

Posudok

Vo veci: poškodenia závesných karabín používaných pri paraglidingovom lietaní – letecká udalosť SKI2020001 zo dňa 01.01.2020.

1. Stopa č.1 – zlomená karabína Woody Valley CAMP;
2. Stopa č.2 – čiastočne nalomená karabína Woody Valley CAMP;

Na zistenie skutočností boli preskúmané karabíny Woody Valley CAMP, predložené ako stopy č.1 a č.2.



Karabína č.1:

Bola rozlomená tesne nad spodným ohybom. Išlo o únavový lom so štyrmi iniciačnými oblasťami (pozri neobvyklé línie postupových pásov šírenia lomu a z nich vyplývajúce štyri iniciačné oblasti a počiatočné smery šírenia lomu označené červenými a zelenými šípkami a aj zreteľne vyprofilovanou oblasťou finálneho dolomenia materiálu (označená žltou šípkou).



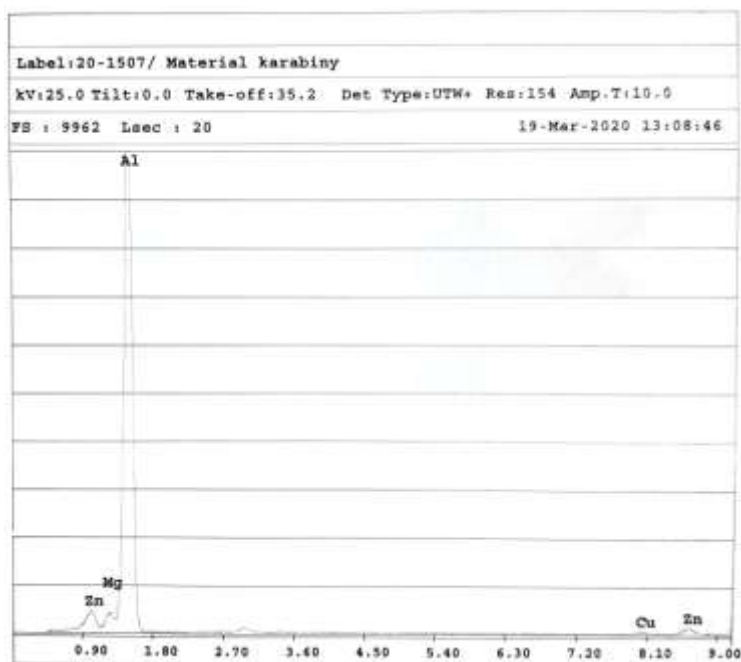
Lomová plocha s dobre viditeľnými postupovými pásmi šírenia lomu, so zreteľnými iniciačnými oblasťami aj dobre viditeľnou oblasťou finálneho dolomenia materiálu.

Polohy iniciačných oblastí lomu presne korešpondovali s miernymi pozdĺžnymi povrchovými výstupkami (kvázi hranami) v spodnej časti karabíny v mieste prítlaču nosných popruhov postroja na karabínu.



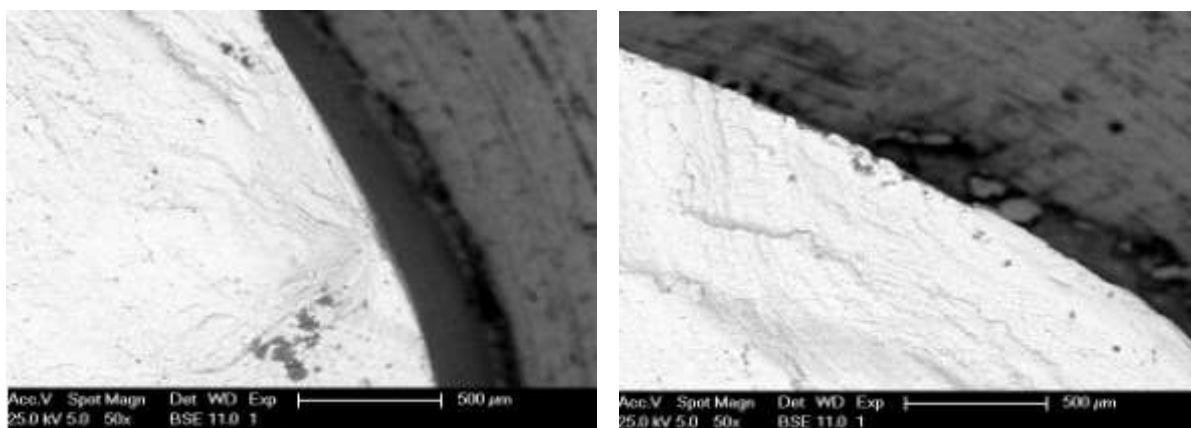
Priame polohové korešpondovanie medzi iniciačnými oblasťami lomu a pozdĺžnymi výstupkami na opornom pracovnom povrchu karabíny.

