

Aleksander Jezeršek, dipl. inž.
Železarna Jesenice

DK: 669.15'24'26
ASM/SLA:SSe; F23

Predelava avstenitnih krom-nikljevih jekel

Namen članka je posredovati osnovne pojme o kvalitetnih in tehnoloških posebnostih nerjavečih in kislino odpornih avstenitnih Cr-Ni jekel tistim strokovnjakom, ki se ukvarjajo s potrošnjo in predelavo teh jekel. S tem sestavkom želimo omogočiti kupcem čim bolj primerno in pravilno izbiro domačih vrst jekel, določiti inozemskim jeklom ekvivalentno odgovarjajoče domače kvalitete, razjasniti osnovne pojme o metalurških in fizikalnih pojavih, ki spremljajo predelavo teh jekel do končnega proizvoda, opisati težave pri pravilni in nepravilni predelavi ter nakazati možnosti za njihovo odpravo.

UVOD

Nerjaveča in kislino odporna plemenita jekla so visoko legirana jekla, ki vsebujejo v splošnem najmanj 12 % kroma lahko pa tudi druge legirne elemente. Njihova najvažnejša lastnost je korozijska odpornost v mnogih korozijskih medijih.

Nerjaveča in kislino odporna visoko legirana jekla delimo v več skupin. Najpomembnejša med njimi je skupina s kromom in minimalno 7 % niklja. V splošnem spadajo v to skupino jekla s 17—26 % kroma in 7—26 % niklja. V tem sestavku bomo obravnavali skupino jekel, ki se imenujejo krom nikljeva avstenitna jekla.

V nasprotju s feritnimi in martenzitnimi kromovimi jekli se avstenitna Cr — Ni jekla s toplotno obdelavo ne dajo utrditi. Pri visokih temperaturah obstojna avstenitna struktura se zadrži do sobnih temperatur neodvisno od hitrosti ohlajanja. Mehanske lastnosti jekel pa se lahko spreminjajo s hladno deformacijo pri normalnih temperaturah. Na ta način dobimo jekla z višjo trdnostjo. Normalno so avstenitna jekla nemagnetična, vendar posamezne kvalitete jekel lahko s hladno deformacijo postanejo občutno magnetične.

Nadaljnja važna lastnost nerjavečih avstenitnih Cr — Ni jekel je zelo dobro ponašanje pri hladnem oblikovanju. Ta dobra preoblikovalnost, korozijska obstojnost in dobre mehanske lastnosti so vzrok njihovi mnogostranski uporabi.

MEHANSKE LASTNOSTI NERJAVEČIH IN KISLINO ODPORNIH AVSTENITNIH KROM NIKLJEVIH JEKEL

Kemična sestava

Kemična sestava najbolj poznanih in najbolj uporabljenih nerjavečih jekel je podana v tabeli I. Za primerjavo so v tabeli navedene tudi kvalitete, ki niso normirane po JUS. Primerjava je tudi z najbolj poznanimi svetovnimi normami DIN, za katere so podane Werkstoff Nr. in AISI norme (American Iron And Steel Institute).

Mehanske lastnosti žarjenih in gašenih nerjavečih jekel

V splošnem so lahko Cr — Ni avstenitna jekla v dveh stanjih izdelave:

a) v gašenem stanju za dosego najboljše preoblikovalnosti,

b) hladno valjane brez končnega gašenja, ker tako dosežemo visoke mehanske lastnosti, vendar slabo preoblikovalnost.

V toplotno obdelanem in gašenem stanju imajo nerjaveča Cr — Ni jekla visoko razteznost in sposobnost upogibanja, sorazmerno nizko mejo iztezanja, visoko udarno trdnost in nizko odpornost proti preoblikovanju. Če jih hladno preoblikujemo trdota narašča in narašča tudi elastičnost, medtem ko razteznost in z njo povezana preoblikovalnost pada. Te lastnosti (korozijska odpornost, nenavadna lahka preoblikovalnost in lastnost za utrditev s hladno predelavo) so odločujoče vplivale na tako širok razvoj in razmah te vrste plemenitih jekel.

