

Коррозия горных цепей – шлагбаум на пути «суперпрочных» цепей

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-8-48-55>

РОГОЗИН А.А.

Дипл.-инж., представитель компании THIELE GmbH & Co. KG по России, 650066, г. Кемерово, Россия, e-mail: thielero@mail.ru



КАНДСИЯ Р.

Дипл.-инж., директор компании THIELE GmbH & Co. KG, 58640, г. Изерлон, Германия, e-mail: bergbau@THIELE.de

С совершенствованием конструкций горных машин, повышением показателей их надежности и установленной мощности появились возможности значительного увеличения длины очистного забоя и нагрузки на него. Стоимость лавного оборудования резко возросла, и эффективность инвестиций имеет решающее значение. Стоимость цепи, установленной на лавном конвейере, не превышает 1% общей стоимости оборудования, но любой ее отказ (порыв) неизбежно ведет к многочасовому простое лавы, к ухудшению экономических показателей. Правильный выбор цепей для лавного конвейера приобретает особое значение. В статье авторы пытаются объяснить ущербность выбора «суперпрочных» цепей для конвейеров и предлагают учитывать не только прочность цепей, но и коррозионную стойкость металла.

Ключевые слова: очистной забой, конвейерная цепь, прочность цепи, аварийный отказ (порыв) цепи, коррозионная стойкость металла, защитное покрытие цепи, метод горячего цинкования.

Для цитирования: Рогозин А.А., Кандция Р. Коррозия горных цепей – шлагбаум на пути «суперпрочных» цепей // Уголь. 2021. № 8. С. 48-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-8-48-55.

ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс в отрасли горного машиностроения привнес значительные совершенствования конструкций горных машин, повышение показателей их надежности и существенное увеличение установленных мощностей. В результате появились возможности значительно увеличить длину лавы и нагрузку на очистной забой. При этом стоимость оборудования, установленного в лаве, выросла до сотен миллионов долларов, и эффективность инвестиций приняла решающее значение. Стоимость цепи, установленной на лавном конвейере, не превышает 1% общей стоимости оборудования, но любой ее отказ (порыв) неизбежно ведет к многочасовому простое лавы, к ухудшению экономических показателей. Поэтому правильный выбор цепей для лавного конвейера приобретает особое значение. Многие фирмы – производители горных цепей предлагают свою продукцию в 3–4-х исполнениях по прочности: от «мягкой» до «суперпрочной». Заказчики нередко отдают предпочтение «суперпрочным» цепям с повышенными прочностными характеристиками, не принимая во внимание коррозионную стойкость металла. Анализ собственных статистических данных о результатах эксплуатации горных цепей в различных странах мира, проведенный компанией THIELE GmbH & Co. KG (далее – ТИЛЕ), говорит о том, что до 85% случаев аварийных отказов горных цепей связаны именно с «суперпрочными» цепями. В предлагаемой статье авторы пытаются объяснить ущербность выбора «суперпрочных» цепей для конвейеров в очистных забоях.

ОСОБЕННОСТИ «СУПЕРПРОЧНЫХ» ЦЕПЕЙ

И «мягкие», и «суперпрочные» цепи изготавливаются из одного и того же исходного материала – конструкционной стали 23MnNiMoCr54 (DIN 1.6758) или ее аналогов. Эти стали наиболее полно отвечают задачам по восприятию высоких нагрузок и обладают хорошей способностью к термообработке. Недостатком этих сталей является недостаточная коррозионная устойчивость (содержание Cr < 12%). Для придания требуемых качеств металл цепи проходит через несколько этапов термообработки.

На первом этапе и «мягкие», и «суперпрочные» цепи проходят закалку, в результате которой металл приобретает структуру мартенсита, характерную высоким уровнем остаточных внутренних напряжений, которые могут спо-

способствовать образованию трещин и разрушению стали без всякого дополнительного воздействия.

На втором этапе и «мягкие», и «суперпрочные» цепи проходят отпуск – специальный режим термообработки, цель которого – снятие остаточных внутренних напряжений, возникших при закалке. Цели и технологии отпуска при изготовлении «мягких» и «суперпрочных» цепей отличаются коренным образом.

При изготовлении «мягких» цепей целью отпуска является придание металлу свойств эластичности в сочетании с достаточной прочностью и хорошей устойчивостью к абразивному износу и коррозии. Причем эти свойства должны быть постоянными по значению во всех участках звена цепи. Цель достигается технологией так называемого «среднего» отпуска. После такой термообработки каждое звено «мягкой» цепи в окончательном виде имеет трооститную структуру [1], отличающуюся высокой пластичностью $\psi = 35\%$, при относительном удлинении $\delta \leq 18\%$, равномерно распределенной по всей поверхности сравнительно высокой твердостью $HB = 345-375$ и прочностью $\sigma = 1150-1250$ МПа (рис. 1, а). В многочисленных публикациях доказано, что после «среднего» отпуска в металле практически отсутствуют остаточные напряжения и связанные с ними риски образования трещин. В качестве примера, отметим, что по такой схеме происходят закалка и отпуск пружин и рессор – деталей, как известно, испытывающих постоянные интенсивные знакопеременные нагрузки.

