

МЕРКИ ЗА БОРБА С КОРОЗИЯТА НА СТОМАНЕНИ ВЪЖЕТА, ИЗПОЛЗВАНИ В МИННО-ДОБИВНАТА ДЕЙНОСТ

Петя Генчева¹, Маринела Панайотова²

Минно-геоложки университет „Св. Ив. Рилски“, София 1700, Студентки град, e-mail: p.gench@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Изследвана е корозия на стоманените въжета, използвани в подземните и транспортни съоръжения на минно-добивната дейност. Определени са основните корозионно-действащи агенти в рудничните води и рудничния въздух, контактуващи със стоманените въжета. На базата на инспекцията на въжетата в рудника, данните от лабораторните изпитания, XPS анализите на образците от въжетата, и данните за параметрите на корозионната среда може да се приеме, че преобладава обща корозия (съгласно типа на разрушение) и електрохимична корозия с кислородна деполяризация (съгласно механизма на корозия). Предложени са мерки за борба с корозията на рудничните въжета, съобразени с условията на експлоатацията им. Особено внимание е обърнато на начините и средствата за мониторинг на състоянието на въжетата и на средствата за защитата им. Получените резултати и предоставената научно-приложна информация ще подпомогнат борбата с преждевременното излизане от експлоатация на стоманените въжета, използвани в подземните и транспортни съоръжения на минно-добивната дейност и ще допринесат за повишаване на безопасността на работниците и намаляване на престоите – съответно на финансовите загуби, поради ремонти.

MEASURES TO COUNTERACT CORROSION OF WIRE ROPES USED IN A LEAD-ZINC MINE

Petya Gentcheva¹, Marinela Panayotova²

University of Mining and Geology, Sofia 1700, Student Town, Bulgaria, e-mail: p.gench@gmail.com




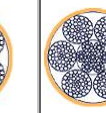
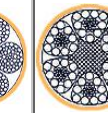


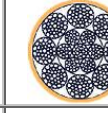
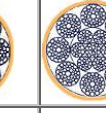
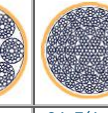
ABSTRACT. Corrosion of steel ropes used for haulage, track and hoisting purposes for transportation of men and materials in mines has been studied. Main corrosion agents in mine air and water (that contact with the steel ropes) have been determined. Based on the ropes' inspection, data from laboratory tests, XPS analyses of samples of ropes and data on the parameters of the corrosion media, it can be stated that general corrosion is the main corrosion type and the corrosion proceeds through electrochemical mechanism with oxygen depolarization. Some potential anticorrosion measures relevant to the working conditions are proposed. Particular attention is paid to means for ropes' monitoring and corrosion prevention measures. Results obtained and the information derived will assist to the fight against premature failure of steel ropes used for haulage, transportation, track and hoisting purposes in mines and will contribute to increase the safety of miners and decrease the unexpected interruptions in mining, consequently – to decrease financial costs of reparations and maintenance.

Въведение

Стоманените въжета се използват широко в подземните и транспортни съоръжения в рудниците.

Разрушаването на въжетата може да доведе до загуби на скъпи съоръжения и дори – на човешки живот. Стоманените въжета, които са хетерогенни, са подложени на тежки условия на експлоатация и тяхната издръжливост варира в зависимост от различните условия на работа и параметрите на околната среда. Въжетата са подложени на деградационни процеси, като корозия, износване, абразия, които водят до разкъсване на някоя от стоманените нишки и от там – до разрушаване на въжето (Singh and Ghara, 2000). В зависимост от специфичните задачи, които трябва да изпълняват, се използват въжета с различни размери и тип на конструкцията, които са специално конструирани да издържат на натоварване, износване, огъване, вибрации (фиг. 1). Една от най-честите причини за разрушаване и преждевременно излизане от строя на стоманените въжета в рудниците е корозионната умора (Singh et al., 2007). Независимо от съвременните технически постижения, корозията остава основен проблем, който засяга всички навиващи се стоманени въжета в промишлеността (Bill Bischoff & R.D. Barter, 1989). Въпреки че корозията представлява сериозен

проблем за минната промишленост, представителите на този отрасъл не му обръщат достатъчно внимание. В случите, когато се констатира проблем, минните инженери се уповават прекалено много на опита от миналото и на експертните знания на доставчиците на материалите и оборудването.

