

Osnove o materialih in nekateri alpinistično-plezalni opremi

Poskušal bom predstaviti nekatere strojniške poglede na alpinistično opremo, obremenitve nanjo ob normalni uporabi in nekaj fizike, ki stoji za vsem naštetim. Poudarek bo predvsem na kovinski opremi, saj je večina obremenjenih alpinističnih pripomočkov prav iz teh gradiv, poleg tega pa je bolj fizikalno opisljiva.

Številke, ki so omenjene v besedilu, so okvirne in služijo predvsem boljši predstavitvi obremenitev. Jasno je, da obstajajo določene razlike med obremenitvami delov v teoriji in praksi. Ta članek se osredotoča predvsem na teorijo.

Nekatere stvari so opisane bolj podrobno druge manj. Kljub temu je vsako poglavje bolj ali manj zaključena celota, in komur se ne ljubi brati vsega, lahko posamezna poglavja preskoči.

Preden pa se podrobneje lotim posameznih pripomočkov, moram opisati in razložiti nekaj osnov o materialih, obdelavah in preračunih.

Materiali

Kovini, ki sta v alpinizmu najbolj uporabljani, sta prav gotovo železo in aluminij. Obe se uporabljata v obliki zlitin. Zlitine so kovinski materiali, sestavljeni iz dveh ali več komponent, od katerih je vsaj ena (glavna sestavina) kovina. Ostalim sestavinam pravimo legirni elementi in so lahko kovine ali nekovine.

Zlitine niso spojine, saj različne komponente niso vezane kemijsko, ampak znotraj kristalov. V t. i. kristalnih rešetkah so posamezni atomi ali molekule razporejene urejeno. Ena zlitina je lahko sestavljena iz različnih kristalnih rešetk, ki vplivajo na mehanske in kemijske lastnosti zlitine.

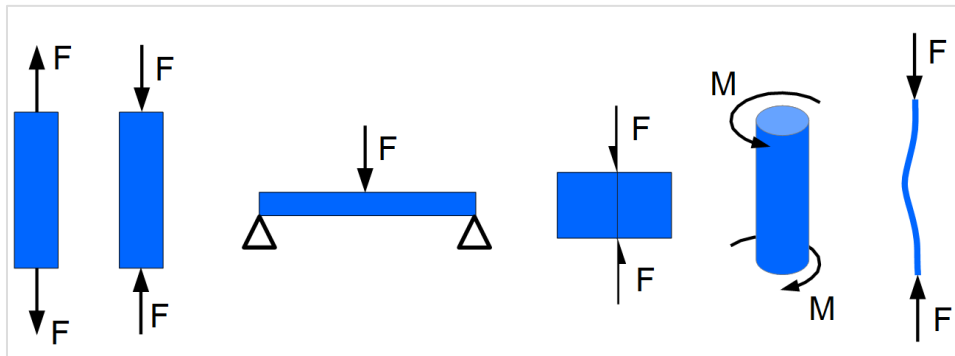
Glavni lastnosti kovin v strojništvu sta trdnost in trdota. Trdnost materiala nam pove, kakšno obremenitev material lahko zdrži, preden pride do porušitve, in se večinoma podaja v N/mm^2 (oziroma MPa (megapaskalih)). Če imamo na primer jeklenico (zajla) s presekom 9 mm^2 (premer približno 3,4 mm) in natezno trdnostjo 500 N/mm^2 , lahko nanjo obesimo 458 kg ($9 \cdot 500 \div 9,81$). Trdota materiala pa je odpornost materiala na praske in obrabo. Trdota in trdnost sta med seboj povezani in večja trdnost materiala pomeni tudi večjo trdoto. Ker pa se s povečanjem trdote poveča krhkost materiala (oziroma zmanjša žilavost; krhki materiali se lažje zlomijo pri udarcih), se večinoma teži k temu, da ima končen izdelek trdo površino, odporno na obrabo, in žilavo notranjost. Te lastnosti lahko spreminjamo z različnimi toplotnimi obdelavami kovin – kaljenje, poboljšanje, popuščanje, žarjenje.

Večina kovin na zraku oksidira. To pomeni, da se atomi na površini kemijsko vežejo s kisikom iz zraka in nastajajo spojine, imenovane oksidi. Železov oksid (Fe_2O_3) imenujemo rja in je v strojništvu nezaželena, aluminijev oksid (Al_2O_3) pa je v bistvu naravna zaščita aluminija pred nadaljnjo oksidacijo in ima lahko tudi lep vizualni učinek.

Umetnih mas, ki se uporabljajo za izdelavo alpinistične opreme, je veliko. Pri nekateri opremi so sestavni deli iz umetnih mas drugotnega pomena – ročaji pri cepinih, neobremenjeni deli metuljev, ... – in služijo predvsem lažji uporabi, polnjenju prostora in ergonomiji. Pri drugi opremi pa predstavljajo glavno sestavino obremenjenih elementov – vrvi, plezalni pasovi, zanke, čelade, ... Večina umetnih mas v alpinizmu spada v družino termoplastov, umetnih mas, ki jih lahko ponovno stalimo in preoblikujemo v drug izdelek.

Napetosti

Napetosti, ki se ob obremenitvi pojavijo v materialu, delimo na normalne in tangencialne. Med normalne spadajo: natezna, tlačna, upogibna in uklonska, med tangencialne pa strižna in vzvojna.



Slika 1: Od leve proti desni obremenitve, ki povzročajo naslednje napetosti: natezno, tlačno, upogibno, strižno, vzvojno, uklonsko.

Treba je vedeti, da je večina realnih obremenitev mešana. Čiste strižne napetosti se pojavljajo manjkrat, vendar je večina materialov na te manj odporna.

