

3 dalis.

SUVIRINTŲJŲ KONSTRUKCIJŲ PROJEKTAVIMAS

Turinys:

1. Įvadas	1
2. Suvirintos jungtys, veikiant statiniai apkrovai	1
3. Suvirintos jungtys aukštoje temperatūroje	12
4. Suvirintos jungtys prie labai žemų temperatūrų	17
5. Suvirintos jungtys prie smūginių apkrovų	19
6. Literatūra	19

3.05 Virintinių jungčių elgesys, esant įvairioms apkrovoms

Vilnius
2007

1. Įvadas

Suvirintos konstrukcijos įvairiose pramonės srityse (pavyzdžiui plieninės statybinės konstrukcijos, mašinų gamyboje, laipso ir vamzdiniai) veikiami specifinių poveikių įgyja ir specifinius defektus.

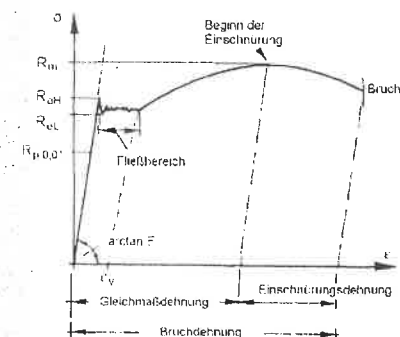
- Siūlės veikiant statiniai, apkrovai gali įgauti sekantį irimo pobūdį:
 - Statinis lūžis, valkšnus lūžis
 - Trapus irimas
 - Terasinis – laiptuotas irimas
 - Stabilumo netekimas
- Irimas veikiant temperatūrai
 - Aukštų temperatūrų įtaka $\Rightarrow$ į skaičiavimuose priimtos tokio ribos dydį, į deformacijų dydį nuo valkšnumo reiškinio.
 - Žemų temperatūrų įtaka $\Rightarrow$ į siūlės trapumą
- Irimas veikiant dinaminėms apkrovoms
 - Nuovargio irimas (nuovargio lūžis)
 - Irimas, dinamiškumo koeficientui viršijus numatytas ribas

Kiekvienos konstrukcijos suvirinti sujungimai kaip ir pati konstrukcija turi numatytą laiką funkcionuoti be sutrikimų pilnai atliekant jai skirtas funkcijas.

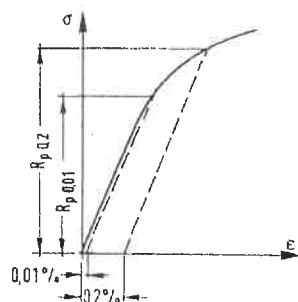
2. Suvirintos jungtys, veikiant statinei apkrovai

2.1 Paprastas apkrovimas

Apie naudojamos medžiagos darbą, statinėje apkrovėje, daugiausia informacijos teikia standartinių bandinių statiniai bandymai mechaninėse bandymo mašinose (kai gaunamos tempimo diagramos, stiprumo ir plastiškumo charakteristikos).



1 pav. Įtempių-santykinių linijinės deformacijos diagrama (gauta iš plieno su aiškia takumo aikštele tempimo diagramos)



2 pav. Įtempių-santykinių linijinės deformacijos diagrama (be takumo aikštelės)

Nelegiruotiems, plastiškiems plienams būdingos tempimo diagramos yra panašios į 1 pav. parodytą. Legiruotiems mažai plastiškiems plienams, aliuminio lydiniams daugiau būdingos 2 pav. parodytas diagramos pobūdis.

Tempimo bandymas pagal DIN EN 10002-1:

R_m : Sąlyginė tokio riba (tempis, prie kurio bandinio liekamoji deformacija pasiekia ϵ_p dydį)

$R_{p0,01}$: Sąlyginė tokio riba, prie kurio bandinio liekamoji deformacija pasidaro lygi 0,01 %

Sąlyginė tokio riba su 0,01 % liekamąja deformacija, laikoma tempimo riba.

$R_{p0,02}$: Sąlyginė tokio riba, prie kurio bandinio liekamoji deformacija pasidaro lygi 0,02 %, įteinta kaip oficiali metalo, neturinčio takumo aikštelės, tokio riba. (užrašoma normose ir metalo savybių duomenų lentelėse bei žinynuose)

R_{mH} : Fizinę tokio ribą rodo metalai, turintys takumo aikštelę, kadangi tokio aikštelės ribose apkrova nedidelėse ribose kinta (žiūr. 1 pav.), tai skiriama - viršutinė tokio riba R_{mH} ir apatinė tokio riba R_{mEL} .

Tipinė suvirinto sujungimo irimo forma nuo ramios apkrovos yra statinis lūžis nuo per didelės apkrovos arba plastiškas irimas.

Tada kalbama apie plastinį konstrukcijos iširimą. Kuris rodo, kad apkrovos žymiai viršijo skaičiuotus dydžius. Nors skaičiuojant ir nebuvo įvertinti galimi įtempių koncentatoriai, o irimas, kaip taisyklė, prasideda visada koncentratorių vietose.

2.2 Erdvinis įtempių būvis

Tempiamas strypas, kad ir būdamas linijiniame įtempių būvyje, tempiant deformuojasi visomis kryptimis (žiūr. 3.02-1).

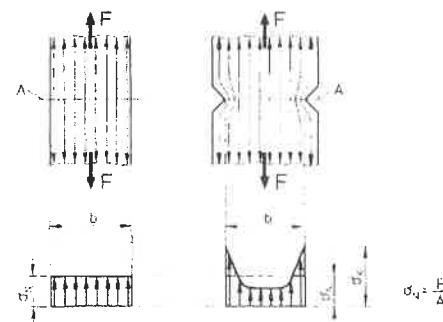
Skersinė deformacija tada yra priešingo ženklo negu išilginė deformacija:

Tampromo ribose (esant linijiniam įtempių būviui) linijinė santykinė išilginė deformacija yra proporcinga skersinei santykinė deformacijai. Proporcingumo koeficientas žymimas raide μ ir vadinamas *Puasono koeficientu*.

$$\epsilon_q = -\mu \cdot \epsilon_l \Rightarrow \mu = -\frac{\epsilon_q}{\epsilon_l}$$

