УДК 621.74.047

О.М. Смірнов¹, д-р техн. наук, проф., гол. наук. співр., в. о. зав. відділу, e-mail: stalevoz@i.ua,
<https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

В.Є. Ухін², канд. техн. наук, інженер з патентної та винахідницької роботи, e-mail: ukhinvladimir@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-3560-4130>, <http://www.researcherid.com/rid/P-9805-2015>

О.П. Верзілов¹, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: verzilovalex@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0463-5006>

А.Ю. Семенко¹, канд. техн. наук, мол. наук. співр., e-mail: semenko.au@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0448-1636>

Д.І. Гойда¹, мол. наук. співр., e-mail: goydadaniil@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4318-3084>

Ю.Ю. Куліш¹, мол. наук. співр., e-mail: deatherob@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4883-9345>

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

²ТОВ «Шеффілд Рефракторіс Україна» (Дніпро, Україна)

Вивчення процесів формування підповерхневих тріщин у ромбічній сортовій заготовці при виробництві в умовах металургійного мікро-заводу

Розвиток технологічних схем виробництва сталі в останні роки характеризується зменшенням обсягів виробленої сталі в рамках окремих підприємств з одночасним підвищенням якості продукції. У свою чергу виробництво якісних і високоякісних марок сталей на сьогоднішній день стає більш виправданим в умовах сучасних металургійних мікро-заводів, ніж в умовах міні-заводів і великих цехів. Дана тенденція обґрунтована можливістю виробляти якісну продукцію невеликими партіями. Під високою якістю заготовки, що відливається, мається на увазі забезпечення високих кондицій в частині геометричної конфігурації і відсутності поверхневих і підповерхневих тріщин.

Одна з причин проривів металу полягає в формуванні між заготовкою та поверхнею кристалізатора шлакової плівки або зазору, що перешкоджає ефективному відведенню тепла та призводить до локального ущільнення твердого каркаса і прориву металу під дією феростатичного тиску. Іншою причиною такого роду аварійної ситуації прийнято вважати знеміцнення кірки через появу в ній внутрішніх тріщин, спрямованих від центру злитка до поверхні при утворенні ромбічності профіля заготовки.

Однак на практиці спостерігаються випадки, коли в ромбічній заготовці прорив металу під кристалізатором викликає тріщини, що йдуть не з центру заготовки до поверхні, а, навпаки, від поверхні до центру.

Метою роботи є дослідження та ідентифікація процесів і явищ, які супроводжують формування тріщин та є причиною прориву металу і які спрямовані від поверхні злитка до його центру в ромбічній сортовій заготовці.

В даній роботі представлено дослідження та аналіз процесів і явищ, що супроводжують формування тріщин заготовки зі сталі. Розглянуто причину прориву металу сортової заготовки ромбічної форми, що сконцентрований на ділянці між поверхнею металевго злитка та його центром.

Встановлено, що поява поверхневих тріщин при розливанні сортової заготовки на машинах безперервного розливання заготовок (МБЛЗ) або на машинах напівбезперервного розливання заготовок (МНБЛЗ), викликана поперечним зменшенням або збільшенням ромбічності заготовки у діапазоні від 1–2 мм. Підтверджено, що такі процеси в свою чергу виникають через невідповідність розміру профіля гільзи по висоті параметрам усадки твердої кірки металу.

Ключові слова: металургійний мікро-завод, машина безперервного розливання сталі, машина напівбезперервного розливання сталі, ромбічність, сортова заготовка, підповерхневі тріщини.

Розвиток технологічних схем металургійної промисловості в останні роки характеризується зменшенням обсягів виробленої сталі в рамках окремих підприємств з одночасним підвищенням якості виробленої продукції. Така продукція є конкурентоспроможною відповідно до зростаючих вимог світових ринків. У свою чергу виробництво якісних і високоякісних марок сталей на сьогоднішній день стає більш

виправданим в умовах сучасних металургійних мікро-заводів, ніж в умовах міні-заводів і великих цехів. Дана тенденція обґрунтована можливістю виробляти якісну продукцію невеликими партіями [1, 2].