Aluminij

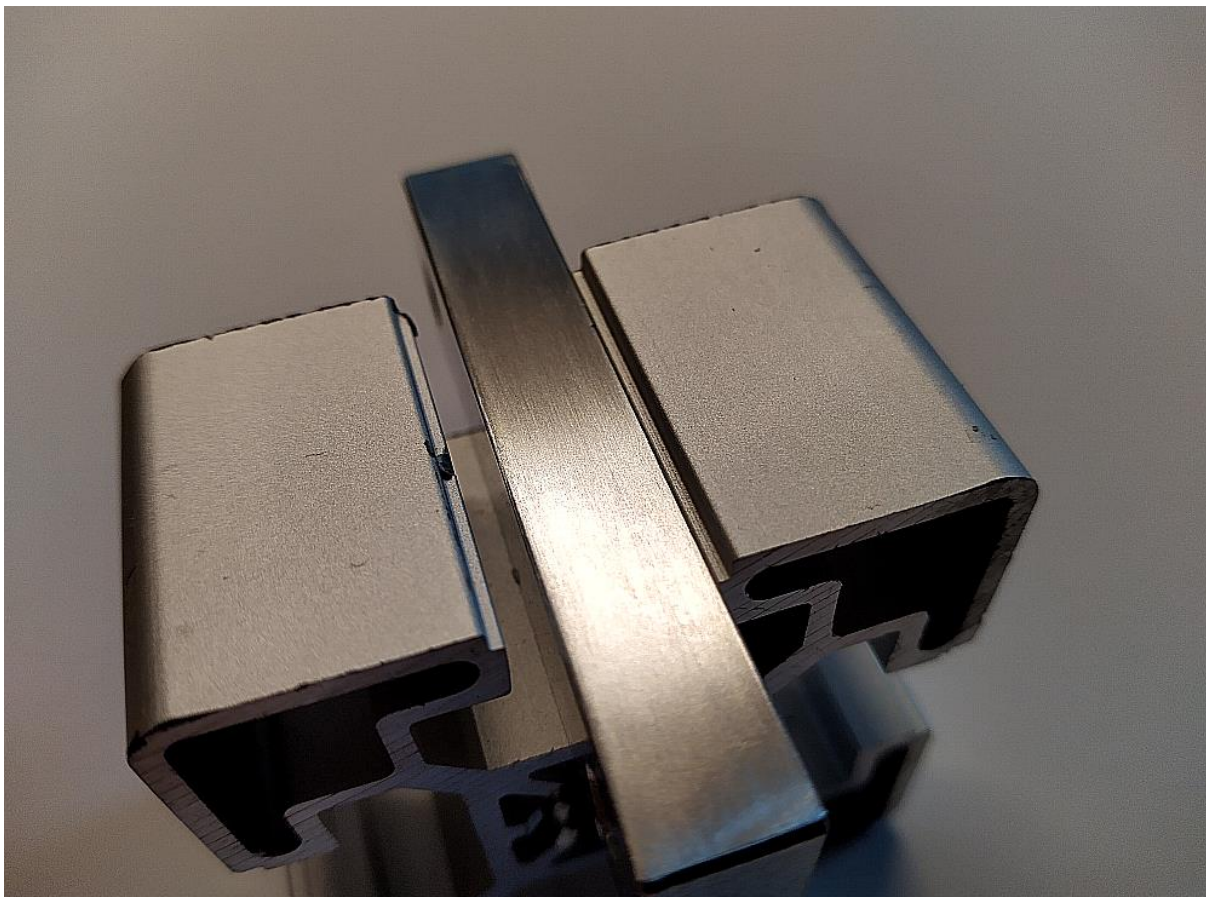
Aluminij je lahka in relativno mehka kovina srebrnega sijaja. Lahko se uporablja kot čista kovina, večinoma pa so bolj uporabljane zlitine aluminija z drugimi elementi, ki spremenijo mehanske lastnosti. Večinoma gre za zlitine aluminija s silicijem ali magnezijem. Najtrdnjše zlitine aluminija lahko za večkrat presežejo trdnost mehkih jekel, kar ob dobri tretjini mase jekla da zelo ugodno razmerje med močjo in težo opreme.

Čisti aluminij in aluminijeve zlitine na površini tvorijo plast oksida (Al_2O_3). Pri naravni pasivaciji čistega aluminija, ko je ta izpostavljen zraku ali kateremu drugemu plinu, ki vsebuje kisik, se na površini tvori plast aluminijevega oksida, debela 2 do 3 nm (1 nm = 0,000000001 m). Pri aluminijevih zlitinah je ta plast lahko debelejša (5-15 nm) in ustrezno ščiti aluminij v notranjosti pred nadaljnjo oksidacijo. Pri umetni (elektrolitski) pasivaciji (ki ji pravimo tudi eloksacija, plasti oksida pa eloksal), pa lahko debelina oksida na površini doseže tudi 0,1 mm.

Poleg zaščite pred zunanjimi vplivi ima aluminijev oksid na površini tudi druge zaželene učinke. Ker v plasti oksida nastanejo pore, je barva na eloksiranem aluminiju bistveno bolj obstojna. Aluminijev oksid je brezbarven in zato barva, ki zapolni pore, proseva skozi oksid na površino. Tako barvo načeloma lahko odstranimo samo, če odstranimo tudi celotno plast oksida. Čisti aluminijev oksid v ustrezni debelini zmanjša sijaj površini – jo matira, in s tem skriva manjše nepravilnosti obdelave.

Aluminijev oksid se v naravi pojavlja v obliki minerala korunda, ki spada med najtrše naravne snovi (trši je samo diamant). Čisti korund je brezbarven, če pa vsebuje primesi železa, titana, vanadija, kroma ali drugih kovin pa je lahko obarvan rdeče, modro, rumeno, ... Rdeči korund imenujemo rubin, modrega, rumenega in vijoličnega pa safir.

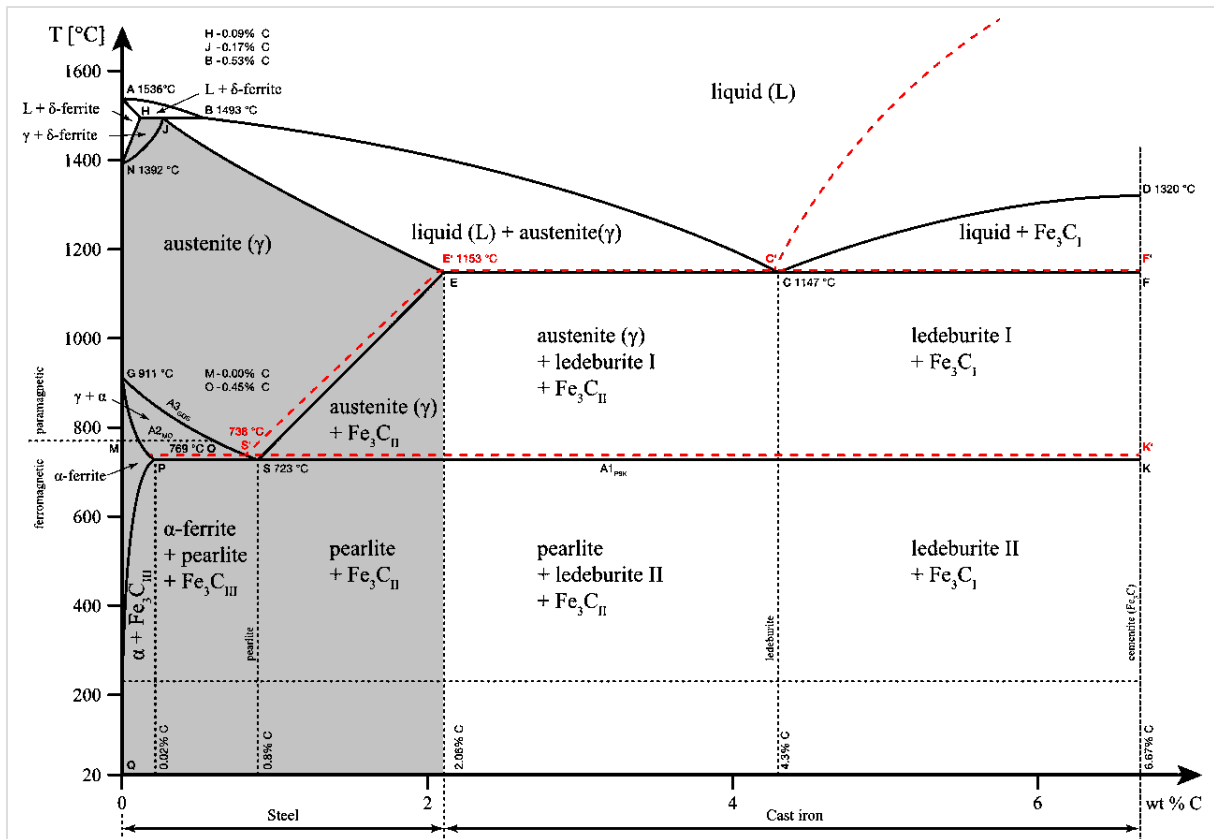
Zaradi visoke trdote ima eloksiran aluminij dobro odpornost na praske.



