

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 669-1:621.74
ГРНТИ 53.43.35-39

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.5.82.1232

Скачков Виктор Алексеевич

*д.т.н., профессор кафедры металлургии
Инженерного учебно-научного института
Запорожского национального университета,
Запорожье, Украина.*

Анищенко Вера Петровна

*Аспирант
Инженерного учебно-научного института
Запорожского национального университета,
Запорожье, Украина.*

UDC 669-1:621.74
GRNTI 53.43.35-39

TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CONTINUOUS CASTING OF STEEL

Skachkov Viktor Alekseevich –
Doctor of Technical Sciences,

*Professor of the Metallurgy Department
of the Engineering Educational and Scientific
Institute of Zaporozhye National University,
Zaporozhye, Ukraine.*

Anischenko Vera Petrovna
post-graduate student

*of the Engineering Educational and Scientific Institute
of Zaporozhye National University,
Zaporozhye, Ukraine.*

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ процессов беслитковой разливки металла и выявлен ряд факторов, влияющих на качественное формирование металлических полос. Сконцентрировано внимание на образовании твердого слоя на валках-кристаллизаторах, возможности контроля зоны деформации и теплообмена между валками-кристаллизаторами. Проведено сравнение условий образования полос при двухвалковой и одновалковой разливке-прокатке, показаны преимущества литья методом намораживания металла.

ABSTRACT

The analysis of the casting of metal is carried out and a number of factors influencing the qualitative formation of metal strips are revealed. Attention is focused on the formation of a solid layer on the mold rolls, the possibility of controlling the deformation zone and heat transfer between the mold rolls. The conditions for the formation of stripes were compared during two-roll, single-roll casting-rolling and metal freezing.

Ключевые слова: беслитковая прокатка, валковая разливка-прокатка, валок-кристаллизатор, кристаллизация, деформация, метод намораживания, скорость литья.

Keywords: ingot rolling, roll casting-rolling, the roll-mold, crystallization, deformation, freezing, casting speed.

К технологии беслитковой прокатки привлечено особое внимание во многих странах как к современному средству производства качественных тонких полос из различных металлов и сплавов.

Исследования привели к созданию ряда экспериментальных, опытно-промышленных и промышленных валковых разливочно-прокатных агрегатов (РПА) для производства тонких полос.

Беслитковая разливка-прокатка тонких полос позволяет существенно снизить производственные

затраты, так как при этом требуется меньшее число операций, а потребление энергии и капиталовложений в несколько раз меньше.

При беслитковой прокатке тонких полос горячая прокатка сведена к минимуму, загрязнение охлаждающей воды и образование твердых шламов значительно меньше; отпадает необходимость в мощных нагревательных печах и многоклетевых станах.

Одним из наиболее перспективных и эффективных процессов производства стального

листа является валковая разливка-прокатка [1]. Преимуществом данного технологического процесса является экономия электроресурсов до 90% за счет компактности оборудования и отсутствия промежуточного подогрева материала.

Суть данного процесса производства тонкого плоского проката заключается в формировании полосы непосредственно из жидкого металла путем кристаллизации и последующей деформации его между двумя вращающимися валками – кристаллизаторами (рис.1) [2].

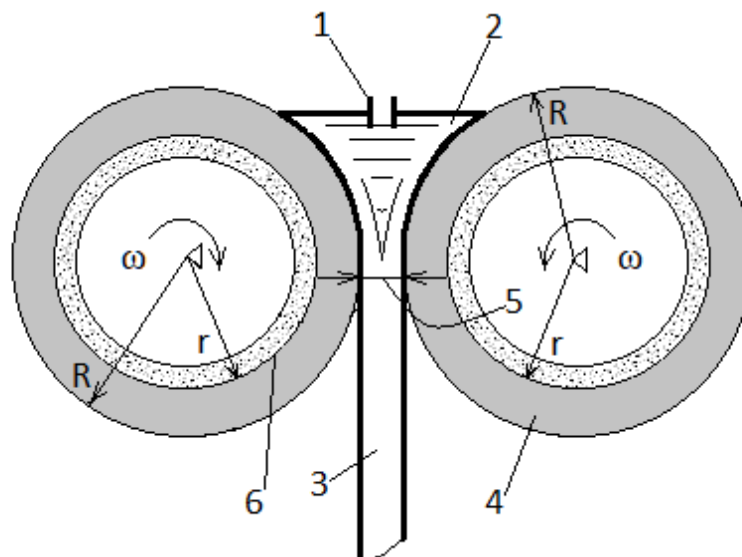


Рис. 1. Схема формирования полосы непосредственно из жидкого металла.