При изготовлении «суперпрочных» цепей целью является создание в металле каждого звена цепи двух зон, отличающихся прочностью, твердостью и эластичностью:

- в зонах закруглений («шарниров») – участки с повышенной прочностью и твердостью;
- на прямолинейных участках («плечах») звена – зоны эластичности.

Эта цель достигается последовательным применением двух видов термообработки. В результате первого, так называемого «низкого», отпуска на всей поверхности звена образуется твердый малопластичный слой ($HB = 420-454$). Второй отпуск выполняется только на прямолинейных участках. В результате исходный металл в «суперпрочной» цепи получает две зоны разных структур, (см. рис. 1, б):

– на прямолинейных участках – структуру пластичного троостита (пластичность $\leq 35\%$, твердость $HB = 345-375$ и прочность $\sigma = 1097-1189$ МПа);

– в зонах «шарниров» – малопластичную структуру с очень высокой прочностью (твердость $HB = 424-453$, прочность $\sigma = 1430$ МПа).

На первый взгляд кажется, что цель достигнута: в зонах «шарниров» образовался «суперпрочный» слой. Но при этом в зонах «шарниров» сохраняются высокие остаточные напряжения. Это происходит из-за того, что на поверхности и в центре образца металла, прошедшего термообработку, действуют разнонаправленные напряжения, возникающие из-за разных скоростей температурных изменений поверхностного слоя металла и его сердцевины. Так, при высокой скорости отпуска поверхностный слой металла охлаждается быстрее, чем середина, в результате в поверхностном слое образуются сжимающие напряжения, а в центре металла – растягивающие [3]. Например, в поверхностном слое стали 45 остаточные напряжения после отпуска при температуре 200°C могут достигать 445 МПа [4].

Известно, что чем выше твердость металла, тем больше риск возникновения в нем трещин. Высокие сжимающие напряжения «суперпрочного» поверхностного слоя прекрасно противостоят растягивающим напряжениям, существующим в середине «тела» металла. Однако при первых же признаках нарушения сплошности этого «суперпрочного» слоя (например, случившегося из-за абразивного износа, глубокой царапины, образования очага коррозии и т.п.) происходит резкое снижение напряжения на поверхности металла, картина меняется в сторону преобладания остаточных растягивающих напряжений, и на поверхности мартенситного слоя металла появляются микротрещины. Начинаясь с атомарного уровня длины, микротрещина, развиваясь, сливается с другими микротрещинами и, наконец, может принять вид макротрещины. Скорость развития трещины зависит от напряжений, возникающих в ее вершине. В различных исследованиях и в нормативных документах [5] приводятся методы вычисления показателей, характеризующих развитие трещин. Например, действующий ГОСТ устанавливает в

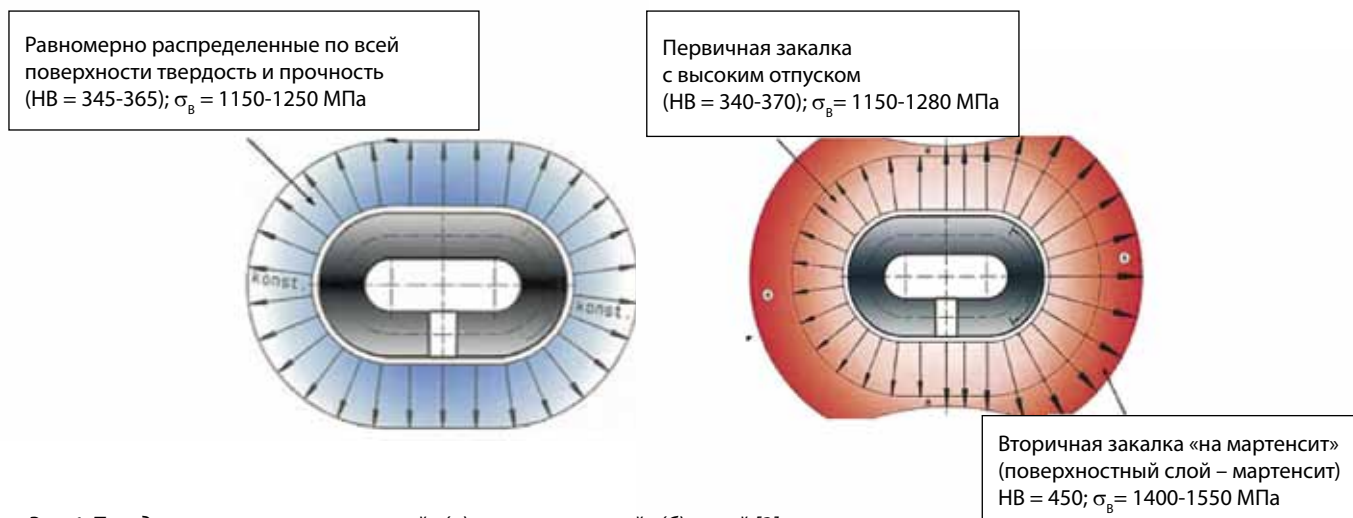


Рис. 1. Твердость и прочность «мягкой» (а) и «суперпрочной» (б) цепей [2]

качестве основной характеристики стойкости металла «критический коэффициент интенсивности напряжений (K_{1с})» как силовой показатель, при достижении которого развитие трещины становится неотвратимым. Одной из важных характеристик развития трещины является ее «критическая длина», при превышении этого значения

происходит катастрофическое разрушения металла. Доказано, что при увеличении твердости стали «критическая длина трещины» резко уменьшается, например, в «цепной стали» 23MnNiMoCr54 при увеличении твердости HB с 340 до 450 трещина достигнет «критической длины при вдвое меньшем напряжении [6]. Таким образом, под действием только лишь механических усилий, передаваемых на цепь от конвейерных приводов, «суперпрочная» цепь в сравнении с «мягкой» имеет гораздо большую вероятность расстрескивания в зоне шарнира. В условиях реальной лавы, где всегда присутствует коррозионно-опасная среда, разрушение «суперпрочной» цепи протекает с возрастающей интенсивностью.