Slika 2: Razlika v sijaju med eloksirano in neeloksirano površino.

Jeklo

Jekla spadajo med najpomembnejše tehnično uporabljane materiale. So najbolj razširjen kovinski material, relativno poceni in enostavni za izdelavo. Jekla sodijo med železove zlitine in vsebujejo do 2,06 % ogljika. Ogljik se v jeklih pojavlja kot grafit (ena izmed alotropskih oblik čistega ogljika) ali v spojini železovega karbida (Fe_3C). Fazno in mikrostrukturno sestavo železovih zlitin pri različnih temperaturah in različnih količinah ogljika opisuje t. i. fazni diagram železo - ogljik.



Slika 3: Fazni diagram $Fe - C$ za železove zlitine; območje jekel je obarvano sivo.

Železo pri različnih temperaturah tvori različno kristalno strukturo. Ta je pri počasnem ohlajanju in segrevanju pri isti temperaturi vedno enaka, pri hitrem ohlajanju in segrevanju pa se lahko zamakne. Te različne kristalne strukture se odražajo tudi v jeklih in s tem spreminjajo fizikalne lastnosti materiala.

V jeklih se kot samostojne mikrostrukturne sestavine pojavljajo naslednje faze: ferit (α), δ -ferit (δ), avstenit (γ), cementit (Fe_3C) in grafit (C). Pri vsaki izmed prvih treh faz je ogljik vezan v kristalno rešetko železa, pri čemer so kristalne rešetke med različnimi fazami različne (cementit je kemijsko gledano železov karbid, grafit pa čisti ogljik).

Lastnosti jekel spreminjamo z legirnimi elementi. To so dodatki, ki v različnih deležih vplivajo na trdnost, trdoto, kemično odpornost, obdelovalnost, preoblikovalnost, ... Legirni elementi lahko tvorijo trdne raztopine z železom (se vežejo v kristalne rešetke), tvorijo spojine z železom ali samostojno (karbidi, sulfidi, nitridi, ...) vplivajo na temperaturo faznih transformacij ipd.

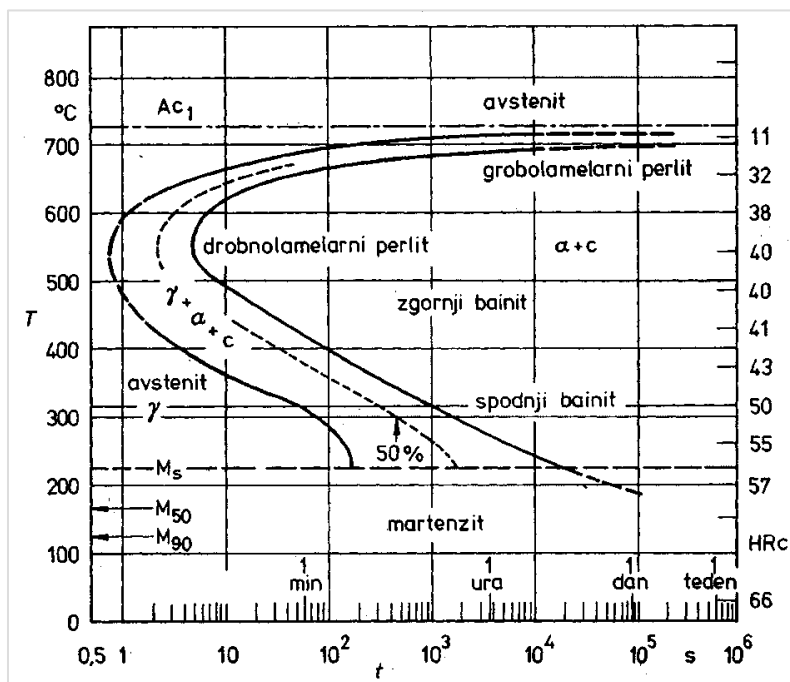
Lastnost jekla	Legirni element												
	C	S	P	Si	Mn	Al	Ni	Cr	Mo	W	V	Ti	Co
Trdnost	++		+	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+
Trdota	++			+	+	+	+	++	+	+	+	+	+
Razteznost	-	-			++	--	+	+					-
Elastičnost	++		+	++	+		+	+	+		++		
Kemična odpornost	-	--	++	+	+	+	++	++	+		+	+	+
Kovnost	-	-	+	--									
Varjivost	-	-	-	-								+	
Obdelovalnost	-	++	+	-	-	--	-	-		-	-	-	

Slika 4: Vpliv legirnih elementov na lastnosti jekla. + pomeni izboljšanje, - pa poslabšanje lastnosti.

Toplotne obdelave jekel

Najbolj pogost vzrok za toplotno obdelavo jekla je sprememba mehanskih lastnosti. Pri večini toplotnih obdelav se jeklo segreje nad temperaturo, pri kateri je mikrostruktura večinoma iz avstenita. Za večino toplotnih obdelav je avstenit najpomembnejša mikrostruktura, iz katere se pri različnih hitrostih ohlajanja lahko dobijo mikrostrukture, ki so obstojne pri temperaturi okolice.

Transformacije avstenita in nastale nove faze in mikrostrukture opisujejo t. i. TTT diagrami.



Slika 5: TTT (time - temperature - transformation) diagram za jeklo.

Normalizacija

Normalizacija sestoji iz segrevanja in ohlajanja na zraku. Z normalizacijo dosežemo enakomerno perlitno strukturo in izboljšamo obdelovalne lastnosti. Največ se uporablja za odpravo nehomogenih struktur v ulitkih, zvarih in valjanem jeklu.

Žarjenje

Jekla se žarijo zato, da se jim zmanjša trdota, izboljša obdelovalnost z odrezovanjem, izboljša zmožnost za preoblikovanje v hladnem ali da se zmanjšajo ali odpravijo notranje napetosti. Tako jih tudi pripravimo za nadaljnje toplotne obdelave.

Žarjenje je načeloma počasno segrevanje in počasno ohlajanje materiala.

Kaljenje

Kaljenje je toplotna obdelava, pri kateri segreto jeklo hitro hladimo. S tem jekla utrdimo. Kalimo jekla, ki vsebujejo več kot 0,3 % ogljika. Pri kaljenju zaradi temperaturnih razlik nastanejo v jeklu kalilne napetosti, zaradi katerih se lahko izdelek deformira ali celo poruši (poči). Notranje napetosti po kaljenju lahko zmanjšamo že, če izdelek žarimo pri temperaturi do 200 °C.

Poboljšanje

Poboljšanje je sestavljena toplotna obdelava. Sestoji iz kaljenja in popuščanja pri povišanih temperaturah. S poboljšanjem dosežemo optimalno kombinacijo trdnosti, trdote in žilavosti jekla. Jekla za poboljšanje imajo praviloma med 0,3 in 0,6 % ogljika. Po kaljenju ima jeklo visoko trdnost, vendar je krhko, z dodanim popuščanjem pa trdoto nekoliko zmanjšamo, izboljšamo pa žilavost.