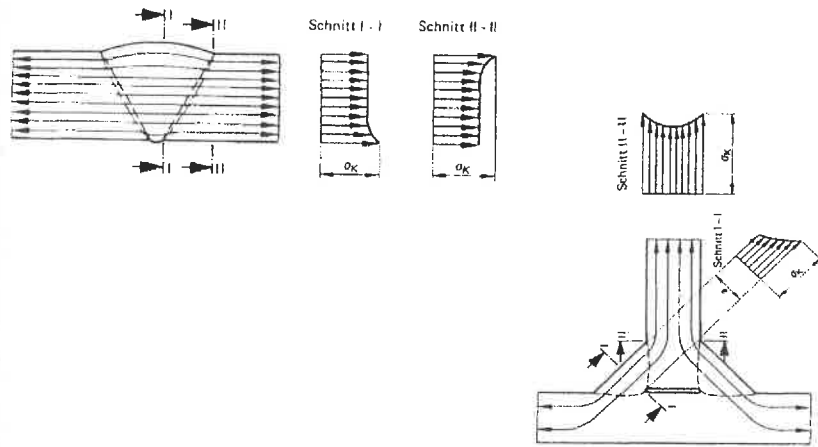
μ - bedimensinis dydis (skaičiavimuose, plienams vidutinė jo reikšmė priimami lygi 0,3)

Konstrukcijos skersinė deformacija gali būti varžoma ypač įtempių koncentratorių vietose.



3 pav. Įtempių pasiskirstymo pokytis koncentratorių aplinkoje

Medžiagų atsparume koncentatoriai vaizduojami, kaip keičiantys įtempio linijų kryptį. Kuo kryptis staigiau pakeičiama tuo didesni įtempiai koncentruojasi toje vietoje. Toks koncentratorių tipas vadinamas konstrukciniais koncentratoriais ir yra vienas iš pagrindinių faktorių siūlėje (ypač siūlės kraštuose).

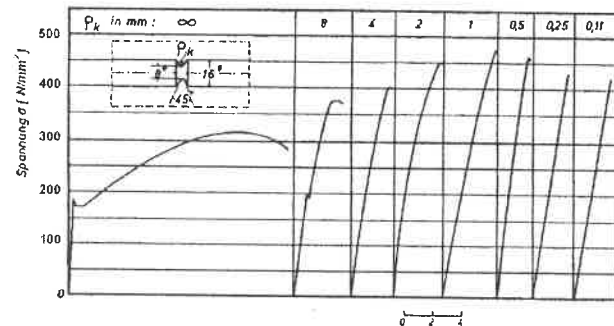


4 pav. Koncentraciniai siūlėje

Paveikslai rodo, kad koncentraciniai iškreipdami jėgos linijas jas sutankina ir padidina vietinius įtempius. Reiškia – jėgos linijų tankis lemia įtempių dydį ir kuo koncentracijos aštresnės, tuo linijos tankesnės, tuo vietiniai įtempiai didesni.

Pastaba: Jeigu jėgos linijas modeliuoti kaip tekėjimo linijas, tai įtempiai bus proporcingi to srauto tekėjimo greičiui.

Didelės išilginės deformacijos įtempių koncentracijų vietose atitinkamai iššaukia ir dideles skersines deformacijas. Tam maišo mažiau įtemptos zonos toje pačioje aplinkoje, o tai iššaukia, kad toje aplinkoje susidaro plokščias arba erdvinis įtempių būvis. Toks pokytis keičia ir plastiškų medžiagų savybes – jos pasidaro trapesnės. Tai trapumas dėl pasikeitusio įtempių būvio.

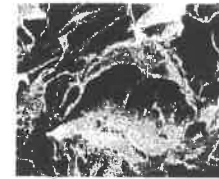


5 pav. Skersinės deformacijos kitimas dėl suvaržymų; leidinys Wesche, „Nešančiųjų konstrukcijų elementų statybinės medžiagos“, 3 tomas

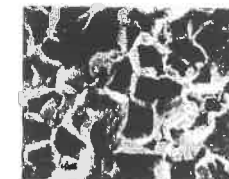
Kaip matome 5 pav. skersinės deformacijos varžymas didina, įtempius ir mažina sugebėjimą plastiškai deformuotis. Tokiu būdu šios sąlygos iššaukia trapų elemento irimą. Tokias sąlygas-erdvinį įtempių būvį gali iššaukti ir suvirintų siūlių sankaupa.

2.3 Siūlių trapus irimas

Trapus irimas čia suprantamas kaip irimas tamprumo ribose (arba su labai mažomis plastinėmis deformacijomis). Esant trapiam suirimui labai mažai kinta skerspjūvio forma ir matmenys. Tokį irimą būtų galima vadinti nedeformaciniu irimu. Irimo paviršiui būdingas plokščias paviršius su blizgančiais kristalais.



6 pav. Irimo plyšys per rastrinį elektroninį mikroskopą



7 pav. Kristalinis irimo paviršius per rastrinį elektroninį mikroskopą

Polinkis trapiai suirti yra tuo labai pavojingas, kad konstrukcija suyra be aiškių išankstinių (perspėjančių) signalų.

Dažnai trapus irimas nesusijęs su konstrukcijos ypatybėmis ar eksploatacijos apkrovomis. Atvirkščiai, žinomi daugelis atvejų, kai konstrukcija trapiai suiro, kai veikė nedidelės apkrovos.

Po to kai suvirinimų eros pradžioje trapūs suirimai buvo dažni, tai dabar, kai prisitaikoma naujų virinimo technologijų taisyklių, trapus suirimas tapo labai retu reiškiniu.

Tam, kad išvengtume pakankamą patikimumą, siūlių trapiaus irimo reikia teisingai parinkti virinamų konstrukcijų metalą pagal direktyvą DAST-Richtlinie 009: 2005-01. Ši direktyva – padeda teisingai parinkti konstrukcijų metalą veikiant statinei apkrovai, ir dalinai nestatinėms apkrovoms.

Ši direktyva gali būti taikoma ir tada, kai konstrukcijoms netaikomi papildomi sugriežtinti saugumo reikalavimai.

Įtakos faktoriai ir sąvokos

Suvinamo mazgo medžiagų parinkimas remiasi irimo koncepcija nuo sekančių poveikių:

- Temperatūros poveikis,
- Įtempių būvis,
- Deformacijos greičio,
- Šaltos deformacijos laipsnio,
- Gaminio storio,
- Nevienalytiškumas (nehomogeniškumas)
- Valkšnumas,
- Saugumo reikalavimai.

