

УДК 621.74.047

Столяров А.М., Куклина О.В., Потапова М.В.

## ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ

**Аннотация.** В работе исследован массив производственных данных разливки в кислородно-конвертерном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» на МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком трубной стали класса прочности К60 из 569-ти плавок. Температура металла в промежуточном ковше изменялась в интервале от 1537 до 1554°C. Расчетное значение температуры ликвидус составляло в среднем 1518°C. Слябы с постоянными размерами поперечного сечения 350×2600 мм вытягивались из кристаллизатора МНЛЗ со скоростью 0,60–0,75 м/мин. Металлографическим методом изучено качества макроструктуры и поверхности темплетов из непрерывнолитых слябов. Наибольшую степень развития имеют такие внутренние дефекты, как осевая химическая неоднородность, осевая рыхлость, трещины, перпендикулярные граням заготовки, в большей степени – узким граням и в меньшей – широким. Практически отсутствуют осевые трещины и точечная неоднородность. Установлены возрастающие зависимости между степенью развития трещин, перпендикулярных широким и узким граням заготовки, а также между гнездообразными и перпендикулярными трещинами. Выявлена возрастающая зависимость степени развития трещин, перпендикулярных узким граням заготовки, от величины перегрева разливаемого металла над температурой ликвидус. Для улучшения качества литого металла рекомендуется разливать сталь класса прочности К60 с перегревом металла в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус не более 30°C. Профиль отлитых слябов характеризуется наличием у большинства заготовок небольшой выпуклости узких граней. Качество поверхности исследованных темплетов оценено как удовлетворительное.

**Ключевые слова:** трубная сталь, класс прочности К60, непрерывная разливка, сляб, макроструктура, поверхность, качество.

## Введение

В кислородно-конвертерном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» трубная сталь разливается на МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком [1, 2]. Для производства толстого горячекатаного листа отливаются непрерывнолитые слябы толщиной 350 мм. Как правило, ширина таких заготовок превышает 2500 мм, а металл представляет собой сталь класса прочности К60 [3, 4]. В работе изучается качество макроструктуры и поверхности непрерывнолитых слябов из стали класса прочности К60.

С этой целью был исследован массив производственных данных разливки трубной стали класса прочности К60, насчитывающий 569 плавок. Из сляба каждой плавки был вырезан угловой поперечный темплет. После необходимой подготовки производилась металлографическая оценка качества макроструктуры металла и поверхности темплета согласно ОСТ 14-4-73.

Литой металл имел следующий усредненный химический состав, мас. %:

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
0,07	0,19	1,72	0,002	0,009	0,04	0,18
Cu	N	Al	V	Ti	Ca	Nb
0,14	0,005	0,035	0,06	0,005	0,005	0,03

Температура металла в промежуточном ковше изменялась в интервале от 1537 до 1554°C. Расчетное значение температуры ликвидус составляло в среднем 1518°C. Слябы с постоянными размерами поперечного сечения 350×2600 мм вытягивались из кристаллизатора МНЛЗ со скоростью 0,60–0,75 м/мин.

Зависимость скорости вытягивания сляба из кристаллизатора от перегрева металла в промежуточном ковше над температурой ликвидус представлена на рис. 1.

Хотя приведенная убывающая линейная зависимость является статистически значимой с вероятностью 99,9 % ( $r_{0,001} = 0,321$ ), на поле рис. 1 отмечается значительный разброс точек. Это свидетельствует о существенном влиянии на скорость разливки металла и других факторов.

Результаты усредненной металлографической оценки качества макроструктуры слябов из стали класса прочности К60 приведены на рис. 2: ОР – осевая рыхлость; ОХН – осевая химическая неоднородность; ОТ – осевые трещины; ТП – трещины, перпендикулярные граням; ТГ – трещины гнездообразные; ТПу – трещины, перпендикулярные узким граням; ТПш – трещины, перпендикулярные широким граням.