Lomová plocha bola následne skúmaná pomocou rastrovacieho elektrónového mikroskopu s rtg. energiovo-disperzným spektrometrom (REM/EDX). Bolo zistené, že karabína bola vyhotovená z hliníka veľmi mierne legovaného zinkom, horčíkom a meďou. (pozri spektrogram). Uvedené legovacie prvky sa do hliníkových zliatin pridávajú za účelom zlepšenia ich mechanicko-pevnostných vlastností.



Spektrogram - Základný materiál poškodenej karabíny.

Iniciačné oblasti lomu boli podrobne preskúmané, pričom v nich neboli zistené žiadne podstatné chyby materiálu (dutiny, nečistoty, vnútorné trhliny a pod).



Dve z iniciačných miest únavového lomu karabíny č.1.

Karabína č.2:

Aj na karabíne predloženej ako stopa č.2 bola v tom istom mieste zistená prítomnosť začínajúceho lomu.



Začínajúci únavový lom na karabíne č.2 presne v tých istých miestach, kde sa inicioval rozvinul v prípade karabíny č.1.

Z uvedených zistení bolo teda zrejmé, že vznik únavových lomov práve v tejto časti karabíny (tesne nad spodným ohybom karabíny, na strane oproti uzamykaciemu mechanizmu) nesúvisí s nejakými náhodnými materiálovými chybami, ale súvisí so samotným konštrukčným riešením karabíny. Výrobca týchto karabín deklaruje ich statickú nosnosť 18 kN v pozdĺžnom smere a 7 kN v priečnom smere.



Výrobcom deklarovane statické nosnosti karabíny v pozdĺžnom a priečnom smere.

Bežné prevádzkové ťahové zaťaženie karabíny by pri sólo letoch nemalo dosiahnuť ani hodnotu 1 kN (ani pri uvažovaní šikmého smerovania nosných popruhov a príslušného vektorového rozkladu zaťaženia), čo je hodnota výrazne menšia, než je deklarovaná ťahová nosnosť karabíny. Napriek tomu na obidvoch skúmaných karabínach k vzniku lomov došlo.

O hliníku a jeho zliatinách je známe, že pri súčiastkach z nich vyrobených nemožno presne stanoviť tzv. medzu únavy, akú poznáme napr. u súčiastok ocelí. Teda s rastúcim počtom zaťažovacích cyklov u súčiastok vyrobených na báze hliníka neustále klesá hodnota zaťaženia, ktoré postačuje na iniciáciu únavového mechanizmu ich poškodzovania, a to aj v oblasti s početnosťou nad 10^7 zaťažovacích cyklov.

Skúmanie bolo následne zamerané na pracovný režim karabíny z pohľadu, či sa pri zaťažení správa ako uzavreté nosné oko, alebo ako otvorený hák. V prípade, ak by pracovala ako uzavreté oko, v mieste vzniku lomu by pôsobilo prakticky len osové ťahové namáhanie jej nosného prierezu a s ním minimálne, prakticky zanedbateľné prídavné ohybové namáhanie. Iná situácia by nastala, ak by karabína pracovala ako otvorený hák. V takom prípade by v poškodzovanom mieste okrem osového ťahu pôsobilo aj výrazné prídavné ohybové namáhanie, ktoré by sa vo významnej miere mohlo podieľať na preukázanom únavovom poškodzovaní karabíny. Na to, aby sa karabína správala ako otvorený hák musel by mať jej uzamykací mechanizmus (foto č.1) nadmernú vôľu medzi okrajmi uzamykacích drážok na pevnej časti telesa karabíny (drážka označená svetlomodrou šípkou na foto č.2) a uzamykacími výstupkami na výklopnej pohyblivej časti karabíny (výstupok označený tmavomodrou šípkou na foto č.9). Orientačná hodnota vôľe v tomto mechanizme (v smere pôsobiaceho prevádzkového zaťaženia) bola skúmaná na karabíne č.2 a jej hodnota bola stanovená pomocou vtláčku uzamykacieho výstupku v plastelíne vložennej do jednej z uzamykacích drážok. Pri následnom zatvorení a otvorení karabíny vo vložennej plastelíne uzamykací výstupok vytvoril vtláčok kvázi lichobežníkového prierezu so zaoblenými bočnými stranami (pozri líniu zelenej prerušovanej čiary na foto č.3), pričom bolo zistené, že v nezaťaženom stave bola vôľa medzi uzamykacím výstupkom a okrajom uzamykacej drážky minimálna na úrovni horného okraja drážky, a že táto vôľa mala hodnotu približne 0,8 mm (pozri zelenú kótu na foto č.3).