1 – сопло для подачи жидкого металла; 2 – жидкий металл; 3 – металл в твердом состоянии; 4 – бандаж валка- кристаллизатора; 5 – зона деформации; 6 – охлаждающая жидкость; R – внешний радиус валка, мм; r – внутренний радиус валка, мм; ω – угловая скорость валков, рад/с.

После непрерывной валковой разливки-прокатки материал без промежуточного подогрева поступает в прокатную клетку, где обжимается до заданной толщины, а затем поступает на участок контролируемого охлаждения для формирования необходимых микроструктуры и механических свойств.

После охлаждения полоса сматывается в рулоны. В настоящее время диапазон толщины стальных полос, производимых в агрегатах непрерывной валковой разливки-прокатки, составляет для промышленных установок от 1 до 5 мм, на лабораторных установках – 0,1...3 мм [3].

При валковой разливке-прокатке не смотря на простоту установки, снижения себестоимости конечного продукта существует ряд недостатков:

- разливается сталь достаточно простого сортамента - в основном углеродистая сталь обыкновенного качества;
- снижается качество получаемой полосы вследствие вторичного окисления струи и поверхности жидкого металла в зоне активного охлаждения жидкого металла, возможности образования "веерообразной" струи;
- ранняя кристаллизация металла;
- несплошности и литая структура металла;
- неудовлетворительное состояние поверхности;
- неплоскостность полос;
- неоднородность структуры металла в зоне деформации за счет выдавливания жидкого металла между затвердевшими частями полосы.

- нестабильного положения уровня металла, а значит и скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора, локального затягивания шлака с зеркала жидкого металла в зазор между затвердевшей оболочкой заготовки и гильзой кристаллизатора [4].

Качество непрерывно-литого продукта во многом зависит от выбора технологических параметров процесса разливки, размеров проката, марки стали. Современное состояние теории непрерывной разливки стали позволяет определить основные технологические параметры расчетным путем.

Особенностью работы двухвалковых кристаллизаторов является совмещение процессов затвердевания металла и его последующей пластической деформации в пространстве между двумя вращающимися навстречу друг другу валками [5, 6]. Металл, находящийся в межвалковом пространстве, последовательно перемещается через области кристаллизации и деформации [7].

Расчетные данные о длине участка кристаллизации являются крайне важными при отработке процесса формирования листа в двухвалковом кристаллизаторе [8].

Одним из главных параметров образования полосы является образование затвердевшей корки на валке и описывается формулой (1), так называемой Стефановской моделью:

$$\delta = k \cdot \sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где δ - толщина корочки;

k - коэффициент затвердевания;

τ - время.

Формула (1) используется для оценки толщины корки и скорости затвердевания расплава. Однако, удовлетворительную точность дает при затвердевании чистых металлов в узком температурном интервале кристаллизации [9].

В своих работах Бровман М.Я. [10] отмечает, что при валковой разливке металла время затвердевания достаточно малое, и в этом случае следует использовать более точную формулу:

$$\delta(\tau) = (x_0^2 + 2k_0\tau)^2 - x_0, \quad (2)$$

где k_0 и x_0 – постоянные величины для данного металла.

В технической литературе k_0 и x_0 приводятся для случая затвердевания металлов в слитках, когда между затвердевшей корочкой и охлаждающей стенкой образуется газовый (воздушный) слой, задерживающий теплопередачу. Опубликованных работ по экспериментальному исследованию параметров процесса кристаллизации расплавов при валковой разливке крайне мало.

Также возможно определение профиля кристаллизации расплава металла путем расчета положения линии солидуса по полю распределения температур расплава в межвалковом зазоре. В основу расчетов профиля корочки кристаллизации положено решение уравнений нестационарной теплопроводности методом конечных разностей [11]. Однако точность такого расчета значительно зависит от значений констант, входящих в уравнение теплопроводности, а также от параметров теплоотвода охлаждаемого расплава металла в валки и от способов их охлаждения.

