

for each of the technological grinding transitions, despite the difference in elastic displacements, which is caused by a discrete decrease in the speed of the radial feed at each subsequent technological transition. On this basis, obtained analytical dependencies to determine the speed of the radial feed at each technological transition. The calculations found that with an increase in the number of technological transitions, the minimum of the main processing time decreases, but not so significantly. The greatest effect in this direction is achieved in the implementation of the operation of the circular mortise grinding in two transitions, which explains the effectiveness in practical use of the operation of the circular mortise grinding, including preliminary and final grinding. This indicates the reliability of the mathematical model developed in the paper.

It is shown that when removing relatively large allowances, it is advisable to carry out the operation of round plunge grinding in three or more transitions in order to reduce the main processing time. A comparison was made of the main processing time when performing the operation of a circular mortise grinding with discrete and continuous (when nursing) decrease in time of the radial feed rate. It has been established that with nursing with a given accuracy of the surface being treated, the main processing time is much less than with a discrete decrease in time of the radial flow rate. This indicates the effectiveness of the application of the nursing pattern when grinding to ensure high precision of the treated surface and reduce the main processing time, including the removal of increased allowances.

Keywords: *circular plunge grinding, technological transitions, the main processing time, elastic movement, radial feed speed, nursing.*

Рекомендована к публикации: д-р техн. наук, проф. Андилахай А. А.
Статья поступила 10.01.2019 г.

УДК 621.74:621.316.933

doi.org/10.31498/2522-9990202019184103

Лоза А. В., Рассохин Д. А., Ткачук Е. В., Шишкин В. В.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЯДНИКОВ НАПРЯЖЕНИЙ В ОСНОВНЫХ УЗЛАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МНЛЗ

В работе на основе анализа условий работы оборудования МНЛЗ и особенностей образования дефектов предложен способ уменьшения трещинообразования с использованием разрядников напряжений. Рассмотрена усовершенствованная конструкция головки затравки, разработанная на основе анализа ее напряженного состояния. Предложенные конструкции затравок позволяют уменьшить процесс трещинообразования в них и увеличить срок их эксплуатации.

Ключевые слова: *машины непрерывного литья заготовок, затравка, напряжения, трещины, дефекты, разрядники напряжений, моделирование.*

Постановка проблемы. В промышленном оборудовании наличие трещин и других поверхностных дефектов является недопустимым при эксплуатации. Особенно важным это условие является для деталей, являющихся составной частью большого комплекса оборудования. Например, в машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с общей массой оборудования в несколько тысяч тонн выход из строя даже одной детали влечет за собой очень серьезные последствия. Потери производства от незапланированных простоев связаны с миллионными убытками. В то же время в общей массе оборудования МНЛЗ имеются узлы, работающие в условиях, близких к критическим, что обуславливает их быстрое разрушение

Режим доступа: <http://sap.pstu.edu>

и может привести к аварийным остановкам. Для таких тяжело нагруженных узлов необходимо обеспечить повышенную надежность их работы за счет дополнительных мероприятий, и в частности, с целью уменьшения трещинообразования. В известных публикациях по работе оборудования для непрерывного литья [1–3] такие вопросы не рассматривались. Поэтому вопрос конструктивного усовершенствования оборудования МНЛЗ и проблема уменьшения образования трещин в рабочих узлах оборудования являются актуальными и представляют интерес для технических специалистов.

Цель статьи – анализ напряженного состояния головок затравок слабовых МНЛЗ с целью определения возможности уменьшения образования трещин на их наиболее нагруженных участках, а также увеличения ресурса эксплуатации и сокращения затрат на ремонты.

