

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАИБОЛЕЕ НАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ
ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУРАХ**

В статье выполнен анализ работы промышленного технологического транспорта, который эксплуатируется при высоких температурах. Рассмотрены причины образования дефектов. Обоснована целесообразность применения упрочнения наиболее нагруженных участков узлов оборудования для увеличения его ресурса работы. Использование локального легирования деталей оборудования позволяет увеличить его надежность и срок эксплуатации.

Ключевые слова: технологический транспорт, деформации, дефекты, легирование, моделирование, надежность, увеличение долговечности.

Лоза А.В., Шишкин В.В., Рассохин Д.А., Венжега А.А. Удосконалення найбільш навантажених вузлів транспортних пристроїв, що працюють в умовах високих температур. В металургії та коксохімії використовується технологічний транспорт, вузли якого працюють при високих температурах. Елементи устаткування такого транспорту схильні до навантажень дуже нерівномірно. При такому характері навантаження міцність окремих найбільш навантажених ділянок вузлів безпосередньо лімітує загальну довговічність всього транспортного пристрою і побічно – надійність і економічність всього технологічного процесу виробництва. В результаті нерівномірності зношування багато деталей виходять з ладу, не вичерпавши повністю свого ресурсу. При цьому замінювані або ремонтвані вузли збільшують собівартість готової продукції. Значні витрати на ремонт і обслуговування технологічного транспорту завищують витрати на виробництво для будь-якого підприємства, тому проблема збільшення довговічності найбільш навантажених вузлів вимагає рішення. В статті розглянуті відомі методи збільшення стійкості вузлів механічного устаткування, які виходять з ладу в першу чергу. Основними причинами руйнування деталей при високих температурах є зниження механічних властивостей матеріалу та зміна його структури. Такі процеси можуть відбуватися як при тривалій витримці матеріалу за високих температур, так і в процесі його термоцикування. При високих температурах на поверхні будь-якої деталі і в прилеглих шарах розвивається зневуглецювання, що веде до зміни структури і механічних властивостей металу. При цьому знижуються показники міцності і особливо пластичності. У зв'язку з такими явищами, більшість експлуатаційних дефектів має розвиток з поверхні виробу. З метою удосконалення деталей і збільшення їх довговічності запропонований метод легування виробу, за допомогою якого можливо збільшити міцність на заданій ділянці виробу за умови мінімальної витрати легуючих елементів. В порівнянні із звичайними методами легування, коли легуючі елементи використовуються у великій кількості і розподіляються на весь об'єм виробу, витрата дефіцитних дорогих елементів зменшується в 20-30 разів, що економічно має бути вигідним будь-якому споживачеві виробів.

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, loza_a_v@pstu.edu; ORCID 0000-0002-3312-8508

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, shishkin_V_V@pstu.edu

³ ст. науч. сотр., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, radullik@yandex.ru

⁴ студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, andrey.venzhega@gmail.com

Такий підхід забезпечує максимальний термін служби устаткування при зведенні до мінімуму витрат на дорогі легуючі елементи. Дія методу проілюстрована на прикладі головки запалу МБЛЗ.

Ключові слова: технологічний транспорт, деформації, дефекти, легування, моделювання, надійність, збільшення довготривалості.

A.V. Loza, V.V. Shishkin, D.O. Rassokhin, A.O. Venzhega. Modification of transportation means units, operating under the heaviest loads at high temperatures. Technological transport, its units operating at high temperatures is employed in iron and steel and coke-chemical industry. Elements of such transportation facilities undergo very non-uniform loads. Investigations show that strength of separate mostly loaded sections of separate units exert direct limitations upon the total service lives of these transportation means, having an indirect influence upon reliability and economic indices of the entire production processes. As a result of non-uniform wearing many bulky metal parts get broken, prior to the expiry of their specified service lives terms. Substantial expenses of enterprises on repair and maintenance of technological transport increase production, equipment repairs costs and total production costs, therefore the problem of increasing service lives of the mostly loaded units still needs to be solved. The article deals with the analysis of the existing methods of improving strength of units, operating under the heaviest loads that are the first to fail. The main reasons for these parts failure at high temperature ranges are a decline in mechanical properties of the material and changes of its structure. Such processes may occur both at prolonged operation of the material at high temperature and at its thermo-cycling. Decarburization is developed at high temperatures on the surface and adjoining areas of any part; it resulting in changes in the structure and mechanical properties of metal. Strength properties and especially plasticity properties decline. Due to these phenomena the majority of exploitation defects start forming on surface of the part. To improve such parts and to increase their service lives a method of alloying parts was proposed, by which it was possible to increase strength on a particular section of a part at minimal consumption of alloying elements. As compared to conventional alloying methods, in which alloying elements are used in large quantities and distributed throughout the entire volume of a part, here, consumption of costly elements is 20-30 times less, that could be beneficial for consumers of such parts. It is to ensure maximum service lives of equipment, the expenses on costly alloying elements being drastically reduced. The method was illustrated on the example of the head part of input device for continuous casting machines.