В работе [12] проводились экспериментальные исследования о распределении температур и связанного с ними расположения профиля кристаллизации между валками. Анализ результатов показал, что характер изменения относительной длины зоны деформации не зависит от варианта конструктивного исполнения клетки машины валковой разливки-прокатки. Увеличение общей протяженности зоны кристаллизации-деформации приводит к росту длины области

кристаллизации в абсолютных величинах. Однако относительная длина участка кристаллизации при этом уменьшается, что иллюстрируется ростом относительной протяженности зоны деформации, интенсивность которого с увеличением уровня ванны расплава снижается. Данная зависимость имеет вид, близкий к параболической функции. Уменьшение толщины полосы, напротив, приводит к увеличению длины области деформации, причем интенсивность роста значений данной величины в диапазоне малых и больших толщин выше, чем в средней части варьируемого интервала межвалковых зазоров [13].

Немаловажное значение в расчете скорости разливки является правильное определение зоны смыкания образованных на валках-кристаллизаторах корочек разливаемого металла. Из расчетов [1] следует, что осуществление валковой разливки полосы с обжатием приводит к заметному снижению скорости разливки-прокатки. Например, для стальной полосы толщиной 2 мм при обжатии 15% скорость разливки снижается в 3 раза (с 164 до 52 м/мин) по сравнению с разливкой без обжатия.

Оптимальное положение зоны смыкания затвердевших корочек регулируется высотой заливки расплава металла. Неточное назначение высоты подаваемого расплава металла приводит к увеличению степени деформации, которая является основной причиной возникновения в полосе трещин и несплошностей.

По мере увеличения высоты зоны кристаллизации-деформации температура полосы растет, что объясняется увеличением объема расплава, поступающего в зазор между валками-кристаллизаторами. При достижении определенного значения высоты ванны расплава температура полосы начинает незначительно понижаться. Это объясняется увеличением протяженности зоны контакта металла с поверхностью валков-кристаллизаторов, что приводит к более интенсивному охлаждению полосы. При всем этом яркая выраженность данной закономерности уменьшается по мере увеличения толщины полосы [14].

В работах авторов [15, 16] рассмотрен процесс одновалковой разливки-прокатки (рис.2). В процессе получения и обработки результатов было установлено, что при одновалковой разливке-прокатке самым важным и контролирующим параметром является межфазная теплопроводность.

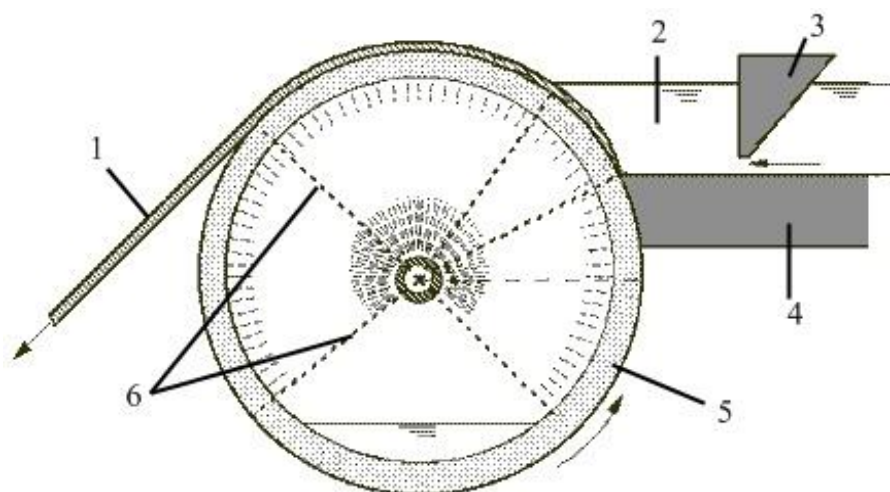


Рис. 2 Схема процесса разливки тонкой полосы с одним валком.
 1 - сплошная полоса сплава; 2 - жидкий расплав; 3 - распределительный затвор; 4 - дно ванны;
 5 - вращающийся валок-кристаллизатор; 6 - водоохлаждение валка.

Следующим важным фактором одновалковой разливки является время контакта металла с валком-кристаллизатором. Большее время контакта позволяет получить более толстую полосу на выходе. Толщина полосы не зависит от температуры литья и коэффициента теплопередачи. На толщину в основном влияют давление, скорость вращения валка и расстояние между валком и системой подачи.

Для различных способов непрерывного литья характерна одна общая черта: последовательное затвердевания части жидкого металла - намораживания. Намораживание происходит в агрегатах одновалковой разливки-прокатки (рис. 2). Затвердевающая корка обильно питается жидким расплавом, в ней не образуется усадочная пористость, неметаллические включения и газовые пузырьки отгесняются фронтом кристаллизации на свободную поверхность и не попадают в тело отливки, которое обладает повышенными плотностью и прочностью. Методом литья намораживанием возможно изготавливать тонкостенные отливки, к плотности которых предъявляются повышенные требования [18].