Tabela I — Osnovna sestava avstenitnih jekel in primerjava s tujimi normami

JUS	Oznaka jekla				Kemična sestava utežni %					
	Werkstoff Nr. po DIN 17007	Oznaka po DIN 17006	AISI	Interna oznaka Z. J.	C %	Si	Mn	Cr	Ni	ostalo
—	1.4307	X8CrNi12 12	—	—	≤ 0.10	≤ 1.0	≤ 2.0	11.5—13.5	12.0—14.0	—
Č 4571	1.4300	X12CrNi18 8	302	—	≤ 0.12	≤ 1.0	≤ 2.0	17.0—19.0	9.0—10.5	—
—	1.4310	X12CrNi17 7	301	—	≤ 0.15	≤ 1.0	≤ 2.0	16.0—18.0	7.0—8.0	—
—	1.4301	X5CrNi18 8	304	Pr11 nor.	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	17.0—19.0	9.0—10.5	—
Č 4572	1.4541	X10CrNiTi18 9	321	—	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	17.0—19.0	11.0—12.5	Ti ≥ 5x%C
Č 4582	1.4550	X10CrNiNb18 9	347	—	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	17.0—19.0	11.0—12.5	Nb ≥ 8x%C
Č 4573	1.4401	X5CrNiMo18 10	316	—	≤ 0.06	≤ 1.0	≤ 2.0	17.0—19.0	10.0—13.0	Mo = 2,0—2,5
Č 4574	1.4571	X10CrNiMoTi18 10	—	—	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	17.0—19.0	11.0—13.0	Mo = 2,0—2,5 Ti ≥ 5x%C
Č 4583	1.4580	X10CrNiMoNb18 10	—	—	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	17.0—19.0	11.0—13.0	Mo = 2,0—2,5 Nb ≥ 8x%C
—	1.4436	X5CrNiMo18 12	—	Pr11Mo3	≤ 0.06	≤ 1.0	≤ 2.0	16.0—18.0	12.0—14.0	Mo = 2,8—3,2
—	1.4573	X10CrNiMoTi18 12	—	Pr11Mo3Ti	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	16.0—18.0	12.0—14.0	Mo = 2,8—3,2 Ti ≥ 5x%C
—	1.4583	X10CrNiMoNb18 12	—	Pr11Mo3Nb	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	16.0—18.0	12.0—14.0	Mo = 2,8—3,2 Nb ≥ 8x%C
—	1.4306	X2CrNi18 9	304L	Pr11 eks.	≤ 0.03	≤ 1.0	≤ 2.0	17.0—19.0	11.0—12.5	—
—	—	—	305	—	≤ 0.12	≤ 1.0	≤ 2.0	17.0—19.0	10.0—13.0	—

Tabela II — Odvisnost mehanskih lastnosti od kemične sestave

JUS	Oznaka jekla		Kemična sestava utež. %				Smer preizkuš.	0,2 meja kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek l ₀ = 4 d ₀ %
	DIN 17007	AISI	C	Mn	Cr	Ni				
Č 4571	1.4300	302	0.10	0.50	18.45	8.79	vzdolžna prečna	25,3 23,9	66,4 65,9	61,0 61,0
—	1.4310	301	0.13	1.29	17.33	7.14	vzdolžna prečna	23,2 23,2	83,0 80,0	68,0 62,0

a) Odvisnost mehanskih lastnosti toplotno obdelanih nerjavečih jekel od kemične sestave.

Mnogo preizkusov za ugotavljanje mehanskih lastnosti nerjavečih Cr — Ni jekel je pokazalo, da ima kemična sestava različnih tipov odločujoč vpliv na mehanske lastnosti, čeprav so vsa ta jekla še avstenitna. Te razlike so lepo opazne v tabeli II, kjer sta opisani dve vrsti avstenitnih jekel. Kemična sestava vpliva še močneje na razliko v mehanskih lastnostih v hladno valjanem stanju. O vplivu elementov na lastnosti v hladno valjanem stanju bo govora kasneje.