Наибольшую степень развития имеют такие внутренние дефекты, как осевая химическая неоднородность (1,75 балла), осевая рыхлость (1,50 балла), трещины, перпендикулярные граням заготовки (1,31 балла), в большей степени – узким граням (0,96 балла) и в меньшей – широким (0,56 балла). Следует отметить практически отсутствие осевых трещин и точечной неоднородности, последнему, несомненно, способствует наличие вертикального участка МНЛЗ.

Установлены возрастающие зависимости между различными вариантами расположения трещин, перпендикулярных граням заготовки (рис. 3), а также между гнездообразными и перпендикулярными трещинами (рис. 4).

Проведен корреляционно-регрессионный анализ влияния химического состава стали и параметров температурно-скоростного режима разливки стали класса прочности К60 на степень развития разных внутренних дефектов сляба. Выявлена возрастающая

зависимость степени развития трещин, перпендикулярных узким граням заготовки, от величины перегрева разливаемого металла над температурой ликвидус (рис. 5).

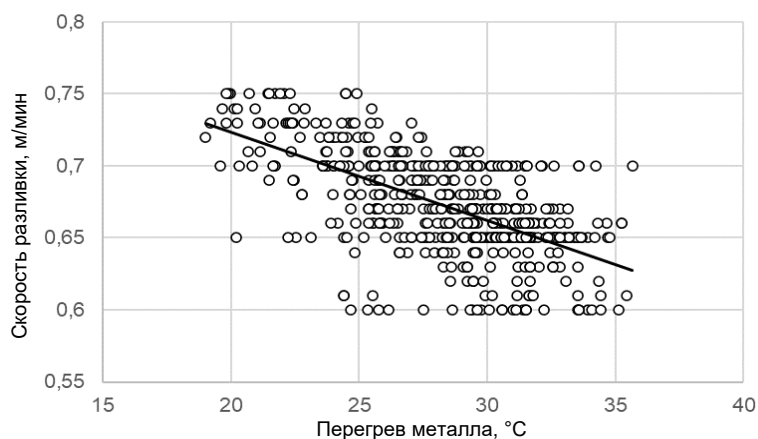


Рис. 1. Зависимость скорости вытягивания сляба из кристаллизатора МНЛЗ  $v$ , м/мин, от перегрева металла в промежуточном ковше над температурой ликвидус  $\Delta t$ , °C:  $v = 0,846 - 0,006 \cdot \Delta t$ ;  $r = -0,610$