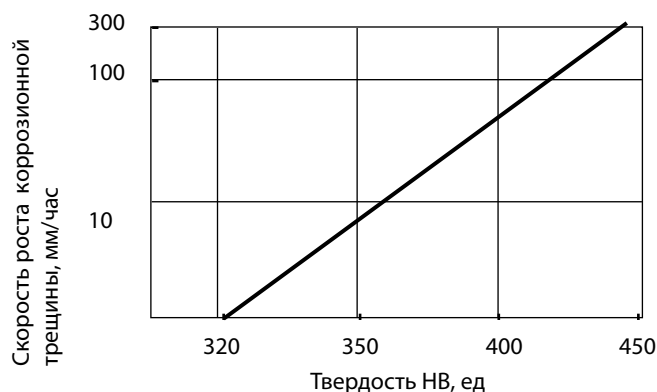


Рис. 2. Скорость роста коррозионных трещин в стали без защитного покрытия в зависимости от твердости

КОРРОЗИЯ «МЯГКИХ» И «СУПЕРПРОЧНЫХ» ЦЕПЕЙ

Процессы коррозии, протекающие в «мягких» или «суперпрочных» цепях, отличаются и характером, и интенсивностью. Доказано [6], что с точки зрения интенсивности коррозионных процессов решающее значение для «цепной стали» имеет ее поверхностная твердость. В работе [7] установлена линейная зависимость между скоростью роста коррозионных трещин и поверхностной твердостью (рис. 2). Так, коррозионные трещины в стали, не имеющей защитного покрытия, с поверхностной твердостью HB = 350 (соответствует показателю металла «мягкой» цепи) развиваются со скоростью менее 0,01 мкм/ч, а в стали с поверхностной твердостью HB = 450 (соответствует показателю металлу «суперпрочной» цепи, обозначаемой как TSD, D, D-3, Super и т.п.) – со скоростью почти в 30 раз больше (около 0,3 мкм/ч).



Рис. 3. Поверхностная коррозия «черной» (незащищенной) цепи и ее последствия (очаги поверхностной коррозии с последующим развитием трещины)

Из практики известно, что на поверхности цепи еще на стадии монтажа оборудования в условиях реальной лавы обнаруживаются коррозионные пятна, на месте которых возникают коррозионные раковины, язвы и т.п. Именно эти очаги зарождающейся коррозии резко снижают прочность твердого поверхностного слоя «суперпрочной» цепи и способствуют его разрушению. На следующих этапах из этих очагов и поверхностных микротрещин, связанных с разрушением «суперпрочного» поверхностного слоя, развиваются коррозионные микротрещины. С началом эксплуатации «суперпрочных» цепей, когда в «теле» металла станут возникать знакопеременные нагрузки, такие микротрещины станут концентраторами напряжений, что приведет в дальнейшем к разрушению металла (рис. 3).

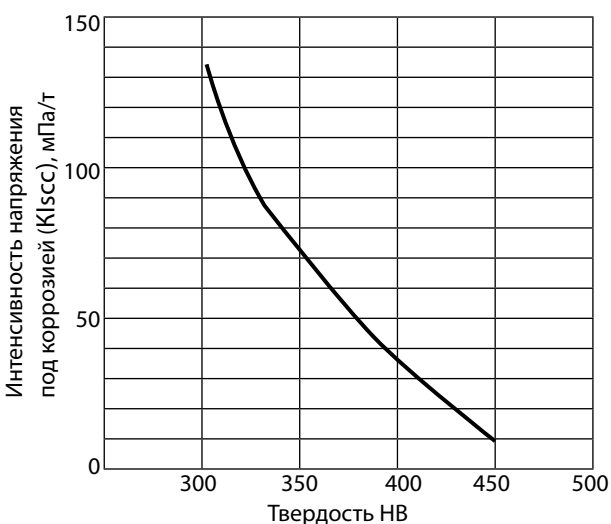


Рис. 4. Критическая интенсивность напряжения при коррозии трещин в зависимости от твердости металла

В теории механики разрушения важнейшим показателем, характеризующим влияние коррозионно-агрессивной среды на развитие трещин в металле, признан «K_{1сcc}», который определяет пороговое (критическое) напряжение в трещине с учетом действия коррозии. В научно-технической литературе сообщается, что критическая интенсивность напряжения трещины под действием коррозии в значительной степени зависит от твердости металла. Так, по сведениям [6], была исследована зависимость K_{1сcc} от твердости стали в условиях действия агрессивного газа H₂S. Установлено, что при увеличении твердости в диапазоне от HB = 350 (соответствует «мягкой» цепи) до HB = 450 (соответствует «суперпрочной» цепи) значение K_{1сcc} резко уменьшается с 75 до 10 МПа (рис. 4).