Изложение основного материала. Для большинства узлов и деталей промышленного оборудования отсутствие деформаций при их работе имеет принципиально важное значение. Конструктор и изготовитель любого оборудования проектирует и выпускает изделия, исходя из его прямого назначения. При этом предполагается, что рабочие размеры изделия будут соответствовать первоначальным и в процессе его эксплуатации. В то же время ряд деталей и узлов оборудования в металлургии при эксплуатации нагреваются до значительных температур, что вызывает их тепловое расширение. Коэффициенты линейного теплового расширения α имеют различное значение для разных марок сталей и различных диапазонов изменения температур для каждой марки стали, и могут изменяться в диапазоне $9,6 \dots 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ [4]. Каждая деталь рассчитывается исходя из номинальных нагрузок, обусловленных технологическим процессом. При этом предполагается, что при работе размеры детали будут соответствовать рабочим размерам, а само изделие предназначено для работы в течение некоторого срока, обусловленного регламентом. Для большинства деталей это условие соблюдается. Однако имеется ряд узлов, которые, во-первых, испытывают кратковременные перегревы, и во-вторых, подвержены действию циклического изменения температур. В этом случае металл изделия может претерпевать структурные изменения, в результате которых изменяются его теплофизические и механические свойства. В таких случаях деталь меняет свои свойства при эксплуатации следующим образом: могут возникать деформации выше расчетных значений, происходит охрупчивание [5] материала изделия и снижение его способности сопротивляться процессу образования трещин. В частности, в машинах непрерывного литья такие узлы как кристаллизаторы, секции зоны вторичного охлаждения, поддерживающие ролики и балки, затравки и некоторые другие узлы могут испытывать перегревы, которые повторяются циклически. Тяжелые условия такого оборудования не только влияют на его работу, сокращая срок эксплуатации, но и могут негативно повлиять на качество выпускаемой продукции. Это влияние выражается следующим образом: из-за перегревов оборудования может изменяться настройка основных узлов, связанная с температурными расширениями наиболее нагретых элементов. В то же время некоторые элементы оборудования, например, поддерживающие ролики и секции зоны вторичного охлаждения напрямую влияют на качество непрерывно литых заготовок. В частности, при настройке роликов зоны вторичного охлаждения допускается погрешность их установки не более 0,2 мм. При отклонении настройки более указанного значения возникает брак в товарной продукции, который недопустим и требует проведения внепланового ремонта машины. Как это ни удивительно, но на состояние настройки кристаллизаторов и поддерживающих роликов зоны вторичного охлаждения может оказывать влияние и затравка. В частности, при наличии трещин в наиболее нагруженном узле затравки – головки, изменяется ее несущая способность и возможно возникновение сверхнормативных деформаций, т.е. изменение размеров ее поперечного профиля. Это может привести к

Режим доступа: <http://sap.pstu.edu>

искажению поперечного сечения головной части слитка и изменению усилий в зоне контакта слитка и поддерживающих элементов. Кроме того, трещины в замковой части затравки являются недопустимыми во избежание заклинивания жидкого металла в трещинах. Вопрос снижения образования трещин является актуальным для машин непрерывного литья всех типов, хотя условия работы разных машин могут значительно отличаться.

