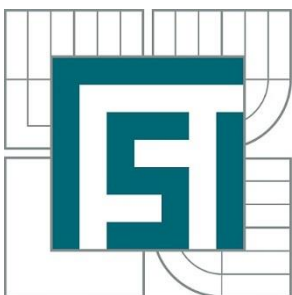


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND
ENGINEERING

MATERIÁLY PRO FIXNÍ ZAJIŠTĚNÍ A JEJICH DEGRADACE

MATERIALS FOR SECURING FIXED AND ITS DEGRADATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ PÁLKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Němec, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Pálka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Materiály pro fixní zajištění a jejich degradace

v anglickém jazyce:

Materials for Securing Fixed and its Degradation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování přehledu materiálů používaných k výrobě součástí fixního jištění pro lezení v různých terénech a následné vyhodnocení výhod a nevýhod různých slitin pro jednotlivé aplikace. Zhodnocení degradačních procesů působících na prvky fixního jištění.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vyracování přehledu materiálů používaných k výrobě součástí fixního jištění pro lezení.
- 2) Zhodnocení výhod a nevýhod různých slitin pro jednotlivé aplikace.
- 3) Popis degradačních procesů působících na prvky fixního jištění.
- 4) Shrnutí získaných poznatků.

Seznam odborné literatury:

- 1) Ptáček, Luděk. Nauka o materiálu. II. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3
- 2) Michna, Štefan. Encyklopedie hliníku. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. 1 elektronický optický disk (CD-ROM). ISBN 80-89041-88-4
- 3) Sedláček, Vladimír. Neželezné kovy a slitiny. 1.vyd. Praha: SNTL, 1979. 398 s.
- 4) Sedláček, Vladimír. Únava hliníkových a titanových slitin. 1.vyd. Praha: SNTL, 1989. 351 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Němec, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 3. 2. 2015



prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá přehledem materiálů používaných pro výrobu horolezeckého fixního jištění (současné i dříve používané materiály). Dále se zabývá degradačními procesy zjištěnými u fixního jištění použitého v lezecké praxi. Kvantifikuje základní degradační procesy, které se vyskytují na fixním jištění u lezeckých cest jak sportovního, tak i vysokohorského charakteru. Práce zohledňuje i specifická poškození, jejichž výskyt a rozsah lze jen těžko předvídat. Naznačuje i potřebu dále zkoumat specifika konkrétních geologických a klimatických podmínek a jim odpovídající volbu vhodných materiálů a dále vypracovat jednotný postup pro zjišťování závad.

ABSTRACT

This bachelor's thesis covers an overview of materials used for mountaineering fixed protection manufacturing (current and earlier used materials). It also deals with degradation processes found in fixed protection used in mountaineering practice. It quantifies basic degradation processes appearing on mountaineering routes of sport and also of alpine disposition. The thesis also takes in consideration specific damage, occurrence and extent of which is difficult to predict. Then it shows a need for further research of characters of real geological and climatic conditions and corresponding choice of suitable materials and establish a uniform procedure for detecting defects.

KLÍČOVÁ SLOVA

Degradace fixního jištění, mechanické poškození, korozní napadení

KEYWORDS

Degradation of fixed protection, mechanical damage, corrosion attack

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PÁLKA, L. Materiály pro fixní zajištění a jejich degradace. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího pana Ing. Karla Němce, Ph.D. s využitím uvedené literatury.

V Brně 25. května 2015

.....

Lukáš Pálka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Karlu Němcovi, Ph.D., za vstřícné, věcné a trpělivé vedení, ochotu a veškerý čas, který mi laskavě věnoval.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 ZÁKLADNÍ TYPY FIXNÍHO JIŠTĚNÍ.....	13
1.1 JIŠTĚNÍ PRO OPAKOVANÉ POUŽITÍ.....	13
1.1.1 FRIEND	13
1.1.2 VKLÍNĚNEC.....	14
1.1.3 SKOBA	14
1.1.4 UZEL	14
1.2 JIŠTĚNÍ PRO TRVALÉ ZALOŽENÍ.....	15
1.2.1 LEPENÝ BORHÁK	15
1.2.2 PÍSKOVCOVÝ KRUH	15
1.2.3 NÝT	16
1.2.4 SPIT	16
2 VYPRACOVÁNÍ PŘEHLEDU MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH K VÝROBĚ SOUČÁSTÍ FIXNÍHO JIŠTĚNÍ PRO LEZENÍ	17
2.1 NELEGOVANÉ TVÁŘENÉ OCELI OBVYKLÝCH JAKOSTÍ	18
2.1.1 HLUBOKOTAŽNÉ KONSTRUKČNÍ OCELI	18
2.2 KOROZIVZDORNÉ OCELI	20
2.2.1 AUSTENITICKÉ OCELI.....	21
2.2.1.1 Chromniklové austenitické oceli	23
2.2.1.2 Chromniklové austenitické oceli s přísadou molybdenu	25
3 DEGRADAČNÍ PROCESY FIXNÍHO ZAJIŠTĚNÍ.....	27
3.1 MECHANICKÉ POŠKOZENÍ	27
3.1.1 POŠKOZENÍ PŘI MONTÁŽI.....	27
3.1.2 OPOTŘEBENÍ MATERIÁLU	28
3.2 POŠKOZENÍ KOROZÍ.....	29
3.2.1 PŘÍČINY SNÍŽENÉ KOROZNÍ ODOLNOSTI U KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ	30
3.2.2 ROVNOMĚRNÁ KOROZE.....	30
3.2.3 MEZIKRYSTALOVÁ KOROZE.....	31
3.2.4 ELEKTROCHEMICKÁ KOROZE.....	32
3.2.5 SKRYTÁ KOROZE – BODOVÁ KOROZE NEBOLI PITTING.....	33
3.2.6 KOROZE ZA NAPĚTÍ.....	35

3.2.7 DOČASNÉ, CHEMICKÉ A ELEKTROCHEMICKÉ ÚPRAVY POVRCHU OCELI	37
3.2.7.1 Moření.....	37
3.2.7.2 Chemické úpravy povrchu	37
3.2.7.3 Elektrochemické (galvanické) úpravy povrchu	37
3.3 ZATĚŽOVÁNÍ TEPELNÝM CYKLEM.....	38
3.4 POŠKOZENÍ NATAVENÍM (TOO)	39
ZÁVĚR.....	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	43

ÚVOD

Jedna z prvních horolezeckých výprav vůbec a zároveň pravděpodobně první výprava zdokumentovaná se datuje k roku 1492, kdy vojenský velitel Antoine de Ville na popud krále Karla VIII. vyšplhal společně s deseti členy vojenského družstva na zcela nepřístupnou stolovou horu v Dauphinských Alpách. Jako výbavu s sebou měli jen žebříky a konopná lana.

Od doby prvních objevitelů a průkopníků uplynulo již několik století a s postupem času se změnil i pohled na horolezectví, které se stále vyvíjí. Přestože technologie od té doby učinily enormní pokrok, jedno zůstává stále stejné, a to příroda, která dokáže hýbat světem. Technologický vývoj v horolezeckém odvětví zaznamenal výrazný progres až v posledních několika desetiletích a zejména v 21. století. V dnešní době inovativních materiálů, náradí a speciálních technologických postupů je pro mnohé téměř nepředstavitelné, že až do konce 70. let 20. století se jako postupové jištění používaly dřevěné klíny, které se vtloukaly do skalních spár a ovazovaly lanem.

V období technologického rozmachu se začalo s prvními pokusy vyrábět fixní zajištění v podobě malosériové nebo domácí výroby. Například už v roce 1978 začala anglická firma Wild Country výrobu a prodej nadčasového postupového jištění, dnes známého pod označením Friend. Trvalo však ještě několik let, než našlo uplatnění v lezecké výbavě mezi dřevěnými klíny a kovanými skobami, a to i přes fakt, že se při nevhodném zatížení snadno lámalo. Dále se jednalo o různé výkovky nebo svařence, z nichž některé se dochovaly v terénu až do dnešní doby a dosud se používají. Z důvodu pokročilé degradace je to ovšem zpravidla životu nebezpečné, z materiálového hlediska je však až pozoruhodné, nakolik se liší schopnosti či neschopnosti různých materiálů odolávat jednotlivým prostředím a podmínkám zatěžování.

Problematikou degradace fixního jištění používaných v horolezectví se nezabývá žádná odborná publikace. Lze dohledat jen nepatrné množství odborně psaných článků, které však pojednávají jen o určitém, úzce specifikovaném typu poškození, často i z jiného kontinentu. Jako zdroj informací jsem tedy použil zejména odbornou literaturu s obecným zaměřením na jednotlivé procesy degradace. Pro rozšíření mé osobní databáze mi pan Vladimír Těšitel, člen bezpečnostní komise ČHS (Českého horolezeckého svazu) poskytl reprezentativní přehled výsledků praktických zkoušek fixních jištění testovaných na území ČR. Světová problematika je však rozsáhlejší a cílem mé práce je tyto degradační procesy kvantifikovat.

1 ZÁKLADNÍ TYPY FIXNÍHO JIŠTĚNÍ

Fixním jištěním se rozumí prostředky instalované do skalních stěn za účelem zachycení pádu lezce nebo lezeckého družstva. Jištění můžeme rozdělit na dva základní typy, a to jištění pro opakované zakládání a jištění pro trvalé založení (osazení).

Jištění pro opakované zakládání jsou takové jisticí prostředky, které lezecké družstvo po překonání určitého lezeckého úseku opět vybere a může je tak používat opakovaně po celou dobu výstupu. Dojde-li k mechanickému poškození nebo deformaci tohoto typu jištění, nejčastěji vlivem zachycení pádu lezce, vyjmutí může být velmi obtížné, často nemožné. Zůstane-li jištění ve skále právě z tohoto důvodu, pak se stává tzv. „erárním“ jištěním, což je v lezecké terminologii chápáno jako jištění trvalé.

Jištění trvalé („borháky“) je jištění osazené zpravidla prvovýstupcem nebo správcem dané oblasti a je nedílnou součástí samotné lezecké cesty. Tento typ jištění je během své životnosti vystaven přírodním vlivům a silovým namáháním, která ovlivňují jeho kvalitu, životnost, a tedy bezpečnost, a to nejen v závislosti na čase. Bavíme se tedy o nezvratných procesech degradace materiálu, jejichž schopnost pasivace je v závislosti na typu prostředí a způsobu použití různá.

1.1 Jištění pro opakované použití

Jištění pro opakované použití můžeme nazývat také jištění postupové. U tohoto typu jištění je z materiálového hlediska kladen důraz na nízkou hmotnost při zachování požadované pevnosti. Jedná se především o slitiny hliníku. Používání tohoto typu fixního zajištění vyžaduje určité množství zkušeností a pro mnohé ještě větší dávku odvahy. Nevhodné zacházení může vést k jeho selhání nebo poškození. Jištění se zakládá do různých poruch skalního masívu, kterými jsou například spára, díra, skalní hrot.

1.1.1 Friend

Patří mezi nejrozšířenější jisticí prostředky především z důvodu snadné obsluhy a flexibilního nastavení požadovaného rozměru. Při jeho zatížení dochází k příznivému rozkladu sil, a to přibližně ve výši trojnásobku zatěžující síly. Je tedy vhodný pro lezení v kompaktní i částečně rozbité skále. Nevýhodou je větší rozměr a hmotnost. Friend funguje na principu expanzivních a třecích sil, díky čemuž mohou být síly přenášeny do skalního bloku nižší. To vše však za předpokladu, že skalní podklad je ideálně drsný a nedrolivý.