Įvertinamoji temperatūra (skaičiuojamoji) – tai žemiausi temperatūra, kurioje gali atsidurti nagrinėjamos konstrukcijos elementas. Konstrukcijoms, stovinčioms atvira ore imama žemiausi galima oro temperatūra T_{ind} ir jos variacija dėl galimo šiluminio spinduliavimo.

I lentelėje pateiktos galimos temperatūros, priklausomai nuo konstrukcijos paskirties. Kitiems konstruktyviniais elementams temperatūras galima parinkti remiantis panašumu.

1 lentelė. Įvairių konstrukcijų skaičiuojamų temperatūrų T_{mdr} parinkimas.

Nr	Konstruktiniai elementai	temperatūra $T_{mdr} [^{\circ}C]$
1	Plėniniai ir gelžbetoniniai tiltai	-30
2	Aukštybinių pastatų plėninės konstrukcijos:	
2a	Išoriniai konstrukciniai elementai	-30
2b	Vidiniai konstrukciniai elementai	0
3	Kranų bėgiai (išoriniai konstrukciniai elementai)	-30
4	Hydrotechniniai statiniai	
4a	Korpusas, kuris dalinai išlenda iš vandens	-30
4b	Korpusas, kurį apiplauna vanduo iš vienos pusės	-15
4c	Korpusas, kurį dalinai apiplauna vanduo iš abiejų pusių	-15
4d	Korpusas, kuris pastoviai randasi po vandeniu	-5

Trapaus irimo galimybės didėja dar ir nuo to, kad ten veikia įtempių koncentracija. Skaičiuojant įtempius σ_{Ed} , lemiamais reikėtų laikyti normalinius tempimo įtempius. Nuosavus, liekamuosius įtempius, pavyzdžiui atsiradusius virinimo metu įvertinti skaičiavimuose neturime galimybių. Tai gali būti įvertinta tam tikrais koeficientais ir rekomendacijomis (žiūr. 2 lentelę).

Augant deformacijos greičiui (kitiems faktoriams nekintant) irgi didėja trapaus irimo tikimybė. Maksimaliai leistini gaminių storiai 2 lentelėje, didžiausios įtempių koncentracijos vietose geležinkelio ir tramvajų tiltuose taikomi sekantiems deformavimo greičiams $\dot{\epsilon} \leq 4 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. Parinktas pagal tą lentelę storiai turėtų padengti dinaminis efektas, kurie gali atsirasti.

Didėjant konstrukcijų metalų šaltai deformacijai, jų metalas tampa trapesniu (susikietina) ir padidėja to metalo trapaus irimo galimybė. Kai kurios konstrukcijų metalo dangos (ypač kietų metalų dangos) padidina metalo polinkį trapumui, net ir minkšta danga kartais gali būti pavojinga (pavyzdžiui karštas cinkavimas po šalios deformacijos) 2 lentelėje duoti maksimaliai leistini gaminių storiai duoti laikant, kad jų metalas šaltai nedeformuotų. (liekamoji šalta plastinė deformacija $\epsilon = 0 \%$).

Gaminio storis turi lemiamą reikšmę patikimumui (pagal tikimybių teoriją su storiu defektų tikimybė metale didėja), didėja ir tikimybė trapiam suirimui.

Esant gaminių dideliems storiams ($t > 50 \text{ mm}$), plastiškume skersine kryptimi gali pasireikšti sluoksnių anizotropija ir nehomogeniškumas, plastiškumas storo lakšto viduryje mažesnis negu paviršiuje. 2 lentelėje duodamos rekomendacijos tą efektą įvertina.

Maksimaliai leistinų storių įvertinimas

Maksimaliai leistini storiai t , nustatomi priklausomai nuo kontrolinės temperatūros T_{Ist} , veikiančio įtempio σ_{Ed} , metalo markės ir jos kokybės grupės (kategorijos).

Logiška, kad skaičiuotė nustato reikalaujamą gaminių storį, įvertindama veikiančius įtempius σ_{Ed} , kontrolinę temperatūrą T_{Ist} ir reikalingą plieno markę. Po to būtų nustatyta parinkto plieno markės kategorija).

2 lentelė pateikia gaminių storius priklausomai nuo trijų įtempių σ_{Ed} lygių, o σ_{Ed} gauti kaip dalis nominalios takio $f_y(t)$ ribos

$$a) \sigma_{Ed} = 0,75 \cdot f_y(t),$$

$$b) \sigma_{Ed} = 0,50 \cdot f_y(t) \text{ und}$$

$$c) \sigma_{Ed} = 0,25 \cdot f_y(t).$$

Takio riba $f_y(t)$, tai dydis lygus R_{eH} paimamas iš tiekimo sąlygų pagal perkamą metalo storį.

Konstruktiniams elementams, kurie bus tik gniuždomi, įtempius reikia imti pagal punktą „c“.

Jeigu paskaičiuoti įtempiai turi tarpinius dydžius, storių reikšmes galima interpoliuoti.

Ekstrapoliacija už nurodytų ribų neleistina. Plieno kokybės grupė (kategorija) nustato priklausomai nuo klasifikacijos laipto ir medžiagos storio pagal 2 lentelę.

2 lentelė. Maksimaliai leistini gaminių storiai t_z [mm]

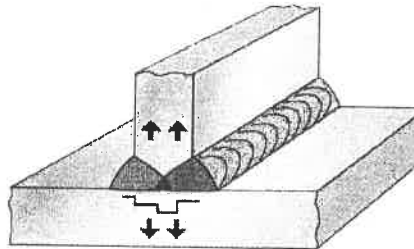
Plėtinys	Kokybės grupė	T [°C] [kN]	KV [kN]	Rekomenduojama temperatūra T _{Ed} [°C]																					
				σ _{Ed} = 0,75 · f _y (t)												σ _{Ed} = 0,50 · f _y (t)									
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60	
	J2	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	60	50	175	155	135	115	100	85	73	
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100	
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55	
	J2	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70	
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95	
S355	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110	
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	190	165	145	125	
	JR	20	27	40	35	25	20	15	10	5	85	55	45	40	30	25	25	110	85	80	70	60	55	45	
S420	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80	
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	175	150	130	110	95	80	
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	85	200	200	175	150	130	110	95	
S460	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85	
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	185	160	140	120	100	
	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70	
S590	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80	
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	185	160	140	120	100	
	Q	-20	30	40	30	25	20	15	10	5	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45	
S960	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50	
	Q	-20	30	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60	
	Q	-20	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75	
S1000	Q	-20	30	80	65	50	40	30	25	20	120	100	85	70	60	50	40	200	180	160	140	120	100	85	
	Q	-20	30	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85	
	Q	-20	30	100	80	65	50	40	30	25	150	130	110	95	80	65	55	200	200	185	160	140	120	100	

Pastaba: tarpinės reikšmės gali būti gaunamas linijinės interpoliacijos metodu. Ekstrapoliacija už nurodytų ribų neleistina. Konstruktyviniuose elementuose, kuriuose veiks tik gniuždymo įtempiai, įtempius imti $\sigma_{Ed} = 0,25 \cdot f_y(t)$.