Keywords: technological transport, deformations, defects, simulation, alloying, reliability, increase of durability.

Постановка проблеми. Работа различных подразделений крупных промышленных предприятий металлургического комплекса и коксохимии невозможна без непрерывного функционирования специального технологического транспорта. Для обеспечения стабильной работы промышленных агрегатов и транспортировки расплавленных и раскаленных продуктов и отходов применяют специальный транспорт. Надежность и безопасность работы технологического транспорта является составной частью надежности непрерывной работы металлургического и коксохимического производства в целом. Значительные расходы предприятий на ремонт и обслуживание технологического транспорта увеличивают затраты на производство, ремонт оборудования и себестоимость готовой продукции, что является одной из ключевых проблем для предприятий в условиях жесткой конкурентной борьбы. Поэтому исследование причин преждевременного выхода из строя специального транспорта и поиск решения проблемы его долговечности представляет научный и технический интерес.

Анализ последних исследований и публикаций. Проблема увеличения стойкости и ресурса работы специального транспорта, работающего при высоких температурах, в технической литературе рассматривается в работах [1-5]. Однако вопросы усовершенствования узлов оборудования освещены недостаточно полно. Особенности эксплуатации специального оборудования подробно излагаются лишь в литературе для служебного пользования [6]. Повышение

надежности транспорта и упрочнение отдельных элементов шлаковозов, слитковозов и другого транспортного оборудования для работы при высоких температурах является актуальным вопросом в настоящее время и требует практического решения.

Цель статьи – анализ способов усовершенствования узлов транспортного оборудования и выявление наиболее перспективных из них с точки зрения увеличения его долговечности.

Изложение основного материала. В металлургии, коксохимии и в некоторых подразделениях машиностроительных предприятий используются различные виды транспортных устройств, узлы которых работают при высоких температурах. К ним относятся транспортные тележки, шлаковозы, чугуновозы, слитковозы и др., которые контактируют либо с расплавленным металлом, либо с полуфабрикатами, нагретыми до температур 1200-1400°C. При работе транспортные устройства подвергаются сложному нагружению, что приводит к их деформированию, короблению, образованию трещин в них и преждевременному выходу из строя. В частности, на предприятиях коксохимии применяются тушильные вагоны для охлаждения кокса перед разгрузкой в специальные устройства тушильной башни. Тушение водой производится для устранения горения раскаленного кокса на воздухе после выдачи из коксовых батарей. Термический удар от воздействия кусков раскаленного кокса приводит к возникновению нескольких видов дефектов: высокотемпературному абразивному износу, охрупчиванию материала кузова и растрескиванию его рабочей поверхности. Наиболее быстро и в значительно большей степени по сравнению с другими элементами разрушается кузов тушильных вагонов. Несмотря на усовершенствование его конструкции, основные рабочие узлы, выполненные в виде специальных бронированных плит, быстро выходят из строя, что требует их усовершенствования. В черной и цветной металлургии используются шлаковозы и слитковозы, которые подвергаются значительным механическим нагрузкам и ударному нагреву, рис. 1.