				
Full Locked Track Rope	Half Locked Guide Rope	6 x 49F (16-16-8F-8-1) + CEMWR (CUSHION CORE)	6 x 55SF (18-18-9F-9/6-1) + CWR	6 x V22 (9/12/3x2+3F Braided Centre) + CFN
				
6 x V25 (12/12/9+3 Brangle Centre) + CFN	6 x K19 CWR (COMPACTED ROPE)	8 x 36 SW (14-7+7-7-1) + CWR	8 x 49SF (16-16-8F-8-1) + CWR	24x7(6-1) : 18x7(6-1) : 6x7(6-1) + CWS 1x7(6-1)

Фиг. 1. Различни видове стоманени въжета, използвани в рудниците

Основните типове корозия, на които са подложени въжетата в рудниците, в зависимост от условията на

експлоатация са дефинирани в работа (Kwasniewski and Szuro, 2004), като особено внимание е обърнато на фретинг-корозията. Корозията на стоманените въжета в подемните съоръжения се дефинира като един от основните проблеми в литературата, касаеща корозията в рудниците. Въжетата са подложени едновременно на корозия и абразия, което е причина за влошаване на механичните им показатели и по този начин води до намаляване на носещата им способност и може да доведе до аварии. Статистическо изследване и показало, че 66 % от стоманените въжета губят основната част от якостните си свойства в резултат на контакта със средата в шахтите по време на работата си (Jentgen et al., 1984.). Затова Администрацията по минна безопасност и здравословни условия на труд на САЩ (Mine Safety and Health Administration - MSHA) изисква непрекъсната визуална инспекция на въжетата, които са в експлоатация, като се следи за поява на корозия, структурни дефекти и неподходящо смазване (Mine Safety and Health Administration, 2000). MSHA изисква също провеждане на не разрушаващо тестване на всеки 6 месеца.

Стоманеното въже се състои от значителен брой едновременно работещи жици и след скъсването на една от тях останалите поемат нейното натоварване. Устойчивостта на стрес на различните жици е различна. Затова критерият за износване на въжето, който се основава на броя на работните цикли на въжето, не е приемлив, въпреки, че доста страни имат в законодателството си клауза, според която въжетата се сменят след определен брой цикли на работа. Дори При практически еднакви статични и динамични условия на натоварване, известно различие в условията на работа при изработването на въжетата, различията в температурата, влажността, състава на водата, с която контактуват въжетата водят до различие в корозионната им устойчивост, дори когато става въпрос за въжета от една и съща инсталация (Singh and Ghara 2000). Присъствието на различни микроорганизми също води до различия в корозионното поведение (Metals Handbook, 1987).

Да се предвиди развитието на корозионните процеси на въжетата в рудниците е голямо предизвикателство дори за инженерите - специалисти по корозия, защото съставът на атмосферата в мините и на рудничните води в различните рудници е различен. В резултат - в различните рудници се проявяват различни проблеми.

Стоманените въжета са широко използвани в подемните и транспортни съоръжения на минно-добивната дейност и в България. Често тези въжета излизат от експлоатация преждевременно, което води до значителни икономически загуби, свързани с непланирани престои и ремонти. Нарушенията в експлоатационните характеристики на стоманените въжета са рискови и от гледна точка на безопасността на работещите и околната среда. Като основни причини за експлоатационното стареене на стоманени въжета в руднични условия са изучавани основно начина на водене на подемните съдове, типът на окачване, начинът на предаване на двигателната сила, скоростта на придвижване на повдигателните съоръжения и т. н. (Йочев, 2002; Йочев и Янева, 2006), но влиянието на корозията почти не се отчита. Очаква се задълбочаване на

проблема, поради недостатъчните или липсващи превантивни мерки за борба с корозията.