Очевидно, сказанное о разных скоростях развития коррозии и о существенной разнице показателя K_lсс свидетельствует о том, что коррозионная стойкость «суперпрочной» цепи значительно уступает аналогичному показателю цепи в «мягком» исполнении.

Рассмотрим несколько сценариев развития коррозии цепи скребкового конвейера в лаве.

А. Возникновение коррозии металла цепи как следствие самого факта нахождения цепи в угольной лаве (атмосферная электрохимическая коррозия).

В принципиальном плане коррозия – это неотъемлемое свойство металла, вызванное окислением железа кислородом воздуха. Дефекты, нарушающие сплошность поверхности металла, являются концентраторами развивающейся коррозии. Особую опасность представляют поверхностные микротрещины, характерные для очень твердых поверхностей (например, в «суперпрочных» цепях). Еще раз подчеркнем, что на поверхности «мягких» цепей микротрещины, вызванные термообработкой, практически не встречаются. Кроме микротрещин на поверхности металла неизбежно имеются зоны с неоднородной механической обработкой или с разными структурными составляющими. На этих микро-участках возникает разность электрических потенциалов, а при наличии коррозионной среды начинается самопроизвольную работу микрогальванической пара. Скорость атмосферной коррозии нарастает с повышением влажности до значения «критической влажности» (т.е. такой влажности, при которой на поверхности металла гарантированно запускаются процессы коррозии). Значения «критической влажности» составляют для абсолютно чистых стальных поверхностей 100%, а для слегка загрязненных поверхностей или уже имеющих заметные следы коррозии – 55% [8]. В реальном очистном забое, где «черная» (т.е. не имеющая защитного покрытия) цепь практически никогда не бывает абсолютно сухой и идеально чистой, а влажность нередко превышает 60-80%, процесс коррозии запускается уже по факту доставки новой цепи в лаву и начала ее монтажа на конвейере. При этом скорость коррозии нарастает с увеличением времени нахождения цепи в коррозионной среде [9]. Дело в том, что частицы угля, мелкого штыба и продуктов окисления, оседающие на поверхности металла цепи, выполняют функции адсорбента, облегчающего поглощение газов и влаги из воздуха. В результате непрерывного воздействия этого коррозионно-активного материала на незащищенной поверхности цепи образуются коррозионные раковины. Доказано, что даже простое хранение «черной» цепи под землей приводит к резкому снижению

выносливости. Так, после года такого хранения цепь выдерживала только 60% заданного количества нагрузочных циклов.

Известно, что характер шахтных вод является едва ли не доминантой в формировании агрессивной коррозионной среды в очистном забое. В разных угледобывающих регионах России шахтные воды имеют различные показатели агрессивности, но в каждом из этих регионов имеются шахты, которые работают в условиях коррозионно-агрессивных кислых и щелочных шахтных вод (табл. 1).

Известно, что на состав шахтных вод решающее влияние оказывают гидрологические, геологические и горнотехнические условия, в которых действует та или иная лава, поэтому даже в условиях одного шахтного поля характер воды может кардинально отличаться. На агрессивность воды оказывают влияние и такие факторы, как глубина разработки, углы залегания пластов, скорость движения воды по выработкам и др. Так, шахтные воды часто имеют кислый характер на верхних горизонтах шахтного поля, на пластах с вмещающими породами в виде серного колчедана FeS₂, на наклонных и крутых пластах. С углублением горных работ кислотность воды уменьшается, вплоть до перехода в щелочной диапазон [10].

Пользуясь десятибалльной шкалой оценки коррозионной стойкости конструкционных сталей и результатами многочисленных публикаций [11, 12 и др.], авторами статьи установлено, что конструкционная сталь, не имеющая защитного покрытия, находящаяся в условиях кислой и щелочной среды, имеет пониженную стойкость к коррозии (табл. 2).

С учетом вышеизложенного представляется необходимым при выборе типа горной цепи учитывать действие фактора агрессивности шахтной воды. Очевидно, что в случае отклонения показателя pH от нейтрального значения (pH = 7) следует категорически отказаться от использования «суперпрочных» цепей, а для «мягких» цепей в обязательном порядке предусматривать защиту от коррозии методом горячего цинкования.

Б. Развитие коррозии металла цепи как следствие действия нагрузок, возникающих при транспортировании угля конвейером (электрохимическая коррозия напряжения).