Рис. 1 – Технологический транспорт металлургического производства: а – шлаковозы, б – слитковозы

Шлаковозы являются обязательным сменным оборудованием в металлургии для обеспечения работы плавильных агрегатов (доменных и плавильных печей), слитковозы используются на последующих прокатных переделах. Анализ показывает, что шлаковозы могут быть выполнены различной конструкции и различного объема, но это практически не изменяет условия их эксплуатации. В процессе промышленного производства всегда образуется значительное количество отходов. По условиям металлургического производства на каждую тонну выплавленного чугуна приходится примерно 400-500 кг шлака, что требует транспортировки больших объемов шлаковых отходов для предприятий, выплавляющих, например, 2-3 млн. тонн чугуна или стали в год. Составы со шлаковозами находятся в постоянном обороте, при этом значительные нагрузки на основные рабочие элементы повторяются циклически. Существуют несколько причин преждевременного выхода из строя шлаковозов. Главной причиной остановок шлаковозов для текущих и аварийных ремонтов является образование дефектов и разрушение наиболее нагруженного узла – шлаковой чаши. Это объясняется контактированием её рабочей поверхности с расплавленным шлаком и другими отходами с температурой 1500-1600°C. Из-за низкой стойкости стенок чаши достаточно быстро выходят из строя по причине образования дефектов. При наличии деформации корпуса в чашах возникают проблемы при их разгрузке. Затвердевшие шлаковые остатки заклиниваются в чашах. Чтобы их разгрузить, чаши подвергаются ударным нагрузкам при помощи многотонных выбивных устройств. В результате этого

разбиваются чаши (рис. 2), привод шлаковозов и железнодорожный путь.

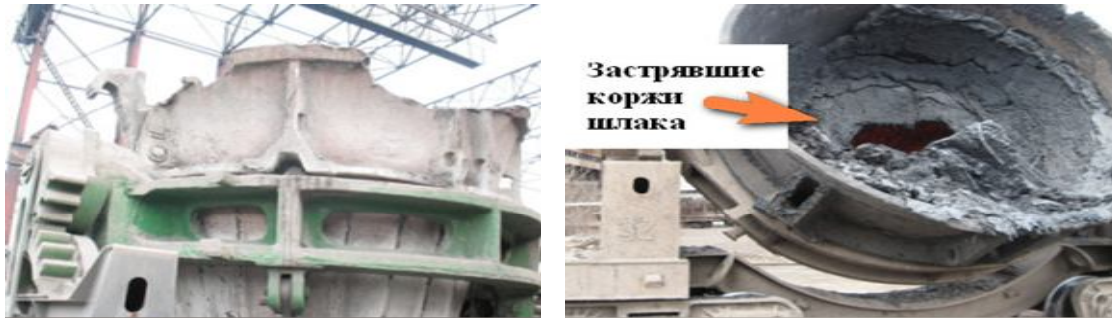


Рис. 2 – Шлаковые чаши: а – с эксплуатационными дефектами; б – с застрявшими коржовыми остатками

Исследования показывают, что стойкость одного наиболее нагруженного элемента – чаши – влияет на исправность всего шлаковоза, время его обслуживания и ремонта, а также состояние железнодорожного полотна. Кроме того, что затраты на покупку и ремонт чаш превышают стоимость сменного оборудования, дополнительное время на обслуживание дефектных чаш приводит к простоям основного производства и повышает стоимость конечной металлургической продукции.

Сравнительный анализ работы также и других специальных транспортных устройств (чугуновозы, слитковозы) показывает, что они выходят из строя быстрее и чаще всего в наиболее нагруженных узлах, которые нагреваются до высоких температур. Более того, на рабочих поверхностях наиболее нагруженных узлов рассматриваемых транспортных устройств всегда имеются характерные участки, где зарождение и развитие дефектов происходит в первую очередь. Это подтверждается статистическими наблюдениями. Исследования показывают, что прочность отдельных наиболее нагруженных участков отдельных узлов напрямую лимитирует общую долговечность всего транспортного устройства и косвенно – надежность и экономичность всего технологического процесса производства.

Практика эксплуатации оборудования и обзор технической литературы показывают [1-7], что в настоящее время сталь и чугун является наиболее дешевыми и технологически удобными материалами для изготовления и эксплуатации основного и сменного оборудования в промышленности. Основные методы упрочнения и увеличения долговечности узлов транспортного оборудования связаны либо с изменением свойств материала для изготовления узлов, либо с изменением их конструкции.

В патентной литературе известно значительное количество патентов по усовершенствованию конструкции шлаковозов, чугуновозов, слитковозов и тушильных вагонов. Запатентованы десятки способов увеличения долговечности как за счет применения составных конструкций, например, чаш [8], так и за счет утолщения несущих элементов их конструкций [9]. В то же время анализ литературных публикаций показывает, что заявленные технические решения не нашли практического применения. Это связано с тем, что в промышленном производстве любые дополнительные технические мероприятия по изменению имеющихся конструкций оборудования считаются экономически нецелесообразными. И хотя теоретически дополнительные усовершенствования оборудования должны улучшать условия производства, в отечественной литературе таких данных практически не имеется. Из этого можно сделать вывод, что внедрение усовершенствованных устройств на производстве затруднительно в связи с необходимостью дополнительных технических операций. Другой путь прогрессивного изменения оборудования заключается в применении новых, более стойких материалов, которые заложены в оборудование еще на стадии его изготовления.