В частност, стоманените въжета в рудник „Димов дол“ – гр. Рудозем, които са от поцинкована въглеродна стомана, се сменят на всеки 6 месеца. Достига се до скорост на износване 1,20 -1,65 mm/Y, при нормална скорост на корозия за типа стомана, от които са направени въжетата от порядъка 0,1-0,3 mm/Y и 0,3-0,4 mm/Y – при комбинирано действие на корозията и на триенето (Йочев и Янева 2006.). Значителната височина на подем, трудното изравняване на силите на опън в главните въжета, високата скорост на извоз на товар са разгледани като основни причини за бързото износване на въжетата (Йочев и Янева, 2006). Възможното значително влияние на корозионните процеси върху разрушаването на стоманените въжета не е изследвано отделно.

В тази статия са предложени мерки за намаляване на корозионните разрушения и предотвратяване на отрицателните последици от корозията.

Експериментална част

На основата на направените анализи и изследвания в предишна наша работа (Panayotova et al, 2009), ние можем да обобщим основните фактори, които оказват негативно влияние върху корозионната устойчивост на стоманените въжета. Основни корозионно-действащи фактори са високата влажност на рудничния въздух и наличието в него на серосъдържащи газове (SO_2 и H_2S), които играят ролята на допълнителен на кислорода катоден деполяризатор (H_2S) или с влагата от въздуха създават кисела електролитна среда (SO_2). Потвърждение за това твърдение се получи от XPS анализа, който показва наличието на сяра на повърхността на корозиралото въже.

Периодичното омокряне на въжетата от руднични води (които ги пръскат или директно се стичат по тях в шахтите) е допълнителен фактор, който значително ускорява корозионните процеси, тъй като улеснява реакцията на редуция на кислорода от въздуха, която е основната протичаща катодна деполяризираща реакция в тези условия. В допълнение, периодичното изсушаване на повърхността създава условия за формиране на железни хидроксида, съдържащи Fe^{3+} , които са ефективен катоден стимулатор на корозията. Това твърдение се потвърди от XPS изследванията, които показаха наличието на FeOOH на повърхността на корозиралото стоманено въже. XPS анализът установи и наличие на FeO на повърхността на корозиралото стоманено въже.

На базата на наблюденията и разговорите с компетентните специалисти, може да се каже, че основните параметрите на експлоатация, ускоряващи корозията на стоманените въжета в рудника са несъвършена конструкция на окачващите устройства при значителна височина на подем, неравномерно разпределение на силите на опън на главните въжета, недостатъчното смазване и не винаги прилагане на най-подходящата смазка. Към тези твърдения може да се добави, че използването на поцинковани въжета, при наличие на

триене и на SO₂ в атмосферата не води до очакваното забавяне на корозията (вследствие на протекторните свойства на цинка спрямо стоманата в незамърсена атмосфера), поради по-интензивната корозия на цинка (в сравнение със случая на атмосфера без SO₂ и експлоатация без триене).

Анализът на рудничните води, които пръскат / обливат въжетата показва, че те съдържат в повишени концентрации SO₄²⁻, които са ефективен аноден деполяризатор. Концентрациите на останалите йони с възможно корозионно действие (Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, Cu²⁺) и на разтворения CO₂ са ниски и те не могат да представляват основен корозионен фактор. Количеството на разтворения O₂ е достатъчно за осигуряване на безпрепятственото протичане на корозивния процес. Корозията се улеснява от високата електропроводимост на водите. Определените ΔpH стойности показват, че водата на практика се намира в калциево карбонатно равновесие и при контакт с нея не могат да се образуват защитни карбонатни корици върху металната повърхност.