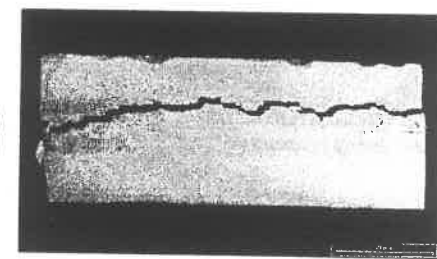
4 stulpelyje duoti dydžiai KV gauti bandant išilginius bandinius su V-įpjova. Skersiniai bandiniai galima imti tuos pačius dydžius, jeigu jie nurodyti metalo tiekimo dokumentuose.

2.4 Terasinis (sluoksniuotas, laiptuotas, lameliarinis) irimas

Apkraunant valcuotus gaminius reikia atminti, kad dėl valcavimo sukeltos anizotropijos storio viduryje metalo plastiškumas yra mažesnis. Dėl valcavimo metalas sluoksniuojasi lygiagrečiai paviršiams, lygiagrečiai paviršiams kaupiasi ir nemetalinei defektai. Šitie faktoriai turi įtakos gaminių irimui lygiagrečiai valcuoto paviršiaus.



8 pav. Terasinio irimo schema

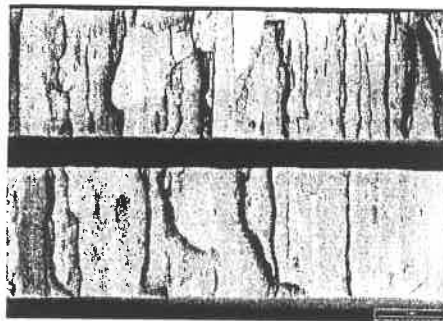


9 pav. Terasinio irimo tipinis plitimas

Dėl irimo formos ir išvaizdos, sluoksniuotumo toks irimas vadinamas terasinu. „Lameliarinis“ pavadinimas kilo iš angliško pavadinimo „lamellar tearing“.

Metalo polinkį į terasinį irimą reikia tikėtis suvirintose konstrukcijose, kuriuose nuo išdėstytų konstrukcinių elementų jau veikia nuslūgimo liekamieji įtempiai storio kryptimi. Tai būdinga kryžiniams suvirinimams, T- suvirinimams ir pasvirusių elementų privirinimams.

DAST 014 direktyva „Rekomendacijos terasiniam suirimui išvengti“. Joje Vokietijos plieno konstrukcijų komitetas nusako terasinio suirimo priežastis: kiek tai liečia metalą ir konstrukciją, bei nurodo, kaip išvengti terasinio irimo.



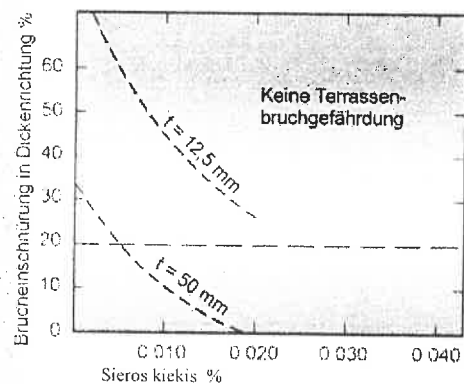
10 pav. Viršutis ir apatinis terasinio irimo paviršiaus vaizdas.

2.4.1 Priemonės terasiniam (sluoksniniam) irimui išvengti

Priemonės padedančios išvengti terasinio irimo galima būtų suskirstyti, į priemones liečiančias medžiagą ir konstrukcines ir technines gamybinės priemonės.

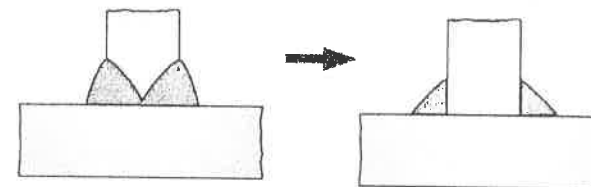
Priemonės liečiančios medžiagą nukreiptos į medžiagos sluoksniuotumo mažinimą, valcavimo anizotropijos panaikinimo. Sluoksniniam irimui daugiau linkę plienai, turintys mažą santykinį skerspjūvio susitraukimą tempimo bandyme. Kuo plienas turi daugiau sieros tuo valcavimo anizotropija ryškesnė.

Plienai, kurių tempimo metu gaunamas santykinis skerspjūvio susitraukimas daugiau kaip 20 %, laikomi nepavojingais sluoksninio irimo požiūriu, tuo pačiu plienai, kurių santykinis skerspjūvio susitraukimas mažesnis kaip 10 % - 15 % laikomi šiuo požiūriu pavojingais.

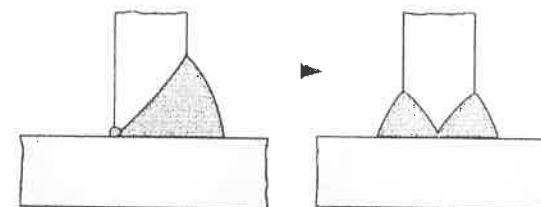


11 pav. Ryšys tarp santykinio skerspjūvio susitraukimo ir sieros kiekio plieno lakštams, kurių storis 12,5 mm ir 50 mm.

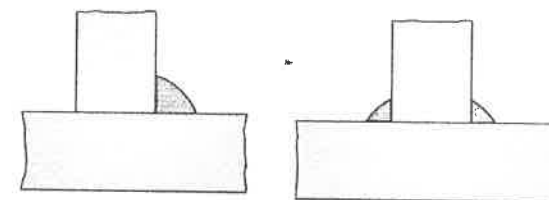
Konstrukcinės ir techninės – gamybinės priemonės turi tikslą minimizuoti deformacijas statmenai privirinimo plokštumos, kurios gali atsirasti nusiūgstant siūlės išlydytam metalui. Žemiau parodytami paveikslė, pakeitus siūlės pobūdį sumažėja terasinio irimo pavojus.



