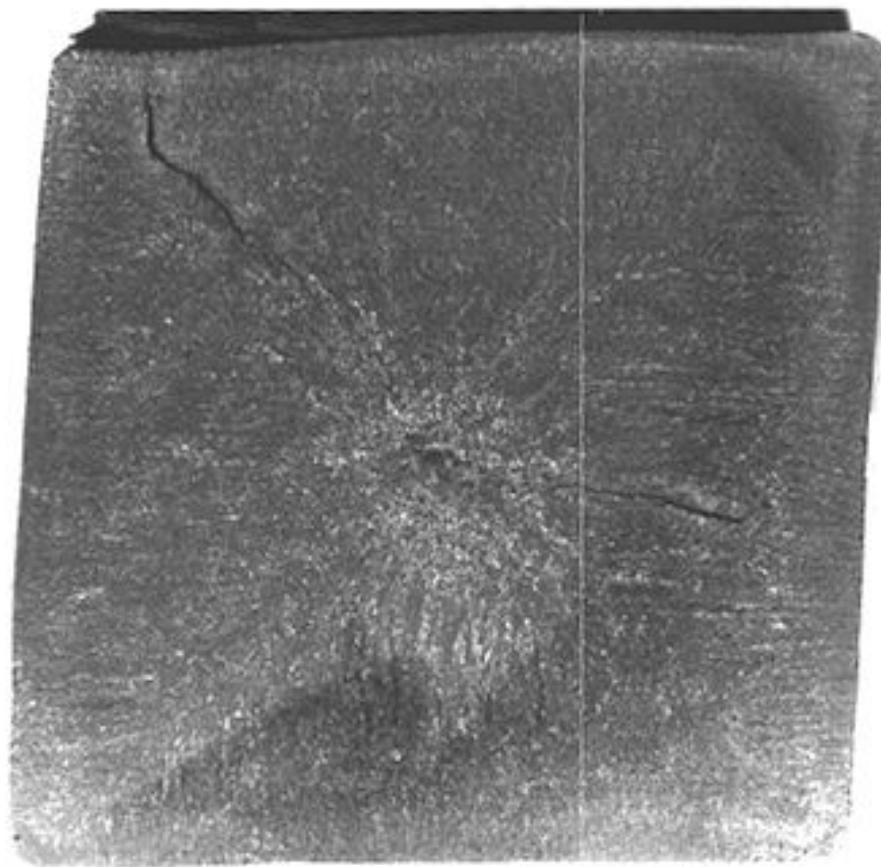
Дефекты профиля непрерывнолитой заготовки – это дефекты, при которых поперечное сечение заготовки деформировано относительно заданного.

Они могут быть обусловлены повышенной скоростью или высокой температурой разливки стали, недостаточным, повышенным или неоднородным охлаждением слитка.

Тип искажения геометрии, называемый **ромбичность**, является наиболее распространенным для квадратных заготовок малого сечения.

Значительная ромбичность непрерывнолитой заготовки может вызвать проблемы при формировании профиля в валках клетей прокатного стана.

Кроме того, повышенная ромбичность может вести к развитию других дефектов слитка (например, поверхностных и внутренних продольных трещин).



Непрерывнолитая заготовка
с повышенной ромбичностью

Главной причиной, вызывающей развитие непрямоугольности непрерывнолитой заготовки, является неравномерное образование корки слитка в кристаллизаторе.

На выходе из кристаллизатора ромбичность слитка не может превысить ромбичность гильзы кристаллизатора, то есть обычно она невелика, но вследствие высоких напряжений ромбичность может значительно развиваться по мере продвижения непрерывнолитой заготовки вдоль технологической оси ручья.

Образование неоднородной корки слитка в кристаллизаторе может быть связано с неточной центровкой струи металла из промежуточного ковша, износом или деформацией профиля гильзы, неравномерным охлаждением слитка ввиду переменного зазора между обечайкой и гильзой кристаллизатора.

На выходе из кристаллизатора одни углы слитка будут острыми и более холодными, другие – тупыми и более горячими.

В случае высокого износа или деформации профиля гильзы кристаллизатора, а также при наличии переменного кипения охлаждающей воды на внешних стенках гильзы угловые участки слитка могут попеременно прилегать то к одной, то к другой грани гильзы, что приведет к колебаниям величины теплоотвода по различным сторонам заготовки.

Это может вызвать изменение направления ромбичности непрерывнолитой заготовки в течение небольшого промежутка времени в ходе разливки плавки.

Причиной такого феномена является переменный контакт корочки слитка со стенками гильзы ввиду неравномерного теплоотвода и образованного им газового зазора.

Чтобы минимизировать газовый зазор в кристаллизаторе, гильзы выполняют многоконусными или с выпуклыми стенками.

Для ограничения развития этого дефекта под кристаллизатором иногда устанавливают так называемые поддерживающие или противоромбичные ролики.

Развитие ромбичности отливаемых заготовок возможно также в том случае, когда не обеспечена соосность кристаллизатора и зоны вторичного охлаждения (особенно 1-й зоны), часть форсунок зоны вторичного охлаждения засорена или работает в неоптимальном режиме.

В последнем случае ромб непрерывнолитой заготовки будет односторонним.

Причинами, влияющими на развитие ромбичности непрерывнолитой заготовки, также являются:

- неоптимальный химический состав металла;
- отклонения в режиме вторичного охлаждения заготовок;
- разливка металла при повышенной температуре;
- непараллельность роликов тянущее-правильной машины.

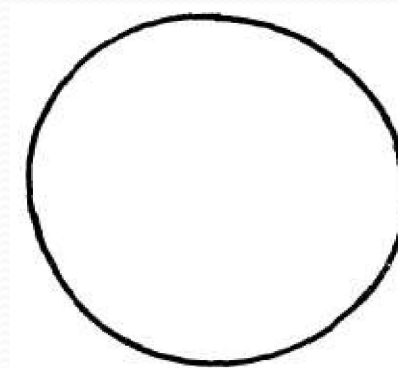
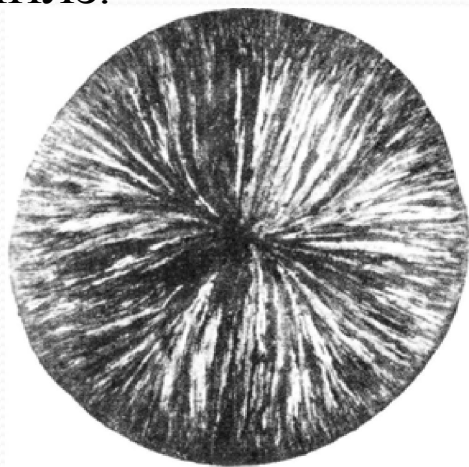
Ромбичность заготовок наиболее часто появляется при разливке стали с содержанием углерода более 0,15 %.