Obr. 1.1 Friend značky Black Diamond [autor]

1.1.2 Vklínětec

Má tvar excentrického nebo šestistranného klínu. Bezpečné použití vyžaduje značnou praxi. Nevýhodou tohoto typu jištění je rozklad sil, a to ve výši až sedminásobku zatěžující síly. Velkou výhodou je jeho malá velikost a nízká hmotnost. Vklínětec funguje jako tvarový blokant. Třecí síly s narůstajícím zatížením zůstávají konstantní.



Obr. 1.2 Vklínětec značky Black Diamond [autor]

1.1.3 Skoba

Používání skob je charakteristické pro cesty alpského charakteru a tradiční prvovýstupy. Nejčastěji používaným materiálem pro výrobu tohoto typu jištění je tvrzená ocel. Skoby jsou kované a odolné vůči nárazům kladiva při jejich zatloukání. Velkou předností skob je jejich spolehlivost. Nevýhodou vysoká hmotnost a malá flexibilita. V horolezectví je tento typ jištění používán běžně také jako jištění trvalé.



Obr. 1.3 Skoba značky Black Diamond [autor]

1.1.4 Uzel

Je typický jistící prostředek používaný v horninách s nízkou soudržností, kde by v případě použití některých z výše uvedených kovových jištění došlo k jejich selhání vydrolením, a to buď přímo pod zatížením, nebo vlivem drobných kmitů lana. Typickou lezeckou oblastí, kde je jako jištění pro opakované použití povoleno pouze jištění uzly, jsou například Adršpašsko-Teplické skály. Zdejší lezení má dlouholetou a barvitou historii, datovanou přibližně od roku 1923.



Obr. 1.4 Uzel osmičkový (vlevo) a „opičí pěst“ (vpravo) [autor]

1.2 Jištění pro trvalé založení

Nejoblíbenějším typem fixních jisticích prostředků jsou tzv. borháky. Můžeme je rozdělit na dvě základní skupiny podle způsobu, jakým jsou ukotveny do skály, tedy na borháky lepené a borháky mechanicky ukotvené. Montáž těchto typů jištění je oproti jištěním v kapitole 1.1 časově, fyzicky a technologicky náročná.

1.2.1 Lepený borhák

Je vyráběn ze stabilizované austenitické oceli legované titanem a patří mezi nejrozšířenější certifikované fixní jisticí prostředky, používané především v lezeckých oblastech sportovního charakteru. Osazuje se do předvrtaných děr v kompaktním materiálu nebo hornině jako například vápenec, žula, břidlice. Do skály se lepí buď chemickou maltou, nebo lze použít epoxidovou ampuli. S oblibou je také využíván v oblastech horského charakteru pro tvorbu tzv. štanového stanoviště, a to z důvodu vysoké životnosti a bezpečnosti. Limitujícím faktorem pro montáž tohoto typu jištění je vlhkost vzduchu, teplota a fyzická náročnost vyvrtání díry. Na obrázku 1.2.1 je borhák značky Raveltik s povrchovou úpravou „žlutý zinkochromát“.



Obr. 1.5 Lepený borhák značky Raveltik [autor]

1.2.2 Pískovcový kruh

Specifickým lezeckým odvětvím je slézání pískovcových skal. Pískovec v našich geografických podmínkách je měkký materiál a jeho soudržnost navíc výrazně klesá

s rostoucí vlhkostí. Z tohoto důvodu je použití běžného typu borháků zcela nevhodné. Pro osazování fixního jištění v pískovci se proto používá pískovcový kruh s větším průřezem a délkou.



Obr. 1.6 Pískovcový kruh značky Raveltik [autor]

1.2.3 Nýt

V lezecké terminologii je nazýván také „borhák“. Konkrétně se jedná o borhák s mechanickým ukotvením s širokým spektrem použití. Nýt se osazuje do tvrdé horniny, např. žuly. Z důvodu expanze je zcela nevhodný do měkkých hornin, jako je např. pískovec. Expanzní nýty totiž zatěžují skálu také silou potřebnou pro deformaci expanzní hlavice samotného borháku. Dá se říct, že z hlediska montáže je nejvýraznějším limitním faktorem fyzická náročnost vyvrtání díry. Nýt nachází široké uplatnění zejména v místech a podmínkách příliš náročných pro osazení lepenými borháky. Tyto podmínky mohou nastat například při teplotách nižších než 5°C nebo za zvýšené vlhkosti či deště. Vzhledem k mechanickému ukotvení může být nýt zatížen ihned po osazení.

1.2.4 Spit

Řadíme jej do kategorie expanzních nýtů. Jedná se o fixní zajištění používané v extrémních lezeckých podmínkách. Spit je navržen s vysokými nároky na rychlost osazení a nízkou hmotnost, avšak s nižšími nároky na bezpečnost (viz obr. 3.1).



Obr. 1.7 Expanzní nýt s plaketou (vlevo) a zatloukáací expanzní nýt s plaketou (vpravo) [autor]

2 VYPRACOVÁNÍ PŘEHLEDU MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH K VÝROBĚ SOUČÁSTÍ FIXNÍHO JIŠTĚNÍ PRO LEZENÍ

Během lezecké praxe se můžeme setkat s fixním zajištěním v zásadě trojího druhu, a to s jištěním opatřeným certifikátem UIAA (z francouzského Union Internationale des Associations d'Alpinisme), tedy jištěním podléhajícím normě EN 959:2007. Dále s jištěním sice certifikovaným, avšak určeným pro jiný účel použití, a v neposlední řadě s jištěním necertifikovaným. V obou těchto případech se jedná o tzv. „domadělky“.

Z praxe můžeme s jistotou říci, že jištění bez certifikátu UIAA podléhají degradačním procesům daleko snáz než dnes běžně dostupná certifikovaná jištění se zárukou výrobce. Důvodem je zejména skutečnost, že výroba těchto domadělků je doprovázena snahou o snížení hmotnosti nebo pořizovacích nákladů a není brán zřetel na životnost materiálu. Nemusí tedy nutně platit, že by tyto domadělky byly vyráběny nekvalifikovaným výrobcem. Ačkoliv v dnešní době je osazování těchto „tzv. domadělků“ spíše výjimkou, běžně se s tímto typem jištění můžeme setkat u cest vzniklých před rokem 2000. Vzhledem k velkému množství cest osazených tímto typem jištění je tedy tato problematika stále aktuální, a to především z důvodu jejich vyčerpané životnosti. Ani certifikovaná jištění však nejsou dokonalá. Můžeme na nich pozorovat poškození způsobená nevhodným zatěžováním, vlivem špatného osazení nebo například volbou materiálu nevhodného pro danou lokalitu.

Při volbě fixního zajištění a výběru místa pro jeho ukotvení je nezbytné brát v potaz i celkovou vytíženost lezeckých cest. Na obrázku 2.1 můžeme vidět dobírací oko, které je svými parametry značně předdimenzované. Konkrétně se jedná o lokalitu Rabštejnské skály, kde se hned několik cest setkává na společném vrcholu. Celková vytíženost cest zejména v letním období dosahuje maxima a v důsledku toho mohou snadno vzniknout zcela nepředvídatelné zatěžovací podmínky, a to zejména v případech, kdy se jedná o takzvaný společný „slačák“, tedy o dobírací bod určený pro více cest z různých směrů.



Obr. 2.1 Dobírací bod v praxi, Rabštejnské skály [autor]

2.1 Nelegované tvářené oceli obvyklých jakostí

U těchto typů ocelí se většinou nezaručuje chemické složení, pouze u některých je omezen obsah fosforu a síry. Například u konstrukčních ocelí třídy 10 není zaručeno chemické složení, je zde zaručena mez pevnosti v tahu R_m , tažnost A a v některých případech také minimální hodnota meze kluzu R_e .

2.1.1 Hlubokotažné konstrukční oceli

Oblíbeným materiálem pro výrobu jištění v domácím prostředí je například konstrukční ocel třídy 11 se zvýšenou pevností. U této třídy oceli je však třeba počítat s větší nerovnoměrností chemického složení. Pro borháky bez nutnosti svaru se využíval materiál 11 600, což je neušlechtilá konstrukční ocel vhodná jak pro statické, tak pro dynamické zatěžování a odolná velkémú měrnému tlaku. Konkrétně u oceli tř. 11 600 se zaručuje chemické složení v podobě viz tab. 2.1. U konstrukčních ocelí obvyklých jakostí se zaručuje maximální obsah uhlíku. Není však omezena jeho spodní hranice, navíc je tato ocel dodávána převážně v neuklidněném stavu, což znamená, že se nehodí pro tepelné zpracování, a tudíž se používá jen ve stavu 11 XXX.0 nebo .1-normalizačně žhánáno. U těchto ocelí je zaručena hodnota meze kluzu R_e .

Značka	Chemické složení v %		
	C max.	P max.	S max.
11 500	0,38	0,050	0,050
11 600	0,50	0,055	0,050
11 700	0,65	0,055	0,050
11 800	0,75	0,055	0,050

Tab. 2.1 Chemické složení oceli s vyšší pevností [5]

Obsah uhlíku má podstatný vliv na vlastnosti oceli. V tomto případě ovlivňuje její pevnost, tvrdost a ovlivňuje svařitelnost. Můžeme zjednodušeně říci, že s rostoucím obsahem uhlíku v oceli se zvyšuje její pevnost, avšak klesá její houževnatost a plasticita. Materiál se tak stává křehkým.

Fosfor (P) a síra (S) jsou vesměs škodlivé doprovodné prvky. Síra se do oceli dostává z rud a z paliva. Tvoří sulfidy. Oslabuje soudržnost austenitických zrn. Má však příznivý vliv na obrobiteľnost, proto se přidává do automatových ocelí, tedy ocelí určených například pro výrobu šroubů. Fosfor je náchylný k odměšování z taveniny a má sklon k sekundární segregaci. Vyvolává popouštěcí křehkost, zhoršuje tvářitelnost a vrubovou houževnatost, což může vést ke vzniku lomu za studena.

Vlivem působení přírodních živlů dochází u fixních zajištění vyrobených z běžné nelegované oceli k rychlému vyčerpání jejich životnosti. Nejčastější příčinou krátké životnosti je pokročilé stádium koroze, a to často už po 10 letech používání. V přímořských oblastech je rychlost koroze akcelerována přítomností aerosolu mořské vody v ovzduší a životnost materiálu je výrazně kratší. U běžných typů oceli se životnost v těchto lokalitách pohybuje v řádech měsíců. Cesty je tedy nutné přejistit a fixní zajištění vyměnit za nové. Časté přejíšťování je ekonomicky nevýhodné a neprospívá skalnímu podloží, proto je tendencí osazovat taková jištění, u kterých se předpokládá životnost nejméně 50 let [1].

Obr. 2.1 zobrazuje stav fixního zajištění z roku 2013 v lezecké oblasti Cala Spinosa, jež se nachází na severovýchodním pobřeží ostrova Sardinie. Jištění jeví na první pohled známky pokročilé koroze, a tedy nezbuzuje přílišnou důvěru na rozdíl od „skryté“ koroze (viz kap. 3.2). Po bližším prozkoumání oblasti se můžeme dopátrat hned několika případů, kdy byla plaketa nýtu již odlomena (viz obrázek vpravo). Jedná se o „dodělky“ vyrobené z běžné konstrukční oceli. U šroubu můžeme vidět označení pevnostní třídy oceli 8.8



Obr. 2.1 Fixní zajištění osazené v roce 1990 v přímořské oblasti Cala Spinosa-Sardinie [autor]

2.2 Korozivzdorné oceli

Korozivzdorné (tzv. nerezavějící) oceli se nejčastěji rozdělují podle chemického složení a struktury do několika základních skupin. Podle struktury jsou rozděleny do pěti skupin: první tvoří tzv. kalitelné (martenzitické) oceli, druhou významnou skupinou jsou oceli feritické, třetí skupinu tvoří austenitické oceli, duplexní a precipitačně vytvrditelné oceli se řadí do čtvrté a páté skupiny. Podle chemického složení se korozivzdorné oceli dělí na chromové, chromniklové a chrommanganové. Všechny tyto typy ocelí však mohou obsahovat další slitinové prvky, jako je molybden, křemík, měď, titan, niob, dusík apod. [7].