В умовах сучасних металургійних мікро-заводів розливання сталі, як правило, забезпечується машинами напівбезперервного розливання заготовок (МНБЛЗ) або машинами безперервного розливання (МБЛЗ).

Рис. 1. Приклад прориву кірки заготовки під кристалізатором

Рис. 3. Фотографія внутрішньої поверхні панчохи

При цьому, технологія безперервного лиття сортової заготовки характеризується прагненням виробників до отримання заготовки високої якості, що принципово відрізняється від концепції міні-заводів, які працюють за стратегією мінімізації витрат виробництва і для яких, у свою чергу, технологія характеризується прагненням максимально збільшити продуктивність [3–7]. Під високою якістю сталевих заготовок мається на увазі забезпечення високих кондицій в частині геометричної конфігурації та відсутності поверхневих і підповерхневих тріщин [1, 2, 4].

Найбільш шкідливими чинниками, що впливають на ефективність роботи МБЛЗ або МНБЛЗ, вважаються аварійні ситуації, які призводять до закриття одного або декількох струмків, однією з таких є прорив металу під кристалізатором [8, 9].

Одна з причин проривів металу полягає в формуванні між заготовкою та поверхнею кристалізатора шлакової плівки або зазору, що перешкоджає ефективному відведенню тепла та призводить до локального утоньшення твердого каркаса і прориву металу (рис. 1) під дією феростатичного тиску [10–14]. Іншим походженням такого роду аварійної ситуації прийнято вважати знеміцнення кірки через появу в ній внутрішніх тріщин, спрямованих від центру злитка до поверхні при утворенні ромбічності профіля заготовки (рис. 2, а, б і в).

Однак на практиці спостерігаються випадки, коли в ромбічній заготовці прорив металу під кристалізатором викликає тріщини, що йдуть не з центру заготовки до поверхні, а, навпаки, від поверхні до центру (рис. 2, г).

Метою цієї роботи є дослідження та ідентифікація процесів і явищ, які супроводжують формуван-

Рис. 2. Зовнішній вигляд тріщин, що сформувалися при утворенні ромбічності заготовки і призвели до прориву металу: а, б, в – тріщини, спрямовані від центру злитка до поверхні; г – тріщина, що спрямована від поверхні заготовки до центру

ня тріщин, що є причиною прориву металу і спрямовані від поверхні злитка до його центру в ромбічній сортовій заготовці зі сталі.

Для вивчення процесів попередніх проривів металу при утворенні подібного роду тріщин було відібрано «панчохи» сортової заготовки, що вироблена в умовах мікро-металургійного заводу перетином 120x120 мм і довжиною 1010 мм (рис. 3).

При огляді панчохи заготовки (рис. 3) було виявлено локальне зтоншення і випинання кірки на відстані 665 мм від верхньої частини і яскраво виражену ромбічність на відстані 747 мм (рис. 4). Прорив стався на відстані 777 мм від початку панчохи.

Для визначення причин прориву заготовки було досліджено динаміку твердіння кірки і на основі цих даних розраховано коефіцієнт тверднення. Коефіцієнт тверднення розраховувався за законом квадратного кореня [15].

Рис. 4. Ромбічність затверділої кірки заготовки

Рис. 5. Схема послідовності вимірювань товщини кірки заготовки

Заміри товщини кірки проводились за схемою, що зображена на рис. 5, де літерами «а» і «д» позначено великий і малий радіуси вигину заготовки, а знаком «*» — місце прориву. Відповідно до паспорту плавки у розрахунках використано швидкість розливання 3,4 м/хв.

Результати вимірювань товщини кірки заготовки та розрахунку коефіцієнта тверднення представлено на рис. 6, 7.

У табл. 1 наведено дані щодо ромбічності кірки заготовки.

Таблиця 1

Величина ромбічності кірки заготовки залежно від положення відносно початку панчохи

Відстань від початку панчохи, мм	Ромбічність профілю, мм
0	5
255	0
497	2
717	11

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок про складний напружено-деформований стан заготовки в кристалізаторі в процесі розливання. Як показали вимірювання профілю кірки заготовки, явище ромбічності почало розвиватись вже на ранній стадії тверднення, що підтверджують дані вимірювання динаміки тверднення кірки та зміни коефіцієнта тверднення в діапазоні від 0 до 255 мм щодо початку вимірювань. Так, у зазначеному інтервалі, товщини грані «а», грані «д», грані «ж» і кута «б» збільшуються повільніше (рис. 6, 7), ніж інші грані і кути, що свідчить про поганий контакт заготовки зі стінкою гільзи кристалізатора.