Повышенное содержание примесей (P, S, Cu, Sn) оказывает влияние на прочность корки слитка и также ослабляет ее сопротивление ромбичной деформации.

При развитии ромбичности непрерывнолитой заготовки выше допустимых значений необходимо:

- проверить износ и деформацию гильз кристаллизаторов, при необходимости заменить кристаллизаторы;
- проверить соосность выставки кристаллизатора относительно технологической оси ручья;
- провести ревизию выставки зон вторичного охлаждения и работоспособность форсунок зоны вторичного охлаждения;
- при возможности оптимизировать химический состав стали.

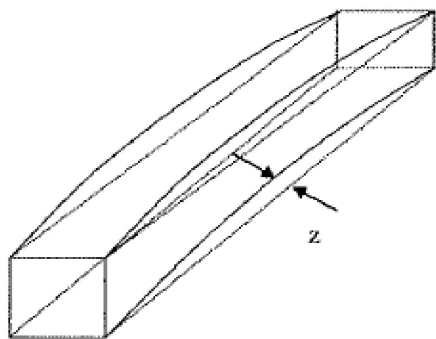
Причины образования *овальности круглых заготовок* аналогичны причинам образования ромбичности. Отличие заключается в том, что овальность круглого непрерывнолитого слитка может менять ориентацию в процессе разливки. Это обусловлено отсутствием ребер жесткости в круглом слитке. Искажение профиля круглой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



При развитии *овальности круглых непрерывнолитых заготовок* выше допустимых значений необходимо:

- заменить гильзу;
- настроить режимы охлаждения ЗВО и кристаллизатора;
- соблюдение температурно-скоростного режима разливки;
- настроить технологические оси ручья

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.



При развитии *коробления* непрерывнолитой заготовки выше допустимых значений необходимо:

- настрой вторичного охлаждения;
- исключение долгой задержки заготовок в ЗВО в случаях внезапной остановки ручья;
- исключить провисание горячих заготовок

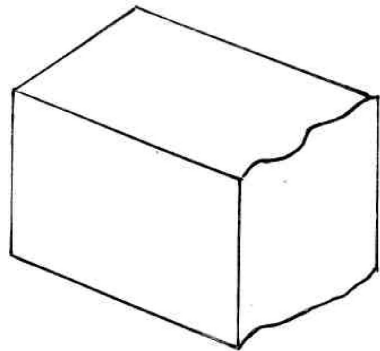
Ужимины. Обычная причина образования ужимин – деформация профиля гильзы. Первичная корка в кристаллизаторе на участках возле углов очень тонкая и при усадке образует вогнутый продольный желоб – ужимину. Тонкая горячая корка слитка может привести к образованию продольной трещины.

Дефект непрерывнолитой заготовки в виде ужимины является первым предупреждением о том, что гильза кристаллизатора стала негодной к эксплуатации. Результатом дальнейшего использования кристаллизатора с изношенной или деформированной гильзой могут стать повторяющиеся прорывы металла по продольным трещинам.

Образование ужимин может быть вызвано также неравномерным вторичным охлаждением, когда интенсивность охлаждения в районе углов недостаточна, например, вследствие неточной центровки коллекторов или засорения форсунок.



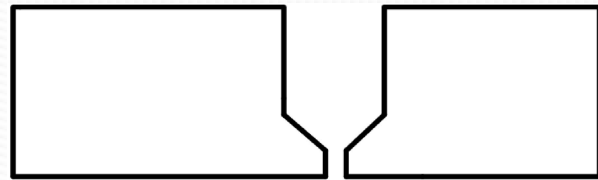
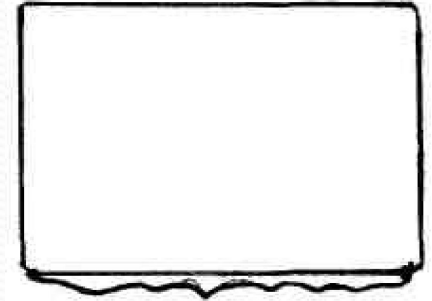
К дефектам размеров следует отнести повышенное сплющивание концов («приков»), а также косину реза заготовки. Дефекты образуются при порезке заготовок на мерные длины.



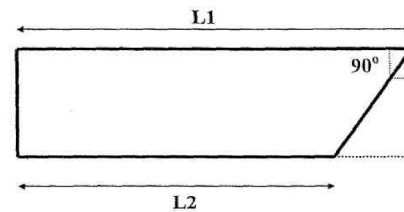
Волнистый рез



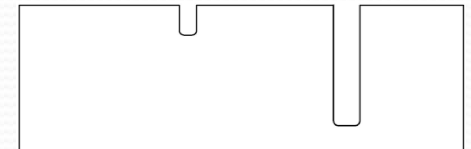
Грат («борода»)



Заусенец



$\Delta L = L1 - L2$
Косой рез



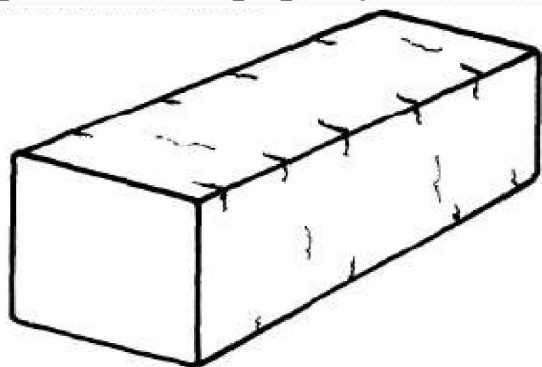
Недорез заготовки

Для предотвращения образования этих дефектов необходимы точная настройка и регулярный контроль за работой устройств порезки непрерывнолитой заготовки.