Предлагани мерки за борба с корозията

На основата на световния опит при експлоатацията на стоманени въжета в руднични условия, се предлагат следните групи мерки за борба с корозията:

Подбор на подходящ материал

Това е най-общият начин за превенция на корозията. Изборът на материал, съобразен с конкретните условия на работа, намалява корозионните разрушения и удължава живота на оборудването. Въжетата в минната индустрия се изработват основно от въглеродна стомана. Поради склонността им корозия и износване, все по-широко в световен мащаб се използват въжета от неръждаема стомана и синтетични влакна.

Инспекция и мониторинг

Необходимо е отговорно провеждане на инспекции за установяване на състоянието на въжетата. Основна цел на инспекцията е определянето на условията на работа и на параметрите на околната среда, които могат да нарушат нормалното използване на въжетата. По този начин се осигурява непрекъснатост на производствения процес и, което е по-важно, безопасни условия на труд. Процесите на деградация, идентифицирани по време на инспекциите, могат да помогнат да се определят факторите, които евентуално биха довели до разрушаване на въжето. Най-прилаганият метод е визуалната инспекция, при която експерти наблюдават повърхността и оценяват емпирично състоянието на въжето (Debasish Basak, 2006). Всички въжета в експлоатация трябва да се инспектират поне един път дневно, като се прави запис на наблюдаваното (www.bridon.com). При това трябва да се следи за големи повреди като: деформации на въжетата (от типа на образуване на възли, напукване, разсукване, разместване на основните снопчета, нарушения в смазването). Визуалната инспекция изисква много опитни експерти, като даже и те не могат да преценят отначало съществуването на

корозионни проблеми вътре във въжето, които са най-честата причина за разрушаването му (Debasish Basak, 2006). Реалното определяне на степента на деградация на въжето не може да бъде направено само на основата на визуалната инспекция.

Подмяната на въжетата, поради изминаването на определен период на експлоатацията им, може да доведе като резултат до преждевременното им изтегляне от експлоатация, и съответно до необосновани разходи, като основната причина е недостатъчното познаване на състоянието им. С помощта на неразрушаващи методи и техники е възможно точното диагностициране на състоянието на въжетата, като по този начин се създават условия за тяхната защита и удължаване на периода на експлоатацията им.

Не съществуват прецизни правила, които да изискват прекратяване на използването на въжето на основата на скъсаните жици в едно въже. Дали въжето ще продължи да се използва зависи от преценката на експерта. За добра практика се счита прекратяване на използването на въжето или провеждането на много чести и детайлни инспекции при повече от 6 скъсани жици в едно въже. Необходимо е да се обръща сериозно внимание на вдлъбнатинки в повърхността на въжето, тъй като те са индикация за проблеми (най-често корозионни) в сърцевината на въжето. Намалението на диаметъра на снопчето също е сигнал за опасност.

Откриването на наличие на всякакъв вид корозионно поражение, различно от равномерна корозия по повърхността, трябва да бъде знак за незабавно извеждане от експлоатация на въжето, тъй като поради наличието на корозионни процеси във вътрешността на въжето е невъзможно по-нататък да се предскаже времето му на живот (Dennis N. Poffenroth, 1996).

Най-използваното оборудването за неразрушаващо изследване на стоманени въжета се основава на намагнетизиране на въжето с постоянни магнити и детекцията на промените в магнитното поле около въжето спрямо общия магнитен поток. Нарушенията в целостта на въжетата (скъсана жица) или наличието на локални форми на корозия води до възникването на радиални магнитни полета, които се регистрират от датчиците (Kazimierz Zawada, 1999). Наличието на обща корозия или разрушения вследствие на абразия във въжетата води до промяна в общия аксиален магнитен поток като абсолютна магнитуда на вариациите на първоначалното магнитно поле. Магнитните детектори могат да определят локални разрушения (Local Fault or Local Flow sensors - LF sensors, известни още като DC sensors), напр. скъсани жици или загуба на площ от метала (Loss of Metallic cross-sectional Area sensors – LMA sensors, известни още като AC sensors) (Debasish Basak, 2006; Kazimierz Zawada, 1999). Ако даден инструмент е разработен да открива основно локални или общи разрушения/нарушения, той се нарича инструмент с единична функция, инструментите с двойна функция откриват едновременно двата типа дефекти.