Korozivzdorné oceli mají zvýšenou odolnost proti korozi, je však samozřejmé, že i tyto oceli korodují. Koroze ovšem probíhá pomalu, takže zvýšená životnost vyváží jejich vyšší cenu. Konstrukční oceli odolné vůči atmosférické korozi mají ve vhodných atmosférických podmínkách odolávat korozi bez povrchové ochrany, a to díky přidání určitého množství legujících prvků jako P, Cu, Cr, Ni, Mo [5]. Korozní odolnost korozivzdorných ocelí je založena na schopnosti pasivace povrchu oceli. Ze zdrojů [5, 17, 20] vyplývá, že základním prvkem u vysokolegovaných nerezavějících ocelí je chrom a podmínkou pasivace vůči elektrochemické korozi v oxidačním prostředí je obsah chromu s obsahem minimálně 10,5 až 12 %. Výše minimálního procentuelního zastoupení chromu v oceli se dle výše zmíněných publikací vždy nepatrně liší. S obsahem chromu nad 10,5 % za působení vzduchu nebo jiného oxidačního činidla se na povrchu oceli samovolně vytváří transparentní a přilnavá vrstva oxidů, jejíž hlavní složkou je oxid chromitý. Je-li tato ochranná vrstva mechanicky porušena například poškrábáním nebo pořezáním, za přítomnosti kyslíku dojde k samovolnému vzniku nové homogenní vrstvy oxidů. Tato odolnost neboli schopnost pasivace oceli se s rostoucím obsahem chromu výrazně zvyšuje. Ačkoliv je tato vrstva velmi tenká (přibližně 5×10^{-6} mm), jedná se o velmi stabilní a souvislou vrstvu, díky čemuž nedochází k další reakci oceli s okolním oxidačním prostředím. Z tohoto důvodu je tato oxidační vrstva nazývána také vrstva pasivační [4]. Odolnost korozivzdorných ocelí se dá zvýšit i dalšími legujícími prvky, jako jsou například nikl, molybden, dusík, titan nebo niob, které mají vliv na chemické složení a homogenitu povrchových vrstev oceli. Oceli jsou uklidněné, případně s přísadou prvků, které vážou dusík (Al, Nb, V, Ti) .

Volba vhodné korozivzdorné oceli je obtížná. Je třeba přihlídnout k druhu prostředí a v neposlední řadě také k požadovaným mechanickým vlastnostem. V lezecké praxi se setkáváme s několika typy certifikovaného fixního zajištění vyrobeného z austenitické chromniklové oceli. Po bližším prozkoumání lze vypořádat, že korozivzdorné schopnosti těchto ocelí v různých skalních oblastech jsou různé. Zcela charakteristickou lokalitou jsou obecně přímořské oblasti se zvýšenou koncentrací aerosolu mořské vody v ovzduší, tedy se zvýšenou koncentrací chloridových iontů, které zapříčiňují narušování hydroxidové pasivační vrstvy oceli a také například vznik aktivních stálých center bodové koroze (viz kap. 3.2.4). Od začátku používání fixního zajištění byla hlavním kritériem při výběru materiálu pořizovací cena spojená s omezenou dostupností materiálů. To se pravděpodobně nikdy nezmění a v současnosti snad ani nemusí. Volbou vhodné korozivzdorné oceli totiž můžeme docílit životnosti fixního zajištění až o několik řádů vyšší. Například ve slané vodě postupuje koroze u běžné konstrukční oceli rychlostí přibližně 1 mm za dobu 6 let. U korozivzdorných ocelí je to přibližně 1 mm za dobu 200 let. Zahrneme-li do kritéria ceny i lidskou práci potřebnou k osazení fixního zajištění, pak jsou v porovnání s běžnou konstrukční ocelí ekonomicky výhodné právě korozivzdorné oceli [1, 2].

Použití jiných než austenitických ocelí pro výrobu fixního zajištění opatřeného certifikátem UIAA neuvádí žádné zdroje, proto se v následující podkapitole korozivzdorných ocelí budu zabývat pouze austenitickými chromniklovými oceli a jejich modifikacemi.

2.2.1 Austenitické oceli

Austenitické oceli jsou velmi kvalitním a odolným materiálem již v neupraveném stavu a tvoří největší skupinu korozivzdorných ocelí. Jsou houževnaté s tažností A až do 40 %. Mají však nízkou mez kluzu okolo 200 MPa při pevnosti 550 až 650 MPa. Jejich plastické vlastnosti jsou však mimořádně vysoké. Díky přítomnosti řady austenitotvorných prvků si oceli zachovávají austenitickou strukturu za normální i velmi nízké teploty. Zrno austenitických ocelí má plošně centrovanou krystalovou strukturu (FCC – face centered cubic). Protože však austenitické oceli neprodělávají při ohřevu transformaci alfa fáze na gama, je možné zvýšit pevnost a mez kluzu pouze tvářením za studena nebo přísadou dusíku. Nepřítomnost fázových přeměn totiž činí tyto oceli citlivými k růstu zrna za vysokých teplot, a čím hrubší je zrno oceli, tím větší má ocel sklon podléhat mezikrystalové korozi. Pokud se však oceli legují dusíkem, pak je účinný pouze dusík rozpuštěný v austenitu, a nikoliv dusík vázaný jako nitrid. Obsah dusíku nesmí být vyšší, než je jeho rozpustnost v austenitu, jelikož nerozpuštěný dusík tvoří bubliny[5].

Na vlastnosti korozivzdorných ocelí má každý legující prvek specifický účinek a ve výsledku dochází ke kombinaci těchto účinků všech legujících prvků. Slitinové prvky v austenitických ocelích je třeba rozlišovat podle jejich vlivu na strukturu oceli, tedy austenitotvorné a feritotvorné prvky, a na mechanické, korozní a jiné vlastnosti. V závislosti na složení slitiny se mění nejen mechanické vlastnosti, ale díky rozdílu elektrochemického potenciálu jednotlivých prvků i například schopnost tvorby pasivační vrstvy na povrchu oceli.

Chrom (Cr) je základním prvkem u vysokolegovaných korozivzdorných ocelí. Jedná se o feritotvorný prvek, s jehož rostoucím obsahem se výrazně zvyšuje i korozní odolnost v oxidačních prostředích i za zvýšených teplot.

Nikl (Ni) podporuje vznik austenitické struktury a austenit stabilizuje za normální i snížené teploty a za vzniku plastické deformace. Se zvyšujícím se obsahem niklu se obecně zvyšuje tvárnost a houževnatost. Přítomnost niklu snižuje rychlost koroze a zvyšuje korozní odolnost v redukčních kyselinách.

Mangan (Mn) se za nízké teploty chová jako austenitotvorný prvek, ale při vysokých teplotách podporuje stabilitu feritu. Přítomnost manganu v oceli také podporuje rozpustnost dusíku, používá se tedy k dosažení vysokého obsahu dusíku u austenitických ocelí. Při obsahu nad 3 % přispívá k potlačení praskání svarů.

Uhlík (C) je silně austenitotvorný prvek. Zvyšuje pevnostní vlastnosti oceli a stabilizuje austenit po deformaci za studena. Vyvolává však náchylnost k mezikrystalové korozi, tudíž je snahou jeho obsah v austenitických ocelích snižovat.

Dusík (N) je silně austenitotvorný prvek a zvyšuje pevnostní charakteristiky oceli, aniž by snižoval odolnost vůči mezikrystalové korozi, a to až do výše 0,2 %. Stabilizuje austenit při tvářením za studena a společně s molybdenem zvyšuje odolnost proti bodové a štěrbinové korozi.

Křemík (Si) je feritotvorný prvek. V množství 3-4 % odstraňuje náchylnost k mezikrystalové korozi a zvyšuje odolnost proti celkové korozi. Vyvolává však praskavost svarů.

Molybden (Mo) je feritotvorný prvek. Podstatně zvyšuje korozní odolnost korozivzdorných ocelí proti rovnoměrné i lokalizované korozi v prostředí redukčních kyselin a solných roztoků. Jeho přítomnost v oceli zvyšuje mechanickou pevnost. Molybden také podporuje tvorbu sekundárních fází u feritických, feriticko-austenitických a austenitických ocelí. Zvyšuje žárupevnost, což nelze říci o žáruvzdornosti.

Měď (Cu) podporuje vznik austenitické struktury a zvyšuje odolnost ocelí proti korozi v některých kyselinách. Při obsahu 3-4 % zlepšuje obrobiteľnosť.

Titan (Ti) a niob (Nb) jsou feritotvorné a karbidotvorné prvky vázající uhlík, čímž potlačují náchylnost k mezikrystalové korozi. Oba prvky zvyšují žárupevnost. Niob vyvolává praskavost svarů.

Hliník (Al) je feritotvorný prvek a výrazný desoxidační prostředek. Zvyšuje žáruvzdornost.

Síra (S), selen (Se), fosfor (F) a olovo (Pb) patří mezi doprovodné prvky. Při zvýšených obsazích zvyšují obrobiteľnosť, avšak za cenu snížené korozivzdornosti.

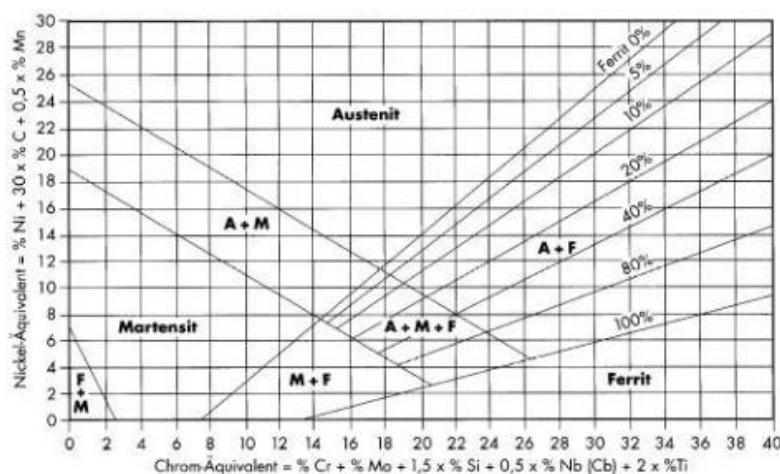
Bór (B) je přisazovaný ve velmi malých množstvích (20-40 ppm) za účelem zlepšení tvařitelnosti a zvýšení žárupevnosti, avšak v koncentracích nad 40 ppm tvařitelnost zhoršuje a vyvolává praskavost svarů.