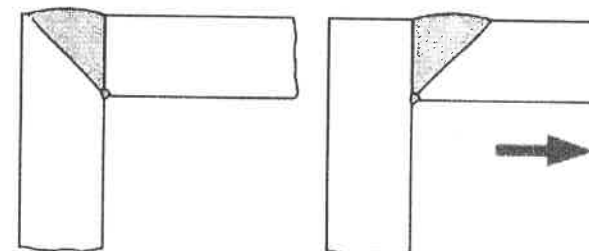
12 pav. Padidėja prijungimo plotas



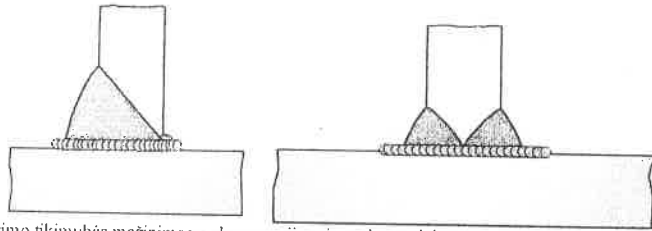
13 pav. Sluoksninio irimo tikimybės mažinimas sumažinant prilijdyto metalo kiekį



14 pav. Sluoksninio irimo tikimybės mažinimas didinant prijungimo plotą



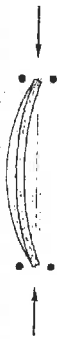
15 pav. Sluoksninio irimo tikimybės mažinimas padidinus prijungiamų sluoksnių kiekį



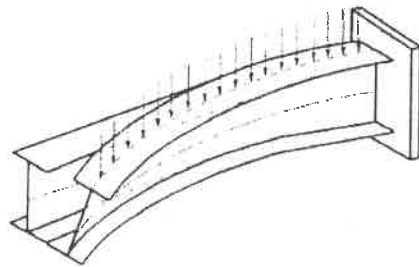
16 pav. Sluoksninio irimo tikimybės mažinimas padengus prijungimo vietą minkštesniu deformacijai metalu (buferiu)

2.5 Stabilumo netekimas

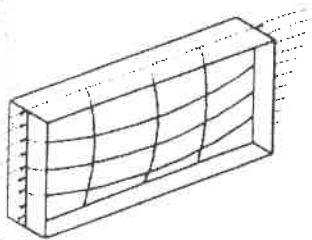
Veikiant gniuždymo įtempiams konstrukcijos darbingumas ne tiek priklausys nuo įtempių jame, kiek nuo galimybės netekti savo pirmąsias formas klumpant.



17 pav. Stabilumo netekimas išilginiame gniuždyje – tipinė stabilumo netekimo forma

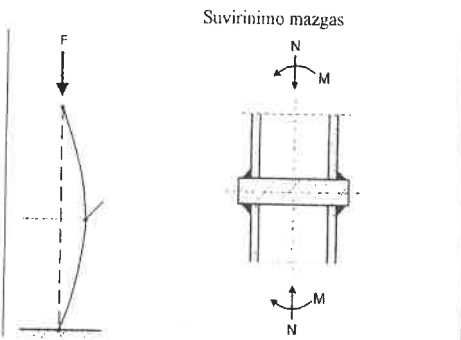


18 pav. Stabilumo netekimas lenkiant – tipinis lenkiamos sijos stabilumo netekimo pavyzdys



19 pav. Išsipūtimas – tipinis plokštės stabilumo netekimo pavyzdys

Jeigu toks stovas bus suvirintas viduryje, tai be įtempių nuo gniuždymo, reikės patikrinti ir galimus lenkimo įtempius, strypui netekus stabilumui.

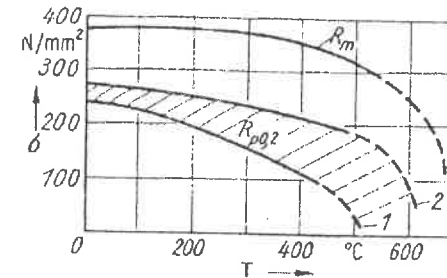


20 pav. Stovo gniuždydas su klumpimu

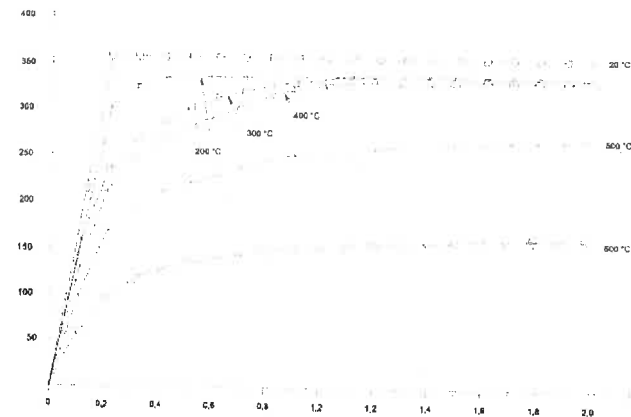
3. Suvirintos jungtys prie aukštų temperatūrų

3.1 Mechaninių charakteristikų priklausomybė nuo temperatūros

Augant aplinkos temperatūrai stiprumo charakteristikos mažėja. Jeigu suvirintą konstrukciją veikia aukštos temperatūros, tai duomenų apie mechanines medžiagos charakteristikas (takio, stiprio ribas) prie kambario temperatūros nepakanka.



21 pav. Plieno savybių kitimas kintant temperatūrai (1–nelegiruotas plienas, 2–karščiui atsparus plienas)



22 pav. Temperatūros įtaka į mažai legiruoto plieno mechanines charakteristikas (plienas S 355)

Prie aukštos temperatūros, skaičiavimams naudojama sąvoka – sąlyginė takio (stiprio) riba prie duotos temperatūros

Sąlyginė takio riba prie duotos temperatūros $R_{p0.2T}$ – tai įtampis, kuris prie duotos temperatūros T iššaukia tik 0,2 % standartinio bandinio santykinį ištįsimą.