Може да се приложат два основни вида оборудване:

Опростени аксиални тестери за детекция на локални форми на корозия или загуба на площ от напречното сечение на жицата, които са по-евтини и работят със светкавица или акустичен сигнал. Понякога тези апарати са снабдени с възможност за записване на изходящия сигнал, което позволява да се използват като сензорни глави за детайлна инспекция – фигура 2.



Фиг. 2. MD-20 Тестер за стоманени въжета

Инструменти, при които сигналът се записва със специално устройство или се предава към компютър – те са по-скъпи. Тези инструменти са в състояние да оценят загубата на площ от напречното сечение на жицата или загубите, дължащи се на локални форми на корозия. Използват се за детайлни изследвания. При съчетаване на резултатите от изследването с визуална инспекция, може да се определи моментът, в който въжетата трябва да се изтеглят от експлоатация. Инструментът се състои от две основни части: сензорна глава (фигура 3) и инструмент за обработване и записване на сигнала.

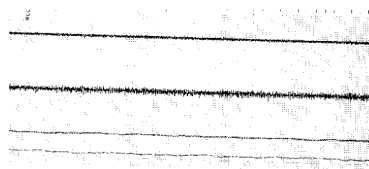


Фиг. 3. GP-серии сензорна глава

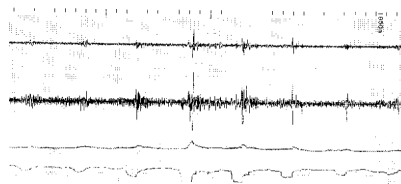
Ефикасността на инструмента спрямо детекция на дефектите зависи от качеството на сензорната глава, но разбираемостта на изследването зависи от инструмента за обработване и записване на сигнала. Качествата на двете части на апарата варират при различните производители. Като разширение на възможностите на апаратите се предлага специализиран софтуер. На фигура 4 е показана една от най-съвременните версии на втория тип апарати - полевият Meraster MD120 дефектограф за стоманени въжета, който може да открие локални форми на корозия и други дефекти, скрити във вътрешността на въжето и да запише сигнал на хартия – фиг. 5. В допълнение, може да се свърже с компютър с цел по-лесно обработване на данните и използване на специализиран софтуер за прогнозиране на времето на живот на въжето.



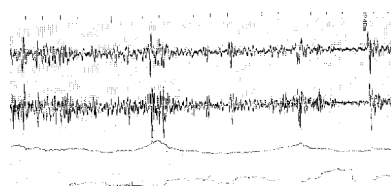
Фиг. 4. Meraster MD120 дефектограф за стоманени въжета - сензорна глава и инструмент за обработване и записване на сигнала



Фиг. 5 а: Сигнал при добро състояние на стоманеното въже



Фиг. 5 б: Сигнал при висок процент на корозионни разрушения на въжето на известно разстояние едно от друго



Фиг. 5 в: Сигнал при висок процент на общи корозионни разрушения и питингова корозия по цялата повърхност на въжето

Разработени са инструменти за неразрушаващ контрол на основата на електромагнитни полета (Geller et al., 2003.). Най-новото поколение от тях (PermaScan системата) е предназначена за дистанционно измерване.

При съчетаване на резултатите от изследванията с помощта на магнитните методи и от визуалната инспекция, експертите могат точно да определят момента, в който въжетата трябва да се изтеглят от експлоатация. Така системното прилагане на неразрушаващите методи за изследване на стоманените въжета се превръща във важен фактор за превантивен контрол и основно средство в програмата по поддръжка на съоръженията (Singh and Ghara, 2000).

Повишава се сигурността на експлоатация. Навреме, при необходимост, може да се отстранят въжета, които са още в предвидения период за нормална експлоатация и така се избягват инциденти. Създава се възможност за технически и научно обосновано удължаване на живота на работа на стоманените въжета след предвидените периоди и се избягва преждевременната им смяна, което води до максимизиране на използването на въжетата и следователно – до икономия на средства.