Факторы, влияющие на возникновение и развитие дефектов поверхности непрерывнолитой заготовки

| 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) | + | + | | + | | | | | |

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

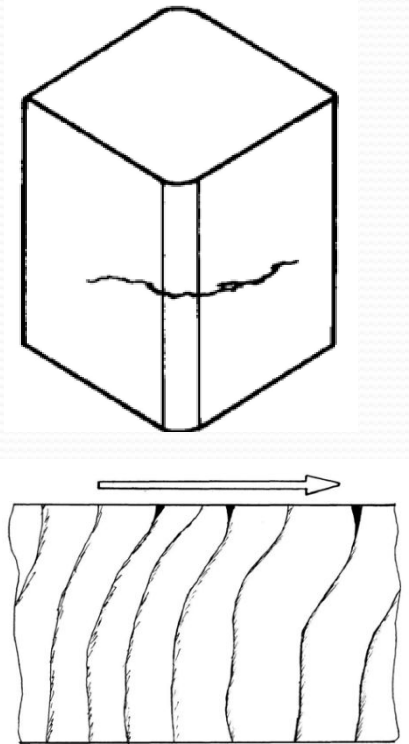


При развитии *поперечной угловой трещины* непрерывнолитой заготовки необходима:

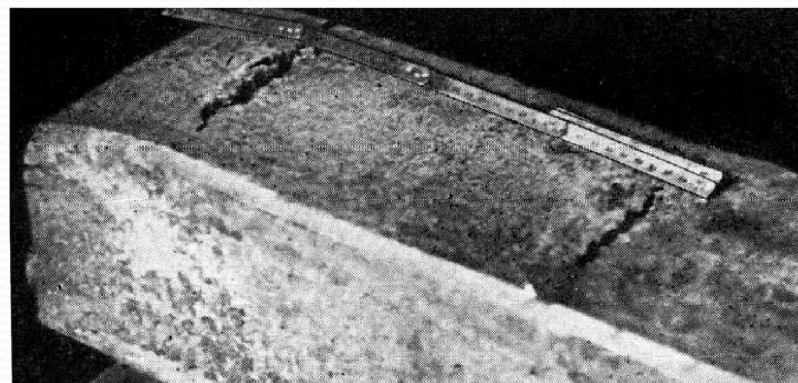
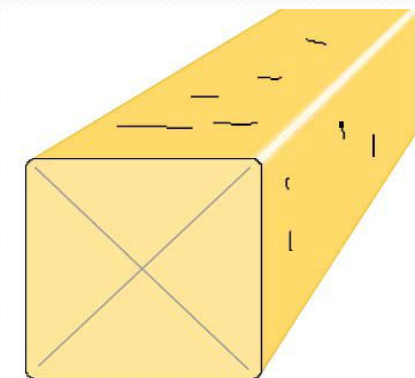
- проверка первичного и вторичного охлаждения;
- проверка форсунок;
- проверка смазки кристаллизатора (расход и качество масла);
- проверка механизма и амплитуды качания, возможное смещение или зазоры стола качания;
- выдержка времени опережения стола качания в пределах 0,09...0,23 секунд;
- использование маловязкой ШОС для кристаллизатора

Причины образования:

- сгибание или разгибание заготовки при температуре менее 950 °С;
- подвисяние корки слитка к стенкам кристаллизатора в силу недостаточной или неравномерной смазки (некачественная шлакообразующая смесь (ШОС) или неравномерная подача масла при открытой разливке);
- Неудовлетворительное качание кристаллизатора по причине проблем механического характера;
- Неправильно выполненная центровка кристаллизатора по отношению к роликam;
- некачественная ШОС для кристаллизатора или перенасыщение ШОС Al_2O_3 – 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 ($Mn/S \leq 20$)



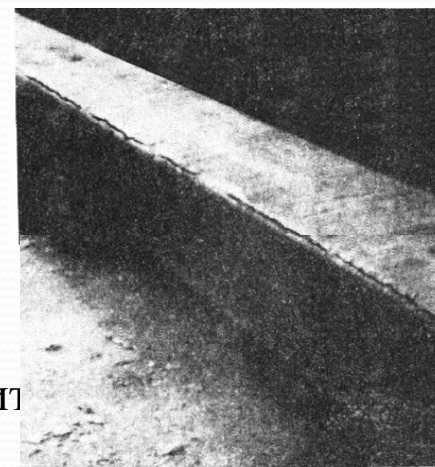
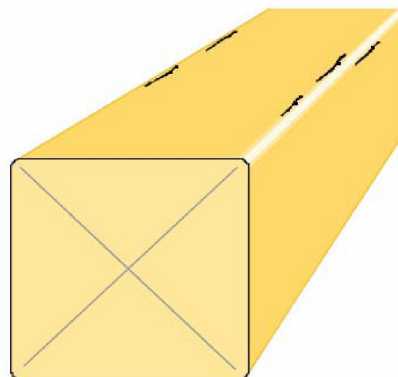
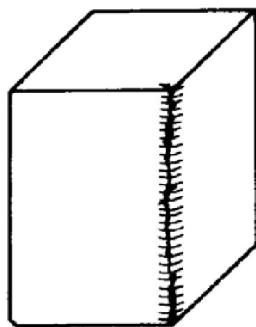
Трещина поперечная по грани – появляется при наличии растягивающих напряжений вдоль оси слитка; может сочетаться с поперечной усадкой («ужиминой»); может охватывать всю ширину стороны заготовки. Напряжения при выпрямлении заготовки могут также вызвать образование трещин, особенно при разливке чувствительной к трещинам марки стали и низкой температуре заготовки.



При развитии *поперечной трещины по грани* непрерывнолитой заготовки необходима:

- проверка системы первичного и вторичного охлаждения;
- проверка системы смазки кристаллизатора (тип смазки и подача);
- замена ШОС для кристаллизатора;
- проверка системы качания столов качания

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.