Практика эксплуатации промышленного оборудования показывает, что в массовом производстве детали, работающие при повышенных температурах, наиболее часто изготавливают из углеродистых сталей. Механизм образования и развития дефектов в изделиях зависит от технологии их изготовления и свойств материала [10]. Известно, что механические свойства

сталей имеют характерную зависимость от температуры. При этом отмечается резкое снижение механических свойств в диапазоне температур 400-700°C. Одновременно с пределом прочности снижаются модуль упругости и предел текучести материала. При длительном действии высоких температур в любом материале начинают развиваться процессы ползучести, когда деформация элементов конструкции развивается без изменения внешней нагрузки. В этом случае механические свойства материала снижаются в большей степени. Значительная потеря прочности материала при высоких температурах, в частности, сталей, объясняется прохождением необратимых структурных изменений в материале, рис. 3. Такие процессы могут происходить как при длительной выдержке материала, так и в процессе его термоциклирования (циклически повторяющихся процессов нагрева-охлаждения).

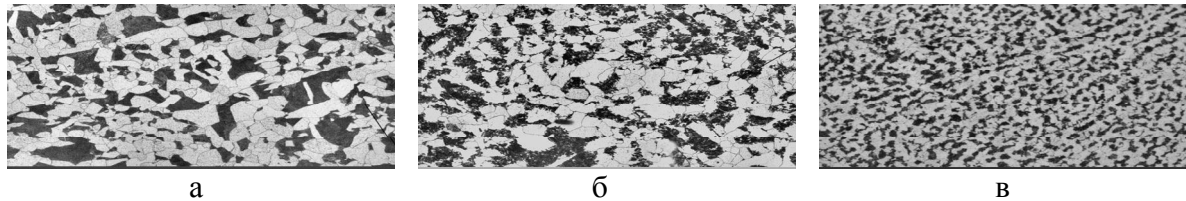


Рис. 3 – Изменение литой структуры детали из стали 30Л в условиях термического циклирования (нагрев выше 600°C), ×150

При этом в поверхностных слоях изменения выражены в наибольшей степени, что связано с развитием процессов окисления и изменения химического состава по сравнению с исходным, рис. 4.

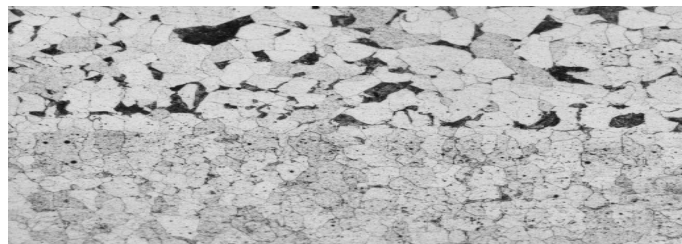


Рис. 4 – Литая структура в поверхностном слое чаши из стали 30Л после 200 циклов нагрев/охлаждение при эксплуатации, ×150

При высоких температурах на поверхности любой детали и в прилегающих слоях развивается обезуглероживание, что ведет к изменению структуры и механических свойств металла. Снижаются прочностные и особенно пластические свойства. В связи с этими явлениями, большинство эксплуатационных дефектов получает развитие с поверхности изделия.

Известны технические решения, связанные с нанесением защитных покрытий на рабочие поверхности деталей оборудования, которые подвержены наибольшему нагреву [11], и многослойные конструкции [12]. Практика эксплуатации оборудования показывает, что защитные покрытия действуют недолгое время, а многослойные конструкции не всегда обеспечивают увеличение прочности корпуса. Поэтому технические решения из большинства патентов не применяются, а в производстве по-прежнему применяются монолитные конструкции. Более высокие свойства при эксплуатации может показывать материал, например, сталь, который имеет специальную структуру. В литых деталях такая структура может быть обеспечена на стадии изготовления за счет следующих дополнительных операций:

- виброобработка жидкого расплава,
- электромагнитная обработка,
- виброимпульсная обработка,
- модифицирование или легирование.