Struktura nerezavějících ocelí je závislá na obsahu prvků, které zužují oblast γ , a prvků, které oblast γ rozšiřují. Z prvků, které oblast γ uzavírají, má nejvýznamnější vliv na strukturu oceli chrom. Z tohoto důvodu se pro skupinu prvků, které uzavírají oblast γ , zavádí pojem chrom-ekvivalent Cr_{ek} , který určuje působení koncentrace těchto prvků na rozsah oblasti γ ekvivalentně k působení 1% obsahu chromu. Z prvků, které podporují austenitickou strukturu, má největší vliv na strukturu matrice nikl. V tomto případě se tedy zavádí pojem nikl-ekvivalent Ni_{ek} , kde A je konstanta závislá na obsahu dusíku [20].

$$Cr_{ek} = Cr + Mo + 1.5Si + 0.5Nb + 5V + 3Al$$

$$Ni_{ek} = Ni + 30C + 0.74Mn + 0.33Cu + A(N - 0.045)$$

Díky zavedení pojmu Cr_{ek} a Ni_{ek} můžeme vyjádřit vliv chemického složení na strukturu materiálu v Schäfflerově diagramu. Při konstrukci tohoto diagramu byly pro výpočet Cr_{ek} a Ni_{ek} použity vztahy, které se od vztahů uvedených výše liší například tím, že pro výpočet Cr_{ek} nebyl zahrnut vliv V a Al. Stejně tak pro výpočet Ni_{ek} byl zanedbán například vliv dusíku a vliv Mn a Cu je zastoupen v jiném poměru [20, 22].



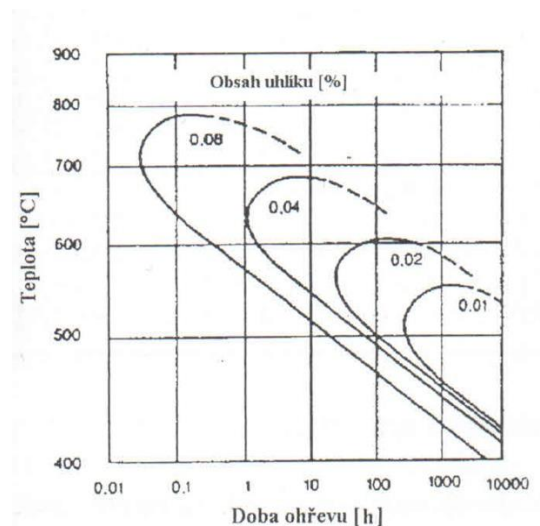
Obr. 2.2 Schäfflerův diagram [16]

2.2.1.1 Chromniklové austenitické oceli

Obsahují nejčastěji 18 až 20 % Cr a 8 až 11 % Ni. Značí se také jako austenitické oceli 18/9. Rozpustnost uhlíku v austenitu těchto ocelí je 0,03 %. Při vyšším obsahu uhlíku je nutné austenitické Cr-Ni oceli podrobit rozpouštěcímu žihání při teplotě 950-1150°C podle druhu oceli a z této teploty rychle chladit (nejčastěji do vody). Rychlým ochlazením se potlačí precipitace karbidů $M_{23}C_6$ a získá se austenitická struktura i u ocelí s obsahem uhlíku 0,10 %.[20]. Při pomalém ochlazování po odlití nebo tváření se na hranicích zrn vylučují karbidy chromu. Protože difúzní rychlost uhlíku je větší než difúzní rychlost chromu, může obsah chromu místně klesnout pod 12 %. Ocel tak ztrácí schopnost pasivace a podléhá mezikrystalové korozi. Aby se odolnost oceli proti korozi obnovila, je třeba opakovat tepelné zpracování [5].

Hlavním prvkem vyvolávajícím a určujícím náchylnost k mezikrystalové korozi je uhlík. Zvýšený obsah niklu nebo křemíku je v tomto ohledu škodlivý, jelikož oba tyto prvky snižují rozpustnost uhlíku v austenitu a podporují tak vylučování karbidů chromu na hranicích zrn. Naproti tomu zvýšení obsahu chromu je příznivé a připouští možné zvýšení mezní hodnoty obsahu uhlíku. Dusík a molybden mají podobně jako chrom účinek příznivý. Existuje několik způsobů, jak odstranit nebo omezit citlivost korozivzdorných ocelí k mezikrystalové korozi, a to například přidáním stabilizačních prvků, snížením obsahu uhlíku nebo docílením dvoufázové austeniticko-feritické struktury [4].

Oceli bez použití vhodných legujících prvků s obsahem uhlíku vyšším než 0,10 % jsou nevhodné pro svařování, a to právě z důvodu, že v tepelně ovlivněné oblasti (TOO) dochází k vylučování již zmíněných karbidů chromu na hranicích zrn, což způsobuje mezikrystalovou korozi. Vliv obsahu uhlíku, teploty a času na zcitlivění nerezavějících ocelí k mezikrystalové korozi při ohřevu znázorňují Relassonovy diagramy, obr. 2.2. Poloha křivek v Relassonově diagramu závisí na chemickém složení, tepelném zpracování, způsobu tváření a velikosti zrna. Velký vliv má obsah uhlíku. Podle diagramu z obr. 2.2 můžeme říct, že ocel 18/9 s obsahem uhlíku 0,10 % ztrácí odolnost vůči mezikrystalové korozi už po velmi krátké době po izotermické výdrži na vyšší teplotě [5]. S tímto jevem je zapotřebí počítat například u fixního zajištění po úderu blesku (viz kap. 3.4). Jestliže po svařování není možné opakovat rozpouštěcí žihání, je nutné použít ocel s nižším obsahem uhlíku, kdy je začátek zcitlivění posunut k delším dobám, nebo stabilizovanou austenitickou ocel, popřípadě austenitickou ocel legovanou molybdenem. Pro zajištění svařitelnosti se austenitické oceli stabilizují Nb, (Ta) nebo Ti. Tyto oceli je možné svařovat i při obsazích uhlíku nad 0,03 %. Stabilizované oceli jsou nahrazovány svařitelnými oceli s nízkým obsahem uhlíku [20]. U fixních zajištění, jejichž výrobní proces nezahrnuje proces svařování, je možné používat nestabilizované austenitické oceli. U svařovaných komponentů také, avšak omezeně.



Obr. 2.3 Relassonovy diagramy – vliv obsahu uhlíku [20]

Mezi dnes pravděpodobně nejrozšířenější materiál používaný pro výrobu fixního zajištění patří ocel (X5CrNi 18-10) a (X8CrNiS 18-9). V obou případech se jedná o chromniklové austenitické nestabilizované oceli značené dle ČSN 10088-1 (1.4301) a (1.4305). Staré označení AISI 304, 303 ČSN 17240, 17243 AKV 7, AKVU. Jejich chemické složení se pohybuje v rozmezí hodnot uvedených v tabulkách 2.1 a 2.2. Mají sklon ke zpevnování při tažení za studena nebo při třískovém obrábění s nevhodnými řeznými podmínkami. Zpevnění vzniká přetvořením austenitu na deformační martenzit, který zvýší pevnost, sníží tažnost a způsobí magnetovatelnost. Oceli jsou náchylné k mezikrystalové korozi v oblasti tepelného ovlivnění. Ocel (X8CrNiS 18-9) je velmi obtížně svařitelná a sváření se nedoporučuje. V porovnání s ocelí (X5CrNi 18-10) je velmi vhodná pro třískové obrábění, avšak s nižší odolností proti důlkové a plošné korozi. [2, 18].

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	N
[%]	max. 0,07	max. 1,00	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,030	17,00 - 19,50	-	8,00 - 10,50	max. 0,11

Tab. 2.1 Chemické složení austenitické oceli (X5CrNi 18-10) [11]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	N
[%]	max. 0,10	max. 1,00	max. 2,00	max. 0,045	0,015- 0,035	17,00 - 19,00	max. 1,0	8,00 - 10,00	max. 0,11

Tab. 2.2 Chemické složení austenitické oceli (X5CrNiS 18-9) [12]

Charakteristickou vlastností austenitických ocelí je nízká mez kluzu v porovnání s jejich mezí pevnosti. Vysoká pevnost při poměrně malé mezi kluzu způsobuje, že austenitické oceli tvářením za studena značně zpevňují. Na obrázku 2.4 můžeme vidět lepený borhák vytažený ze skály z důvodu špatného osazení. Důvodem vzniku plastické deformace bylo jeho křivé osazení, kvůli kterému při zachycení pádu lezce docházelo k působení momentového namáhání (krut). Kombinací momentového působení a nedodržení montážních podmínek (vyvrtná díra nebyla před vlepením borháku řádně očištěna) došlo k jeho uvolnění, viz kapitola 3.3. Borhák tak bylo možné vytáhnout ze skály bez výraznějšího poškození.



Obr. 2.4 Lepený borhák vyrobený z materiálu (X5CrNi 18-10) s viditelnou deformací ohybem [autor]

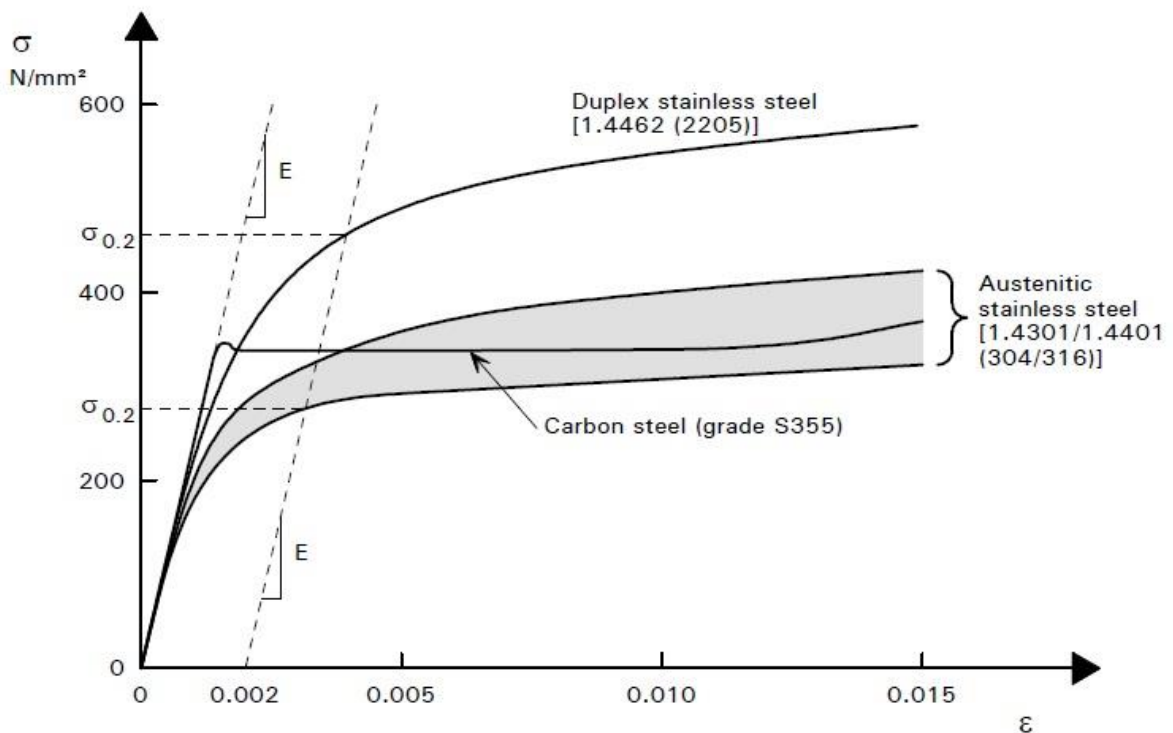
2.2.1.2 Chromnikové austenitické oceli s přísadou molybdenu

Molybden je nejčastěji přidávaným prvkem do korozivzdorných austenitických ocelí, a to z důvodu jeho schopnosti zvýšit odolnost proti korozi v aktivním i pasivním stavu. Hromadí se v ochranné povrchové vrstvičce. Část molybdenu je rozpuštěna v matici a část tvoří karbid $(Fe,Cr,Mo)_{23}C_6$, ve kterém se může rozpustit 3,5-10 %Mo. Molybden však rozšiřuje oblast výskytu delta feritu a pro zachování čistě austenitické matrice oceli je proto nutné zvýšit i obsah niklu nebo jiného austenitotvorného prvku. Tepelné zpracování těchto ocelí se zpravidla provádí jako rozpouštěcí žíhání při teplotě 1100-1150°C s následujícím ochlazováním do vody s rychlostí ochlazování 1400°C.h⁻¹. Vyšší žíhací teploty se nedoporučují z důvodu tvorby delta feritu v matici oceli. Po tepelném zpracování zůstávají v matici karbidy, takže oceli s přísadou molybdenu mají nižší vrubovou houževnatost. Karbidy však zpomalují růst zrna a zvyšují žárupevnost [4].