Foto č.1 Karabína predložená ako stopa č.2 a označená strana uzamykacieho mechanizmu, kde sa nachádzajú uvedené drážky a výstupky



Foto č.2 Polodetail uzamykacej drážky a uzamykacieho výstupku

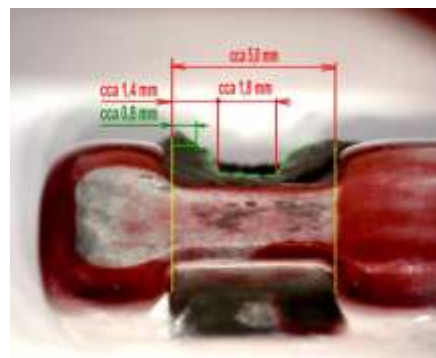


Foto č.3 Poloha, kam sa do uzamykacej drážky zasúva uzamykací výstupok

Ďalej bolo pomocou ťahového silomeru a číselníkového odchytkomeru zistené, akú približnú tuhosť v smere bežného prevádzkového zaťaženia má skúmaný typ karabín. Ťahová skúška bola opäť realizovaná na karabíne predloženej ako stopa č.2, pričom v otvorenom (neuzamknutom) stave bola karabína opakovane zaťažovaná ťahovou silou $F = 200$ N, pričom v oblasti uzamykacej drážky bola nameraná deformácia telesa karabíny v smere pôsobiacej sily s hodnotou približne $\Delta_{200} = 0,42$ mm. Z uvedených zistení bolo zrejmé, že karabína sa až po hodnotu zaťaženia približne $F^I \approx 400$ N (približne 40 kp) správa ako otvorený hák a až pri

vyššom zaťažení dochádza k opretiu kov na kov v uzamykacom mechanizme a až potom sa začne správať ako uzavreté nosné oko, čo možno považovať za hlavný rizikový faktor rozvoja únavového poškodzovania predmetného typu karabín.

Ako bolo uvedené vyššie, iniciačné miesta únavového lomu korešpondovali s príslušnými pozdĺžnymi výstupkami v mieste prítlaku nosných popruhov na príslušnú opornú pracovnú plochu karabíny. Teda okrem preukázaného kombinovaného namáhania ťah - ohyb v poškodzovanom priereze karabíny na povrchu karabíny pôsobilo aj prídavné tlakové zaťaženie, ktoré sa síce prejavilo na polohe iniciačných miest lomu, ale nebolo rozhodujúce z hľadiska samotného vzniku únavového mechanizmu poškodzovania materiálu. (Ak by sa na kontaktnej ploche medzi popruhmi a karabínou uvedené pozdĺžne výstupky nenachádzali a kontaktný povrch by bol hladký a plynulo zaoblený, iniciačné miesto lomu by bolo zrejme len jedno a postupové pásy šírenia lomu by mali trochu iný tvar).

Zo zistených skutočností vyplýva, že pri danom konštrukčnom riešení predmetných karabín (použitý materiál, tvar, rozmery a pod.) možno za hlavnú príčinu rozvoja únavového mechanizmu ich poškodzovania považovať nadmernú vôľu ich uzamykacích mechanizmov, ktorá spôsobila nadmerné prídavné ohybové namáhanie karabín v poškodzovanom priereze.

Priama súvislosť medzi povrchovou úpravou karabín a vznikom a rozvojom únavového lomu na skúmanej karabíne nebola preukázaná. Mechanické opotrebovanie eloxovanej vrstvy na povrchu karabíny nemá podstatný vplyv na zníženie statickej únosnosti karabíny. Možno ho považovať len za určitú vizualizáciu miery prevádzkového používania karabíny.

Na karabíne výrobca neuvádza žiadne obmedzenia jej použiteľnosti z hľadiska počtu letových hodín alebo z hľadiska maximálnej doby používania karabíny, čo vzhľadom na nemožnosť stanoviť tzv. medzu únavy na súčiastkach vyrobených z hliníka a jeho zliatin, možno považovať za závažný nedostatok.

III. Záver

Karabína bola rozlomená únavovým lomom. Pravdepodobnou príčinou lomu pri danom konštrukčnom riešení karabíny (použitý materiál, tvar, rozmery a pod.) možno za hlavnú príčinu rozvoja únavového mechanizmu poškodzovania karabíny považovať nadmernú vôľu uzamykacieho mechanizmu karabíny, v dôsledku čoho v poškodzovanom mieste karabíny okrem ťahového namáhania pôsobilo aj výrazné ohybové namáhanie.

Aj na druhej karabíne sa v tej istej oblasti nachádza začínajúca trhlinka. Mechanické opotrebovanie eloxovanej vrstvy na povrchu karabíny nemá podstatný vplyv na zníženie statickej únosnosti karabíny.

Pri súčiastkach vyrobených z hliníka a jeho zliatin nemožno definovať tzv. medzu únavy, akú poznáme napr. u súčiastok vyrobených z ocelí. Teda s rastúcim počtom zaťažovacích cyklov u nich neustále klesá hodnota zaťaženia, ktoré postačuje na iniciáciu únavového mechanizmu ich poškodzovania, a to aj v oblasti s početnosťou nad 10^7 zaťažovacích cyklov.

Použiteľnosť karabín z hliníkových zliatin by, v prípade ich používania v padákových a závesných klzákoch, mala byť jednoznačne limitovaná aj náletom hodín alebo celkovou dobou použiteľnosti karabíny (Vzhľadom na nemožnosť presného stanovenia tzv. medze únavy pre súčiastky vyrobené z hliníkových zliatin).