Из всех вышеперечисленных методов воздействия на структуру металла наибольший эффект на упрочнение стальных изделий оказывает легирование. За счет легирования можно уве-

личить срок эксплуатации деталей и узлов в несколько раз [3]. Легирующие элементы в стальных и чугунных изделиях стабилизируют их структуру при высоких температурах и обеспечивают высокие механические и эксплуатационные свойства узлов оборудования как при нормальной, так и при повышенной температурах. Общим свойством всех перечисленных выше методов упрочнения является применение дополнительных операций ко всему объему расплава. При этом все дополнительные расходы, в т. ч. легирующих и модифицирующих элементов, электроэнергии и прочие расходы, приходится не только на всю массу изделия, но и на значительную часть отходов (обрезь, скрап, прибыльные части, оборотные отходы и др.). Так как расходные коэффициенты на действующем производстве могут находиться в пределах 1...3, по этой причине себестоимость изделий с дополнительной обработкой значительно возрастает. Легированные стали, обеспечивая значительные преимущества при работе оборудования, имеют один, но очень существенный недостаток – высокую стоимость. В современных условиях любое предприятие, как правило, работает в условиях жесткой конкуренции. Это вынуждает соблюдать режим максимальной экономии, что выражается в устойчивой тенденции производить закупки сменных деталей и оборудования по возможно более низкой цене, т. е. деталей с наименьшим количеством дорогих легирующих элементов. Это существенный недостаток, который не позволяет применять вышеуказанные методы улучшения качества деталей и узлов в массовом производстве. В то же время существует метод, который лишен приведенного недостатка. Методом локального легирования изделия возможно увеличить прочность на заданном участке изделия при условии минимального расхода легирующих элементов. По сравнению с обычными методами легирования, когда легирующие элементы используются в большом количестве и распределяются на весь объем изделия, расход дефицитных дорогостоящих элементов уменьшается в 20-30 раз, что экономически должно быть выгодно потребителю.

Принцип локального легирования изделий заключается в следующем. Во многих деталях транспортных устройств развитие дефектов происходит не по всей поверхности и не во всем объеме, а лишь на определенных участках. Это зависит от преобладающих эксплуатационных нагрузок. К моменту выхода из строя изделия прочностной ресурс основной массы изделия оказывается неисчерпанным. В связи с этим упрочнение всей детали (по всему объему или по всей поверхности) не имеет смысла. Необходимо обеспечить увеличение прочностных свойств прежде всего на заданном участке детали с наибольшими эксплуатационными нагрузками, который и лимитирует общий ресурс работы данного вида оборудования. Это обеспечит максимальный срок службы изделия при сведении к минимуму затрат на дорогостоящие легирующие элементы. В принципе, такое упрочнение возможно осуществить методами наплавки. Однако наплавка деталей – дорогостоящее техническое мероприятие, т. к. технологический процесс наплавки требует специального оборудования, нестандартных приспособлений, транспортировки, определенных режимов охлаждения и т. д. При этом расходы на подготовительные технологические операции очень значительны. Гораздо более дешевым способом ориентировочно такой же эффект упрочнения можно получить, если применять технологию локального легирования отливок на заданных участках, например, путем установки легирующих вставок, в т. ч. порошковых проволок с заданным химическим составом наполнителя [13]. При этом еще на стадии изготовления деталей заранее закладывается определенный наперед заданный градиент свойств в материале. Чем в большей степени он будет достигнут, тем меньше будет расход дорогостоящих легирующих компонентов. Так как долговечность любой детали зависит от скорости разрушения наиболее нагруженных областей изделия, локальное легирование позволяет достичь упрочнения лишь определенных, наиболее критических участков конструкции.

Метод локального упрочнения деталей может быть применен к любому виду транспортного оборудования. Предварительным этапом усовершенствования какого-либо узла или его проектирование подразумевает выполнение расчетов и моделирование поведения конструкции при нагружении. Наиболее наглядно усовершенствование конструкции может быть проиллюстрировано для узлов, работающих в сложных условиях с нагревом до высоких температур, например, при наличии контакта с жидким расплавом металла или шлака. В качестве такого изделия можно рассматривать любой узел, например, головки затравок слябовых МНЛЗ, которые контактируют с расплавленным металлом. При температуре разливаемого на МНЛЗ металла 1540-1580°C замковая часть головок за короткий промежуток времени нагревается до 600-800°C. Образующиеся дефекты (трещины, остаточные деформации с образованием прогиба, охрупчива-

ние материала) приводят к быстрому выходу головки затравки из строя. Из-за неравномерности нагрузок головка разрушается на небольшом, наиболее нагруженном участке, рис. 5.