С момента обнаружения на поверхности цепи коррозионных раковин возрастает реальный риск развития из этих раковин макротрещин с неизбежными порывами цепи. Пока цепь находится в пассивном состоянии (без внешней нагрузки) развитие трещины протекает достаточно медленно, но скорость резко возрастает

Таблица 1

Агрессивность шахтных вод в регионах России

Регион	Характер шахтных вод	Показатель pH
Кизеловский бассейн	От очень кислых до нейтральных	2,1-7,3
Восточный Донбасс	От очень кислых до щелочных	2,0-9,5
Кузнецкий, Челябинский, Печорский	От кислых до слабощелочных	4,5-8,0

Шкала устойчивости конструкционных сталей к коррозии

Коррозионная среда	«Черная» (не защищенная сталь)			Сталь с защитным покрытием методом горячего цинкования		
	Скорость коррозии		Группы устойчивости к коррозии	Скорость коррозии		Группы устойчивости к коррозии
	г/(м ² ·сут.)	г/(м ² ·ч)		г/(м ² ·сут.)	г/(м ² ·ч)	
Нейтральная вода (pH = 7)	2,2	0,09	IV – Стойкие	0,22	0,009	III – Весьма стойкие
Кислая вода (pH = 4)	2,7	0,11	VI – Пониженно стойкие	0,69	0,028	IV – Стойкие
Щелочная вода (pH = 10)	2,7	0,11	VI – Пониженно стойкие	0,25	0,010	IV – Стойкие

тает, когда в металле цепи возникают напряжения от внешней нагрузки при одновременном действии коррозионной среды. При постоянном действии внешних нагрузок (особенное значение имеют растягивающие напряжения) в «теле» металла возникают усталостные трещины, берущие начало из коррозионных раковин, в которых уже идет электрохимическая реакция. По мере развития этих трещин в них проникает коррозионная среда (влага, угольная пыль и т.д.) и инициирует продолжение начавшейся электрохимической реакции. Процессы формирования и развития коррозионных трещин, протекающие в металле цепи в результате химической коррозии (сухой газ H₂S под давлением 133 мбар) и циклических нагрузок, подробно описаны и оценены с точки зрения физики и химизма процесса в работе [6]. В общем случае сценарий развития коррозионных трещин обусловлен особенностями металла, а также характером и свойствами (в том числе pH-свойствами) коррозионной среды. Формирование и развитие коррозионных трещин от поверхности звена цепи вглубь его «тела» приводят к снижению предела выносливости металла, к развитию «коррозионной усталости», к сокращению числа воспринимаемых нагрузочных циклов и, как итог, к окончательному разрушению металла (рис. 5).

Каждая сталь имеет собственный предел выносливости (т.е. усталостную прочность, в границах которой металл сохраняет свои физико-механические свойства при действии внешних нагрузок). Например, по действующим нормативам горная конвейерная цепь должна воспринимать 70 тыс. нагрузочных циклов. Доказано, что базовый предел выносливости конструкционной стали из-за коррозионной усталости резко снижается при работе в агрессивных средах. Например, при работе в кислой среде показатель выносливости уменьшается почти в 2 раза по сравнению с работой в нейтральной среде, соответственно уменьшается и число нагрузочных циклов [13].

ГОРЯЧЕЕ ЦИНКОВАНИЕ – ЭФФЕКТИВНАЯ ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ «МЯГКИХ» ЦЕПЕЙ, КОТОРОЙ ЛИШЕНЫ «СУПЕРПРОЧНЫЕ» ЦЕПИ

Очевидно, уровень защищенности металла цепи от коррозии является весьма важным параметром, влияющим на долговечность цепи и ее надежность. Для защиты горных цепей от коррозии используется метод анодного защитного покрытия. Идея такого покрытия заключается в нанесении на поверхность цепной стали тонкого слоя защитного металла, который имеет значение электродного потенциала меньше, чем у защищаемого железа. Таким требованиям идеально отвечает цинковое защитное покрытие.

Защитный слой цинкового покрытия постепенно корродирует, защищая основное железо, причем «цепная сталь» будет защищена от коррозии до тех пор, пока на ее поверхности будет сохраняться даже самый тонкий слой цинка [14].

Защитный слой цинка имеет высокую плотность и не пропускает к цепной стали кислород, кроме того, он отличается достаточной прочностью и устойчивостью к абразивному износу. По данным Американской гальванической ассоциации (American Galvanizers Association), в процессе цинкования на поверхности основного металла цепи образуется 4-слойная интерметаллическая антикоррозионная защита глубиной около 0,3 мм, причем каждый ниже-

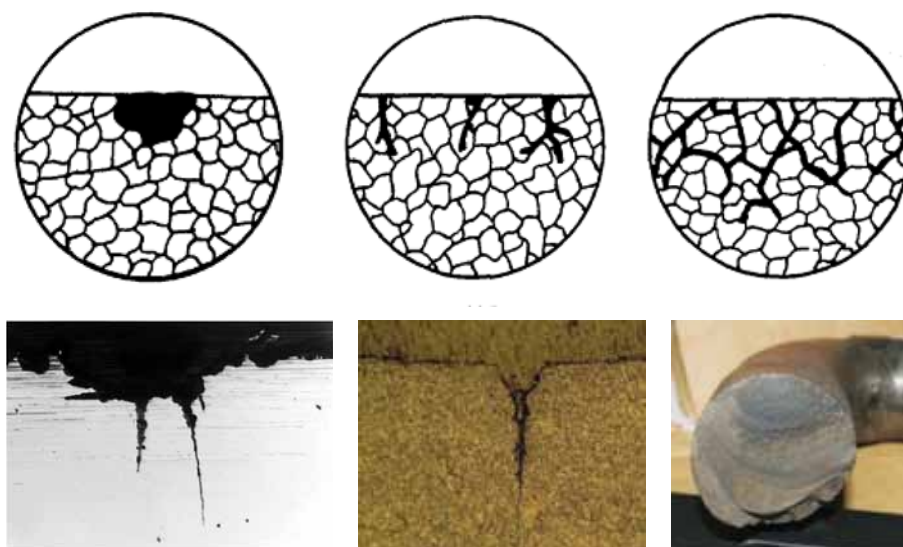


Рис. 5. Развитие коррозионных усталостных трещин вплоть до разрушения металла

лежащий слой имеет нарастающую твердость до $HV = 293$ и возрастающую абразивную устойчивость.