Поява ромбічності може бути пов'язана з невідповідністю параметрів розливання сталі в формі внутрішньої поверхні гільзи, коли величина усадки заготовки перевищує величину конусності кристалізатора [13, 14]. Далі, на відстані 255 мм від початку вимірювань ромбічність заготовки стає рівною нулю, а контакт проблемних граней і кутів відновлюється,

Рис. 6. Динаміка тверднення кірки заготовки

Рис. 7. Зміна коефіцієнта затвердіння сталі залежно від положення відносно початку панчохи

про що свідчить зростання значень коефіцієнта тверднення (рис. 7).

Позитивна динаміка тверднення спостерігається до позначки 497 мм від початку панчохи, після якої знову виникає ромбічність заготовки, що досягає максимального значення на позначці 717 мм (див. табл. 1). При розвитку ромбічності в цій області кірка заготовки втрачає контакт зі стінкою кристалізатора, і умови відводу тепла погіршуються, особливо грані «а» і кута «б» (рис. 6, 7).

Цікавим видається той факт, що на відстані 687 мм від початку панчохи товщина кірки грані «а» (рис. 6, 7) починає збільшуватись, що пояснюється поліпшенням її контакту з кристалізатором внаслідок випинання під дією феростатичного тиску.

Через багаторазові втрати і відновлення контакту грані «а» і кута «б» з гільзою кристалізатора, кірка заготовки підлягала механічній напрузі змінного типу, що спричинило її знеміцнення в районі кута «б» і утворенню тріщини (рис. 8), що йде від поверхні.

Після виходу з кристалізатора, ромбічність заготовки збільшилась (табл. 1) через відсутність її підтримки гільзою і скупчення механічної напруги в кірці, що в сукупності з утворенням тріщини і недостатньої товщини твердої фази заготовки призвело до руйнування твердої оболонки і прориву металу.

Рис. 8. Фотографія поверхневої тріщини

З метою обґрунтування причини утворення тріщин в сортових заготовках, спрямованих від поверхні до центру, якою є змінна деформація профілю зливка в кристалізаторі, було досліджено прорив заготовки перерізом 100x100 мм, відлитої в киснево-конвертерних умовах.

Для цього з частини заготовки довжиною 1000 мм, на якій стався витік металу з тріщини, було відібрано темплети за схемою, зазначеною на рис. 9, які в подальшому були протравлені для спостереження просування фронту кристалізації.

Всі відібрані та досліджені зразки металу мали форму поперечного перерізу у вигляді ромба, що свідчить про відхилення параметрів формування заготовки від номінальних. Значення величин ромбічності темплетів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Величина ромбічності темплетів залежно від їх положення щодо нижньої частини заготовки

Порядковий номер темплета	Величина ромбічності, мм	Відстань від нижньої частини заготовки, мм
1	2	55
2	3	114
3	2	244
4	6	437
5	3	619
6	3	758
7	4	977

Для того щоб зрозуміти причини появи даної аварійної ситуації було проаналізовано характер просування фронтів кристалізації металу в темплетах, відібраних до прориву металу. Травлення зразка № 2 не дало бажаних результатів, тому на рис. 10 він відсутній.

Аналізуючи характер просування фронту кристалізації металу до прориву, можна зробити висновок про те, що в процесі безперервного розливання сталі ін-

Рис. 9. Схема відбору темплетів з сортової заготовки перерізом 100x100 мм (цифри на схемі вказано порядкові номери темплетів і місця їх відбору)

тенсивність охолодження лівого нижнього кута і лівої грані заготовки зменшилась, внаслідок погіршення їх контакту з поверхнею гільзи через деформацію її геометричного профілю (ромбічності), про що свідчить зменшення їх товщини. Як видно з табл. 2, величина зміни ромбічності темплетів № 1 і 3 носила змінний характер, а на відстані 473 мм від нижньої частини заготовки досягла максимального значення.