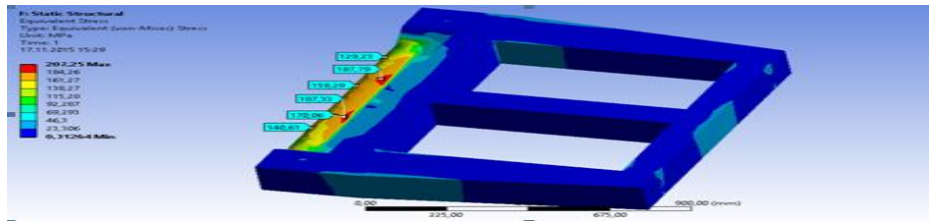


Рис. 5 – Распределение напряжений при эксплуатации головки затравки слябовой МНЛЗ конструкции ПО «Уралмаш»

Конструкция головки затравки требует изучения и доработки. Наиболее простым и технологичным способом упрочнения является локальное легирование наиболее нагруженного участка её замковой части. Моделирование в расчетной среде ANSYS показывает, что задача упрочнения головки затравки и продления срока её эксплуатации может быть решена в случае локального упрочнения. При этом в два раза может быть уменьшена величина остаточных деформаций в замковой части (искажение профиля в виде прогиба), рис. 6.

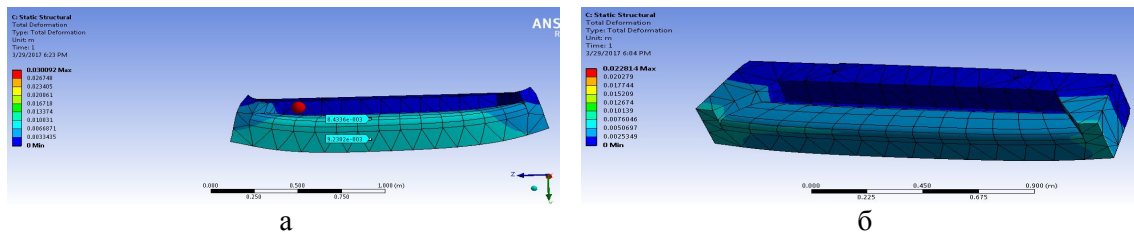


Рис. 6 – Распределение деформаций в укороченных головках обычной (а) и усовершенствованной (б) конструкциях

Остаточные деформации являются крайне нежелательными при работе затравки, т. к. могут привести к её заклиниванию в кристаллизаторе и остановке всего комплекса оборудования МНЛЗ. За счет применения усовершенствованных затравок срок службы оборудования повышается. Таким образом, использование локального легирования является эффективным методом упрочнения, т. к. при усовершенствовании стоимость головок увеличивается на 2-5%, в то время как срок их эксплуатации может возрастать в 1,5-2,5 раза.

Выводы

Проанализированы методы усовершенствования узлов специального транспортного оборудования. Большинство применявшихся ранее способов упрочнения деталей в нынешних условиях являются экономически неэффективными. Одним из наиболее дешевых и перспективных методов упрочнения деталей оборудования является метод локального легирования, который позволяет увеличить срок эксплуатации и повысить надежность транспортных узлов.

Предложенный метод упрочнения проиллюстрирован на примере усовершенствования головки затравки машины непрерывного литья заготовок и может быть применен при модернизации различных видов технологического транспорта специального назначения.