Компания ТИЛЕ разработала и на протяжении более 30 лет успешно применяет уникальную технологию горячего цинкования цепей (TZN). В основе этой технологии лежит медленное погружение «черной» цепи в ванну с расплавленным до температуры 450°C цинком. При этом происходит диффузия атомов цинка в кристаллическую решетку стали, причем диффузия происходит с равномерным увеличением глубины интерметаллического слоя как на прямолинейных участках звена цепи, так и в зонах «шарниров». Таким образом, цинковое покрытие становится частью стали, а не просто декоративным элементом поверхности. В соответствии с данными табл. 2 можно предполагать, что нанесение защитного цинкового покрытия позволяет снизить скорость коррозии металла цепи, работающей в условиях кислых, нейтральных или щелочных шахтных вод в 3, 10 и 11 раз соответственно.



Рис. 7. Состояние цепи в результате эксперимента на шахте Austar (Австралия):

а – на участках без защитного покрытия;
б – на участках с защитным покрытием

Количество циклов $\times 100$

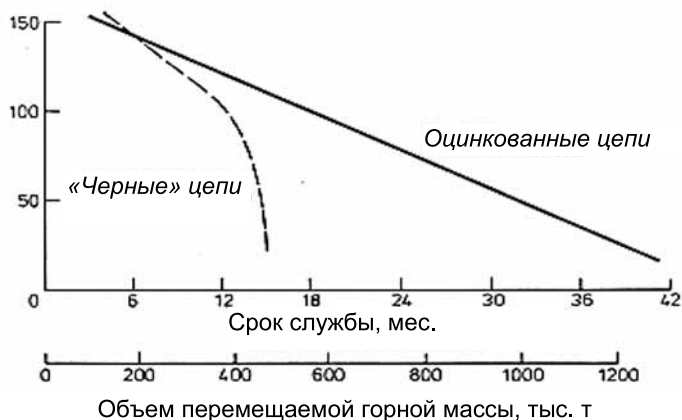


Рис. 6. Срок службы и объем перемещенной горной массы цепями с защитным цинковым покрытием и «черных» цепей

Многолетние наблюдения компании ТИЛЕ за результатами эксплуатации цепей, поставленных на шахты в Австралии, Китае, России, США, убедительно показывают, что цепи с цинковым защитным покрытием значительно менее подвержены коррозии, а следовательно, обладают большей надежностью в сравнении с «черными» цепями (см. табл. 2). В разных исследованиях отмечается, что коррозионная стойкость анодного защитного покрытия сохраняется на протяжении длительного времени, а скорость коррозии в цепной стали с цинковым покрытием почти в 30 раз меньше, чем в «черной» стали. Так, в приблизительно одинаковых условиях работы срок службы цепей с цинковой защитой и объем перемещенной горной массы увеличиваются почти в 3,5 раза (рис. 6) по сравнению с применением «черной» цепи [15].

На шахте Austar (Австралия) был проведен эксперимент, который заключался в том, что на лавном конвейере длиной 300 м была смонтирована «мягкая» (исполнение ТНД) цепь калибра 42×146 мм с пониженным вертикальным звеном. Причем часть цепи (два отрезка по 550 м) не имела защитного покрытия, а два отрезка по 50 м (2×50 м) имели оцинкованное покрытие, нанесенное способом горячего цинкования. Приток воды в лаву отмечался как незначительный, основным увлажнителем была нейтральная вода, направляемая в качестве пылеподавления на очистной комбайн и в зоны перегрузки и дробления угля. В ходе отработки двух лав с суммарными запасами около 10 млн т с нагрузкой около 18000 т/сут. каких-либо замечаний к состоянию цепей на участке с защитным покрытием не поступало. После почти двух лет интенсивной эксплуатации и окончания отработки второй лавы был проведен анализ состояния цепей на незащищенных и защищенном отрезках. Осмотром было установлено, что даже в условиях относительно «сухой» лавы незащищенные отрезки цепи имели многочисленные коррозионные язвы, механические испытания металла показали значительное ухудшение его свойств. Было принято решение о замене цепи на новую. Отрезки же цепи с защищающим слоем, нанесенным горячим цинкованием, не имели никаких заметных следов коррозии (рис. 7).

Подчеркнем, что изготовление «суперпрочной» цепи с защитным покрытием, нанесенным методом горячего цинкования, практически невозможно. Дело в том, что технология нанесения защитного цинкового покрытия цепей представляет собой своеобразную термообработку (средний отпуск) и связана с медленным прохождением цепи через расплавленный до 450°C цинк. Однако при таком нагреве в металле неизбежно протекают новые фазовые превращения, и поверхностный слой мартенсита распадается. После остывания новый поверхностный слой имеет трооститную структуру и уже не может обеспечить твердость на уровне HB = 450.