Dle literatury [2] je pro výrobu fixních zajištění používán také materiál AISI 316L, což je staré označení pro ocel dle ČSN 10088-1 1.4404 (X2CrNiMo 17-12-2). Ocel je zvláště odolná proti důlkové korozi v přítomnosti chloridů (mořská voda) a proti mezikrystalové korozi v oblasti tepelného ovlivnění. Je tedy vhodná pro svařované konstrukce v agresivním prostředí průmyslového typu nebo přímořských oblastech [19].

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
[%]	max. 0,03	max. 1,00	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,030	16,50 - 18,50	2,00- 2,50	11,00 - 14,00

Tab. 2.3 Chemické složení austenitické oceli (X2CrNiMo 17-12-2) [14]



Obr. 2.5 Napětí-úhyné diagramy typické pro uhlíkovou, austenitickou a austeniticko-feritickou (duplexní) ocel [17]

3 DEGRADAČNÍ PROCESY FIXNÍHO ZAJIŠTĚNÍ

Degradaci materiálu se rozumí procesy většinou postupného, trvalého a nevratného zhoršování vlastností materiálů, které mohou ohrozit bezpečnost a spolehlivost součásti a v krajním případě mohou vést až k úplnému selhání jejich funkce, tedy k dosažení mezního stavu [20].

Lezec je zodpovědný za svoji bezpečnost, proto by měl vyhodnotit kvalitu každého jisticího prvku, který chce použít, bez ohledu na to, o jaký typ jištění se jedná. Konkrétně je tedy nezbytné kontrolovat jak jištění necertifikované (tzv. „domadělky“, kotvy s certifikátem pro jiný druh použití), tak i jištění s certifikátem UIAA. V praxi se setkáváme s případy poškození fixního zajištění v zásadě dvojího druhu a jejich kombinací. Prvním je mechanické poškození, které může vzniknout buď při osazování, nebo během samotného používání. Například při zimním lezení dochází běžně k případům, kdy je fixní zajištění zakryté ledem a k jeho použití je tedy zapotřebí použít hrubé síly a led v jeho okolí odsekát kladivem nebo lezeckým cepínem. Druhým případem poškození je degradace materiálu v důsledku korozního napadení daného materiálu. Korozní napadení oceli lze dle mechanismu rozdělit na korozi chemickou a elektrochemickou. Schopnosti oceli odolávat korozi, tj. korozní vlastnosti, se uvádějí ve sbornících a mechanické vlastnosti v příslušných materiálových listech [5]. Třetím a velmi častým případem může být kombinace mechanického poškození a korozního napadení.

3.1 Mechanické poškození

3.1.1 Poškození při montáži

Ačkoliv technologický postup pro montáž je pečlivě předepsaný výrobcem, v praxi mohou nastat komplikace, kdy podmínky pro ukotvení fixního zajištění za předpokladu dodržení tohoto technologického listu není možné nastavit. Dochází k určitému typu poškození, které se však ve většině případů projeví až během samotného používání. Nastane-li takový defekt, je často rozpoznatelný až po bližším prozkoumání a k selhání tak může dojít zcela nečekaně. Konkrétním případem může být zatloukací expanzní nýt s certifikátem UIAA, viditelný na obrázku 3.1 Tuto fotografii jsem pořídil v oblasti francouzského Chamonix v Rhonských Alpách. Plaketa tohoto zatloukacího expanzního nýtu jevila známky poškození úderem kladiva. K poškození tedy došlo při jeho osazení.



Obr. 3.1 Zatloukací expanzní nýt s plaketou značky Petzl s viditelným štěpným lomem [autor]

3.1.2 Opotřebení materiálu

Jestliže tvrdé částice nebo tvrdý drsný povrch tělesa vyvolávají při pohybu na jiném povrchu rýhy nebo ho poškozují řezáním, mluvíme o abrazivním opotřebení (mechanické působení). Tvrdé částice mohou přitom vnikat do povrchu druhého tělesa. Při vnikání i pohybu se rozlišují elastické a plastické deformace. Ta část materiálu, která se při pohybu odstraní, se nazývá objemovým otěrem a je výsledkem působení velkého množství abrazivních částic na jednotku plochy. Velikost otěru závisí na charakteru a tvaru částic. I při malých zatíženích vzniká v oblastech styku plastická deformace. Se zvětšováním zatížení roste téměř lineárně počet rýh na exponovaném povrchu a tato rychlost je funkcí průměru částic. Také šířka rýh závisí na velikosti částic, ale nepřesahuje obvykle 10 až 20 % jejich průměru. U části rýh vznikají jen valy kolem rýh, u zbytku se pak tvoří před břitem tříska, která se od materiálu oddělí. Pro každý druh materiálu existuje určitá „kritická“ velikost abrazivní částice. Při menších rozměrech je otěr úměrný velikosti částice, nad ní je však otěr na velikosti částice nezávislý. Tato kritická velikost zrna je určena především vlastnostmi opotřebovávaného materiálu, ale také zatížením a typem částice. Čím více má částice výstupků a hran, tím větší je pravděpodobnost rýhování a tvorby třísek. Při pohybu se však mohou zrna otupovat, popřípadě i vylamovat a měnit tak podmínky opotřebení [20, 21].

Rozsah abrazivního opotřebení funkčního povrchu namáhané součásti závisí na mnoha faktorech, jako jsou například velikost, tvar, pevnost a tvrdost abrazivních částic. Dále na struktuře a vlastnostech funkčního povrchu a také na velikosti zatížení a kluzné rychlosti [10].



Obr. 3.2 Karabina vyrobená z austenitické oceli (X5CrNi 18-10) s viditelným opotřebením v místě styku karabiny a lezeckého lana [autor]

V lezecké praxi se jedná především o taková fixní zajištění, která se skládají z více částí a umožňují tak vzájemný pohyb. Například dojde-li u mechanických expanzních kotev k částečnému uvolnění, které může být zapříčiněno vlivem opakovaného zatěžování, zatížení nevhodným směrem nebo třeba vlivem působení tepelných cyklů (viz kap. 3.3), plaketa nýtu se může při zatížení kývat kolem dříku. Abrazivním materiálem jsou zpravidla zrnka písku, horniny a jiné nečistoty vyplavené deštěm. Výkyvy plakety vůči dříku expanzní kotvy jsou zdnalivě zanedbatelné a zejména u frekventovaných cest podceňované. Nutno podotknout, že u zatloukacích expanzních kotev s hladkou plochou dříku, kde se vniklé abrazivo snadno usazuje, probíhá rychlost abraze materiálu rychleji než u dnes běžně osazovaných mechanických kotev s dříkem opatřeným závitem, který vyčnívá ze skály. Závit totiž napomáhá odvodu abrazivních částic a umožňuje tak udržet povrch pod plaketou nýtu čistý.

Závit však může způsobovat také adhezivní opotřebení (molekulární působení), vzniklé i při relativně malém pohybu plakety. Náchylná místa jak pro uvolnění matky mechanického expanzního nýtu, tak pro rozvoj adhezivního opotřebení, jsou obecně ta, která zachycují pád lezce tzv. do „pendlu“, tedy místa, kde následkem pádu je kyv pod plným zatížením. Za těchto předpokladů dochází k iniciaci velkého lokálního napětí mezi plaketou a dříkem, resp. závitem nýtu. Dle literatury [20] lze předpokládat, že uvedené mechanismy porušování se budou uplatňovat zejména v závislosti na velikosti lokálních napětí a jejich poměru vzhledem k hodnotám mechanických vlastností materiálů kluzné dvojice.



Obr. 3.3 Dřík zatloukacího expanzního nýtu s viditelným zářezem [autor]

3.2 Poškození korozi

Korozi podléhají téměř všechny materiály, tedy nejen kovy a jejich slitiny, ale také plastické hmoty, keramické, silikátové a jiné materiály. Výsledkem vzájemného působení faktorů koroze je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Podle toho, který z faktorů je dominující, rozdělujeme také jednotlivé druhy koroze. V našem případě se z hlediska korozního prostředí jedná především o korozi v atmosféře, ve vodě a zemské půdě [15].

U takových konstrukčních ocelí, kde není přesně dáno chemické složení, je proces koroze daleko hůře předvídatelný a vznik iniciace korozního napadení velmi rychlý. Nejrozšířenějším korozním prostředím je zemská atmosféra, jejíž agresivita je místně značně proměnlivá. Dále zemská půda a přírodní vody včetně vody mořské. Jednotlivá prostředí se liší svými korozními účinky na materiály, a to jak mechanismem koroze, tak intenzitou jejich degradačních účinků. Nejčastější důsledky koroze se projevují úbytkem materiálu vlivem vzniku korozních zplodin na povrchu součástí (oxidy, sulfidy, rovnoměrná koroze), proděravěním součástí při lokalizaci koroze na malou plochu (koroze bodová, důlková, štěrbinová) nebo vznikem strukturní koroze (mezikrystalová, selektivní). Podle mechanismu korozních dějů rozlišujeme korozi chemickou a elektrochemickou, přičemž nedílnou součástí elektrochemické koroze je přítomnost elektrolytu. Typickým příkladem chemické koroze je oxidace povrchu kovů. Jestliže je vrstva oxidů pórovitá nebo nesoudržná, pak může reakce pokračovat a materiál kovu zcela znehodnotit. Jestliže je však vzniklá oxidační vrstva souvislá a dobře přilne k povrchu, pak se proces chemické reakce může výrazně zpomalit. Takto vzniklé oxidační vrstvy, které zpomalují korozní proces, nazýváme také vrstvy pasivační [3, 4, 15, 20].

3.2.1 Příčiny snížené korozní odolnosti u korozivzdorných ocelí

Korozní odolnost korozivzdorných ocelí a slitin je závislá jak na jejich základním chemickém složení, tj. obsahu legujících prvků, tak i na stavu povrchu. V mnoha prostředích je korozní odolnost závislá zejména na stavu povrchu a k udržení jeho optimálních vlastností je nutné dodržování přísných zásad při výrobě oceli a zpracování polotovaru, zvláště je-li použit proces svařování. Na pasivovaném povrchu oceli nesmí dojít k vytvoření heterogenit chemické ani fyzikální povahy. Nejčastějšími příčinami snížené korozní odolnosti je vznik oblastí ochuzených o některý legující prvek, zejména chrom, a kontaminace povrchu. Vliv kontaminujících látek na zhoršení korozní odolnosti korozivzdorných materiálů může být přímý (vznik korozního článku) nebo častěji nepřímý, v kombinaci s tepelným ovlivněním povrchu. Nástup místního napadení korozi může být zapříčiněn různými činiteli, zahrnujícími obohacení nebo ochuzení o určité slitinové prvky v oblasti hranic zrn nebo koncentrací nečistot uvnitř oblastí hranic. Hranice zrn pak působí jako anody, zatímco rozměrově mnohem větší zrna jsou katodami, což může vlivem elektrochemické reakce (viz kap. 3.2.4) výrazně zvýšit rychlost průniku [3, 4].