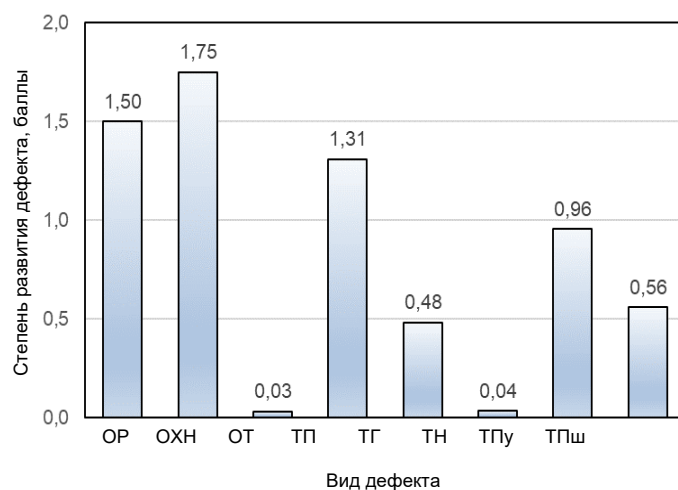


Рис. 2. Результаты оценки качества макроструктуры непрерывнолитых слябов

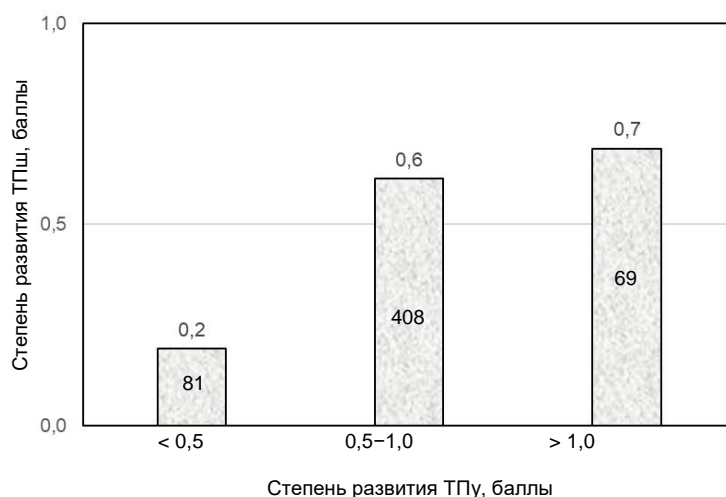


Рис. 3. Зависимость между степенью развития трещин, перпендикулярных широким (ТПш) и узким граням (ТПу) (цифры внутри столбиков – количество слабов)

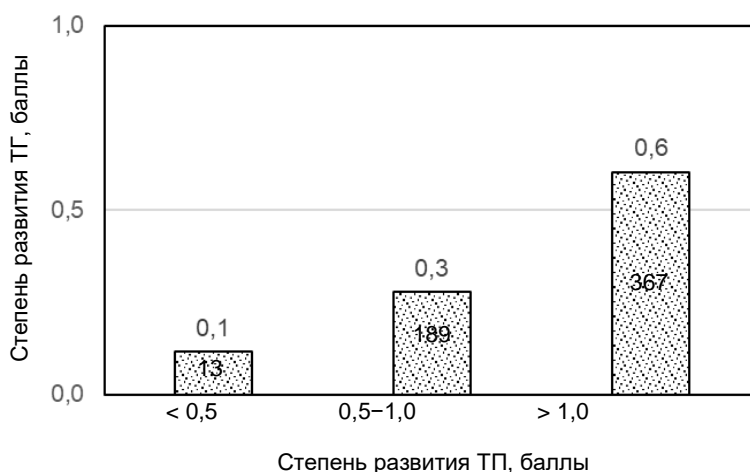


Рис. 4. Взаимосвязь между степенью развития трещин гнездообразных (ТГ) и трещин перпендикулярных (ТП) (цифры внутри столбиков – количество слабов)

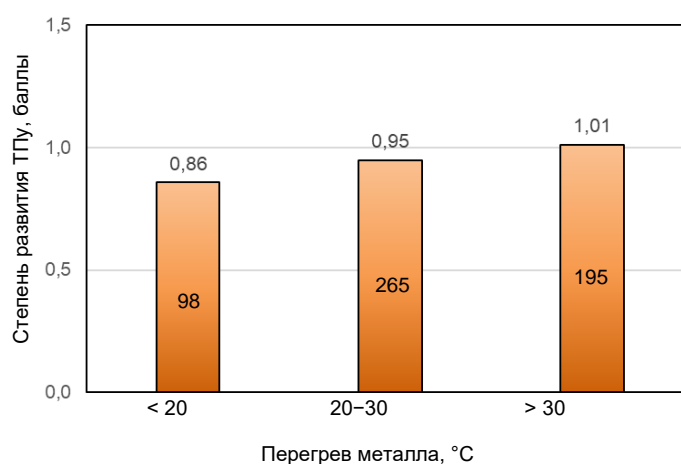


Рис. 5. Зависимость степени развития трещин, перпендикулярных узким граням (ТПу), от перегрева разливаемого металла

Для улучшения качества макроструктуры литого металла рекомендуется разливать сталь с перегревом не более 30°С.

Профиль отлитых слабов характеризуется наличием у большинства заготовок (в 86 % случаев от общего количества) выпуклости узких граней величиной от 2 до 10 мм (в среднем около 5 мм).

Качество поверхности исследованных темплетов было удовлетворительным: всего на 0,6 % темплетов имелись небольшие поперечные трещины.