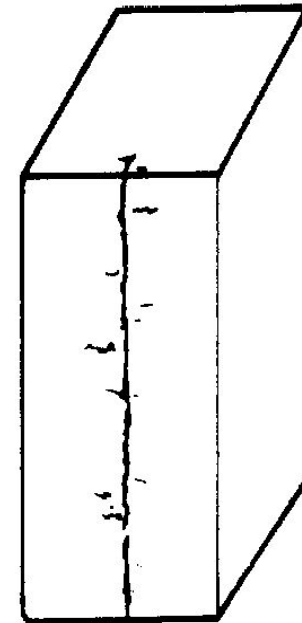
При развитии *продольной трещины в углах* непрерывнолит заготовки необходима:

- замена гильзы;
- проверка геометрии гильзы;
- проверить температуру стали после внепечного агрегата;
- Проверить центровку гильзы;
- очистка внешней поверхности гильзы;
- увеличить расход ШОС в кристаллизатор

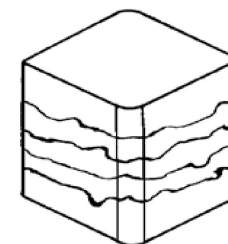
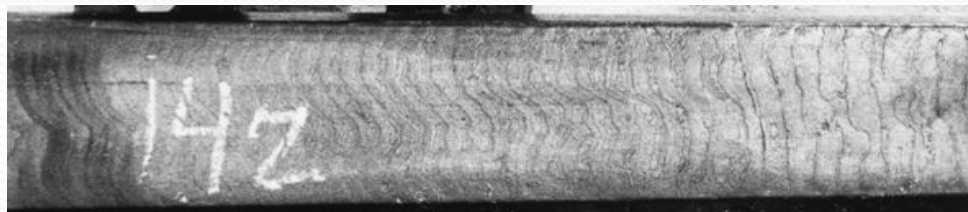
Трещины продольные по граням возникают из-за изношенности и деформации гильзы, особенно, в районе мениска; неравномерности первичного охлаждения; неотцентрованности струи стали из промковша в кристаллизатор; неправильной центровки опорных роликов под гильзой кристаллизатора; неравномерного охлаждения заготовки в зоне вторичного охлаждения по причине засорения или расцентровки форсунок вторичного охлаждения.

При развитии *продольной трещины по граням* непрерывнолитой заготовки необходима:

- замена гильзы;
- проверка первичного охлаждения;
- проверка положения разливочного стакана в промковше;
- проверка амплитуды и механизма качания;
- проверка смазки 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 процесса 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 м

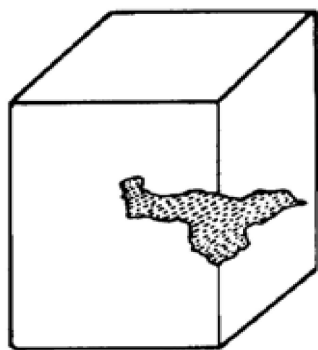


При развитии *следов качания* непрерывнолитой заготовки необходима:

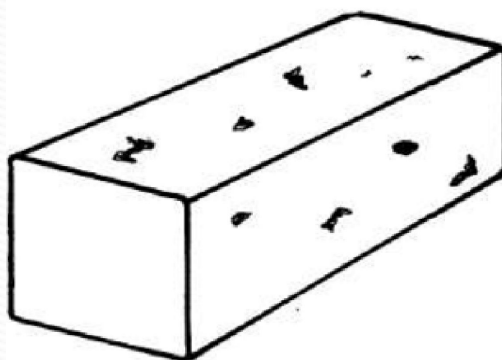
- проверка качания на механические движения и на установление соотношения амплитуды и частоты качания;
- проверка смазки кристаллизатора;
- проверка конусности гильзы;
- проверка первичного охлаждения кристаллизатора;
- скорость разливки должна соответствовать сечению заготовки и марке стали

Шлаковые включения – скопления на поверхности заготовки неметаллических включений, которые могут встречаться совместно со скоплениями пор, заворотами корки, и заливинами (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.

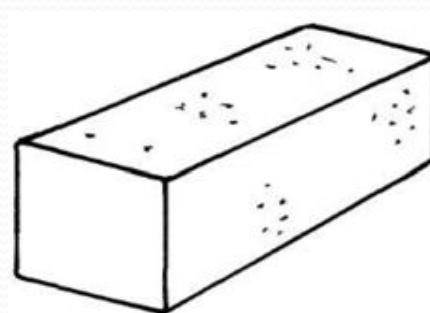
На мениске металла в кристаллизаторе накапливаются неметаллические включения вследствие всплывания частиц шлака, в т.ч. из промежуточного ковша МНЛЗ, продуктов раскисления, размыва огнеупорных материалов, отрыва от стенок стаканов затягивающих их включений, которые увлекаются и затвердевают в поверхностных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



Шлак на
поверхности
заготовки

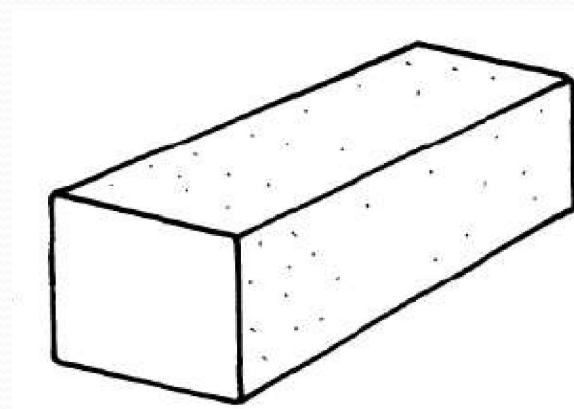


Шлак размером более
5 мм на поверхности
заготовки



Шлак размером менее
5 мм на поверхности
заготовки

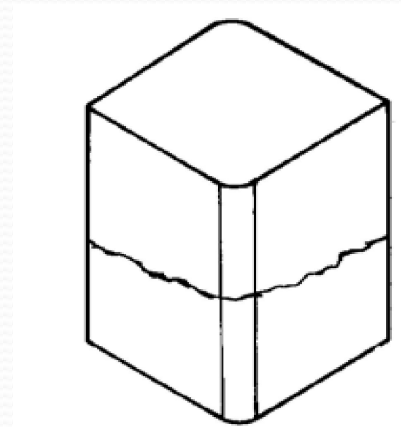
Перфорированные отверстия – дефект поверхности в виде небольших пустот круглой формы глубиной залегания не более 5 мм. Данный дефект присущ для разливки открытой струей, где используется масло в качестве смазки между корочкой заготовки и гильзой кристаллизатора. Высокое содержание газообразных элементов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