3.2.2 Rovnoměrná koroze

Při celkové korozi koroduje povrch oceli vystavený elektrolytu rovnoměrně. Přestože korozní rychlost může být dost vysoká, je tento druh korozního napadení považován za méně nebezpečný v porovnání s místními druhy. Napadení korozi je totiž rozprostřeno na celý povrch a rozsah celkového korozního poškození lze obvykle předpovídat. Rychlost rovnoměrné koroze se vyjadřuje buď v ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$) nebo v ($\text{mm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$). Materiál je obecně považován v daném prostředí za korozně odolný, jestliže rychlost koroze je nižší než $0,1 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ [4, 10]



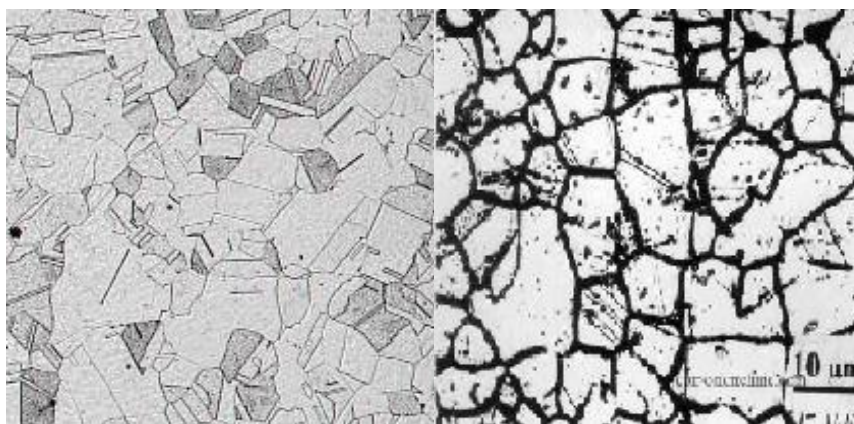
Obr. 3.5 Lezecké skoby napadené celkovou korozi, u skoby (vlevo) s viditelnými dírami [autor]

3.2.3 Mezikrystalová koroze

Je formou nerovnoměrného korozního napadení slitin, u kterých dochází při stárnutí, ohřevu nebo při zpracování ke změnám struktury na rozhraní zrn. Mezikrystalová koroze se projevuje například u korozivzdorných ocelí, niklových slitin, ale i slitin hliníku. Korozivzdorné oceli podléhají mezikrystalové korozi v důsledku snížení obsahu chromu v bezprostřední blízkosti hranic zrn pod hranici pasivovatelnosti. Na rozdíl od jiných druhů koroze tedy mezikrystalové napadení nezasahuje celý povrch ani libovolná místa povrchu a probíhá výhradně podél rozhraní zrn nebo dvojčat a proniká do značné hloubky, popřípadě i celým průřezem výrobku (nožová koroze). Tím je narušena soudržnost zrn a ocel tak ztrácí svoji houževnatost a pevnost, o čemž svědčí i fakt, že materiál při úderu pozbývá kovový zvuk. Mezikrystalová a transkrystalová koroze je považována za velmi nebezpečnou, jelikož zcela uniká vizuální kontrole. Napadení mezikrystalovou korozi může být zapříčiněno různými činiteli, zahrnujícími obohacení nebo ochuzení určitých slitinových prvků v oblasti hranic zrn nebo koncentrací nečistot uvnitř oblastí hranic [4,10].

Konkrétním případem ochuzení oblasti hranic zrn je například lokální snížení obsahu chromu pod hranici pasivovatelnosti (12 % chromu), které je zapříčiněno precipitací karbidů s vysokým obsahem chromu na hranicích zrn při ohřevu v kritické teplotní oblasti, zejména při svařování austenitických ocelí. Udržují-li se austenitické nebo feriticko-austenitické oceli v rozmezí teplot 550 až 800 °C, dochází právě na hranicích zrn k vytvoření karbidů obsahujících chrom a železo, přičemž obsah chromu v karbidech je až 70 %, zatímco v oceli zůstává pouze asi 8 %. Je-li pak takováto ocel vystavena agresivnějším prostředím, místa ochuzená o chrom jsou napadena a materiál na hranicích zrn je korozně znehodnocen [4, 7].

Riziko vzniku mezikrystalové koroze oceli lze redukovat stabilizačním žíháním nebo snížením obsahu volného uhlíku. To se provádí buď přímým snížením obsahu uhlíku pod 0,03 % (ELC oceli – Extra Low Carbon), což zaručuje homogenní austenitickou strukturu CrNi ocelí, nebo přidáním dalších silně karbidotvorných legujících prvků (Ti, Nb), které svojí vyšší afinitou k uhlíku tvoří karbidy ochotněji než chrom a snižují tak obsah volného uhlíku v tuhém roztoku austenitu. Ten se pak chová jako roztok s nízkým obsahem uhlíku a není náchylný k vyvolání citlivosti na mezikrystalovou korozi [4].



Obr. 3.6 *Struktura austenitické oceli (X5CrNi 18-10) v měřítku 100:1 [18], vpravo s mezikrystalovou korozi [8]*

3.2.4 Elektrochemická koroze

Při styku kovového materiálu s elektricky vodivým prostředím dochází ke korozi, jejíž mechanismus se liší od koroze chemické. Zatímco u chemické koroze se jedná o reakci s prostředím, elektrochemická koroze je charakterizována korozním dějem v elektrolytu, spojeným se vznikem galvanického článku (makročlánku, mikročlánku), kde dochází k přenosu elektrického náboje v přítomném elektrolytu, kterým mohou být kapalné roztoky kyselin, zásad a solí, rozpuštěných ve vodě [15].

Největší pravděpodobnost koroze je u hořčíku, manganu, chromu apod. Přesto však některé z těchto kovů jeví v porovnání se železem výrazně vyšší korozní odolnost. To je způsobeno jejich schopností tvořit oxidační povrchové vrstvy, které jsou například u chromu nebo hliníku podstatně výhodnější než u železa. Pro každou rovnováhu elektrochemické reakce existuje její rovnovážný potenciál V_r . Je-li potenciál elektrody v rovnováze s rovnovážným potenciálem ($V=V_r$), reakce neprobíhá. Je-li však potenciál rozdílný od rovnovážného, reakce může probíhat. Velikost přepětí současně charakterizuje hnací sílu dané reakce. Rovnovážný potenciál (V_r) elektrody kovu můžeme zjistit pomocí Nernstova vztahu, který závisí na elektrochemické ušlechtilosti kovu a na aktivitě vlastních iontů v roztoku [4, 17].

Ve skutečných technických podmínkách není povrch kovu zcela homogenní a vzniká tak prostor pro průběh elektrochemické koroze, která probíhá s částečnou lokalizací přednostně na určitých místech povrchu. Mnoho korozních údajů je založeno na laboratorních experimentech provedených za ideálních kontrolovaných podmínek v čistých chemikáliích. V praktických podmínkách proto nelze vyloučit odchylky od uvedených dat a pro volbu vhodného materiálu je proto nezbytné nasbírat co nejvíce informací. Velkým přínosem mohou být poznatky z dosud používaných materiálů v daných podmínkách, jejichž výpovědní hodnotu nelze opomenout.

Spojením dvou různých kovů nebo slitin může nastat celkové zvýšení korozní rychlosti, nebo její soustředění do anodových míst, čímž vzniká korozní, nebo-li galvanický článek. Při spojení ušlechtilého kovu s méně ušlechtilým se anodová reakce soustředí na kov méně ušlechtilý, zatímco katodová reakce může probíhat na obou kovech. Je-li anoda podstatně menší než povrch katody, pak bude anoda korodovat podstatně intenzivněji, k čemuž dochází například u místních druhů koroze pasivních kovů. Zde je katodou celý povrch součásti, zatímco anodová reakce se soustřeďuje do malé plochy aktivního důlku, štěrbinu nebo dna trhliny. K intenzitě a působnosti přispívá i dobrá vodivost prostředí, proto i přítomnost poměrně málo agresivního roztoku může výrazně zvýšit činnost korozních článků. Je-li v elektrolytu spojena korozivzdorná ocel s jiným kovem, jehož potenciál je kladný, a tedy nepodléhá korozi a ocel je v něm trvale pasivní, ustálí se na obou redoxní potenciál daný roztokem a reakce dále zjevně neprobíhá. Má-li však tento kov záporný potenciál, tedy v roztoku sám koroduje, pak bude tento kov anodou a pasivní korozivzdorná ocel katodou. Na oceli se bude vyvíjet vodík, který může aktivovat průběh elektrochemické koroze. Při styku korozivzdorné oceli s jiným druhem oceli podléhá korozi vždy ta ocel, která není korozivzdorná. Někdy však může být nebezpečné i spojení dvou různých korozivzdorných ocelí. Také kontakt korozivzdorných ocelí s grafitem a u méně legovaných typů s titanem a ušlechtilými kovy může znamenat zesílení korozního napadení ocelí například v mořské vodě. [4].

Vliv elektrochemické koroze můžeme pozorovat u tzv. erárního jištění a dalších jisticích prvků, které se skládají z různých materiálů (ocel, hliníkové a titanové slitiny). Tendencí sportovních lezců je ponechávat tzv. „expresky“ neboli karabiny vyrobené ze slitiny hliníku (u starších karabin i slitin titanu) ve fixním zajištění za účelem zjednodušení či ušetření silového výdeje energie nebo z důvodu prevence před nepříjemným pádem lezce. To však vytváří ideální podmínky pro vznik elektrolytické reakce, která v krajním případě může vést až k pozoruhodnému stavu degradace, viz obr. 3.7.

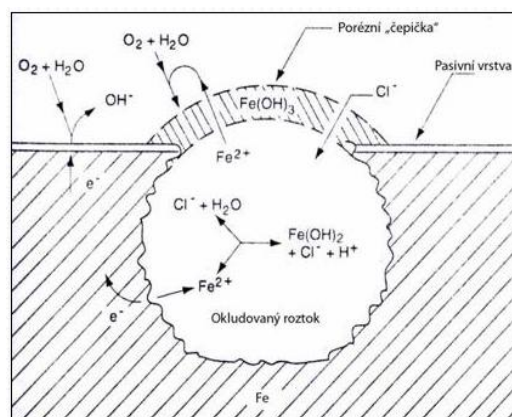


Obr. 3.7 Důsledek působení elektrochemické koroze [16]

3.2.5 Skrytá koroze – bodová koroze neboli pitting

Bodová koroze je druh lokalizovaného korozního děje, při kterém dochází k hloubkovému poškození materiálu a okolní povrch zůstává bez pozorovatelného napadení. Pitting neboli bodová koroze se nejčastěji vyskytuje u pasivovatelných kovů, jako jsou právě korozivzdorné oceli nebo hliník, kdy dochází k místnímu porušení pasivní vrstvy vyvolanému mechanickou vadou, nekovovým vměstkem (zvláště MnS, FeS a CaS) nebo poškozením povrchu v přítomnosti halogenových iontů. Nejčastěji jde o chloridové ionty přítomné v řadě přirozených vodných roztoků, jako je např. mořská voda.