В зависимости от скорости литья условия намораживания будут разными: при большой скорости вращения валков - наморживание будет в потоке; при малых скоростях - в покое.

При непрерывном намораживании толщина отливки является функцией параметров технологического процесса и существенно зависит не только от условий теплообмена, но и от поверхностного натяжения расплава металла. Получение отливки постоянной толщины можно обеспечить, если в процессе литья неизменными будут длина пятна контакта расплава с кристаллизатором, скорость вращения валка, температура заливки, условия охлаждения валка [19].

Способ намораживания на один валок имеет преимущество перед двухвалковой разливки в том, что корочка, которая имеет фронт кристаллизации

металла со стороны валка, не имеет остаточного жидкого металла. В результате полоса затвердевает без усадочной пористости, неметаллических включений и химической неоднородности.

Продолжительность процесса намораживания корки определяется скоростью литья - перемещением наружной поверхности валка-кристаллизатора и высотой ванны с расплавленным металлом.

Отливка в процессе формирования и охлаждения на валке неподвижна относительно кристаллизатора и перемещается вместе с ним. Расплав в зоне намораживания неподвижен. При этом заполнение ванны расплавом, отвод теплоты перегрева расплава, кристаллизация отливки, ее частичное охлаждение и удаление отливки происходят одновременно.

Формирование отливки происходит при высокой интенсивности теплообмена между коркой и валком-кристаллизатором, тепловом и гидродинамическом воздействии перегретого расплава на фронт кристаллизации, активном взаимодействии свободной поверхности жидкого металла с извлекаемой отливкой [19].

При застывании полосы на поверхности валка возникают две зоны контакта. Полоса изначально имеет оптимальный контакт. Это короткое время контакта и высокий коэффициент теплопередачи. Теплопередача в процессе разливки полосы регулируется в основном теплоотдачей и характеризуется коэффициентом между затвердевающей полосой и медным валком. В среднем этот коэффициент уменьшается и с течением времени формируется вторая зона контакта, в соответствии с функцией, которая определяется экспериментальным путем при исследовании широкого спектра процессов литья [16].

Выводы. Валковая разливка-прокатка является наиболее перспективным направлением в современной металлургии. Использование математических моделей и методов позволяет

рассчитывать распределение температурных полей, формирование фронта корочки кристаллизации расплава металла и назначать оптимальный режим охлаждения валков-кристаллизаторов.

Важным моментом осуществления валковой разливки является обеспечение температурного режима, скорости заливки металла и распределения разливаемого металла по длине валка-кристаллизатора.

Осуществление одновалковой разливки-прокатки не требует дополнительных расчетов деформации, однако необходимо дополнительно исследовать процесс теплопередачи между валком-кристаллизатором и расплавом металла. Важно изучить влияние скорости вращения валка-кристаллизатора на образование разнотолщины и неровностей свободно затвердевающей поверхности.

Отличием литья методом намораживания от обычного литья металла и сплавов является получение непрерывнолитых изделий с мелкозернистой структурой, не имеющих усадочных раковин, трещин, неметаллических включений.