При развитии *перфорированных отверстий* непрерывнолитой заготовки необходимо:

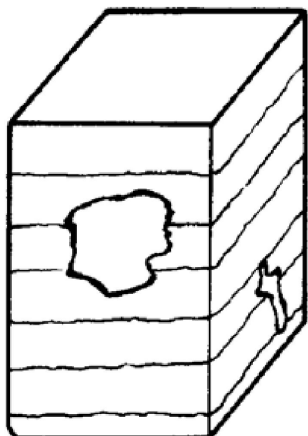
- Уменьшить содержание в стали кислорода и водорода;
- проверка системы подачи и распределения масла;
- очистка после каждой серии зазоров подачи масла на фланцах в кристаллизаторе;
- не использовать влажные ферросплавы особенно $FeSi$;
- улучшить сушку промежуточного ковша

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 окислившаяся 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.



При развитии *пояса* непрерывнолитой заготовки необходимо более тщательное и точное проведение процесса разливки

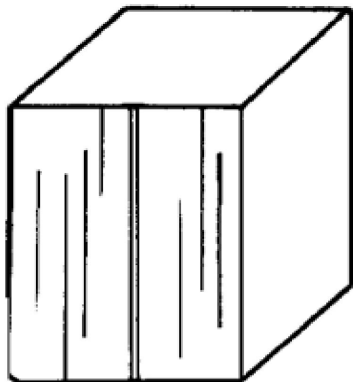
Заворот корки – местный на поверхности, залегающий на глубину до 30...40 мм, образуется в результате увеличения оксидной или шлаковой корочки с мениска в поверхностный слой заготовки. Заворот корки может являться одной из причин прорывов металла в кристаллизаторе, появления подкорковых пузырей.



При развитии *плена* непрерывнолитой заготовки необходима:

- подготовка металла к разливке с соблюдением режимов раскисления, модифицирования, продувки аргоном;
- четкая стыковка серийных плавов по выплавке, внепечной обработке и разливке, корректировка температуры стали

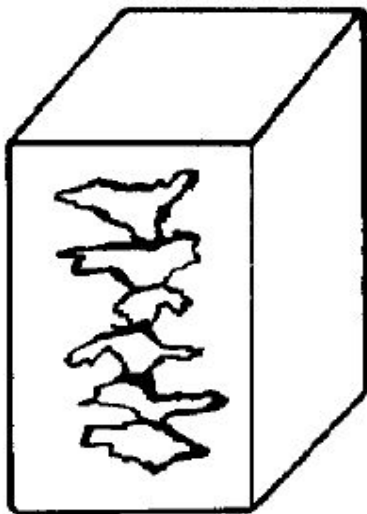
Другие виды поверхностных дефектов



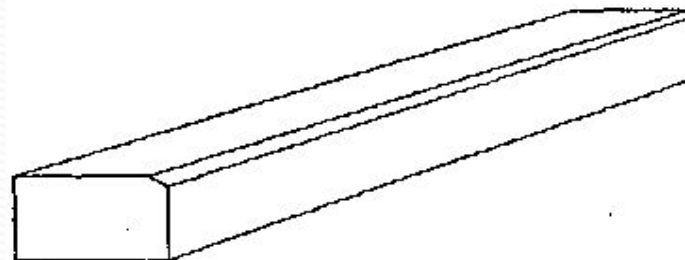
Поверхностные царапины
(задиры, риска)



Брызги металла на
поверхности заготовки



Заливины на поверхности заготовки



Фаска на заготовке

Другие виды поверхностных дефектов



Паукообразные трещины



Поверхностная термическая трещина напряжения на круглых заготовках большого диаметра

Факторы, влияющие на развитие внутренних дефектов непрерывнолитой заготовки

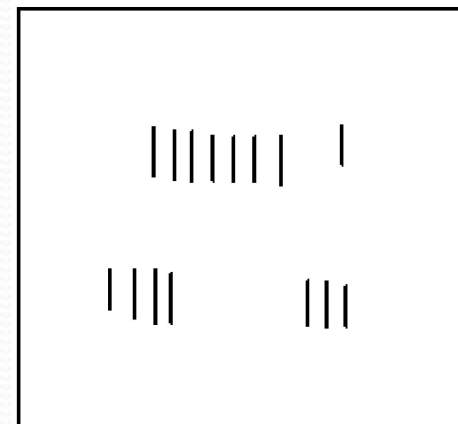
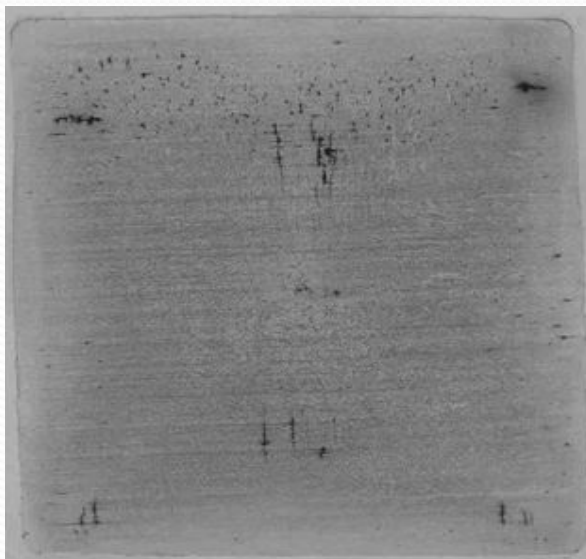
| Фактор | Угловые трещины | Трещины в промежуточной зоне | Трещины в осевой зоне | Осевая ликвация | Осевая пористость | Осевые трещины | Пузырь | Краевое точечное загрязнение |
|--|-----------------|------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|------------------------------|
| 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 | | | + | | | + | | |

В структуре непрерывнолитых заготовок встречаются практически все те же дефекты, что и в структуре слитков, отлитых в изложницу. Причины образования дефектов макроструктуры в непрерывнолитых заготовках и в слитках также общие, но условия формирования дефектов в непрерывнолитых заготовках и меры по их устранению имеют некоторую специфику.