3 lentelė. DIN 4133 „Dūntraukiai iš plieno“ pateikti lentelės forma tokio ribos f_{yk} priklausomai nuo temperatūros labiausiai paplitusiems plienams

Medžiaga	Plieno markė/ (numeris)	Tokio riba f_{yk} N/mm ² , kai temperatūra T °C *)											
		20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Allgemeine Baustähle nach DIN EN 10025 DIN 17120 und DIN 17121	St 37-2 USI 37-2 RSI 37-2 St 37-3	240	240	190	175	160	140	120	-	-	-	-	-
	St 52-3	350	360	260	245	230	210	190	-	-	-	-	-
Warmfeste Stähle nach DIN 17155, DIN 17175 und DIN 17177	H II 1.0425	285	285	245	225	205	185	165	140	130	125	-	-
	15 Mo 3 1.5415	270	270	250	238	225	205	180	170	160	155	-	-
Nichtrostende Stähle nach DIN 17440, DIN 17441, DIN 17455 und DIN 17456	1.4301	195	177	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90
	1.4541	205	190	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118
	1.4571	215	202	185	177	167	157	145	140	135	131	129	127
	1.4435	190	182	168	152	137	127	118	113	108	103	100	98
Nichtrostende Stähle nach SEW 400	1.4538	220	190	175	165	155	145	135	130	125	120	110	105
	1.4561	190	182	168	152	137	127	118	113	108	103	100	98

*) Tarpinės reikšmės leidžiama linijine interpoliacija

Slegio indų gamybos plienams prie aukštų temperatūrų duomenis galima imti iš AD-Instrukcijos (AD-Merkblätter) eilė W (medžiagos slėgio indams).

4 lentelė. Plienų charakteristikos prie aukštų temperatūrų pagal DIN EN 10025 (AD 2000-Merkblatt W1)

Plieno markė	Storis [mm]	K charakteristika prie skaičiuojamųjų temperatūrų			
		100 °C [N/mm ²]	200 °C [N/mm ²]	250 °C [N/mm ²]	300 °C*(1) [N/mm ²]
S235JRG1 S235JRG2 S235J2G3	≤ 16	187	161	143	122
	> 16 bis ≤ 40	180	155	136	117
S275JR S275J2G3	≤ 16	220	190	180	150
	> 16 bis ≤ 40	210	180	170	140
S355J2G3 S355K2G3	≤ 16	254	226	206	186
	> 16 bis ≤ 40	249	221	202	181

K₁ atitinka sąlyginę tokio ribą (0,2 %) prie tam tikros temperatūros

Skaičiuojant konstrukcijas, veikiamas aukštų temperatūrų, be tokio ir stiprio ribų, reikės atkreipti dėmesį į tai, kad keičiasi ir tamprumo modulis, reikalingas bus ir linijinis metalo plėtimosi koeficientas α_T , - informaciją apie tuos dydžius galima rasti DIN 4133.

5 lentelė. Plienų charakteristikos prie aukštų temperatūrų DIN EN 10028-2

Plienų markės	Gaminio storis, mm	0,2 %-sąlyginė tokio riba prie °C										
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
		N/mm ²										
P235GH	daugiau	minimum										
	iki											
	60	208	196	181	167	153	140	130	122	-	-	-
P265GH	60	100	193	182	169	155	142	130	121	114	-	-
	100	150	179	168	156	143	121	121	112	105	-	-
	60	237	223	206	190	174	160	148	139	-	-	-
P265GH	60	100	208	196	081	167	153	140	130	122	-	-
	100	150	193	182	169	155	142	130	121	114	-	-
16Mo3	60	258	250	236	220	202	183	165	150	139	134	-
	60	100	238	230	218	203	186	169	153	139	129	123
	100	150	218	211	200	186	171	155	140	127	118	113
13CrMo4-5	60	285	275	260	243	226	209	194	180	169	159	-
	60	100	265	256	242	227	210	195	180	168	157	148
	100	150	250	242	229	214	199	184	170	159	148	139
10CrMo9-10	60	270	249	238	222	227	211	211	198	185	173	-
	60	100	260	240	230	224	220	213	204	191	178	167
	100	150	250	237	228	222	219	213	204	191	178	167

6 lentelė. Aliuminio lydinų charakteristikos aukštoje temperatūroje, AD-Merkblatt W6/1 (AD- W6/1 serijos instrukcija)

Medžiaga ir jos stovis	Reikšmė	Skaičiuojamoji temperatūra °C					
		50	100	150	200	250	300
EN AW-3003 0	R _{p0,2}	35	-	-	-	-	-
ENAW-3103 0 ir H112	R _{p0,2}	35	-	-	-	-	-
EN AW-6060 T4	R _{p0,2}	65	-	-	-	-	-
ENAW-5754 0 ir H112	R _{p0,2}	80	70	-	-	-	-
ENAW-5049 0 ir H112	R _{p0,2}	80	70	-	-	-	-
ENAW-5049 ir H112	R _{p0,2}	100	90	-	-	-	-
ENAW-5083 0 ir H112	R _{p0,2}	125	(120)	-	-	-	-
ENAW-5083 ir H112	R _{p0,2}	130	(120)	-	-	-	-
ENAW-5083 0 ir H112	R _{p0,2}	110	(120)	-	-	-	-
Tamprumo modulis E		69 000	68 000	68 000	63 000	57 000	(50 000)

7 lentelė. TAMPRUMO modulis E priklausomai nuo temperatūros (DIN 4133)

Medžiaga – plienai	Tamprumo modulis E- N/mm ² , prie temperatūrų °C *)							
	20	100	200	300	400	450	500	550
Bendrų statybiniai	210 000	205 000	205 000	192 000	-	-	-	-
Karščiui atsparūs	210 000	205 000	205 000	18 000	184 000	180 000	-	-
Nerūdijantys a) b)**)	170 000	164 000	156 000	149 000	131 500	138 500	135 000	131 500
	200 000	194 000	186 000	179 000	172 000	161 500	165 000	168 500

*) Tarpinės reikšmės leidžiama rasti linijine interpoliacijos metodu

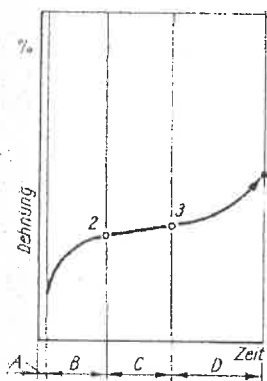
**) slėgio indams

8 lentelė. Linijinis plėtimosi koeficientas α_T priklausomai nuo temperatūros (DIN 4133)