Список использованных источников:

1. Машины и агрегаты металлургических заводов : в 3-х т. / А.И. Целиков [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1987. – Т. 3 : Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – 1988. – 680 с.
2. Артюх В.Г. Нагрузки и перегрузки в металлургических машинах : монография / В.Г. Артюх. – Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2008. – 246 с.
3. Уманский В.Б. Упрочнение деталей металлургического оборудования / В.Б. Уманский,

- А.А. Костенко, Ю.Т. Худик. – М. : Металлургия, 1991. – 176 с.
4. Кучеренко В.Ф. Прочность и долговечность технологического подъемно-транспортного оборудования металлургических заводов / В.Ф. Кучеренко. – М. : Металлургия, 1982. – 160 с.
 5. Калашников А.Г. Причины низкой стойкости шлаковых ковшей доменного цеха / А.Г. Калашников // Теория и практика металлургии. – 1978. – № 6. – С. 39-46.
 6. Исследование опытного образца шлаковоза с чашей емкостью 24 м³ / И.Ф. Иванченко [и др.] // Отчет по НИР ДМетИ и ДЗМО. – Днепропетровск : 1987. – 148 с.
 7. Касаткин Н.Л. Ремонт и монтаж металлургического оборудования / Н.Л. Касаткин. – М. : Металлургия, 1970. – 310 с.
 8. А. с. 891779 СССР. МКИ С 21 В 3/10. Шлаковоз / А.А. Алешин, В.И. Мишин, А.И. Катрич, М.А. Масонов, В.В. Бодров, А.С. Козлов. – № 2810447/22-02, заявл. 22.08.79; опубл. 23.12.81, Бюл. № 47. – 3 с.
 9. А. с. 806765 СССР. МКИ С 21 В 3/10. Шлаковоз / А.Б. Рабинович. – № 2708966/22-02; заявл. 05.01.79; опубл. 23.02.81, Бюл. № 7. – 4 с.
 10. Надежность и ремонт машин / Под ред. В.В. Курчаткина. – М. : Колос. – 2000. – 776 с.
 11. А. с. 709683 СССР. МКИ С 21 В 3/10. Шлаковая чаша / Л.Б. Никулина, Г.В. Голов, Н.В. Орининский, Я.Ш. Школьник, Н.Н. Кочетов, В.В. Филиппов, А.С. Смелянский, С.В. Быков, С.М. Гершензон. – № 2524611/22-02; заявл. 16.08.77; опубл. 15.01.80, Бюл. № 2. – 4 с.
 12. Пат. 44485 Україна. МПК С 21 В 3/10. Чаша шлаковоза / А.В. Лоза, В.В. Шишкін, О.А. Лоза. – № u200902835; заявл. 26.03.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 8 с.
 13. Чигарев В.В. Разработка и применение способа локального упрочнения литых деталей / В.В. Чигарев, Д.А. Рассохин, А.В. Лоза // Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии : Сб. науч. тр. / ДДМА. – Краматорськ, 2014. – Вип. 1(32). – С. 263-266.

References:

1. Tselikov A.I., Polukhin P.I., Grebenik V.M., Ivanchenko F.K., Tylkin M.A., Korolev A.A., Lopukhin B.P., Storozhik D.A., Pavlenko B.A., Tselikov A.A., Elinson I.M., Ziuzin V.I. *Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov. Tom 3. Mashiny i agregaty dlia proizvodstva i otdelki prokata* [Machines and units of metallurgical plants. Vol. 3. Machines and units for the production and finishing of rolled products]. Moscow, Metallurgii Publ., 1988. 680 p. (Rus.)
2. Artiukh V.G. *Nagruzki i peregruzki v metallurgicheskikh mashinakh: Monografiia* [Loads and overloads in metallurgical machines: Monograph]. Mariupol', PGTU Publ., 2008. 246 p. (Rus.)
3. Umanskii V.B., Kostenko A.A., Khudik Iu.T. *Uprochnenie detalei metallurgicheskogo oborudovaniia* [Hardening of details of metallurgical equipment]. Moscow, Metallurgii Publ., 1991. 176 p. (Rus.)
4. Kucherenko V.F. *Prochnost' i dolgovechnost' tekhnologicheskogo pod"emno-transportnogo oborudovaniia metallurgicheskikh zavodov* [Strength and durability of technological lifting-transport equipment of metallurgical plants]. Moscow, Metallurgii Publ., 1982. 160 p. (Rus.)
5. Kalashnikov A.G. *Prichiny nizkoi stoikosti shlakovykh kovshei domennogo tsekha* [The reasons for the low resistance of the slag ladles of the blast furnace shop]. *Teoriia i praktika metallurgii – Theory and practice of metallurgy*, 1978, vol. 6, 46 p. (Rus.)
6. Ivanchenko I.F. *Otchet po NIR DMetI i DZMO. Issledovanie opytnogo obraztsa shlakovoza s chashei emkost'iu 24 m³* [Report on the R & D DMetI and DZMO. Investigation of a pilot slag sample with a bowl with a capacity of 24 m³]. Dnepropetrovsk, 1987. 148 p. (Rus.)
7. Kasatkin N.L. *Remont i montazh metallurgicheskogo oborudovaniia* [Repair and installation of metallurgical equipment]. Moscow, Metallurgii Publ., 1970. 310 p. (Rus.)
8. Aleshin A.A., Mishin V.I., Katrich A.I., Masonov M.A., Bodrov V.V., Kozlov A.S. *Shlakovoz* [Slag carrier]. Certificate of authorship USSR, no. 891779, 1981. (Rus.)
9. Rabinovich A.B. *Shlakovoz* [Slag carrier]. Certificate of authorship USSR, no. 806765, 1981. (Rus.)
10. After ed. V.V. Kurchatkina. *Nadezhnost' i remont mashin* [Reliability and repair of machines]. Moscow, Kolos Publ., 2000. 776 p. (Rus.)
11. Nikulina L.B., Golov G.V., Orininskii N.V., Shkol'nik Ia.Sh., Kochetov N.N., Filippov V.V., Smelianskii A.S., Bykov S.V., Gershenzon S.M. *Shlakovaia chasha* [Slag bowl]. Certificate of au-