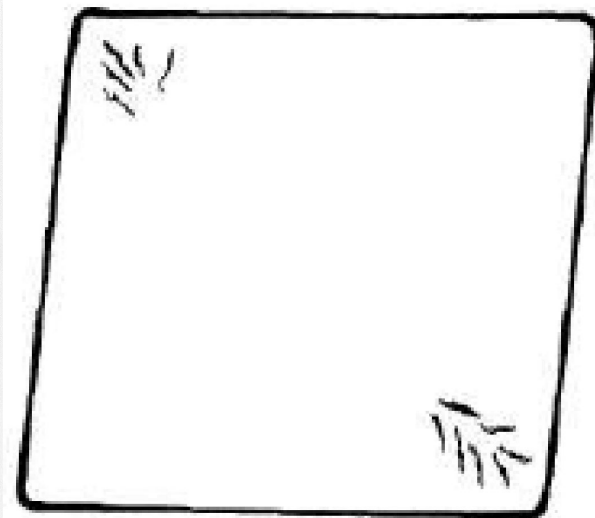
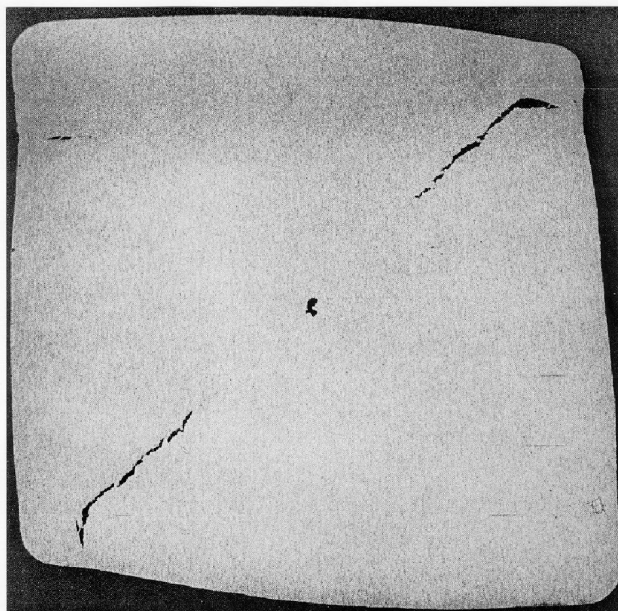
Выделяют следующие дефекты непрерывнолитых заготовок:

- ликвационные полости и трещины по сечению;
- угловые трещины;
- трещины в осевой зоне;
- центральную пористость;
- осевую ликвацию;
- подкорковые пузыри;
- неметаллические включения.

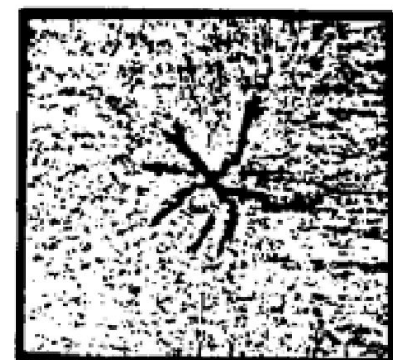
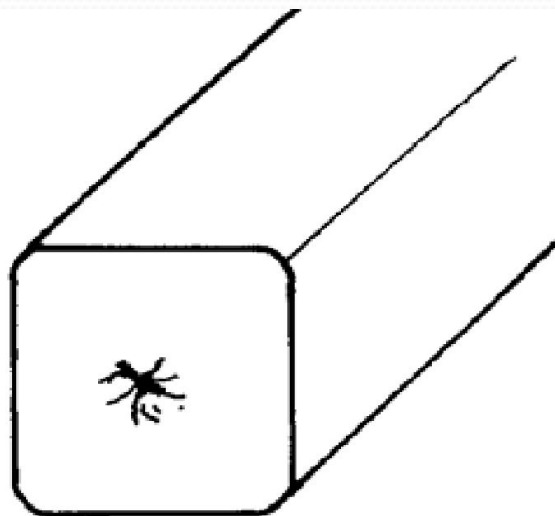
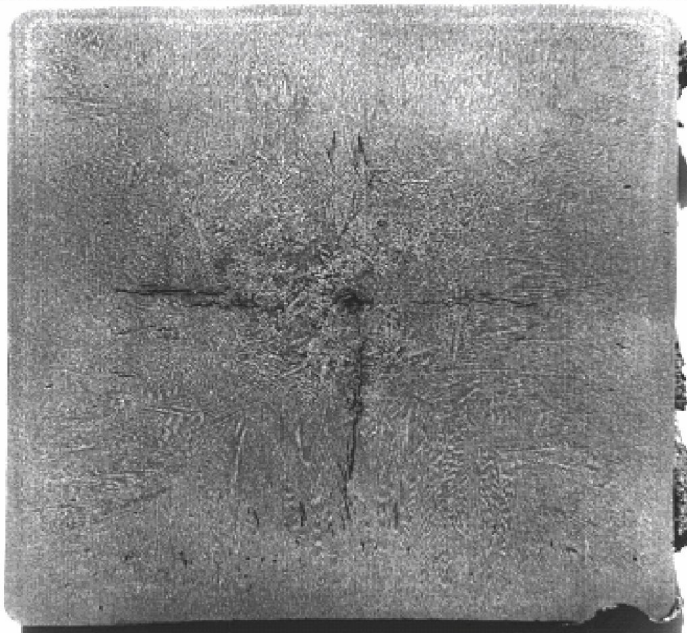
Внутренние трещины (*трещины по сечению*) представляют собой надрывы, которые располагаются по межосным пространствам кристаллической структуры, обогащенной ликватами. Это кристаллизационные трещины, они образуются на границе твердой и жидкой фаз в интервале температуры, при которой металл имеет минимальную пластичность и прочность. Возникновение трещин связано с появлением растягивающих напряжений, превышающих предел прочности. Трещины могут располагаться в несколько рядов по сечению заготовки.