Проблема снижения интенсивности образования трещин может быть решена различными способами. Её практическое решение зависит от конструкции изделия и особенностей его нагружения. Если рассмотреть работу затравок слябовых МНЛЗ, то нужно отметить, что в основе проблемы лежит несимметричная конструкция головки затравки и односторонний подвод и отвод тепла от ее замковой части. В общем случае, головка затравки МНЛЗ состоит из корпуса и замковой части. Замковая часть – это полость, ограниченная с четырех сторон стенками корпуса и фигурным выступом (замковым выступом), который закреплен к базовой стене корпуса. Замковая часть обеспечивает надежность соединения головки затравки и непрерывного слитка при вытягивании его из кристаллизатора и зоны вторичного охлаждения. Через замковую часть передается усилие вытягивания непрерывного слитка, которое может изменяться в пределах от 1 до 20 тонн. В связи с ответственной функцией, замковую часть головки затравки выполняют с заведомо большей прочностью, чем требуется, во избежание создания возможных аварийных ситуаций. Обеспечение заведомо большего, чем нужно запаса прочности материала головки, как для всех других видов оборудования, так и для данного оборудования в частности, сопровождается недостаточным запасом пластичности металла, из которого она изготовлена. В принципе, малые пластические свойства обеспечивают жесткость корпуса головки затравки. Этим обеспечивается минимальное искажение поперечного профиля головки при эксплуатации. В то же время недостаток пластичности металла сказывается на поведении замкового выступа, который с точки зрения механики упрощенно можно рассматривать как несимметрично защемленную балку, которая испытывает интенсивные нагревы и охлаждения не по всему периметру. Для анализа поведения такой конструкции были использованы различные варианты трехмерных моделей головок. При этом рассматривались головки затравок как использовавшихся ранее, так и современных конструкций (т.н. короткие головки затравок), рис. 1. В новых конструкциях головок отсутствует хвостовая часть головки, однако замковая часть выполнена более металлоемкой для обеспечения жесткости конструкции при эксплуатации.

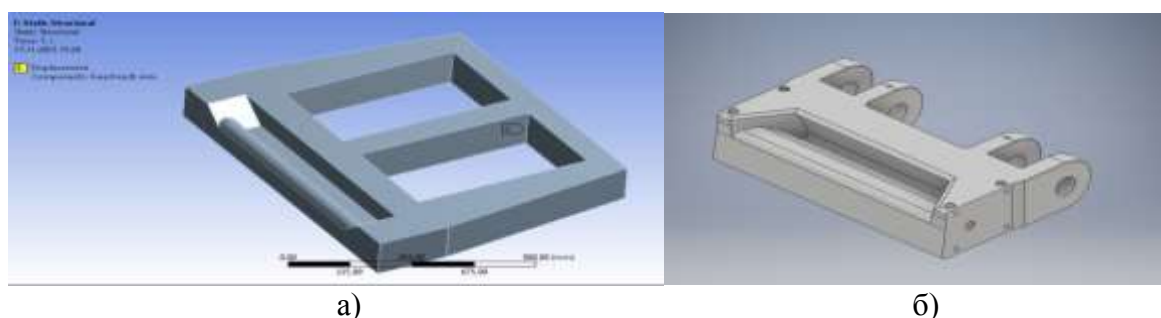


Рисунок 1 – 3-D модели головок затравок разных конструкций

Для анализа напряженно-деформированного состояния использовался метод конечных элементов (МКЭ) [6, 7]. Трехмерным моделям назначали разбиение на конечные элементы (рис. 2), после чего задавались различные теоретически возможные нагрузки.

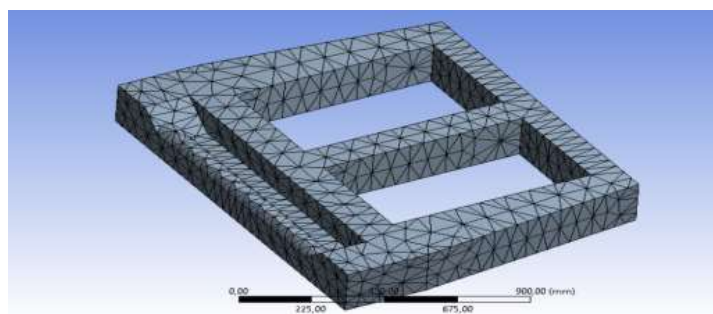


Рисунок 2 – Модель головки затравки с сеткой КЭ

Использование моделей позволяет установить наиболее опасные участки конструкции, в которых возникают максимальные напряжения в случае приложения нагрузок. В частности, установлено, что наибольшим деформациям (отклонениям от начальной геометрии) подвержены краевые участки торцевого сечения головки затравки, рис.3, а максимальные напряжения (и соответственно – трещины) могут возникать с определенным шагом и развиваться, прежде всего, на поверхности замкового выступа.