Причиною утворення тріщин в тверднучій кірці стала деформація профілю заготовки, внаслідок поперемінно змінюваної величини відходу лівого кута зливка (табл. 2) в процесі безперервного розливання, що підтверджує припущення про механізм формування тріщин, спрямованих від поверхні заготовки до її центру.

Окремий інтерес при визначенні причини виникнення аварійної ситуації представляє темплет заготовки № 5, відібраний на відстані 2-х мм після прориву (рис. 11).

Як видно з рисунку, джерелом утворення прориву металу стало формування тріщини затверділої кірки, спрямованої від поверхні заготовки до центру, в сукупності зі зменшенням товщини прилеглого до неї кута внаслідок порушень умов тепловідведення.

При розливання сталі з високими швидкостями час перебування металу в кристалізаторі, а відповідно

Рис. 10. Темплети заготовки, відібрані до прориву металу: а – № 1; б – № 3; в – № 4

товщина і міцність кірки, зменшується. У зв'язку з цим зростає ймовірність змінної деформації профілю заготовки в гільзі внаслідок зносу або невідповідності її внутрішнього профілю величині усадки закристилізованої оболонки, що може стати причиною утворення тріщин і призвести до прориву металу.

Висновки

В рамках проведених досліджень встановлено, що поява поверхневих тріщин у сортовій заготовці спричинена проривом металу, який обумовлений деформацією профіля злитка. Це явище викликано попереми́нним зменшенням і збільшенням величини ромбічності заготовки, яка має величину від 1–2 мм, а також невідповідністю профіля гільзи по висоті кристалізатора параметрам усадки кірки металу.

Рис. 11. Зовнішній вигляд темплета, відібраного на відстані 2 мм після прориву металу: 1 – місце утворення тріщини та прориву металу

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубоделов В.И., Смирнов А.Н., Ефимова В.Г., Кравченко А.В., Верзилов А.П. Гидродинамические и физико-химические процессы в промежуточных ковшах для непрерывного литья стали. Монография. Киев: Наукова думка, 2018. 263 с.
2. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Подкорытов А.Л., Ухин В.Е., Кравченко А.В., Оробцев А.Ю. Непрерывная разливка сортовой заготовки: Монография. Алчевск: ДонГТУ, 2012. 449 с.
3. Смірнов О.М., Верзілов О.П., Смірнов Ю.О. Металургійні міні-заводи: конкурентоспроможність та перспективи розвитку. *Метал та лиття України*. 2020. Том 28. № 2 (321). С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.02.034>
4. Hochschule Luzern: Projektliste, WWW Document. URL: http://www.hslu.ch/t-fmf_projekte (Last accessed: 26.08.2020).
5. T. Bolender, R. Fandrich, H.-A. Jungblut, G. Kemper, R. Müller, H.P. Narzt, G. Ney and H. Schnitzer: 'Zum Entwicklungsstand der Stranggießtechnologie – State of the art in continuous casting technology', *Stahl u. Eisen*. 2009, 129, (7), 22–39.
6. Zhang K., Liu J., Cui H., Xiao C. Analysis of Meniscus Fluctuation in a Continuous Casting Slab Mold. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2018. Vol. 49. Iss. 3. P. 1174–1184. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11663-018-1236-5>
7. Bell J.R., Prichard L.C., Sprenger A. Startup of SeverCorr Greenfield CSP® Plant in Columbus, Mississippi. In Proceedings of 3rd International Conference on Thermomechanical Processing of Steels, 10–12 September 2008, Padua, Italy.
8. B.-J. Min, G. Shin and S.-H. Lee. Development of the high-speed, thin-slab casting technology of POSCO'. *Iron Steel Technol.*, 2013, 10, (7), 76–84.
9. Wu M., Ludwig A., Kharicha A. A four phase model for the macrosegregation and shrinkage cavity during solidification of steel ingot. *Applied Mathematical Modelling*. 2017. Vol. 41. P. 102–120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.08.023>
10. Saleem S., Vynnycky M., Fredriksson H. The Influence of Peritectic Reaction/Transformation on Crack Susceptibility in the Continuous Casting of Steels. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2017. Vol. 48. P. 1625–1635. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11663-017-0926-8>