Правилно съхранение и експлоатация

Правилен подбор на средства за консервация

Коректното съхранение на подемните въжета е от съществено значение за тяхното състояние (Jones, 1996). На този етап също са необходими инспекции и правилна поддръжка.

Целта на прилагането на средствата за консервация е предотвратяване на корозията по време на съхранението на стоманените въжета. Използваните материали за консервация трябва да са в състояние да служат впоследствие като основа за защитните средства, използвани в полеви условия. На пазара са налични няколко типа продукти, с различни цени, като основните са:

- Материали на основата на асфалт, които са сравнително евтини и при правилно прилагане осигуряват наколкогодишна защита; Въжетата, покрити с асфалт трябва да се съхраняват в затворени помещения, като върху тях не попада директна слънчева светлина.
- Материали на основата на състени със сапуни масла, известни като греси. Прилагането на греси е по-скъпо от прилагането на консервиращи средства на основата на асфалт, защото се използва повече материал, който влиза в кухините между сночетата на въжето и между отделните жици. В замяна на това полученото покритие е по-дълготрайно, не е крехко и не позволява на кондензирана вода да навлезе във вътрешността на стоманеното въже по време на съхранението му. Обикновено действието на гресите се усилва с различни добавки, които често дават и наименованието на гресите. Литиевите, бариевите и алуминиевите комплексни греси са най-подходящи за поддържане на стоманените въжета, предназначени за работа в руднични условия. Те са много устойчиви на действието на вода, включително на кисели руднични води. Като се вземат предвид дълготрайността и антикорозионните свойства на този тип греси, цената на използването им се изравнява с тази на използването на материали на основата на асфалт.

Правилен подбор на разредители и разтворители за снемане на консервационните средства

След като се снемат от ролките за съхранение, въжетата трябва да се обработят с подходящи разредители и разтворители, за да се отстрани евентуално кондензираната по тях влага, да се ревитализира консервационният материал, да се покрият одрасканите участъци и да се подготви въжето цялостно за прилагане на средства за защита в експлоатационни условия (Jones D. A., 1996).

Правилен подбор и правилно прилагане на средствата за защита в експлоатационни условия

Важно е незабавно прилагане на средства за защита в експлоатационни условия, веднага щом стоманеното въже се извади от склада и започне да се използва, защото съществува възможност за незабавно започване на корозионни процеси. Средствата за защита в експлоатационни условия са подобни на средствата за консервация. В случая на греси, се използват едни и същи материали. Обикновено гресите, предназначени за използване в експлоатационни условия съдържат като добавки инхибитори на корозията.

В никакъв случай **не бива** да се използват за смазване отработени моторни масла, тъй като се получава обратен ефект – създават се условия за ускоряване на корозионните процеси.

Условията на експлоатация на стоманените въжета (технологични параметри и параметри на околната среда –

влажност, омокряне, киселинност на омокрящите руднични води, наличие на корозионно-действащи йони във водите и на корозионно действащи газове в рудничната атмосфера) са различни за различните мини. Затова не е възможно да се посочи единствен продукт за смазване, който да може да защитава при всякакви условия. Различни компании произвеждат греси/смазки за защита в експлоатационни условия. Същественото е, при подбора на смазващ материал да се вземат пред вид технологичните параметри и параметрите на околната среда, при които ще се експлоатира въжето. Важно е да се защитава и сърцевината на въжетата, а не само повърхността им.

В световен мащаб методите за нанасяне на средствата за защита в експлоатационни условия са различни за различните мини и дори за шахтите на една и съща мина.