Список литературы

1. Ноговицын А. В., Баранов И. Г. Физическое и математическое моделирование валковой разливки стальной полосы // Сборник научных трудов Днепропетровского государственного технического университета. Технические науки. - 2018. - Вып. Тем. вып. - С. 259-266. [Nogovicyn A. V., Baranov I. G. Fizicheskoe i matematicheskoe modelirovanie valkovoj razlivki stal'noj polosy // Sbornik nauchnyh trudov Dneprovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Tehničeskije nauki. - 2018(Tem. vyp.):259-266 (In Ua)]
2. Приходько И. Ю., Дедиков М. А. Моделирование процесса валковой разливки-прокатки алюминия методом конечных элементов // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. - Днепропетровск.: ИЧМ НАН Украины, 2014. - Вып. 28. - С. 212-222. [Prihod'ko I. Ju., Dedikov M. A. Modelirovanie processa valkovoj razlivki-prokatki aljuminija metodom konečnyh jelementov // Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoj metallurgii: Sb. nauč. tr. - Dnepropetrovsk.: IChM NAN Ukrainy, 2014(28):212-222. (In Russ).]
3. Zapuskalov N. Comparison of continuous strip casting with conventional technology / N. Zapuskalov // ISIJ International. - 2003. - Vol. 43 (No8). - P. 1115-1127.
4. Данченко В. М. Кардинальные изменения технологии и проблемы теории производства стального проката // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2000. - No8-9. - С. 13-19. [Danchenko V. M. Kardinal'nye izmenenija tehnologii i problemy teorii proizvodstva stal'nogo prokata // Metallurgičeskaja i gornorudnaja promyšlennost'. - 2000(8-9):13-19. (In Russ).]
5. Барановский Е. Ф., Ильюшенко В. Н., Короткин Г. П., Кулагин Е. В. Непрерывное литье тонких лент в валковый кристаллизатор [Текст] // Литейное производство. - 1999. - No9. - С. 31-33. [Baranovskij E. F., Il'jushenko V. N., Korotkin G. P., Kulagin E. V. Nepreryvnoe lit'e tonkih lent v valkovyj kristallizator [Tekst] // Litejnoe proizvodstvo. - 1999(9):31-33. (In Russ).]
6. Николаев В. А. Некоторые особенности процесса беслитковой прокатки стальных полос // Производство проката. - 2007. - No5. - С. 11-13. [Nikolaev V. A. Nekotorye osobennosti processa besslitkovoj prokatki stal'nyh polos // Proizvodstvo prokata. - 2007(5):11-13. (In Russ).]
7. Ноговицын А. В., Баранов И. Р. Метод расчета протяженности зон кристаллизации и деформации при валковой разливке-прокатке // Обработка металлов давлением. - 2013. - No1 (34). - С. 170-176. [Nogovicyn A. V., Baranov I. R. Metod rasčeta protjazhennosti zon kristallizacii i deformacii pri valkovoj razlivke-prokatke // Obrabotka metallov davleniem. - 2013;1 (34):170-176. (In Russ).]
8. Рудой Л. С. Двухвалковая установка непрерывной разливки стали (ДВ УНРС) // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2010. - No7. - С. 244-246. [Rudoj L. S. Dvuhvalkovaja ustanovka nepreryvnoj razlivki stali (DV UNRS) // Metallurgičeskaja i gornorudnaja promyšlennost'. - 2010(7):244-246. (In Russ).]
9. Бровман Н. Я. Непрерывная разливка металла. - М.: "Экомет", 2007. - 484с. [Brovman N. Ja. Nepreryvnaja razlivka metalla. - Moscow "Jekomet", 2007. (In Russ).]
10. Бровман Н. Я., Николаев В. А., Полухин В. П. Протяженность зоны пластической деформации и допустимая скорость при беслитковой прокатке // Металлы. - 2007. - No1. - С. 44-49. [Brovman N. Ja., Nikolaev V. A., Poluhin V. P. Protjazhennost' zony plasticheskoj deformacii i dopustimaja skorost' pri besslitkovoj prokatke // Metally. - 2007(1): 44-49. (In Russ).]
11. Найдек В. Л., Тарасевич Н. И., Корниец И. В., Тарасевич И. М. Оценка параметров валкового литья металла при формировании тонкой полосы на базе компьютерного моделирования // Сталь. - 2017. - No7. - С. 65-70. [Najdek V. L., Tarasevich N. I., Korniec' I. V., Tarasevich I. M. Ocenka parametrov valkovogo razlivki metalla pri formirovanii tonkoj polosy na baze komp'juternogo modelirovanija // Stal'. - 2017(7):65-70. (In Russ).]
12. Гридин А. Ю. Математическое моделирование температурного поля металла и валков в процессе валковой разливки-прокатки // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. - Краматорск: ДГМА, 2009. - No 1 (20). - С. 75-83. [Gridin A. Ju. Matematicheskoe modelirovanie temperaturnogo polja metalla i valkov v processe valkovoj razlivki-prokatki // Obrabotka materialov davleniem: sb. nauč. tr. - Kramatorsk: DGMA, 2009;1(20):75-83. (In Russ).]
13. Гридин А. Ю. Экспериментальный метод определения длины зоны деформации при непрерывной валковой разливке-прокатке //

Вестник национального технического университета «ХПИ».2010 - Вып. 42. - С. 48-58. [Gridin A. Ju. Jeksperimental'nyj metod opredelenija dliny zony deformacii pri nepreryvnoj valkovej razlivke-prokatke // Vestnik nacional'nogo tehničeskogo universiteta «HPI».2010(42):48-58. (In Russ).]