Medžiaga-plienai	Vidutinės reikšmės α_T temperatūrose nuo 20 iki °C				
	100	200	300	400	500
Bendri statybiniai	$12.0 \cdot 10^{-6}$	$12.1 \cdot 10^{-6}$	$12.9 \cdot 10^{-6}$		
Karščiui atsparūs	$11.1 \cdot 10^{-6}$	$12.1 \cdot 10^{-6}$	$12.9 \cdot 10^{-6}$	$13.5 \cdot 10^{-6}$	$13.9 \cdot 10^{-6}$
Nerūdijantieji	$16.5 \cdot 10^{-6}$	$17.0 \cdot 10^{-6}$	$17.5 \cdot 10^{-6}$	$18.0 \cdot 10^{-6}$	$18.5 \cdot 10^{-6}$

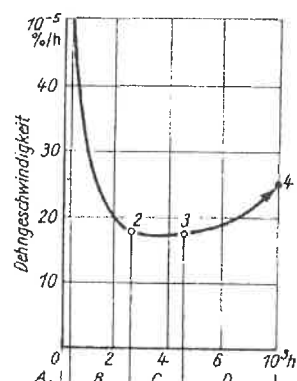
2.2 Medžiagų valkšnumas

Valkšnumas suprantamas kaip reiškinys, kada deformacijos auga laike, nors apkrovos lieka pastoviomis. Toks deformacijų augimas gali priversti konstrukciją prie suirimo. Deformacijų augimas nėra tolydinis procesas laike, todėl geriausiai šis procesas vaizduojamas diagrama deformacija - laikas prie tam tikros temperatūros arba (deformacijos greitis – laikas)



23 pav. Valkšnumo tipinė kreivė

- A zona
- B zona
- C zona
- D zona



24 pav. Deformacijos greičio-laiko grafikas

Atitinka paprastą tampriai plastinę deformaciją apkrovimo momentu – valkšnumas dar neprasidėjęs. Nenusistovėjusio valkšnumo zona Nustovėjusio valkšnumo zona (> 0) Valkšnumo greitis didėja dėl kritinio skerspjuvio sumažėjimo-konstrukcija eina į suirimą

Matome, kad be temperatūros į konstrukciją veikia ir laikas, be to laike ir temperatūroje kinta mechaninės medžiagų charakteristikos.

Valkšnumo riba $R_{p, x, y, n, T}$

Skaitomas įtempis kambario temperatūroje, prie kurio pakėlus temperatūrą po tam tikro laiko deformacija pasiekia numatomą dydį.

Ilgalaikio stiprio riba $R_{m, n, T}$

Skaitomas įtempis kambario temperatūroje, prie kurio pakėlus temperatūrą po tam tikro laiko, h^* bandinys suyra.

Aukščiau minetas charakteristikas galima rasti tam tikrose tiekiamų medžiagų normose

9 lentelė. Orientacinės valkšnumo ribos 1 % (plastinės deformacijos ir ilgalaikis stipris (išrašas iš DIN EN 10028-2, priedas C)

Pliko nuobė		Temperatūra °C	Valkšnumo riba 1% (plastinės def.), N/mm ² für		Ilgalaikio stiprio riba N/mm ²		
Žymėjimas	Medžiagos numeris		10 000 h	100 000 h	10 000 h	100 000 h	200 000 h
P235GH P265GH	1.0345 1.0425	380	164	118	229	165	145
		390	150	106	211	148	129
		400	136	95	191	132	115
		410	124	84	174	118	101
		420	113	73	158	103	89
		430	101	65	142	91	78
		440	91	57	127	79	67
		450	80	49	113	69	57
		460	72	42	100	59	48
		470	62	35	86	50	40
P295GH P355GH	1.0481 1.0473	480	53	30	75	42	33
		380	195	153	291	227	206
		390	182	137	266	203	181
		400	167	118	243	179	167
		410	160	106	221	157	135
		420	135	92	200	136	115
		430	120	80	180	117	97
		440	107	69	161	100	82
		450	93	59	143	85	70
		460	83	51	126	73	60
16Mn3	1.5415	470	71	44	110	63	52
		480	63	38	96	55	44
		490	55	33	84	47	37
		500	49	29	74	41	30
		450	216	167	298	239	217
		460	189	146	273	208	188
		470	182	126	247	178	159
		480	166	107	222	148	130
		490	149	89	196	123	105
		500	132	73	171	101	84
510		115	59	147	81	69	
520		99	46	125	66	55	
530		84	36	102	53	45	

PASTABOS 1. Vidutinių dydžių nustatyti pagal ISO 3 su ± 20%Skaida

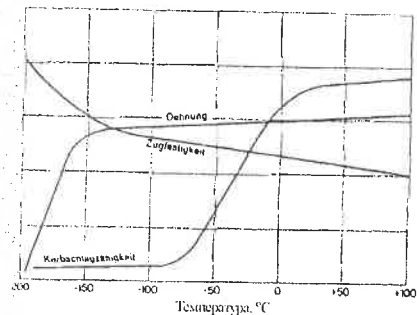
PASTABOS 2. Tas faktas, kad nurodomos ilgalaikio stiprumo ribos prie paskaitamų aukštų temperatūrų dar rodo, kad tie plienai ir gali būti tame tokių temperatūrų. Vėliau kinta ekvivalentiniai penktą ir metalo oksidacijos proceso greitis eksploatuojant aplinkose

4. Suvirintos jungtys žemose temperatūrose

Aparatuose, induose vamzdynuose, kuriais transportuojamas, saugomas arba naudojamas technologiniuose procesuose šalčio agentas, arba įrenginys dirba tolimoje šiaurėje reikia, kad naudojamos medžiagos patikimai dirbtų didelio šalčio sąlygomis.

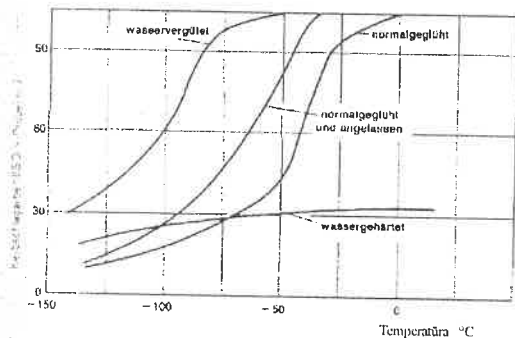
Dideliame šaltįje metalai darosi trapūs, todėl reikia žinoti, kaip keičiasi metalo mechaninės charakteristikos krintant temperatūrai – mechaninės stiprumo charakteristikos auga, plastiškumo charakteristikos mažėja, mažėja ir smūginis tašumas.