НЕСКОЛЬКО ЗАМЕЧАНИЙ К ВЫБОРУ ЦЕПИ

Существенная разница коррозионной устойчивости «мягких» и «суперпрочных» цепей убедительно говорит о нецелесообразности применения «сверхпрочных» цепей. Исходя из сказанного, компания ТИЛЕ утверждает: *«для работы в составе лавного конвейера идеально подходят «мягкие» цепи, которые обладают механическими свойствами, позволяющими эффективно воспринимать динамические нагрузки, а кроме того, в случае нанесения защитного цинкового покрытия обеспечивают прекрасную коррозионную устойчивость и хорошие показатели абразивного сопротивления».*

Между тем на практике технические работники шахт и компаний при выборе цепи для лавного конвейера нередко, в первую очередь руководствуются значениями параметров «разрывное усилие» и «коэффициент запаса прочности», не обращая внимания на предрасположенность металла к коррозии. Намерения заказчика в этом случае вполне объяснимы – он желает получить как можно более «прочную» цепь с наименьшими финансовыми затратами. Действительно, действующие отраслевые методики выбора цепей для шахтных конвейеров ограничиваются лишь «тяговыми расчетами», направленными на обеспечение требуемого 2-кратного запаса прочности. К сожалению, до настоящего времени нет четких методических указаний по выбору цепи с учетом склонности к образованию трещин и коррозионной устойчивости. Исходя из собственного, почти 90-летнего опыта изготовления горных цепей, компания ТИЛЕ рекомендует: *«в тех случаях, когда тяговый расчет показывает недостаточность запаса прочности круглозвенной цепи, следует перейти к расчету с вариантом использования «мягкой-плоской» или «мягкой-суперплоской» цепи более высоких калибров, естественно, с заменой приводных звезд и скребков. В случае с переходом от «мягкой-круглозвенной» цепи 38×137 мм на «мягкую-плоскую» цепь калибра 42×146 мм или на «мягкую-суперплоскую» цепь калибра 48×152 мм разрывные усилия увеличатся с 1820 кН соответственно до 2200 и до 2900 кН».*

Особого внимания заслуживают экономические последствия отказа от использования «суперпрочной» цепи в пользу «мягкой» цепи. Так, разница стоимости «суперпрочной» круглозвенной цепи калибра

38×137 мм и «мягкой-плоской» цепи повышенного калибра 42×146 мм (обе цепи в «черном» исполнении) составляет у разных производителей в среднем 20%, что, безусловно, приводит к привлечению дополнительных финансовых ресурсов. Однако из практики известно, что из-за коррозии наработка на отказ «суперпрочной» цепи калибра 38×137 мм редко превышает 2,5 млн т перемещенной горной массы, в то время как для заменяющей ее «мягкой» цепи 42×146 мм этот показатель в среднем составляет 4 млн т, и значительно увеличивается ее срок службы. Не трудно подсчитать, что в нашем примере переход от «суперпрочной» цепи на «мягкую» приведет к снижению приведенных (в расчете на 1 т добытого угля) расходов на приобретение и поддержание цепи на 33%.

ВЫВОДЫ

1. При выборе тяговой цепи для лавного конвейера следует отказаться от вариантов с использованием «суперпрочной» цепи как от крайне неустойчивой к коррозии. В случае получения в тяговом расчете неудовлетворительных значений показателей надежности «мягкой» цепи следует рассмотреть возможность перехода на «мягкие» цепи более высоких калибров. Приведенные затраты при таком выборе могут быть снижены на 30%.

2. При выборе тяговой цепи для лавного конвейера, кроме оценки показателей тягового расчета, необходимо учитывать и факторы, влияющие на коррозионную устойчивость металла, такие как водородный pH – показатель шахтной воды. Особо опасными для горных цепей следует признать условия с наличием кислых и щелочных шахтных вод.

3. Защитное анодное покрытие, нанесенное методом горячего цинкования, обеспечивает существенное повышение коррозионной устойчивости цепи, повышение надежности, увеличение срока ее службы и объема перемещенной горной массы в отдельных случаях в 3,5 раза. Изготовление «суперпрочной» цепи с таким защитным покрытием принципиально невозможно.

Список литературы

1. Райцес В.Б. Термическая обработка. М.: Машиностроение, 1980.
2. ТИЛЕ. Продукция для горной промышленности / Каталог. 2015. URL: https://thiele.de/download/kataloge/bergbau/THIELE_Mining_catalog_2015_russian.pdf (дата обращения: 15.07.2021).
3. Verhoeven J.D. Steel Metallurgy for Non-Metallurgists // ASM International. 2007. N 1.
4. Орлов П.И. Основы конструирования. М.: Машиностроение, 1988.
5. ГОСТ 25.506-85. Межгосударственный стандарт. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов / Сб. стандартов. М.: Стандартинформ, 2005.
6. Philipp G. & Forch K. MASCHINENTECHNIK – Bruchmechanische Bewertung der Anfälligkeit von Ketten gegen Spannungsrissskorrosion unter Betriebsbedingungen // Glückauf. 2005. Vol. 141. N 9. P. 391-400.

7. Townsend H.E.: Effects of zinc coating on stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement of low-alloy steel // *Metallurgical Transactions*. 1975. N 6.

8. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. М.: Metallurgia, 1976.