Ostale toplotne obdelave

Nekatere ostale toplotne obdelave zahtevajo dodatno kemično obdelavo jekel. S tem lahko še dodatno spreminjamo fizikalne in kemijske lastnosti materiala. Med njih sodijo: cementiranje, nitridiranje, karbonitriranje, bordiranje, ...

Vrste jekel

Jekla delimo na več načinov. Po sestavi jih ločimo na ogljikova in legirana, po uporabi pa na konstrukcijska in orodna.

Razen nekaterih izjem verjetno večina jekel, uporabljenih v alpinizmu, spada med legirana konstrukcijska jekla.

Posebna vrsta jekel so nerjavna jekla. Tudi teh poznamo več vrst, odvisno od prevladujoče mikrostrukture – feritna, martenzitna, avstenitna. V strojništvu so najbolj uporabljana avstenitna, ki za doseganje ustrezne korozijske odpornosti vsebujejo vsaj 16 % kroma.

Korozija

Korozija je kemični ali elektrokemični vpliv na material, pri katerem se od površine proti notranjosti spreminja struktura materiala. Kemične reakcije večinoma povzročajo plini, elektrokemične pa so predvsem posledica električno prevodnih tekočin ali trdnin, ki pridejo v stik s površino kovine.

Po nastanku razlikujemo enakomerno in lokalno korozijo. Enakomerno korozijo povzročajo predvsem kemične reakcije (oksidacija) in se pojavlja po celotni površini predmeta, lokalno korozijo pa povzročajo večinoma elektrokemične reakcije in se pojavlja na manjših mestih.

Enakomerna korozija v primeru jekla tvori po celotni izpostavljeni površini izdelka plast oksida – rje. Če to rjo odstranimo, bo po določenem času zopet nastala nova plast rje, debelina jekla pa se bo na tem mestu počasi zmanjševala. Dodaten vpliv ima pri enakomerni koroziji tudi gladkost površine. Polirano jeklo bo rjavelo počasneje od brušenega, saj bo učinkovita površina, ki je v stiku z zrakom, precej manjša.

Lokalna korozija je večinoma elektrokemičen pojav. Pojavi se, ko dve kovini z različnima elektrokemičnima potencialoma staknemo skupaj. Pri tem ni nujno, da se medsebojno dotikata, dovolj je, da z električno prevodno tekočino (npr. vodo) tvorita galvanski člen. Zaradi elektrokemičnega potenciala se v galvanskem členu pojavi tok elektronov od anode h katodi. Anoda (v tem primeru manj plemenita kovina) se pri tem razkrajja, katoda (bolj plemenita kovina) pa se prekriva z materialom razkrajane anode.

Različen elektrokemičen potencial lahko izhaja iz dveh različnih kovin, dveh faz iste kovine (avstenit, ferit, perlit, ...), razlik v kristalni strukturi, razlik v napetostnem stanju, ... Večja kot je razlika med elektrokemičnima potencialoma večja je lokalna korozija.

Odpornost neke kovine proti enakomerni koroziji ne zagotavlja odpornosti proti lokalni koroziji.

Pri plezanju je zato lahko nevarna lokalna korozija, če na primer na svedrovec pritrdimo ploščico iz drugega materiala – nerjavni svedrovec (vijak), cinkana ploščica. V tem primeru recimo ob zategovanju matice in drgnjenju ploščice ob vijak s ploščice odstranimo cink, tako da je rjavno jeklo brez zaščite. Ob dežju priteče voda med vijak in ploščico in s tem tvori galvanski člen. Krom v nerjavnem jeklu ima elektrokemijski potencial $-0,56$, izpostavljeno železo v ploščici pa $-0,44$. Vijak pri tem zaradi nižjega potenciala prevzame vlogo anode in se razkrajja, ploščica pa vlogo katode, kamor se krom odlaga. Vijak zaradi tega relativno hitro lahko postane nevaren. Dodaten problem nastane, ker se to dogaja med stičnimi površinami in ne na zunanji vidni površini svedrovca, tako da svedrovec lahko navzven deluje povsem nov, čeprav je že dodobra načet.

Kovina	Potencial
Au	1,5
Pt	0,87
Ag	0,81
Cu II	0,34
Fe III	-0,04
Pb	-0,13
Ni	-0,25
Fe II	-0,44
Cr	-0,56
Zn	-0,76
Mn	-1,08
Al	-1,28
Mg	-2,35
Na	-2,71

Slika 6: Elektrokemični potenciali nekaterih kovin.

Protikorozijska zaščita jekel

Jeklo tako kot aluminij tvori na površini plast oksida. Pri nerjavnih jeklih je to kromov oksid, ki tako kot pri aluminiju tvori zaščitno plast, da se oksidacija materiala ne nadaljuje v notranjost. Pri t. i. črnih jeklih pa se na površini tvori plast železovega oksida. Ta ne ščiti materiala pred nadaljnjim rjavenjem, zato je izdelke iz takih jekel pred uporabo v določenih okoljih treba zaščititi. To običajno storimo z nanosom dodatne plasti na jeklo ali z ustreznim toplotno-kemičnim postopkom, s katerim preprečimo stik železa s kisikom.

Vse protikorozijske zaščite jekel niso primerne za vsako jeklo ter za vsako okolje, zato je ta predvsem odvisna od izbire jekla ter okolja, v katerem bo izdelek opravljal svojo nalogo.

Barvanje

Barvanje je zaščita z barvo, ki je za zrak nepropustna. Jekla je potrebno pred barvanjem ustrezno obdelati. Površina se običajno razmasti in peska. S peskanjem jo napravimo bolj grobo (povečamo efektivno površino, kamor se barva prilepi), z razmaščevanjem pa poskrbimo, da se barva bolje prilepi nanjo.

Slaba stran barvanja je, da se barva relativno lahko odstrani (kemično ali mehansko), s tem pa se jeklo izpostavi rjavenju.

Platiranje, galvaniziranje, navarjanje

Tem postopkom je skupno to, da je plast, ki ščiti jeklo, kovinska. Sem sodijo nikljanje, kromiranje, cinkanje, ... S tem nanesejo na zunanjo plast ustrezno zaščitno plast kovine, ki je v danih pogojih bolj obstojna od jekla.

Cinkanje na primer lahko opravimo na več načinov. Prvi način je vroče cinkanje, pri katerem jeklen kos potopimo v staljen cink. Pri tem se temperatura izdelka precej poviša in tako operacija, s katero zaščitimo jeklo pred rjavenjem, deluje tudi kot toplotna obdelava, s katero bistveno spremenimo lastnosti izdelka. Drugi (dražji) način pa je galvanizacija, s katero izkoristimo prevodne lastnosti jekla, tako da nanj nanesejo tanko plast cinka, brez da ga bistveno toplotno obremenimo.

Kemični postopki

Med te sodijo npr. bruniranje, fosfatiranje, bondiranje, ... S temi postopki kemično spremenimo površino jekla tako, da postane bolj odporna na korozijo.