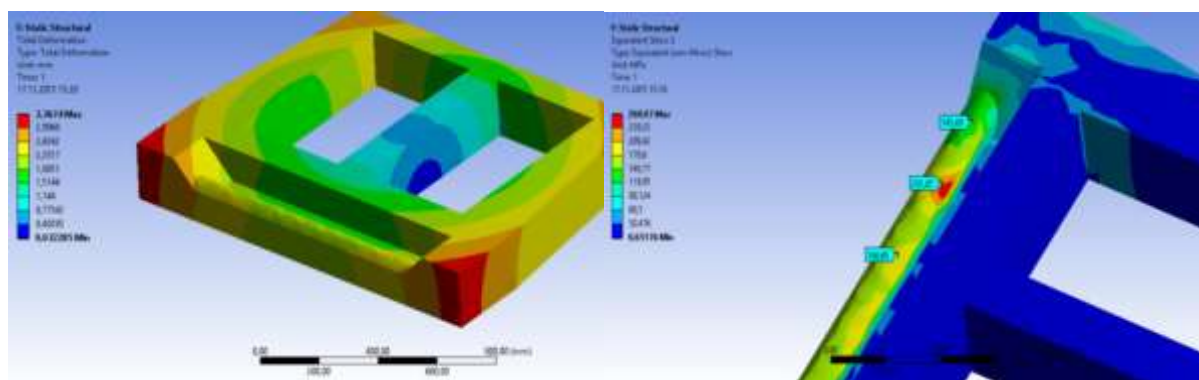


Рисунок 3 – Анализ деформаций и напряжений в модели головки затравки

Анализ картины распределения напряжений в модели головки затравки показывает, что максимумы напряжений возникают в замке с некоторым шагом. При этом наблюдается характерная особенность: чем больше длина замкового выступа, тем большим является количество максимумов напряжений по длине замка. Контроль состояния головок затравок промышленных МНЛЗ подтверждает, что образованию трещин в замке подвержены все конструкции головок, в большей или меньшей степени. Анализ поведения конструкции позволяет полагать, что одной из основных причин образования трещин является неодинаковая деформация различно нагретых поверхностных слоев замкового выступа и расположенных ближе к основанию внутренних слоев замка. Исходя из этого, для снижения температурных напряжений в замковом выступе головки затравки необходимо деформацию его верхних слоев сделать более свободной. Этого можно достичь, если выполнить поперечный паз (разрядник напряжений), который делил бы длину выступа на два элемента. При этом нагрев и охлаждение поверхностного слоя замка становится более безопасным с точки зрения возможности возникновения растягивающих напряжений, что уменьшает вероятность трещинообразования, рис. 4.

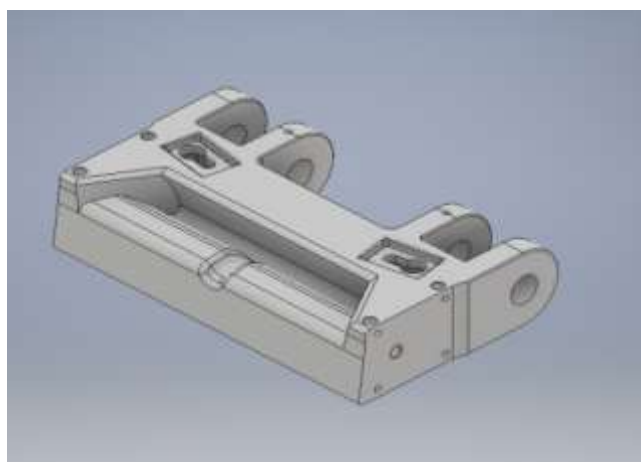


Рисунок 4 – Конструкція замка головки затравки с разрядником напряжений

Выполнение такого паза служит для уменьшения напряжений в наиболее нагруженных поверхностных слоях замкового выступа, т.е. является разрядником напряжений. Следует отметить, что несмотря на очень большой запас прочности замкового выступа, выполнение паза может слегка ослабить этот запас прочности. Поэтому для реализации данной полезной модели геометрические параметры паза должны удовлетворять определенным расчетным критериям [8]. Усовершенствованные головки затравок могут быть выполнены по разным вариантам исполнения. Разрядники напряжений могут применяться и в других узлах механического оборудования МНЛЗ. Таким образом, в случае использования конструктивных усовершенствований имеется возможность повысить срок службы оборудования за счет уменьшения процесса образования трещин.