14. Бондаренко, С. В.; Гридин А. Ю.; Шапер М. Исследование зависимости температуры и степени деформации тонких участков профилированных полос при валковой разливке-прокатке с дополнительным тепловым сопротивлением. // Обработка материалов давлением 2017, 1: 89-95. [Bondarenko, S. V.; Gridin A. Ju.; Shaper M. Issledovanie zavisimosti temperatury i stepeni deformacii tonkih uchastkov profilirovannyh shtab pri valkovej razlivke-prokatke s dopolnitel'nym teplovym soprotivleniem. // Obrabotka materialov davleniem 2017(1): 89-95. (In Russ).]

15. Li, G. and B.G. Thomas, "Transient Thermal Model of the Continuous Single-Wheel Thin-Strip Casting Process", Metallurgical Transactions B, 1996;Vol. 27B (June):509-525.

16. T. Haga, K. Akitsu, K. Kamakura, S. Kum, H. Watari Strip casting using a single roll caster equipped with a scraper. // Journal of Achievements in materials and Manufacturing Engineering, 2012;11(55): 26-32.

17. E.N. Straatsma, W.H. Kool, L. Katgerman Single-roll Strip Casting of Aluminium Alloys; // Continuous Casting. 2006(4):77-81 DOI: <https://doi.org/10.1002/3527607331.ch11>;

18. Степанов Ю. А. и др. Специальные виды литья. М., «Машиностроение», 1970 - 224 с. [Stepanov Ju. A. i dr Special'nye vidy lit'ja.. Moscow, «Mashinostroenie», 1970 - 224 s. (In Russ).]

19. Барановский Е. Ф., Пумпура В. А., Ильюшенко В. Н., ИТМ НАН Беларуси Анализ процесса формирования металлических лент при непрерывном литье намораживанием на валке // Литье и металлургия. 2008. №1 (45) С. 121-124. [Baranovskij E. F., Pumpura V. A., Il'jushenko V. N., ITM NAN Belarusi Analiz processa formirovanija metallicheskih lent pri nepreryvnom lit'e namorazhivaniem na valke // Lit'e i metallurgija. 2008;1(45):121-124 (In Russ).]

COST CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF CONSUMER DEMAND TO OPTIMIZE AIR TRANSPORTATION AND ENSURE THE ECONOMIC STABILITY OF KAZAKHSTAN AIRLINES IN THE FACE OF PANDEMICS

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.5.82.1237

¹Boranbayev S.N., ²Assanbek G.D.

^{1,2}L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, Kazakhstan

ABSTRACT

This article analyzes the costs of aviation companies in the context of the pandemic, including for the airline of the Republic of Kazakhstan. The classification of airline costs is considered. Cost classification and analysis of consumer demand, taking into account the epidemiological situation in different regions, are the basis for optimizing air transportation, reducing costs and ensuring the economic stability of the airline in the face of pandemics.

Keywords: aviation, air transportation, airline, information technology, expenses, economic

1. INTRODUCTION

The coronavirus pandemic has caused incredible losses in all areas of activity, but airlines have suffered the most. Every day more and more carriers cancel flights. The reason for this phenomenon was not only the legislative acts of various countries that close air traffic, but also the lack of demand. In such a difficult time, residents of the entire planet prefer to stay at home and refuse to travel even within their own state. Airlines around the world are doing their best to get by with minimal expenses during these turbulent times. To the average person, it may seem that everything is simple: no flights, no expenses. However, this is not the case in reality. Let's try to figure out what expenses are carried out by companies at a time when their planes do not fly. The cost or cost of an airline's products is the main indicator for the economic assessment of the feasibility and efficiency of the industry as a whole and of each airline in particular. Planning, accounting and analysis of operating costs is carried out in two main aspects - by economic elements and by cost items. This ensures the completeness and correctness of accounting and planning of production costs. Economic elements are

grouped into costs that are homogeneous in their economic content, which allows you to determine the amount of resources of each type required for production.

2. TYPES OF EXPENSES

Agreeing to the IATA classification of working costs, coordinate and backhanded costs are distributed first. Direct costs coordinated taken a toll bunches for each sort of transport. These costs are related to the preparation and coordinate execution of the pertinent flights. Each thing of consumption can be straightforwardly ascribed to a specific flight (airline). Indirect costs are related to the company's inner bolster of the airline's exercises, the arrangement of different organizational issues, as well as the arrangement and development of the advertise specialty. This gather of costs relates to transportation exercises in Common, without being isolated into isolated sorts of administrations. In this manner, the exchange of these costs to the taken a toll of transportation is carried out in extent to the proposed ton-kilometers, seat-kilometers, flight hours, air ship flights, etc. [1].