Konstrukcijos gali suirti nuo smūginių apkrovų, be to žemose temperatūrose apsunkintas įtempių išsilyginimas didelių įtempių koncentracijų vietose, sulėtėja natūralus liekamųjų įtempių, gautų suvirinant išsilyginimas.



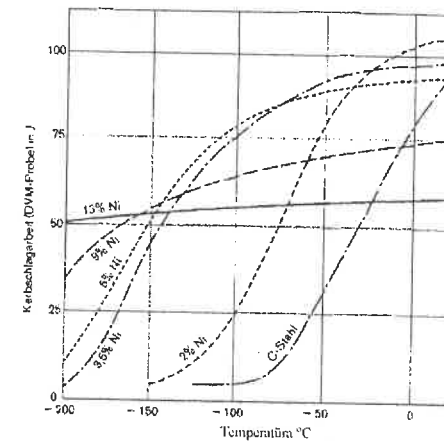
25 pav. Stiprio tempiant, pailgėjimo nubraukiant, smūginio tūsumo kitimas mažangliame pliene kintant temperatūrai

Feritinių plienų trapumo didėjimas yra ne tik žemų temperatūrų, bet ir erdvinio įtempių būvio padarinys. Nemažą įtaką turi ir apkrovos kito greitis-apkrovimo greitis. Pilnai trapus trupėjimas pastebimas tik prie labai žemų temperatūrų, bet esant erdviniam įtempių būviui tai gali atsirasti ir prie ne tokių žemų temperatūrų (žiūr. 25 pav.) jau nekalbant apie smūgines apkrovas. Perėjimas žemose temperatūrose nuo plastiško irimo į trapų irimą būdingas tik kubinei kristalinei struktūrai. Pereinamoji temperatūra būdinga feritinams plienams. Šią temperatūrą svarbu nustatyti, žemiau kurios netiktų tų metalų naudoti, bet reikia atminti, kad ši temperatūra gali priklausyti ir nuo bandymo sąlygų. Dauguma nelegiruotųjų plienų ir legiruotųjų plienų su centruota kubine struktūra, peržengus tam tikrą ribinę temperatūrą, staigiai pereina į trapų būvį ir nepasižymi jokia plastiškumu. Tuo tarpu austenitiniai plienai su briauna - centruota struktūra išlieka pakankamai plastiškais ir labai žemose temperatūrose. Ši austenitinių plienų savybė ypatingai vertinama kriogeninėje mašinų gamyboje. Metalų kristalinė struktūra, plačiose ribose priklausanti nuo terminio apdirbimo, žymiai įtakoja į metalo savybes žemose temperatūrose. Smūginis tūsumas nesujijęs su kokia nors ribine temperatūra, terminiu metalo apdirbimu, smūginio tūsumo reikšmė gali persistumti į žemesnę temperatūrinę zoną. Nelegiruotiems plienams pakankamai gerą smūginį tūsumą pasiekiamo terminiu apdirbimu tik iki -80°C . 27 pav. parodyta, kad pakankamai geros smūginio tūsumo charakteristikos nikeliu legiruotųjų plienų feritinams plienams gaunami ir prie minus 196°C ir žemiau.



26 pav. Smūginio tūsumo kitimas (3,5% nikeliu legiruotas 12 mm storio plienas)

Tikslingai optimaliai keičiant feritinio metalo struktūrą galima 30-50 laipsnių sumažinti temperatūrą prie kurios dar galima panaudoti šį metalą. Bet vis dėlto feritiniai plienai geras savybes įgauna legiruojant juos nikeliu, pasiekus 9 % nikelio pliene smūginio tūsumo mažėjimas, mažėjant temperatūrai, sunkiai pastebimas.

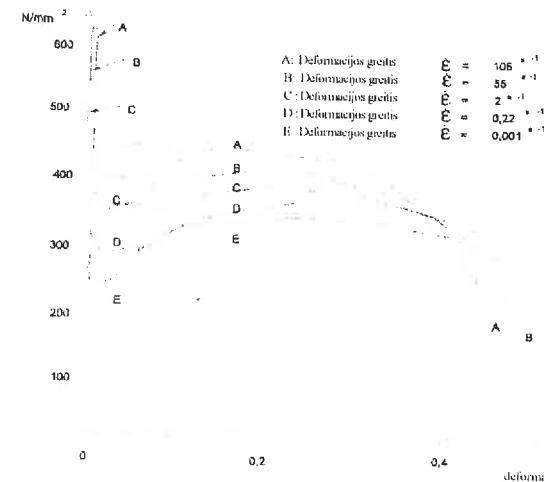


27 pav. Legiruojančio nikelio įtaka į smūginio tūsumo kitimą, kintant temperatūrai

5. Suvirinti sujungimai veikiant smūginėms apkrovoms

Metalo tekėjimą metalotyriminkai supranta kaip dislokacijų persislinkimą priklausantį nuo laiko. Smūginio tūsumo metu veikiantys deformavimo greičiai tokie dideli, kad dislokacijos nespėja persislinkti, t.y metalas nespėja tekėti.

įtemps



28 pav. Deformavimo greičio tempiant įtaka į mažai legiruoto konstrukcinio plieno mechaninėms charakteristikoms.

III.3.05	Virintinių jungčių elgesys, esant įvairioms apkrovoms	IWE
----------	---	-----

Didėjant apkrovimo greičiui auga takio ir stiprio ribos. Stiprio riba atplėšiant auga lėčiau negu takio riba, todėl irimas gali prasidėti žemiau takio ribos. Tada turime konstrukcinio elemento trapų irimą.

6. Literatūra

1. *Neumann, A.*. Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure Teil 1; Grundlagen, Tragfähigkeit. Düsseldorf: DVS-Verlag GmbH 1996
2. *Neumann, A.*. Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure Teil 2; Stahl-, Kessel- und Rohrleitungsbau. Düsseldorf: DVS-Verlag GmbH 1987
3. *Issler, L.; Ruoß, H.; Häfele, P.* Festigkeitslehre, Grundlagen. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 1995
4. ESDEP, European Steel Design Education Programme. Düsseldorf: Stahl-Information-Zentrum