Mechanismus bodové koroze lze rozdělit na dvě stádia: nukleaci, spočívající v místním narušení pasivní vrstvy po určité inkubační době, a iniciaci aktivního korozního centra. Druhá fáze je potom vývojová.



Obr. 3.8 Mechanismus vzniku bodové koroze [25]

K nukleaci bodové koroze je zapotřebí dostatečná koncentrace depasivujících iontů, nejčastěji tedy chloridových, a vhodná oxidační schopnost prostředí. Inkubační fáze bodové koroze může být někdy i poměrně dlouhá a je započata na základě konkurence mezi hydroxidovými a chloridovými ionty u povrchu oceli, přičemž hydroxidové ionty pasivní vrstvu vytvářejí a chloridové ionty ji narušují. Fluktuaace těchto podmínek způsobuje vznik a zánik mikrooblastí až do vzniku stabilních aktivních center, která ve formě bodů rostou autokatalytickým pochodem. Vznik a šíření bodové koroze jsou usnadněny zvýšenou koncentrací agresivního iontu, přítomností oxidujících látek, zvýšenou teplotou a nízkým pH [4, 7].

Na obrázku 3.9 je vidět lepený borhák s viditelným korozním napadením v místech mechanického poškození způsobeného třením lana a úderů kladiva (tváření za studena) při osazování. Borhák se nachází na skalním hřebeni Babího lomu (červený devonský slepenec) [6].



Obr. 3.9 Koroze v místě mechanického poškození borháku [autor]

3.2.6 Koroze za napětí

Při mechanickém namáhání může dojít k lomu (připomínajícímu křehký lom) pod mezí kluzu (resp. mezí únavy), a to i u houževnatých kovů a slitin v málo agresivních prostředích. Specifická prostředí pro vznik koroze za napětí jsou v případě korozivzdorných ocelí zvláště ta, která obsahují chloridy nebo hydroxidy. V prostředí s chloridy dochází k šíření trhlin již při koncentraci chloridových iontů jen několik ppm.

Vznik trhlin následkem koroze je velmi důležitý degradační mechanismus, neboť zapříčiňuje náhlé selhání kovových materiálů často i s vysokou pevností a korozní odolností. Poškození je jen obtížně předvídatelné. Průběh šíření trhlin může být velmi rychlý, přičemž nedochází k jinému výraznějšímu poškození materiálu. Rychlost šíření může být intenzivnější v případech, kdy dochází k současnému působení koroze a mechanického namáhání tahem. Jde o jev korozního praskání, jehož příčinou je vliv prostředí a důsledkem vznik lomové plochy. Příčiny jejího vzniku a intenzita korozního napadení jsou však s ohledem na materiál, prostředí a způsob zatěžování různé. Srovnání jednotlivých druhů praskání je v tabulce 3.1. Často mají společné znaky, a proto hranice mezi nimi není přesně vymezena.

	Korozní praskání	Korozní únava	Vodíková křehkost
Zatížení	statické tahové	cyklické s tahovou složkou	statické tahové
Korozní prostředí	specifické	jakékoliv	jakékoliv
Čistý kov	velmi odolný	náchylný	náchylný
Morfologie trhliny	TG, IG větvené čelo ostré	TG nevětvené čelo tupé	TG, IG nevětvené čelo ostré
Lomová plocha	štěpné plochy	striační pásy	štěpné plochy
Vliv katodické ochrany	potlačuje	potlačuje	urychluje

TG – transkrystalické šíření trhliny IG – interkrystalické šíření trhliny

Tab. 3.1 Srovnání druhů praskání vyvolaného prostředím [26]

Pro vznik a rozvoj korozního praskání není vždy zapotřebí působení vnějšího zatížení, ale stačí jen vnitřní pnutí způsobené například tvářením za studena, svařováním nebo tepelným zpracováním. Obvykle má nejzhoubnější vliv na odolnost proti koroznímu praskání téměř u všech druhů slitin kombinace tváření za studena s následným svařováním bez následného tepelného zpracování za účelem snížení vnitřních pnutí.

Mechanismus vzniku korozního praskání bývá nejčastěji popisován jako aktivní rozpouštění materiálu na čele trhliny. Dle literatury [26] je častým místem vzniku korozní trhliny lokální napadení korozi (bodová koroze) a úzce souvisí s poruchami pasivní vrstvy. Rozdíl mezi korozním praskáním a únavou spočívá ve způsobu zatěžování, kdy podmínkou pro vznik korozní únavy je vznik namáhání se střídavě se měnícím napětím. Čím pomalejší jsou napěťové cykly, tím víc může korozní prostředí negativně ovlivnit životnost součásti.

Ke koroznímu praskání má úzký vztah též atomární vodík, který je schopen difuze kovovou mřížkou a způsobuje její poškození. To se projevuje například vločkovitostí, křehnutím a při vyšších teplotách vodíkovou korozi nebo oduhlíčením. Dojde-li k průniku atomárního vodíku do kovu, může dojít k lokální deformaci, která často vede až k úplnému lomu nebo ke zvýšení křehkosti daného kovu či slitiny. Je-li vodík produktem elektrochemického pochodu, pak můžeme výsledné trhliny (lomy) řadit do skupiny poškození vyvolaných korozním praskáním. V případě, že jde o vodík vzniklý disociací nebo elektrolýzou, můžeme toto poškození klasifikovat jako vodíkové křehnutí. Zdrojem atomárního vodíku a tím i vodíkové křehkosti mohou být například některé povrchové procesy (moření) nebo aplikace katodové ochrany [4, 26].



Obr. 3.11 Kotva prvotně určená pro využití ve stavebnictví s viditelnou trhlinou [autor]



Obr. 3.12 Zatlouací expanzní nýt s odlomenou hlavou [23]

Na obrázku 3.11 můžeme vidět borhák s postupující trhlinou. Takové poškození bylo pozorováno na více než pěti kusech fixního zajištění tohoto typu. Na obrázku 3.12 se jedná o zatlouací expanzní nýt, při jehož osazování úderý kladiva směřují na hlavu zatloukaného dřívku. Úderý kladiva však způsobují vznik vnitřního pnutí v oceli dřívku (tváření za studena). Hlava dřívku je zároveň namáhána lezcem (zachycení pádu, odsednutí).

3.2.7 Dočasně, chemické a elektrochemické úpravy povrchu oceli

Nástup jednoho druhu korozního napadení může vést ke vzniku vhodných korozních podmínek i pro některé další druhy. Vzájemnou intervencí se tak proces koroze může značně urychlit. Účinnou ochranou, respektive prevencí vzniku korozního článku proto může být i vhodná povrchová úprava oceli, která iniciaci koroze ještě více znesnadní. Povlaky vytvořené pomocí chemické úpravy povrchu vznikají při chemické reakci mezi základním pokovovaným materiálem a chemickým roztokem. Vrstvy mohou být aplikovány za účelem zvýšení korozní odolnosti základního materiálu, zlepšení přídržnosti následných povlaků (organických nátěrů) nebo zlepšení vzhledu. Výběr optimální protikorozní ochrany je často komplikovaný [15].

3.2.7.1 Moření

Jedná se o dočasné opatření proti korozi základního materiálu. Aplikovat je můžeme v případech, kdy daný výrobek nelze skladovat ve skladech s vhodnými regulovatelnými podmínkami, nebo při přepravě. Pro volbu prostředků dočasné protikorozní ochrany je nutné zvažovat i způsob manipulace s výrobkem, která může poškodit obal nebo vrstvu konzervačního prostředku. Prvním kritériem pro výběr prostředků dočasné ochrany je požadovaná doba ochrany [7].

3.2.7.2 Chemické úpravy povrchu

Jedná se o vylučování kovů bez vnějšího zdroje proudu. Pokovování bez použití elektrického proudu je velmi výhodné vzhledem k menší nákladnosti v porovnání s elektrolytickým pokovováním (nejsou zapotřebí zdroje stejnosměrného proudu, drahé měřicí přístroje, regulační zařízení atd.). Pracovní postupy při chemickém pokovování jsou dosti jednoduché, vrstva se vytvoří v krátké době, ovšem není možné vytvořit tlusté vrstvy jako při elektrolytické metodě. Chemicky lze pokovovat i součásti nekovové z plastů, skla, keramiky, kůže, dřeva apod. Vzniklé vrstvy dávají základnímu materiálů lepší korozní odolnost, zlepšují odolnost proti otěru a dekorativní vzhled povrchu i přídržnost následných možných organických nátěrů [9, 15].

3.2.7.3 Elektrochemické (galvanické) úpravy povrchu

Mechanismus elektrolytického vylučování kovů lze vysvětlit pochody ve vodních roztocích solí, kdy rozpuštěním anorganických solí ve vodě se zruší jejich krystalická mřížka a nastává tzv. elektrolytická disociace. Tím se rozumí vznik iontů, které se začnou volně pohybovat. Ionty solí rozpuštěných ve vodě mají elektrický náboj a tento elektrický náboj dovoluje vodnímu roztoku vést elektrický proud. Záporné ionty nesou přebytečné elektrony, naproti tomu kladně nabitě ionty jich mají nedostatek. Zavedením stejnosměrného proudu do roztoku dojde k usměrnění pohybu iontů, které se řídí podle zákonů elektrostatické přitažlivosti. Stejnosměrný proud lze do roztoku zavést dvěma elektrodami, tedy anodou a katodou. Anionty jsou přitahovány ke kladně nabitě anodě a kationty k záporně nabitě katodě. Kladně nabitě ionty se na katodě spojují s jejími elektrony, přičemž dochází k redukci kationtů (vzniká buď elektricky neutrální látka, nebo kationt nižšího mocenství). V případě záporně nabitých iontů dochází na kladně nabitě anodě k redukci aniontů (vzniká buď elektricky neutrální látka, nebo iont vyššího mocenství). Těmto pochodům se souhrnně říká

elektrolýza. Jsou-li v roztoku rozpuštěny soli několika kovů, pak dochází k vylučování na katodě postupně v pořadí, kdy jako první se vylučuje kov s nejkvalitnějším potenciálem. V případě galvanického vylučování kovů se jedná o děj opačného charakteru než při elektrolýze, a to z důvodu, že elektrody galvanických článků budou mít opačné znaménko než při elektrolýze. [9, 15].

U fixních zajištění prodávaných na českém území s certifikátem UIAA se můžeme setkat s výrobky, které jsou buď zcela bez povrchové úpravy, nebo jsou galvanicky zinkované.

Galvanické zinkování

Zinkové povlaky chrání ocelové předměty zejména v případech, kdy je korozním prostředím atmosféra nebo voda. Zinek se navíc pokrývá povlakem oxidu a uhličitanu zinečnatého, který zpomaluje další průběh koroze. Životnost zinkových povlaků lze však ještě zvýšit chromátováním nebo fosfátováním [9, 15].

3.3 Zatěžování tepelným cyklem

Vzniká, je-li povrch borháku pravidelně vystavován tepelnému namáhání, způsobeném například střídáním silného slunečního záření a chladných nočních teplot. U tohoto typu zatěžování dochází k tepelnému roztahování a kontrakci oceli, což může vést k uvolnění mechanického expanzního nebo lepeného borháku a k jeho selhání. Mechanické expanzní kotvy kladou nižší technologicko-aplikační nároky při jejich osazení než borháky lepené, avšak četnost případů kdy je nýt uvolněný a pro jeho bezpečné použití je potřeba jej opakovaně dotahovat je vysoká. Oproti tomu u borháků lepených je uvolnění dáno zpravidla nedodržením technologického postupu nebo montáží při nevhodných klimatických podmínkách. Tento defekt se však zpravidla projeví až po delší době, často až po několika letech. Oprava takto vzniklého poškození lepeného borháku není možná. Borhák musí být odstraněn a nahrazen novým.