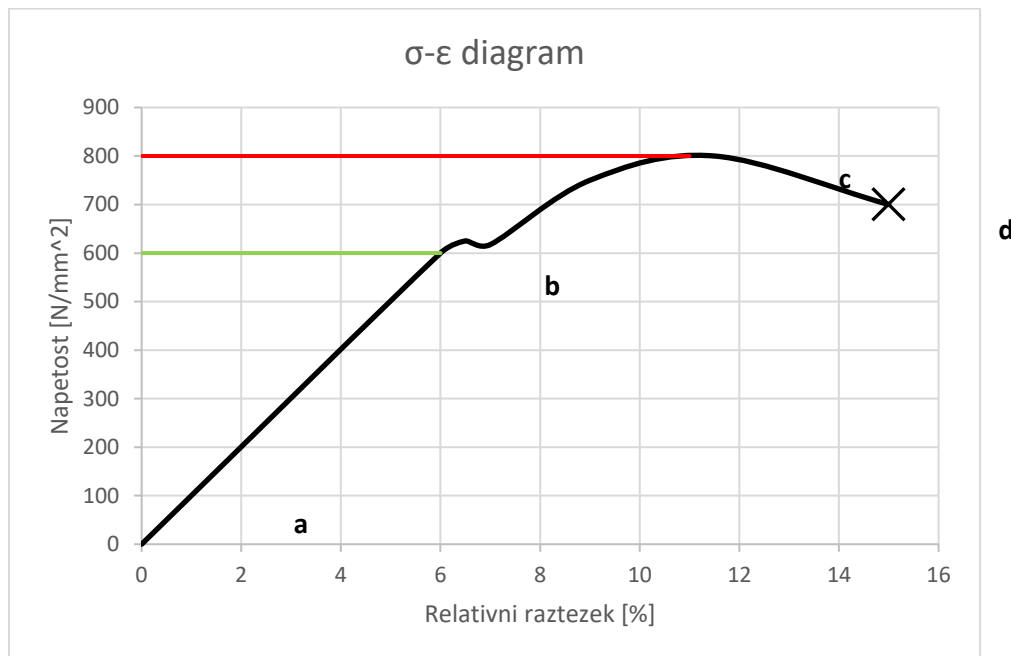
Deformacije in trdnost materialov

Večina materialov se do neke obremenitve obnaša elastično. To pomeni, da se po koncu obremenitve vrnejo nazaj v osnovno obliko. Pri dinamičnih vrveh je odstotek raztezka določen s standardom, ki mu vrv mora zadostiti. Enako se elastično raztezajo/krčijo kovinski materiali. Nad mejo plastičnosti pa se v materialu pojavi tudi plastična deformacija. To pomeni, da bo po koncu obremenitve material ostal vsaj delno deformiran.

Kot primer si lahko predstavljamo vzmet. Do neke sile se vzmet razteguje elastično, kar pomeni da bo po koncu obremenitve skočila nazaj skupaj. Če pa presežemo mejo plastičnosti, bo vzmet ostala nekoliko raztegnjena.

Če plastično deformiran material obremenjujemo še naprej, bo prej ali slej prišlo do porušitve. Vzmet bo počila, vrv se bo pretrgala, klin se bo zlomil. Dosegli smo maksimalno trdnost materiala. Meja med maksimalno trdnostjo in mejo plastičnosti je pri nekaterih materialih lahko zelo majhna in po porušitvi niti ne moremo izmeriti velikosti plastične deformacije – takšni so krhki materiali.

Pri materialih odvisnost napetosti in raztezka prikazuje Diagram σ , ϵ .

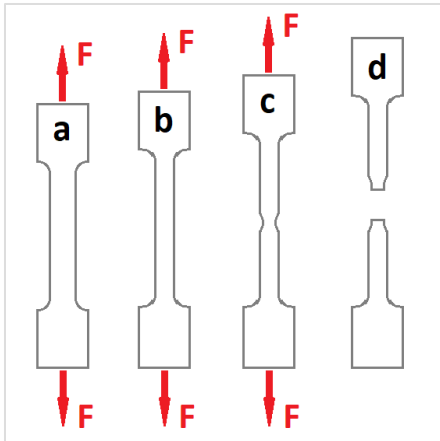


Slika 7: Diagram σ , ϵ (vrednosti na oseh so samo orientacijske).

Zelena črta na diagramu predstavlja mejo plastičnosti. Do tukaj raztezek narašča linearno z obremenitvijo (napetostjo v materialu). Material se po razbremenitvi vrne v začetno stanje. Nad to mejo se začnejo pojavljati plastične deformacije. Material ob dani obremenitvi nad to mejo nekaj časa teče – se razteguje (kljub temu da obremenitev ne narašča). Precej kovinskih materialov ima lastnost utrjevanja. To pomeni, da se ob dani obremenitvi s plastično deformacijo, ko se material raztegne, dvigne meja plastičnosti. Pri ponovni obremenitvi se bo tako material raztezal elastično do predhodno dosežene obremenitve.

Po preseženi meji plastičnosti se bo material vsakokrat nekoliko bolj raztegnil, dokler ne bo prišlo do porušitve (označeno z X).

Te diagrame se pridobiva s porušitvenimi trgalnimi preizkusi, zato maksimalni vrednosti (rdeča črta) pravimo natezna trdnost. Ko preizkušane doseže maksimalno obremenitev, se krivulja obrne navzdol, ker izris na grafu ne upošteva, da se zaradi raztezka presek preizkušanca zmanjša.



Slika 8: Preizkušavec med trgalnim preizkusom - označene so referenčne točke na diagramu σ , ϵ .

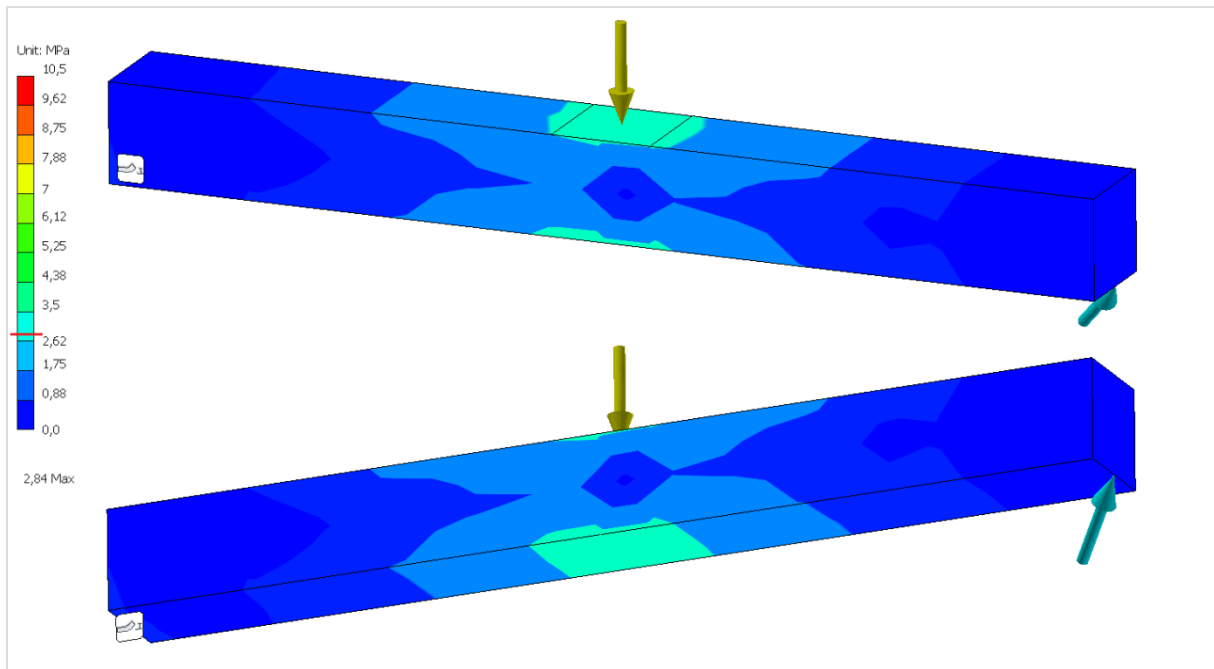
Treba je poudariti, da se v strojništvu za mejno vrednost, do katere lahko obremenimo nek material, ne uporablja natezna trdnost, ampak meja plastičnosti, pa še ta se običajno zniža vsaj za faktor 5, kar pomeni, da se strojne elemente trdnostno preračunava na eno petino meje plastičnosti. Če bodo napravo ali konstrukcijo uporabljali ljudje, pa je ta faktor lahko tudi večji od 10.