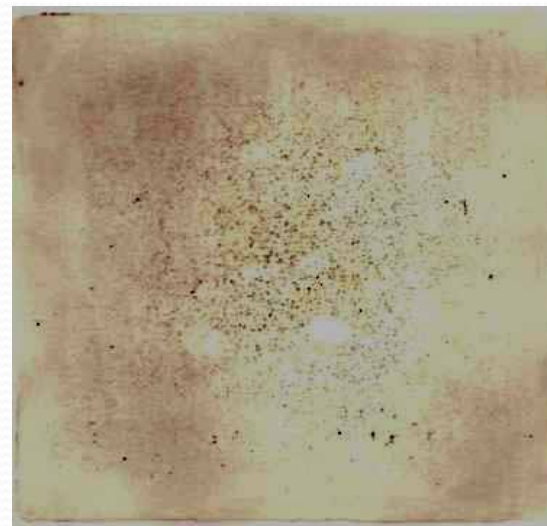
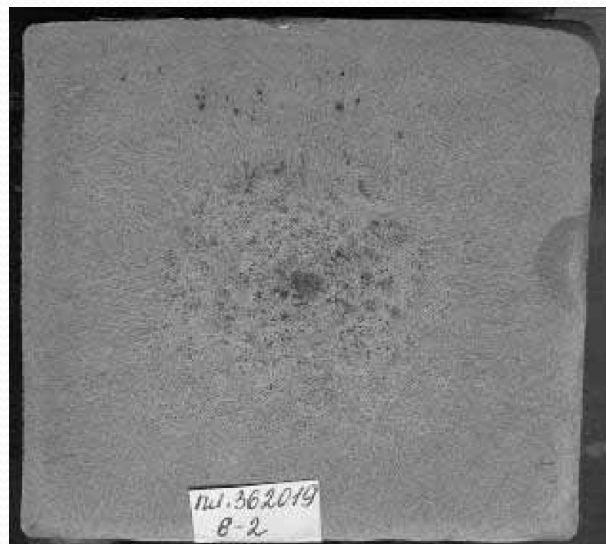
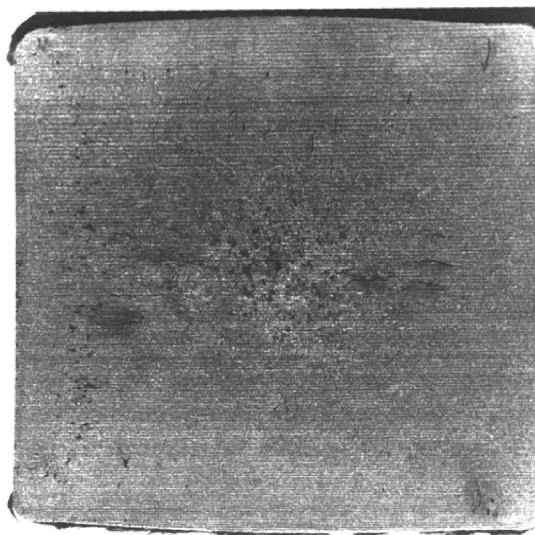
Угловые внутренние трещины – проходят по диагоналям поперечного сечения вдоль границы различных фронтов кристаллизации, могут распространяться по всей длине диагонали сечения слитка. Данные трещины образуются в результате усадочных напряжений. При большом развитии с выходом на поверхность приводит к прорывам жидкого металла. Образуется из-за: неравномерного первичного охлаждения в кристаллизаторе; ромбичности гильзы кристаллизатора в нижней части; неотцентрованности направляющих роликов; слишком высокой температуры разливки стали; нарушения теплоотвода в углах кристаллизатора.



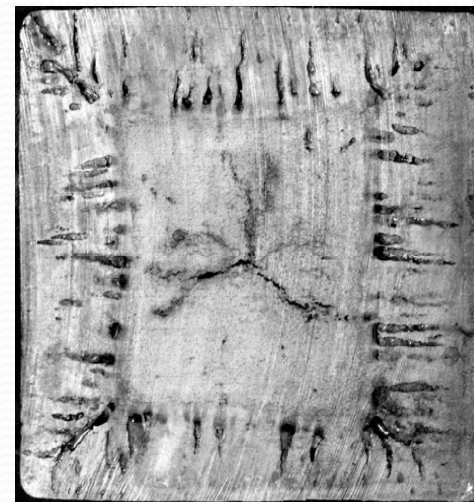
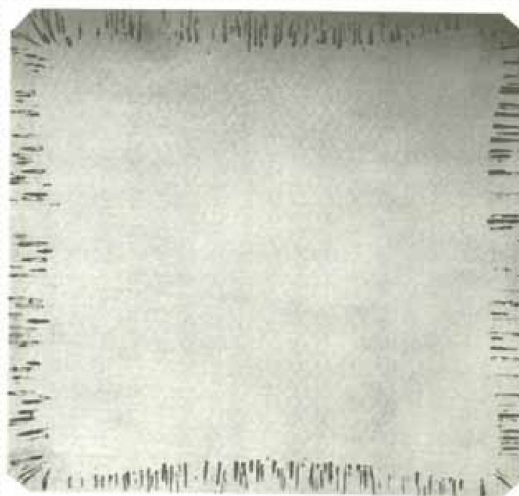
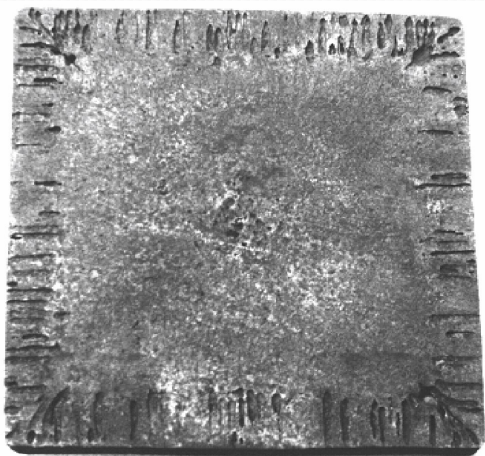
Осевые трещины образуются под действием растягивающих напряжений, возникающих в конце затвердевания слитка. Напряжения в данной зоне, в основном, обусловлены скоростью разливки металла, режимом и работой системы вторичного охлаждения. К развитию осевых трещин может привести повышенное обжатие заготовок в тянущеправильной машине. Осевые трещины зависят также от процесса кристаллизации осевой зоны заготовки. Металл в осевой зоне заготовки в ходе кристаллизации обогащается ликватами и неметаллическими включениями, здесь наиболее развита пористость. Поэтому металл осевой зоны имеет более низкие механические свойства в сравнении с другими участками сечения заготовки.