ВЫВОДЫ

1. Важным резервом увеличения долговечности оборудования МНЛЗ является внедрение мероприятий по уменьшению образования трещин в наиболее нагруженных и ответственных узлах механического оборудования.

2. Технологически простым и недорогим методом снижения напряжений в конструкциях с целью уменьшения образования трещин является применение разрядников напряжений.

Список использованных источников:

1. Нисковских, В. М. Машины непрерывного литья слябовых заготовок / В. М. Нисковских, С. Е. Карлинский, А. Д. Беренов. – М. : Металлургия, 1991. – 271 с.
2. Теория непрерывной разливки / В. С. Рутес [и др.]. – М. : Металлургия. 1971. – 296 с.
3. Смирнов, А. Н. Непрерывная разливка стали / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
4. Марочник сталей и сплавов / под ред. В. Г. Сорокина. – М. : Машиностроение, 1989. – 639 с.
5. О причинах трещинообразования в корпусах кислородных конверторов / В. М. Горицкий [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1987. – № 1. – С. 57–60.

6. Исследование напряженного состояния литого металла при циклическом нагреве / А. В. Лоза, В. В. Чигарев, Д. А. Рассохин, В. В. Шишкин // Известия вузов. Черная металлургия. – 2016. – Т. 59, № 11. – С. 781–786.

7. Банников О. Д. Оценка сходимости напряжений в сложных металлоконструкциях методом конечных элементов / О. Д. Банников, А. Э. Гуслистая // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 4. – С. 93–96.

8. Пат. 121512 Україна, МПК В 22 D 11/08. Головка запалу машини безперервного литва слябів / А. В. Лоза, В. В. Шишкин. – № u201705631; заявл. 07.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. № 23. – 3 с.: ил.

Лоза А. В., Рассохін Д. О., Ткачук К. В., Шишкін В. В.

ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРЯДНИКІВ НАПРУЖЕНЬ В ОСНОВНИХ ВУЗЛАХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ МБЛЗ

У промисловому устаткуванні наявність тріщин та інших поверхневих дефектів є неприпустимою при експлуатації. Особливо важливою ця умова являється для деталей, що є складовою частиною великого комплексу устаткування. Наприклад, в машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) із загальною масою устаткування в декілька тисяч тон, вихід з ладу навіть однієї деталі спричиняє за собою серйозні наслідки, пов'язані з мільйонними збитками. Важкі умови такого устаткування не лише впливають на його роботу, скорочуючи термін експлуатації, але й можуть негативно вплинути на якість продукції, що випускається. Цей вплив виражається таким чином: з причини перегрівання устаткування може змінюватися налаштування основних вузлів, пов'язане з температурними розширеннями найбільш нагрітих елементів. За наявності тріщин в найбільш навантаженому вузлі запалу - голівки, змінюється її міцність, і можливе виникнення наднормативних деформацій, тобто зміна розмірів її поперечного профілю. Крім того, тріщини в замковій частині запалу є неприпустимими щоб уникнути заклинювання рідкого металу в тріщинах.