Ker se nad mejo plastičnosti oblika izdelka spreminja z obremenitvijo, se za namene preračunov v območju plastičnih deformacij običajno uporabljajo numerične metode (npr. metoda končnih elementov).

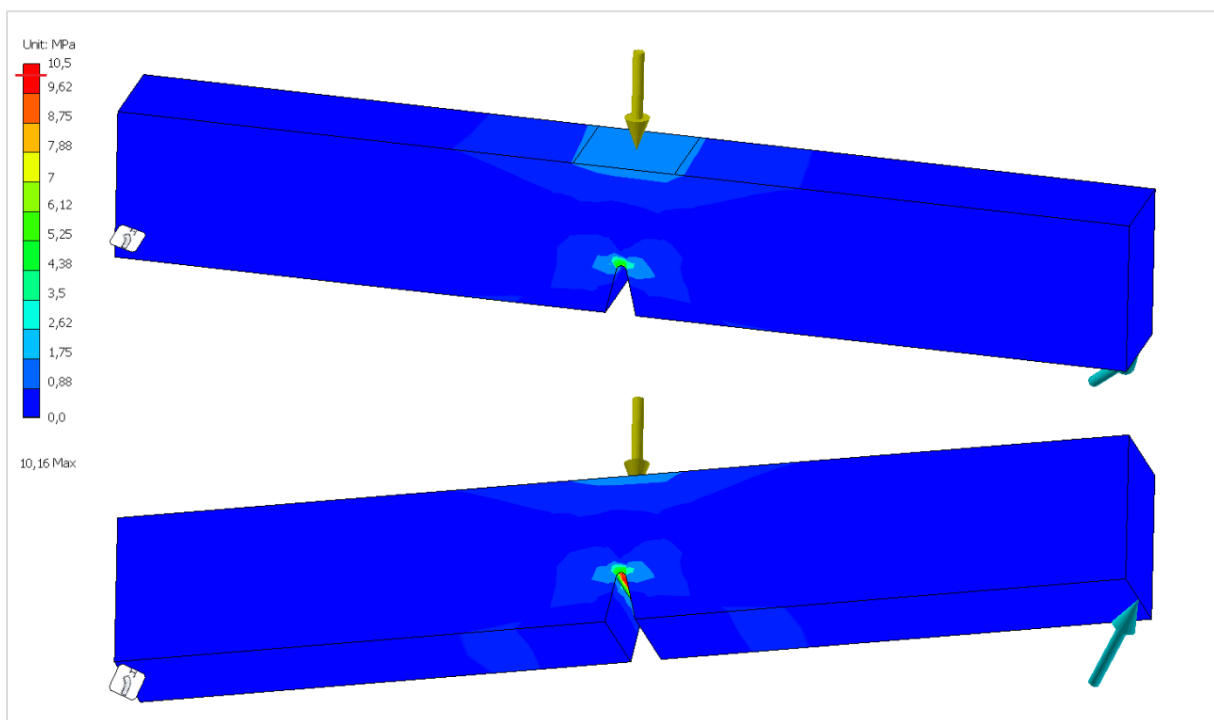
Zarezni učinek

Na mestih spremembe prečnega prereza obremenjenega dela se lahko pojavijo koncentracije napetosti. To so območja velikih napetosti glede na splošno stanje obremenjenega dela. Povečanje napetosti je večje na mestih, kjer se prerez bolj spremeni. Pojavu koncentracij napetosti na spremembah prečnega prereza pravimo zarezni učinki. Na teh mestih so napetosti lahko tudi nekajkrat večje od napetosti, ki bi bile prisotne, če bi bil prerez konstanten.

Kot primer je prikazano obremenitveno stanje na kvadru. Kritični prerez je pri obeh kvadrh enak – 10 mm x 10 mm. Dolžina je 100 mm, obremenitev pa 20 N. Analitični izračun nam pri obeh primerih da maksimalno napetost v kritičnem prerezu 3 N/mm². Numerični izračun pa pokaže maksimalno napetost 2,84 N/mm² pri kosu brez zareze in 10,16 N/mm² pri kosu z zarezo.



Slika 9: Kos konstantnega preseka.



Slika 10: Kos z zarezo.

V praksi to pomeni, da se bo razpoka širila v notranjost kosa, in da bo ta prej ali slej popustil, kljub temu da bi po vseh normalnih izračunih moral obremenitev prenesti. Zarezni učinek je še bolj nevaren pri materialih z visoko mejo plastičnosti (orodna jekla) in pri izmeničnih ali utripnih obremenitvah, ko sila na kos deluje v intervalih.

Primer

Poglejmo si primer izdelave ploščice svedrovca. Najprej iz plošče ustreznega jekla izrežemo obliko ploščice. To lahko storimo na več načinov. Najstarejša opcija je odrezovanje s prebijanjem. To si lahko predstavljamo kot »štempljanje« piškotov iz razvaljanega testa. Druge opcije so odrezovanje z laserjem, vodnim curkom, ...

Če so bili kosi odrezani z laserjem, jih je treba pred nadaljnjo obdelavo žariti, saj laser rob odreza zakali. S tem se tej površini poveča trdota, kar oteži nadaljnje mehanske obdelave, zakaljena površina pa lahko ob krivljenju napoka.

Sledi operacija raziglanja in/ali pobiranja robov. Po odrezovanju običajno robovi ostanejo ostri, zato jih zaokrožimo ali poberemo pod kotom 45°. To lahko storimo z orodji, podobnimi vrtalnim svedrom, ali z operacijo trovaliziranja. Pri trovaliziranju izdelke damo v poseben boben z brusnimi kamni, nato pa s tresenjem ali vrtenjem povzročimo, da se izdelki in kamni med seboj drgnejo. Tako poleg razostritve robov z izdelkov lahko odstranimo razne nečistoče, rjo, ... Trovaliziranje si lahko predstavljamo, kot da bi pralni stroj do tretjine napolnili z manjšimi kamni (<2 cm), zraven dali dvajset ploščic in vse skupaj pustili, da se počasi nekaj ur vrti. Ploščice bi ven prišle po vseh površinah lepo obrušene z gladkimi robovi.