#### Заключение

При изучении качества макроструктуры и поверхности непрерывнолитых слабов сечением 350×2600 мм из стали класса прочности К60 металлографическим методом установлено, что наибольшую степень развития имеют такие внутренние дефекты, как осевая химическая неоднородность (в среднем 1,75 балла), осевая рыхлость (1,50 балла), трещины, перпендикулярные граням заготовки (1,31 балла), в большей степени – узким граням (0,96 балла) и в

меньшей – широким (0,56 балла). Следует отметить низкую степень развития осевых трещин и точечной неоднородности. Установлены возрастающие зависимости между различными вариантами расположения трещин, перпендикулярных граням заготовки, а также между гнездообразными и перпендикулярными трещинами. Выявлена возрастающая зависимость степени развития трещин, перпендикулярных узким граням заготовки, от величины перегрева разливаемого металла над температурой ликвидус. Для улучшения качества литого металла рекомендуется разливать сталь с перегревом не более 30 °С. Профиль отлитых слабов характеризуется наличием у большинства заготовок выпуклости узких граней величиной в среднем около 5 мм. Качество поверхности исследованных темплетов было удовлетворительным.

#### Список литературы

1. Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Столяров А.М. Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе: учебное

- пособие. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. 380 с.
- Столяров А.М., Селиванов В.Н. Непрерывная разливка стали. Машины непрерывного литья заготовок: учебное пособие. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. 192 с.
  - Куклина О.В., Столяров А.М., Юдин Д.В. Отливка толстых слябов из конвертерной стали // Технологии металлургии, машиностроения и материалообработки. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. Вып. 19. С. 28-34.
  - Куклина О.В., Столяров А.М., Юдин Д.В. Разливка стали на непрерывнолитые слябы толщиной 350 мм // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 79-й международ. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. С. 96.

### Сведения об авторах

**Столяров Александр Михайлович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металлургии и химических технологий ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [sam52.52@mail.ru](mailto:sam52.52@mail.ru)

**Куклина Ольга Валерьевна** – магистрант кафедры металлургии и химических технологий ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» г. Магнитогорск, Россия.

**Потапова Марина Васильевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры металлургии и химических технологий ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» г. Магнитогорск, Россия.

---

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### STUDY OF THE QUALITY OF CONTINUOUSLY CASTED SLABS FROM PIPE STEEL

**Stolyarov Alexander M.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [sam52.52@mail.ru](mailto:sam52.52@mail.ru)

**Kuklina Olga V.** – master degree student of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

**Potapova Marina V.** – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [marina\\_potapova8@mail.ru](mailto:marina_potapova8@mail.ru)

**Abstract.** The quality of the macrostructure and surface of slabs with a cross section of 350 × 2600 mm from K60 steel was studied by the metallographic method. The quality of the macrostructure and surface of continuously cast slabs with a cross section of 350 × 2600 mm from steel of strength class K60 was studied by the metallographic method. The following internal defects have the highest degree of development: axial chemical inhomogeneity, axial looseness, cracks perpendicular to the faces of the workpiece. There are practically no axial cracks and point inhomogeneity. Increasing dependencies between different variants of the location of cracks perpendicular to the faces of the workpiece, as well as between nested and perpendicular cracks, have been established. An increasing dependence of the degree of development of cracks, perpendicular to the narrow edges of the workpiece, on the overheating of the poured metal above the liquidus temperature is revealed. To improve the quality of cast metal, it is recommended to cast steel with overheating not more, than 30 °C. The profile of cast slabs is characterized by the presence of a slight convexity of narrow edges in most billets. The surface quality of the investigated templates is satisfactory.

**Key words:** pipe steel, continuous casting, slab, quality.

---

Ссылка на статью:

Столяров А.М., Куклина О.В., Потапова М.В. Изучение качества непрерывнолитых слябов из трубной стали // Теория и технология металлургического производства. 2022. №2(41). С. 22-25.

Stolyarov A.M., Kuklina O.V., Potapova M.V. Study of the quality of continuously casted slabs from pipe steel. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2022, vol. 41, no. 2, pp. 22-25.