- thorship USSR, no. 709683, 1980. (Rus.)
12. Loza A.V., Shishkin V.V., Loza E.A. *Chasha shlakovoza* [Slag bowl]. Patent UA, no. 44485, 2009. (Ukr.)
13. Chigarev V.V., Rassokhin D.A., Loza A.V. *Razrabotka i primenenie sposoba lokal'nogo uprochneniia litykh detalei* [Development and application of the method of local hardening of cast parts]. *Naukovii visnik donbas'koï derzhavnoi mashinobudivnoi akademii – Scientific Herald of the Donbass State Engineering Academy*, 2014, vol. 1(32), pp. 263-266. (Rus.)

Рецензент: В.П. Лаврик
канд. техн. наук, доц., ГБУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 17.04.2018

УДК 621.923

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142541

© Лещенко А.И.*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ CAD/CAM/CNC СИСТЕМ

Проведенный в данной работе анализ организации технологической подготовки производства ставит целью получение ответа на ключевой вопрос: технолог разрабатывает технологию и управляющую программу (УП) или в обязанности оператора станка с ЧПУ (CNC) входит разработка УП по утвержденной технологии. Рассмотрены проблемы и перспективы подготовки программ для станков с ЧПУ, сделан сравнительный анализ возможностей разработки УП операторами, непосредственно на УЧПУ станков и САМ систем с аналогичными задачами.

Ключевые слова: организация производства, станки с ЧПУ, САМ, CAD, CNC системы, параметрическое программирование, объектно-ориентированные технологии.

Лещенко О.І. Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва через застосування CAD/CAM/CNC систем. Розглянуто проблеми та перспективи підготовки програм для верстатів з ЧПУ, виділені шляхи їх розвитку та напрямки, яким рекомендується слідувати фахівцям конкретного підприємства при організації структур підготовки виробництва. Розкрито можливості програмного забезпечення верстатів з ЧПУ в порівнянні з аналогічними характеристиками САМ систем. Проведено аналіз організації технологічної підготовки виробництва, який ставить за мету отримання відповіді на ключове питання: технолог розробляє технологію і програму або в обов'язки оператора верстата входить розробка програми за затвердженою технологією. Пропонується відповідь на поставлену дилему – параметризація програми відповідно до САД моделі деталі. Такий підхід є основою для об'єктно-орієнтованого проектування – наступного етапу в розвитку програмування для верстатів з ЧПУ. Приділено увагу питанням розробки параметризованих об'єктно-орієнтованих модулів для програм, побудови «класів» і «методів класу» для обробки поверхонь з ідентичною геометрією. В цьому випадку в завдання технолога входить створення бібліотеки параметризованих модулів керуючих програм обробки типових для даного виробництва поверхонь. Тоді з'являється можливість передавати в цех програму, зібрану з модулів, де оператор станка з ЧПУ запише для них фактичні значення параметрів конкретної деталі. Реалізація такого взаємозв'язку «технолог-оператор ЧПУ» вимагає якісно нового підходу до розробки керуючих програм, що забезпечують не тільки завдання траєк-

* канд. техн. наук, доцент, ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, aLeshenko1954@gmail.com