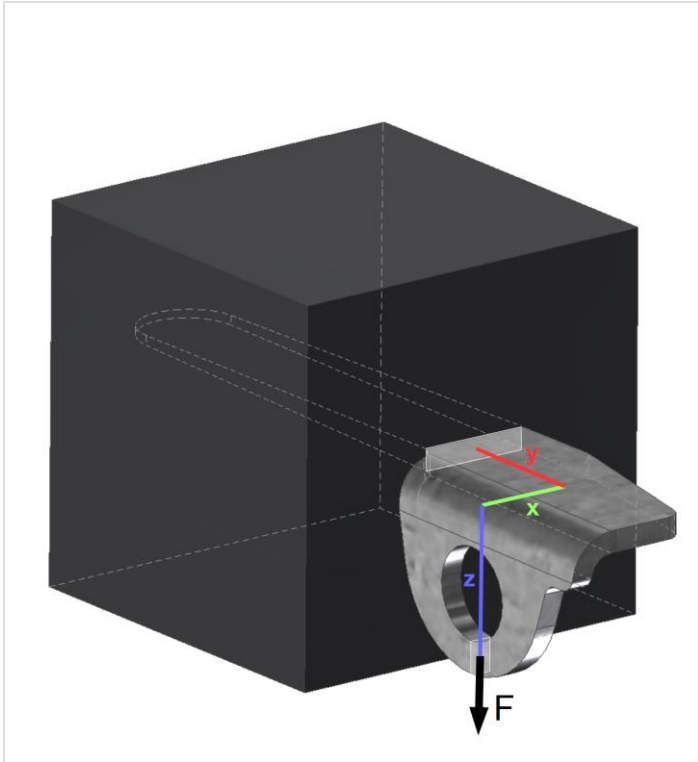
Sledi operacija krivljenja. To se izvaja s posebnimi krivilnimi stroji, za bolj zapletene oblike pa se lahko izdelata matrico, v katero se potisne kos, da se plastično deformira. Pri krivljenju se v materialu pojavijo notranje napetosti, ki lahko vplivajo na življenjsko dobo izdelka. Zato se ga nadalje žari, da se notranje napetosti odpravijo, nato pa se ga še poboljša, da doseže zadostno trdnost.

Nadalje je treba ploščico še ustrezno protikorozijsko zaščititi. Najbolj enostavno to storimo s cinkanjem ali barvanjem.

Klini

Klin – najbolj enostavno in zanesljivo pritrdišče v slovenskih gorah, kar je seveda posledica specifičnih lastnosti apnenca. Klin v osnovi lahko prenaša obremenitev na dva načina. Če je zabito v vodoravno razpoko, prenaša obremenitev z obliko, v navpični razpoki pa s trenjem.

Pa si pogledajmo klin v vodoravni razpoki.

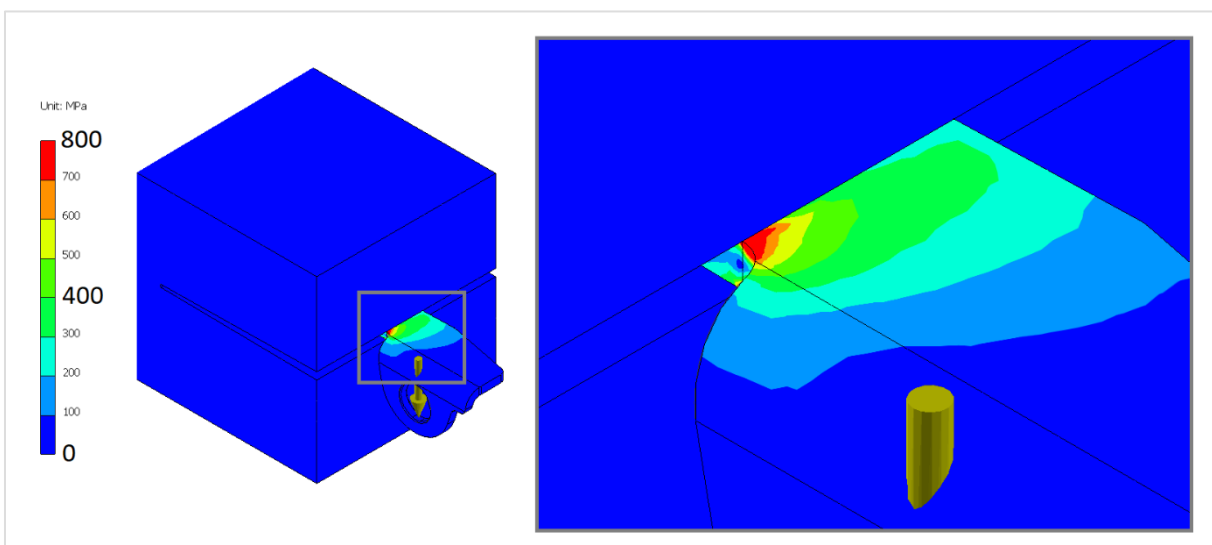


Slika 11: Klin v vodoravni razpoki.

Če klin obremenimo s silo, kot je prikazano na sliki, se v klinu pojavi več vrst napetosti v različnih delih klina.

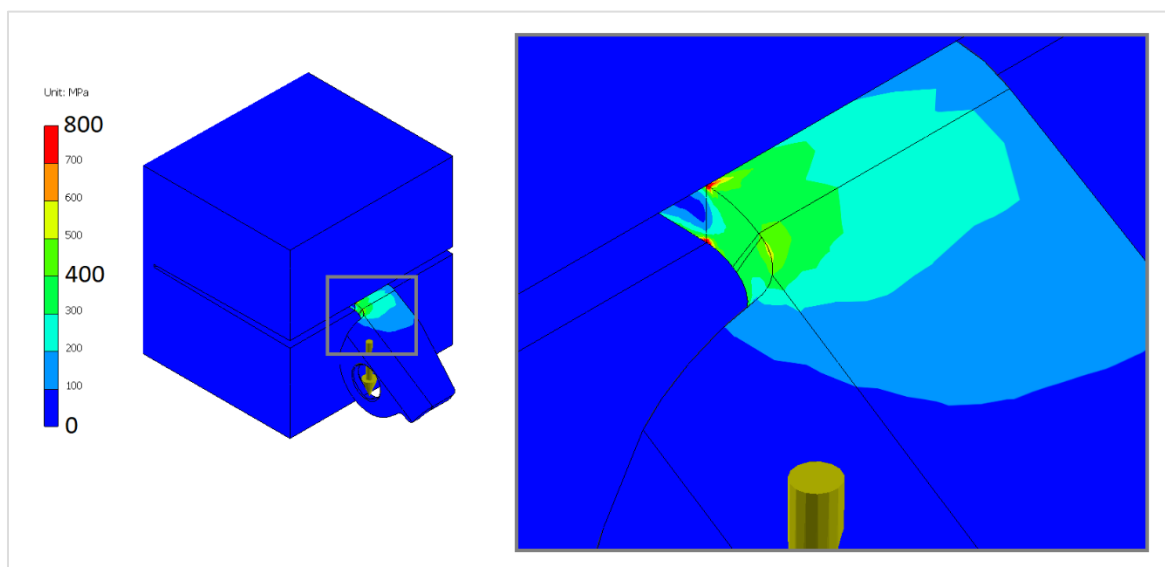
Največja napetost v klinu se pojavi v prerezu, kjer se klin hoče ukriviti – tik ob steni, v katero je zabiti (svetlejši štirikotnik na sliki). V tem prerezu se v klinu pojavi več različnih napetosti: upogibna, vzvojna in strižna.