Austenitická ocel se vyznačuje zvýšenou tepelnou roztažností. Z důvodu větší kontrakce dřívku vůči použitému lepidlu je o to důležitější volba vhodné směsi lepidla a dodržení montážních podmínek. Na obr. 3.13 můžeme vidět názorný příklad lepeného borháku s délkou dřívku 55 mm, který byl při zátěžové zkoušce při osovém namáhání tahem vytažen ze skály, a to silou nepřesahující 13 kN. Chemická malta zůstala na dřívku borháku, což mohlo být způsobeno nedbalým vyčištěním vrtané díry před vlepením samotného borháku nebo použitím nevhodné směsi chemické malty [24].



Obr. 3.13 Vytržený lepený borhák [24]

3.4 Poškození natavením (TOO)

Poškození tohoto typu je zpravidla ojedinělý jev, vyskytující se především v horských oblastech. Jedná se o poškození způsobené silným elektrostatickým výbojem (bleskem). Na obrázku 3.14 je fotografie expanzního nýtu, již jsem pořídil v oblasti francouzského Chamonix v Rhonských Alpách. Borhák se nachází ve výšce 4001 metrů n. m. v masivu hory Dent du Geant (4013m). V případech, kdy se jedná o lepený borhák nebo kdy je fixní zajištění zasaženo vedlejším výbojem, může být poškození úderem blesku hůře rozpoznatelné.

Viditelná poškození

- oxidová vrstva na povrchu součásti, způsobující zabarvení,
- přítomnost vměstků a cizorodých kontaminantů, viditelných po celém povrchu,
- vznik svaru matky, podložky, plakety a dříku,
- viditelný rozstřík po roztavení a lehký svar v místě styku plakety nýtu a mailony,
- tvarová deformace natavené části.

Změna struktury a mechanických vlastností

Nepříznivým tepelným ovlivněním dochází ke značnému zhrubnutí austenitického zrna v přehřáté oblasti vzniklého svaru, kdy s rostoucí velikostí zrna roste například citlivost ke koroznímu praskání. Austenitické oceli se vyznačují poměrně špatnou tepelnou vodivostí, takže je v tomto případě i velká pravděpodobnost změny houževnatosti a vzniku vnitřních trhlin, způsobených příliš rychlým ochlazením. Povrch chladnul výrazně rychleji než jádro.

Výskyt chemických heterogenit, tj. oblastí s koncentračním profilem některého z prvků matrice (nejčastěji oblastí ochuzených chromem nebo obohacených uhlíkem), přítomnost vměstků a cizorodých kontaminantů může přímo nebo nepřímo (např. v kombinaci s nevhodným fyzikálním stavem či tepelným ovlivněním, zvl. svařováním) zásadně snížit korozní odolnost povrchu legovaného materiálu [3].



Obr. 3.14 Expanzní nýt s plaketou po úderu blesku [autor]

ZÁVĚR

V současné době existují oborové orgány, jako například bezpečnostní komise Českého horolezeckého svazu nebo organizace Alpenverein, které se zabývají problematikou fixního jištění, respektive zajišťují přímo nebo zprostředkovaně správu lezeckých oblastí a přejišťování cest. Rozsah jejich působnosti však zpravidla zahrnuje jen namátkovou kontrolu fixního jištění nebo kontrolu na základě upozornění. Namátkovou kontrolou lze zjistit například korozní odolnost v daném prostředí, která je u různých typů ocelí v daném prostředí různá. Je-li však z nějakého důvodu fixní jištění poškozeno nebo chybně osazeno, mohou tyto degradační procesy akcelarovat a jejich životnost může klesnout až o několik řádů. Takto vzniklé poškození lze odhalit jedině cílenou kontrolou každého jednotlivého jištění. Z výše uvedeného vyplývá, že lezec, který je zodpovědný za svoji bezpečnost, by měl před použitím každého fixního jištění provést vlastní kontrolu, čímž může předejít potenciálnímu riziku a případnou zjištěnou závadu nahlásit správci dané oblasti.

Vzhledem k tomu, že lezecká terminologie není zcela jednotná – zejména v hovorovém používání jsou často zaměňována jednotlivá označení fixního jištění –, bylo nutné jmenovité označení jednotlivých typů jištění ujednotit, aby nedošlo k případnému nedorozumění. V kapitole 1 jsou proto stručně popsány všechny základní typy fixního jištění, běžně používaného v lezecké praxi.

Následující kapitola je věnována materiálům používaným pro výrobu tohoto fixního jištění, kdy zejména u jištění vyrobených tzv. „doma na koleni“ si dokonce ani samotní autoři většinou nepamatují konkrétní označení a způsob zpracování materiálu použitého pro jejich výrobu. V současnosti se pro výrobu fixního lezeckého jištění používá zejména austenitická korozivzdorná ocel, jejíž korozní odolnost je výrazně vyšší než u dříve používané konstrukční oceli. V této práci je stručně podán teoretický přehled rozdělení korozivzdorných ocelí s obsáhlejším popisem austenitických korozivzdorných ocelí se zaměřením na jejich korozní odolnost, která se však místně liší. V praxi navíc dochází k určitým typům poškození, která ve vzájemné interakci například u korozivzdorných ocelí způsobují korozní napadení lokálního charakteru (mezikrystalová koroze, bodová koroze aj.), precipitační zpevnění související se změnou struktury oceli nebo iniciací trhlin a vznik lomové plochy.

V kapitole 3 jsou popsány základní typy degradace fixního jištění, doplněné o některá specifická poškození, jejichž výskyt není ojedinělý. Rozsah některých degradačních procesů, například mezikrystalové koroze, však není možné vizuální kontrolou správně vyhodnotit. V pokračování svého bádání bych se proto chtěl zaměřit na praktické testování a způsoby odhalení jednotlivých druhů a rozsahů poškození fixního jištění, na jejichž základě bych mohl stanovit pracovní postup pro správce oblastí, potřebný pro bezpečné odhalení korozního napadení například při preventivní kontrole. Skutečnost, že korozivzdorná ocel v určitých lokalitách stále snadno podléhá korozi nebo je vystavena zcela specifickým namáháním, například úderům blesku, naznačuje i potřebu dále zkoumat specifika konkrétních geologických a klimatických podmínek a jim odpovídající volbu vhodných materiálů.

Seznam Použitých zdrojů

- [1] ACHEY, Jeff. Built to Last? The Hidden Dangers Of Climbing Bolts: Climbing anchors and corrosion. In: Climbing [online]. [duben]2014 [cit. 2015-01-07]. Dostupné z: <http://www.climbing.com/climber/built-to-last/>
- [2] BUTT, Jeff. Long-life bolts-what are the options?: which is the best one?. In: The National speleological society [online]. 1999 [cit. 2015-01-06]. Dostupné z: <http://caves.org/section/vertical/nh/47/bolting.pdf>
- [3] BYSTRIANSKÝ, Jaroslav. Příčiny snížené korozní odolnosti korozivzdorných ocelí a slitin: vliv kvality povrchu na korozní odolnost slitinových ocelí. ÚKMKI, VŠCHT Praha, [2005]. Dostupné z: http://www.metal2014.com/files/proceedings/metal_05/papers/231.pdf. Článek v odborném periodiku. VŠCHT, Praha.
- [4] ČÍHAL, Vladimír. Korozivzdorné oceli a slitiny. Vyd. 1. Praha: Academia, 1999, 437 s. ISBN 80-200-0671-0.
- [5] FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, 1996, 261 s. ISBN 80-858-6795-8.
- [6] GILÍKOVÁ, Helena. Petrografické složení a sedimentární prostředí klastických sedimentů spodního paleozoika (kambrium - devon) [online]. 2007 [cit. 2015-03-28]. Disertační práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Jindřich Hladil. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/54826/prif_d_b1/.
- [7] CHÁRA, T. *Impregnace korozivzdorných ocelí pro podmínky zámořských plaveb*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2013. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Zmrzlý, Ph.D..
- [8] Intergranular Corrosion. Corrosion consulting [online]. 2015 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/intergranular_corrosion_cracking.htm
- [9] KAVALÍR, Vít. *Nové metody galvanické úpravy kovů: New methods of galvanic treatment of metals*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 2007, 1 elektronický optický disk [CD-ROM / DVD]. Bakalářská práce.
- [10] KRAUS, Václav. Povrchy a jejich úpravy [online]. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 216 s. [cit. 2015-03-28]. ISBN 80-708-2668-1. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [11] Material number 1.4301. *Informationen über Stahl für Metallografen* [online]. 2011 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.metallograph.de/start-eng.htm?/werkstoffkartei-eng/werkstoffkartei.htm>

- [12] Material number 1.4305. Informationen über Stahl für Metallografen [online]. 2011 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.metallograph.de/start-eng.htm?werkstoffkartei-eng/werkstoffkartei.htm>
- [13] Material number 1.4401. *Informationen über Stahl für Metallografen* [online]. 2011 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.metallograph.de/start-eng.htm?werkstoffkartei-eng/werkstoffkartei.htm>
- [14] Material number 1.4404. *Informationen über Stahl für Metallografen* [online]. 2011 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: NEREZOVÁ OCEL 1.4404. *INOX, spol. s r. o. - NEREZOVÝ HUTNÍ MATERIÁL* [online]. 2009 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=11>
- [15] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 1995, 151 s. ISBN 80-707-8267-6.
- [16] MUSIL, Franci. Šupinová koroze karabin. In: Jeskyňář: Technická sekce [online]. 14.10.2008 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.jeskynar.cz/technicka-sekce/clanek/supinova-koroze-karabin>
- [17] N.R. BADDOO, N.R.B. *Structural design of stainless steel*. Ascot: Steel Construction Institute, 2001. ISBN 18-594-2116-4.
- [18] NEREZOVÁ OCEL 1.4301. *INOX, spol. s r. o. - NEREZOVÝ HUTNÍ MATERIÁL* [online]. 2009 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=16>
- [19] NEREZOVÁ OCEL 1.4404. *INOX, spol. s r. o. - NEREZOVÝ HUTNÍ MATERIÁL* [online]. 2009 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=11>
- [20] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM. ISBN 80-7204-248-32.
- [21] SEDLÁČEK, Vladimír. *Neželezné kovy a slitiny*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979, 398 s. Řada hutnické literatury.
- [22] Schaeffler-Diagramm. Informationen über Stahl für Metallografen [online]. 2011 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.metallograph.de/start.htm?werkstoffkartei/werkstoffnummern.htm>
- [23] TĚŠITEL, Vladimír. Porucha nýtu. *Lezec-zpravodaj* [online]. 2011 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.lezec.cz/clanek.php?key=9643&nazev=porucha_nytu
- [24] TĚŠITEL, Vladimír. *Testy chemických malt pro kruhy a borháky*. 2006.

- [25] VŠCHT. FAKULTA CHEMICKÉ TECHNOLOGIE. ÚSTAV KOVOVÝCH MATERIÁLŮ A KOROZNÍHO INŽENÝRSTVÍ,. Bodová koroze - teoretická část [online]. Praha, [2013] [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/document.php?docId=9624>. Studijní materiály.
- [26] VŠCHT. FAKULTA CHEMICKÉ TECHNOLOGIE. ÚSTAV KOVOVÝCH MATERIÁLŮ A KOROZNÍHO INŽENÝRSTVÍ,. Korozní praskání [online]. Praha [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/document.php?docId=9624>. Studijní materiály.