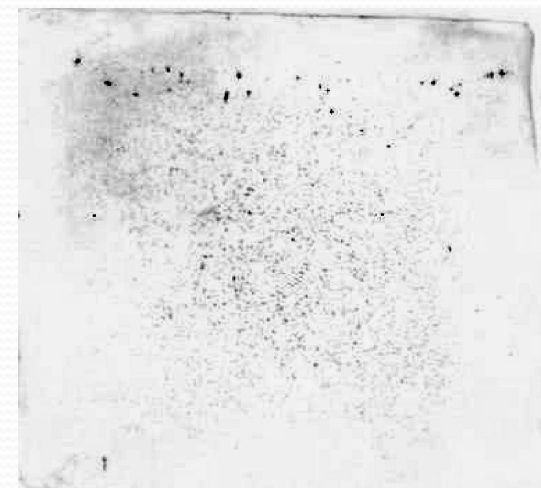
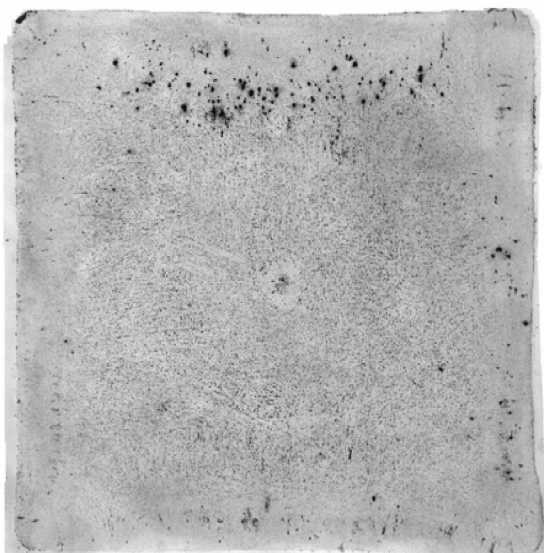
Осевая ликвация обусловлена двумя факторами: ликвационным обогащением центральных зон примесями и усадкой осевой зоны при затвердевании. Так как примеси понижают температуру затвердевания, то в процессе кристаллизации они вытесняются в центр слитка и затвердевают в последнюю очередь. При прокатке металла осевая ликвация трансформируется в ликвационные полосы, которые при грубом развитии могут приводить к расслоениям проката. Среди химических элементов, которые проявляют склонность к ликвации, выделяются углерод, сера, марганец. В сортовых заготовках, особенно мелких сечений из высокоуглеродистой стали, в осевой зоне наряду с концентрированной пористостью наблюдается значительная неоднородность по содержанию углерода.



Подкорковые пузыри. Образование подкорковых пузырей происходит в результате снижения растворимости газов и углерода при кристаллизации стали. Величина и глубина образующихся пузырей определяется превышением фактических концентраций газов над критическими. Возникновение подкорковых пузырей в непрерывнолитых слитках чаще всего обусловлено недостаточной раскисленностью металла. Кроме того, к образованию пузырей могут привести также повышенное содержание влаги в смазке кристаллизатора, завороты окисленной корки слитка, прожигания дозатора промежуточного ковша. При деформации пузыри, расположенные близко к поверхности, в результате окисления при нагреве слитков могут не свариваться и вызывать образование волосин и плен на поверхности проката в случае единичных пузырей или рванин – в случае группового расположения крупных пузырей.



Неметаллические включения. В непрерывнолитых заготовках встречаются те же виды неметаллических включений, что и в слитках, отливаемых в изложницу – оксиды, сульфиды, нитриды. На загрязненность стали включениями существенное влияние оказывают особенности формирования слитка при непрерывной разливке. Большое отношение длины непрерывнолитого слитка к его толщине, приводящее к увеличению глубины жидкой фазы, непрерывное опускание жидкого металла с его твердой оболочкой и непрерывное наращивание сверху новых слоев затрудняют процесс отстаивания и всплывания неметаллических включений. Более длительный контакт разливаемого металла с атмосферой окружающего воздуха активизирует процессы вторичного окисления в ходе разливки.



Основные меры, позволяющие снизить загрязненность стали неметаллическими включениями:

- тщательное раскисление стали;
- обработка металла кальцием для оптимизации формы и состава включений;
- использование износостойких огнеупоров для футеровки сталеразливочного и промежуточного ковшей;
- обеспечение надежной защиты струй металла из сталеразливочного и промежуточного ковшей (применение погружных труб и защитных сильфонов, использование инертного газа);
- изоляция зеркала металла в промежуточном ковше и кристаллизаторах;
- обеспечение оптимальных условий всплывания включений в промежуточном ковше (обеспечение оптимальной формы ковша, поддержание высокого уровня металла, установка специальных перегородок, применение рафинирующих смесей для ассимиляции включений, продувка металла инертным газом через пористые пробки в днище ковша);
- применение электромагнитного перемешивания металла для облегчения всплывания включений в кристаллизаторах и их более равномерного распределения в непрерывнолитой заготовке.

На загрязненность стали неметаллическими включениями могут оказывать влияние также точность и быстрота выполнения технологических операций в процессе разливки стали:

- наполнение промежуточного ковша металлом в начале разливки должно производиться максимально быстро, при этом зеркало металла в ковше должно быть быстро и эффективно защищено с помощью изолирующей засыпки;
- количество шлака из сталеразливочного ковша, попадающего в промежуточный ковш во время смены плавов, должно быть минимизировано;
- при смене плавов нельзя допускать существенного падения уровня металла в промежуточном ковше, так как это может привести к ухудшению организации струй металла и затягиванию в металл шлака с поверхности;
- по возможности должно быть ограничено количество случаев использования кислорода для прожигания каналов дозирующих узлов ковшей и обрезки возможных настелей;
- операции по замене защитных труб и сифонов должны производиться максимально оперативно;
- при разливке без защиты струи от вторичного окисления должна быть обеспечена удовлетворительная плотность и минимальная высота струй металла.