11. Hui Z., Minglin W., Yeming W., Mei W., Xilin L. Novel Casting Technology Preventing Slab Transverse Corner Cracks of Typical Micro-alloyed Steels. *Advanced High Strength Steel*. Springer: Singapore, 2018. P. 159–170. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7892-7_18
12. Kong Y., Chen D., Liu Q., Long M.A. Prediction Model for Internal Cracks during Slab Continuous Casting. *Metals*. 2019, 9, 587. DOI: <https://doi.org/10.3390/met9050587>
13. Guo J., Wen G. Influence of Alloy Elements on Cracking in the Steel Ingot during Its Solidification. *Metals*. 2019, 9 (8), 836. DOI: <https://doi.org/10.3390/met9080836>
14. Yang G., Zhu L., Chen W., Yu X., He B. Initiation of Surface Cracks on Beam Blank in the Mold during Continuous Casting. *Metals*. 2018, 8 (9), 712. DOI: <https://doi.org/10.3390/met8090712>
15. Энциклопедия по машиностроению.
URL: <https://mash-xxl.info/page/080002116124030202229050069039055193043194070062> (Last accessed 28.08.2020).

Надійшла 31.08.2020

REFERENCES

1. Dubodelov, V.I., Smirnov, A.N., Efimova, V.G., Kravchenko, A.V., Verzilov, A.P. (2018). Hydrodynamic and physicochemical processes in tundish for continuous steel casting. Monograph. Kyiv: Naukova dumka, 263 p. [in Russian].
2. Smirnov, A.N., Kubersky, S.V., Podkorytov, A.L., Ukhin, V.E., Kravchenko, A.V., Orobtssev, A.Yu. (2012). Continuous casting of billet: Monograph. Alchevsk: DonSTU, 449 p. [in Russian].
3. Smirnov, O.M., Verzilov, O.P., Smirnov, Yu.O. (2020). Metallurgical mini-mills: competitiveness and prospects for development. *Metal and Casting of Ukraine*, vol. 28, no. 2 (321), pp. 34–40, doi: <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.02.034> [in Ukrainian].
4. Hochschule Luzern: Projektliste, WWW Document, URL: http://www.hslu.ch/t-fmf_projekte (Last accessed: 26.08.2020).
5. T. Bolender, R. Fandrich, H.-A. Jungblut, G. Kemper, R. Müller, H. P. Narzt, G. Ney and H. Schnitzer: 'Zum Entwicklungsstand der Stranggießtechnologie – State of the art in continuous casting technology', *Stahl u. Eisen*, 2009, 129, (7), 22–39.
6. Zhang, K., Liu, J., Cui, H., Xiao, C. (2018). Analysis of Meniscus Fluctuation in a Continuous Casting Slab Mold. *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 49, iss. 3, pp. 1174–1184, doi: <https://doi.org/10.1007/s11663-018-1236-5>
7. J.R. Bell, L.C. Prichard, A. Sprenger, "Startup of SeverCorr Greenfield CSP® Plant in Columbus, Mississippi". In Proceedings of 3rd International Conference on Thermomechanical Processing of Steels, 10–12 September 2008, Padua, Italy.
8. B.-J. Min, G. Shin and S.-H. Lee (2013). Development of the high-speed, thin-slab casting technology of POSCO'. *Iron Steel Technol.*, 2013, 10, (7), 76–84.
9. Wu, M., Ludwig, A., Kharicha, A. (2017). A four phase model for the macrosegregation and shrinkage cavity during solidification of steel ingot. *Applied Mathematical Modelling*, vol. 41, pp. 102–120, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.08.023>
10. Saleem, S., Vynnycky, M., Fredriksson, H. (2017). The Influence of Peritectic Reaction/Transformation on Crack Susceptibility in the Continuous Casting of Steels. *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 48, pp. 1625–1635, doi: <https://doi.org/10.1007/s11663-017-0926-8>
11. Hui, Z., Minglin, W., Yeming, W., Mei, W., Xilin, L. (2018). Novel Casting Technology Preventing Slab Transverse Corner Cracks of Typical Micro-alloyed Steels. *Advanced High Strength Steel*. Springer: Singapore, pp. 159–170, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7892-7_18
12. Kong, Y., Chen, D., Liu, Q., Long, M.A. (2019). Prediction Model for Internal Cracks during Slab Continuous Casting. *Metals*. 2019, 9, 587, doi: <https://doi.org/10.3390/met9050587>
13. Guo, J., Wen, G. (2019). Influence of Alloy Elements on Cracking in the Steel Ingot during Its Solidification. *Metals*. 2019, 9 (8), 836, doi: <https://doi.org/10.3390/met9080836>
14. Yang, G., Zhu, L., Chen, W., Yu, X., He, B. (2018). Initiation of Surface Cracks on Beam Blank in the Mold during Continuous Casting. *Metals*. 2018, 8 (9), 712, doi: <https://doi.org/10.3390/met8090712>
15. Encyclopedia of mechanical engineering.
URL: <https://mash-xxl.info/page/080002116124030202229050069039055193043194070062> (Last accessed 28.08.2020) [in Russian]