Проблема зниження інтенсивності утворення тріщин може бути розв'язана різними способами. Її практичне рішення залежить від конструкції виробу і особливостей його навантаження. Якщо розглянути роботу запалів слябових МБЛЗ, то потрібно відмітити, що в основі проблеми лежить несиметрична конструкція голівки запалу і одностороннє підведення і відведення тепла від її замкової частини. Для аналізу напружено-деформованого стану в статті використовувався метод кінцевих елементів. Тривимірним моделям задавали розбиття на кінцеві елементи, після чого задавалися різні теоретично можливі навантаження. Зокрема, встановлено, що до найбільших деформацій схильні крайові ділянки торцевого перерізу голівки запалу, а максимальне напруження (і відповідно - тріщини) може виникати з певним кроком і розвиватися на поверхні замкового виступу. Аналіз розрахункових даних показав, що для зниження температурної напруги в замковому виступі голівки запалу необхідно деформацію його верхніх шарів зробити вільнішою. Цього можна досягти, якщо виконати поперечний паз (розрядник напружень), який ділив би довжину виступу на два елементи. При цьому нагрівання та охолодження поверхневого шару замку стає безпечнішим з точки зору можливості виникнення розтягуючих напружень, що зменшує вірогідність утворення тріщин.

Ключові слова: машини безперервного лиття заготовок, запал, напруга, тріщини, дефекти, розрядники напружень, моделювання.

Loza A. V., Rassokhin D. A., Tkachuk K. V., Shishkin V. V.**APPLICATION OF STRAIN REDUCERS ON MAIN UNITS
OF CCM PROCESS EQUIPMENT**

Presence of cracks and other surface defects is completely prohibited at exploitation of industrial facilities. This condition is of vital importance for component parts of a complex of big equipment. For example, for continuous casting machines (CCMs), whose total weight exceeds several thousand metric tons a failure of a single component part can lead to serious consequences, due to imminent huge material losses. Such hard conditions of such equipment not only influence its operation, reducing its service life, but also may have a negative impact on the quality of production. Such negative influence can be expressed in the following way: regulation of the main units may be altered following overheating of the equipment, due to thermal expansion of mostly heated elements. In case of presence of cracks in the most loaded unit of dummy bar – its head part its bearing capacity may be altered and appearance of excessive deformations may not be excluded, i.e. its transverse dimensions may be changed. Besides, cracks in the locking part of the dummy bar are out of the question, in order to avoid solidification of liquid metal in cracks.

The problem of reducing intensity of cracks formation can be solved in different ways. Its practical solution depends upon the part's design and peculiarities of its loading. For operation of dummy bars of slab casting CCMs it should be noted that this problem is closely connected with asymmetric design of dummy bars heads and one-way heat delivery and removal for its locking part. The finite elements method was used for the analysis of stress-strain state in the article. Three-dimensional simulation models were divided into finite elements and after that they underwent various theoretically possible loads. Simulation made it possible to establish the most vulnerable sections of the design, undergoing most severe loads, in case they are applied. Particularly, it was found out that the edge parts of transverse section of a dummy bar head experience the biggest deformations, consequently, cracks can spring up at a certain pitch and develop on the surface of the projection of the lock. The analysis of the initial data showed that for reduction of thermal strain in the lock projection it was necessary to make deformation inside its upper layers more free. It will be possible if a transverse slot is made, dividing the projection length into two elements. Heating and cooling of the surface lock's layer could become safer, at that, from the point of view of elongating stresses, thus reducing the probability of cracks formation.

Keywords: Continuous casting machines, dummy bars, tension, cracks, defects, strain reducers, simulation.

Рекомендована к публикации: д-р техн. наук, проф. Андилахай А. А.

Статья поступила 10.02.2019 г.

УДК 621.791.75**doi.org/10.31498/2522-9990202019184109****Размышляев А. Д., Агеева М. В.****РАСЧЕТ ИНДУКЦИИ ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ**

Показано, что в настоящее время имеющиеся расчетные методики, позволяющие определить индукцию продольного магнитного поля (ПРМП) под торцом сварочного электрода, обладающего ферромагнитными свойствами, отличаются значительной сложностью. Еще больше усложняется расчетная методика, если не только электрод, но и

Режим доступа: <http://sap.pstu.edu>