Pri obremenitvi 1000 N (približno 100 kg) se v klinu že pojavi napetost skoraj 650 N/mm^2 . Podoben rezultat dobimo tudi z računalniško analizo, kjer v najbolj obremenjenem območju napetosti dosežejo do 750 N/mm^2 . Povsem enakih rezultatov pri kompleksnih obremenitvenih stanjih ne bomo dobili, nam pa analiza dobro pokaže, kje se največje obremenitve pojavijo.



Slika 12: Rezultati numeričnega preračuna klina po metodi končnih elementov.

Kljub temu da se v klinu pojavijo bistveno večje napetosti, kot bi si jih dovolili v klasičnem strojništvu, pa klin še ni za na odpad. Klin zaradi obremenitve spremeni obliko – se deformira. S tem sila ne deluje več na isto mesto, kritični prerezi so drugih oblik, ročice sile do kritičnih prerezov so drugačne in zato se spremeni obremenitveno stanje v klinu.



Slika 13: Rezultati numeričnega preračuna skrivljenega klina po metodi končnih elementov.

Računalniška analiza pokaže nekoliko nižje obremenitve na skrivljenem klinu. Potrebno je poudariti, da analiza predpostavlja, da je površina obremenjenega prereza klina ostala enaka. V praksi se ta površina običajno zmanjša, delno zaradi raztega materiala na zgornji strani klina, poleg tega pa se lahko na površini pojavijo razpoke in tako zmanjšajo prerez. Pojavi se tudi zarezni učinek.

Svedrovci

Vijačne zveze prenašajo obremenitve z obliko: v smeri osi vijaka z ujemom in površinskim tlakom med navojem vijaka in navojem matice, v prečni smeri pa s trenjem med naležnimi površinami spajanih delov ali z obliko v primeru uporabe prilagodnega vijaka. Svedrovec lahko po načinu prenašanja sil enačimo z običajnim zateznim vijakom, kar pomeni, da silo prenaša trenje med kovinsko ploščico in kamnino.

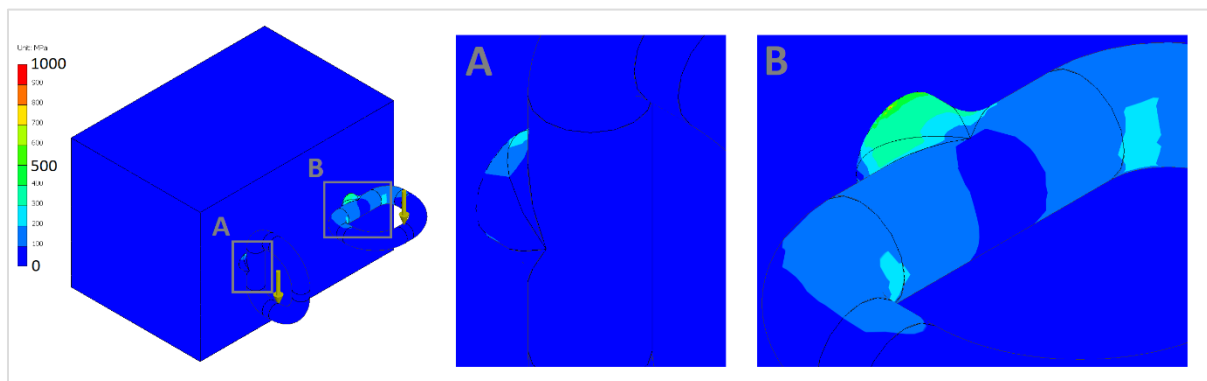
Matica na steblo mora biti dovolj privita, običajno po navodilih proizvajalca. Če je zatezni moment (navor) manjši, trenje ne bo zadostno in ploščica svedrovca bo nalegla na vijak (steblo). Ob dodatnih obremenitvah se bo ploščica drsala po steblo in prišlo bo do poškodb površine steblo svedrovca ali ploščice. Tako se bo kritični presek, ki prenaša obremenitev, zmanjšal in nosilnost svedrovca bo znižana.

Če matico na steblo privijemo z bistveno večjim momentom od zahtevanega, nepotrebno dodatno obremenimo steblo svedrovca. Sila, ki jo bo prenašalo trenje med skalo in ploščico, bo sicer večja, vendar se zaradi povečane sile v steblo lahko pojavijo razpoke, ki steblo oslabijo. Posledično spet lahko pride do prezgodnje porušitve.

Luknja za steblo svedrovca mora biti zvrtna pravokotno v podlago. Tukaj že manjša odstopanja lahko zelo oslabijo steblo, saj se to ob privitju matice skrivi. Če upoštevamo še, da so na steblo navoji, ki povzročajo zarezni učinek, to še dodatno poslabša razmere.

Vse zgoraj naštetu pa ne vpliva na lepljenje. Pri teh je mehanizem prenašanja sile drugačen. Lepljenci so, kot že ime pove, zalepljeni v skalo. Lepilo povzroči, da lepljenec ne more izpasti iz luknje, sila nanj pa povzroča strižne, upogibne in natezne napetosti. Pri vstavljanju lepljenca je najbolj pomembno, da luknjo dobro očistimo in da je uho lepljenca pravilno obrnjeno.

Če je npr. uho lepljenca zasukan za 90° , se bodo na stebli lahko dodatno pojavile torzijske napetosti, ki so pri žilavih materialih bolj nevarne kot natezne ali upogibne.



Slika 14: Razlika v napetostih pri lepljencu, če je ta zasukan. $MAX(A) = 250 \text{ N/mm}^2$; $MAX(B) = 950 \text{ N/mm}^2$.

Razlike so realno nekoliko drugačne, saj lepilo pogleda nekoliko iz luknje in dodatno podpre steblo, še vedno pa se dobro vidi razlika med obremenitvami.

Zaključek

Upam, da bom s tem člankom komu vsaj v grobem pojasnil, kaj se dogaja opremi, ki jo uporabljamo v gorah in plezališčih. Izpostavljene so nekatere stvari, ki se mi zdijo pomembne za varnost pri uporabi ali izdelavi opreme. Sicer sta izpostavljena le dva kosa opreme, vendar jo tako ostaja dovolj tudi za morebitna kasnejša razglabljanja v podobnem stilu.

Viri

Kraut, Bojan: *Krautov strojniški priročnik*. Ljubljana: Littera picta, 2011.

Ren, Zoran in Srečko Glodež: *Strojni elementi – I. del*. Maribor: Založništvo fakultete za strojništvo, 2016.