Един от най-ефикасните методи е този въведен от голяма нефтена компания, при който смазката прониква в сърцевината на стоманеното въже. С помощта на апликатор, работещ под налягане, се нагнетява леко масло във вътрешността на въжето и се отмиват замърсителите, включително остатъци от консервиращи материали. След това се нанася покритие на основата на това масло. За съжаление, технологията е сравнително скъпа. Друг признат метод включва използването на дву-секционен пръстен, пристегнат към въжето, който с помощта на пластмасови приспособления зачиства въжето, като веднага след това полага нов смазващ материал. Не бива да се забравя, че устройството е само апликатор и почти не може да осигури въвеждане на смазващия и защитаващ материал в сърцевината на въжето. В мина в Sudbury (Canada) на ролковите колела на минните подземни устройства е инсталирана система за шприцоване на смазката, като така се постига непрекъснато смазване на въжетата. Резултатите от работата на системата са много добри – въжето непрекъснато се смазва, без да се пресмазва, не се спира работа цел смазване на въжетата.

Приложение на резултатите

Определянето на основните корозионно-действащи фактори в руднични условия и Очаква се получените резултати и предоставената научно-приложна информация да относно мерките за мониторинг и контрол на корозионните процеси могат да бъдат използвани за подпомогане на борбата с преждевременно излизане от експлоатация на стоманените въжета, използвани в подземните и транспортни съоръжения на минно-добивната дейност и да допринесат за повишаване на безопасността на работниците и намаляване на престоите, поради ремонти.

Литература

Великов Б., Хидрохимия на подземните води, МНП – МГИ, София, 1986
Йочев И. 2002, Минно дело и геология, 7-8, 57-59.
Йочев И., Янева А., 2006, Год. на МГУ, том 49, св. III, 61-65.

- Debasish Basak, 2006, Periodic Non-destructive Evaluation of Steel Wire Ropes: Its Importance and Practical Relevance, NDT.net , Vol. 11, No.6
- Dennis N. Poffenroth, 1996, Nondestructive testing of elevator suspension and governor ropes, Elevator World 73, April, 73-75.
- Geller L. B, Leung K, Udd J. E., Kitzinger F., 2003, Electromagnetic testing of wire ropes: New developments, CIM bulletin, , vol. 96, 1074, pp. 65-71
- Jentgen R. L., R.C. Rice, and G.L. Anderson, 1984, "Preliminary Statistical Analysis of Data From Ontario Special Rope Tests on Mine-Hoist Wire Ropes," Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Bulletin, Vol. 77, No. 11, pp. 50-54.
- Jones D. A., 1996, Principles and Prevention of Corrosion, Second Edition, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- Kwasniewski, J. Szuro, 2004, Wearing of wire ropes due to corrosion, Archives of Mining Sciences, Polish Academy of Sciences, Committee of Mining, 49/2.
- Kazimierz Zawada, 1999, Magnetic NDT of Steel Wire Ropes NDT.net - August, Vol. 4 No. 8
- "Mine Hoist Rope Protection" Bill Bischoff & R.D. Barter, International Mining Magazine (February 1989 Issue)
- Mine Safety and Health Administration, October 2000, 30 CFR §56.19023MSHA, www.msha.gov/regdata/msha/56.19023.htm.
- Metals Handbook, 1987, Volume 13: Corrosion, Ninth Ed., ASM International, Metals Park, OH, September, pp. 1293-1298.
- Panayotova M., P. Gencheva, V. Panayotov, 2009, Corrosion of wire ropes used in a lead-zinc mine, Proc. XIII BMPC, Ed. S. Krausz, L. Ciobanu, N. Cristea, V. Ciocan, G. Cristea, Focus Petrosani, Buharest, June, v. 1, 246-255
- Singh M. K., A. Mahto, R. N. Thakur and A. Sinha Failure 2007, Analysis of Wire Rope Used for Hoisting in Mining: A Case Study, Journal of Failure Analysis and Prevention, Volume 7, Number 2 / April, , 87-91.
- Singh S.D., B. Ghara, 2000, Steel Wire Rope Condition Monitoring by Non-Destructive Investigation and Evaluation while on Installation/Service, 15th World Conference on Non-Destructive Testing, Rome (Italy), <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn072/idn072.htm>
- www.bridon.com High-quality steel wire ropes for surface mining applications, Inspection of Wire Rope.

Препоръчана за публикуване от катедра „Химия“, МТФ