Received 31.08.2020

Summary

A.N. Smirnov¹, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Chief Researcher, Acting Head of Department, e-mail: stalevoz@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

V.E. Ukhin², PhD (Engin.), engineer for patent and inventive work, e-mail: ukhinvladimir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3560-4130>, <http://www.researcherid.com/rid/P-9805-2015>

A.P. Verzilov¹, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, e-mail: verzilovalex@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0463-5006>

A.Yu. Semenko¹, PhD (Engin.), Junior Researcher, e-mail: semenko.au@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0448-1636>

D.I. Hoyda¹, Junior Researcher, e-mail: goydadani@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4318-3084>

Yu.Yu. Kulish¹, Junior Researcher, e-mail: deatherob@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4883-9345>

¹*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)*

²*Sheffield Refractories Ukraine, LLC (Dnipro, Ukraine)*

Study of the processes of subsurface crack formation in a rhombic varietal billet during production in the conditions of a metallurgical micro-mill

The development of technological schemes of steel production in recent years is characterized by a decrease in the volume of steel produced within individual enterprises while improving the quality of products. In turn, the production of high-quality and high-quality steel grades today is becoming more justified in the conditions of modern metallurgical micro-mills than in the conditions of mini-mills and large shops. This trend is justified by the ability to produce quality products in small batches. The high quality of the cast billet means the provision of high conditions in terms of geometric configuration and the absence of surface and subsurface cracks.

One of the causes of metal breakthroughs is the formation of a slag film or gap between the work-piece and the surface of the mold, which prevents efficient heat dissipation and leads to local compaction of the rigid frame and metal breakthrough under the action of ferrostatic pressure. Another origin of this kind of emergency situation is considered to be the softening of the crust due to the appearance of internal cracks directed from the center of the ingot to the surface in the formation of the rhombicity of the work-piece profile.

However, in practice, there are cases when in a rhombic workpiece, the breakthrough of the metal under the mold causes cracks that do not go from the center of the workpiece to the surface, but, conversely, from surface to center.

The purpose of this work is to study and identify the processes and phenomena that accompany the formation of cracks and are the cause of metal breakthrough and directed from the surface of the ingot to its center in a rhombic billet.

This paper presents research and analysis of processes and phenomena that accompany the formation of cracks in the steel billet. The reason for the breakthrough of metal of a diamond-shaped grade billet, which is concentrated in the area between the surface of the metal ingot and its center, is considered.

It is established that the appearance of surface cracks during casting of a varietal billet on continuous casting machines (CCM) or semi-continuous casting machines (SCCM), caused by transverse decrease and increase of rhombicity of the billet in the range from 1–2 mm. It is confirmed that such processes in turn occur due to the mismatch of the size of the sleeve profile in height to the parameters of shrink-age of the hard crust of the metal.

Keywords

Metallurgical micro-mill, continuous casting machine, semi-continuous casting machine, rhombicity, high-grade billet, subsurface cracks.