9. Розенфельд И.Л. Атмосферная коррозия металлов. М.: АН СССР, 1960.

10. Формирование шахтных вод и анализ способов их очистки / А.А. Куликова, Ю.А. Сергеева, Т.И. Овчинникова, Е.И. Хабарова // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 7. С.135–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145.

11. Слендер С.Дж., Бойд У.К. Коррозионная стойкость цинка: справочник. М.: Metallurgia, 1976.

12. Сухотин А.М., Зотиков В.С. Химическое сопротивление материалов. М.: Химия, 1975.

13. Ишлинский А.Ю. Новый политехнический словарь. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 2000.

14. Апраксина Л.М., Сигаев В.Я. Коррозия металлов и методы оценки их химической стойкости: учебно-методическое пособие. СПб.: СПбГТУРП, 2008. 45 с.

15. Kleer. Standzeiten und bestimmbarer Alterungsverlauf verzinkter Doppelmittelketten // *Glückauf*. 1986. N 11.

MINING EQUIPMENT

Original Paper

UDC 622.647.1:621.867.133.065.4 © A.A. Rogozin, R. Kandzia, 2021

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 8, pp. 48-55

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-8-48-55>

Title

CORROSION IS A BARRIER IN APPLICATION OF SUPER STRONG CHAINS FOR MINING EQUIPMENT

Authors

Rogozin A.A.¹, Kandzia R.²

¹ THIELE GmbH & Co. KG, Representative office in Russia, Kemerovo, 650066, Russian Federation

² THIELE GmbH & Co.KG, Iserlohn – Kalthof, 58640, Germany

Authors' Information

Rogozin A.A., Master of Science in Engineering, Manager in Russia, e-mail: thielero@mail.ru

Kandzia R., Master of Science in Engineering, Director, e-mail: bergbau@THIELE.de

Abstract

With the improvement in the design of mining equipment and increase in its reliability and installed capacity, it has become possible to significantly increase the length of the longwall face and its output. The cost of the longwall equipment has increased dramatically and return on investment has become a key factor. The cost of a chain installed on a longwall face conveyor does not exceed 1% of the total cost of the equipment, but any chain failure / breakage inevitably leads to many hours of a longwall face downtime and to declining economic performance. Proper selection of chains for a longwall conveyor becomes especially important. The authors attempt to explain the disadvantages of using super strong chains for conveyors and suggest to take into account not only the strength of the chains, but also the corrosion resistance of the metal.

Keywords

Working face, Conveyor chain, Chain strength, Emergency chain failure (breakage), Metal corrosion resistance, Chain protective coating, Hot dip galvanizing method, Longwall, AFC, BSL.

References

1. Raitses V.B. Thermal treatment. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. (In Russ.).
2. THIELE. Mining Catalog, 2015. Available at: https://thiele.de/download/kataloge/bergbau/THIELE_Mining_catalog_2015_russian.pdf (accessed 15.07.2021). (In Russ.).
3. Verhoeven J.D. Steel Metallurgy for Non-Metallurgists. *ASM International*, 2007, (1).
4. Orlov P.I. Principles of design. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. (In Russ.).

5. GOST 25.506-85. Interstate standard. Design, calculation and strength testing. Methods of mechanical testing of metals / Collection of standards. Moscow, Standartinform Publ., 2005. (In Russ.).

6. Philipp G. & Forch K. MASCHINENTECHNIK – Bruchmechanische Bewertung der Anfälligkeit von Ketten gegen Spannungsrisskorrosion unter Betriebsbedingungen. *Glückauf*, 2005, Vol. 141 (9), pp. 391-400.

7. Townsend H.E. Effects of zinc coating on stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement of low-alloy steel. *Metallurgical Transactions*, 1975, (6).

8. Zhuk N.P. A course in the theory of corrosion and protection of metals. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976. (In Russ.).

9. Rosenfeld I.L. Atmospheric Corrosion of Metals. Moscow, Academy of Sciences of the USSR, 1960. (In Russ.).

10. Kulikova A.A., Sergeeva Yu.A., Ovchinnikova T.I. & Khabarova E.I. Formation of mine water composition and analysis of treatment methods. *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2020, (7), pp. 135-145. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145.

11. Slunder C.J. & Boyd W.K. Zinc: Its Corrosion Resistance. Reference Book. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976. (In Russ.).

12. Sukhotin A.M. & Zotikov V.S. Chemical resistance of materials. Moscow, Khimiya Publ., 1975. (In Russ.).

13. Ishlinskiy A.Yu. New polytechnic dictionary. Moscow, Bolshaya Rossiyskaya Entsiklopediya Publ., 2000. (In Russ.).

14. Apraksina L.M. & Sigayev V.Ya. Corrosion of metals and methods to assess their chemical resistance. A Teaching Aid. St. Petersburg, SPbGTURP Publ., 2008, 45 p. (In Russ.).

15. Kleer. Standzeiten und bestimmbarer Alterungsverlauf verzinkter Doppelmittelketten. *Glückauf*, 1986, (11).

For citation

Rogozin A.A. & Kandzia R.

Коррозия горных цепей – шлагбаум на пути «суперпрочных» цепей *Ugol'*, 2021, (8), pp. 48-55. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-8-48-55.

Paper info

Received June 21, 2021

Accepted July 23, 2021