Pri toplotno obdelanih jeklih je od kemične sestave najbolj odvisna raztržna trdnost in razteznost, medtem ko sta meja iztezanja in elastični modul sorazmerno neobčutljiva.

Iz različnih mehanskih lastnosti izhajajo torej, da moramo za različne namene uporabe izbirati jekla z različno kemično sestavo.

Vrednosti v tabeli II t. j. raztezek in podani odstotek so določili pri hitrosti preizkušanja 2 mm/min., pri 100 mm dolgi probi. Poudariti je treba, da hitrost preizkušanja (t. j. hitrost s katero se vzorec raztrga) močno vpliva na velikost posameznih vrednosti, predvsem raztezka: čim nižja je hitrost, tem višja je dobljena vrednost za raztezek.

Hitrost preizkušanja ima najmočnejši vpliv na jeklo Č 4571 (glej tabelo III.). Pri ostalih vrstah jekel je odvisnost različnih vrednosti od hitrosti preizkušanja manjša. Druge mehanske lastnosti npr. raztržna trdnost so vsekakor odvisne od hitrosti preizkušanja, vendar ne tako občutno kakor raztezek. V splošnem pa so vrednosti za raztržno trdnost tem višje, čim nižja je hitrost preizkušanja.

Vpliv hitrosti preizkušanja pa ne zavisi samo od kemične sestave jekla, ampak tudi od izdelave jekla in od ostalih lastnosti npr. od smeri valjanja.

Tabela III — Vpliv hitrosti preizkušanja na raztezek toplotno obdelanega jekla Č 4571

Hitrost preizkušanja	Raztezek (vzdolžno) l ₀ = 4 d ₀ %
Nizka hitrost preizkušanja Skupni čas trajanja preizkusa 45 minut Hitrost med 0,2 mejo in poružitvijo 0,76 mm/min.	87,0
Visoka hitrost preizkušanja Skupni čas trajanja preizkusa 3 minute Hitrost ca. 8,9 mm/minuto	59,0

b) Mehanske lastnosti pločevine in trakov

V tabeli IV so podane mehanske lastnosti trakov in pločevine v toplotno obdelanem stanju. Pri

tem pomeni »toplotno obdelano jeklo«, da je jeklo v običajni trgovski izvedbi t. j. toplotno obdelano in končno poravnano.

Tabela IV — Karakteristične vrednosti mehanskih lastnosti toplo obdelane nerjaveče in kislino-odporne avstenitne pločevine in trakov

JUS	Oznaka jekla			0,2 meja (min.) kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztez. l ₀ = 5 d. min./%	Trdota Brinell (ca.) kp/mm ²	Erichsen za debeli 1 mm v mm/min.
	DIN 17007	AISI	Interna z. J.					
—	1.4307	—	—	22	55—70	60	130	14
C 4571	1.4300	302	—	22	50—70	45	190	12
—	1.4310	310	—	28	60—80	45	190	12
—	1.4301	304	Pr11 norm.	22	50—70	50	180	12
C 4572	1.4541	321	—	25	55—75	40	190	11
C 4582	1.4550	347	—	25	55—75	40	190	11
C 4573	1.4401	316	—	22	50—70	45	180	12
C 4574	1.4571	—	—	25	55—75	40	190	11
C 4583	1.4580	—	—	25	55—75	40	190	11
—	1.4436	—	Pr11Mo3	22	50—70	45	180	12
—	1.4573	—	Pr11Mo3Ti	25	55—75	40	190	11
—	1.4583	—	Pr11Mo3Nb	25	55—75	40	190	11
—	1.4306	304L	Pr11 ekstr.	20	50—70	50	180	12
—	—	305	—	25	55—75	40	170	—

Mehanske lastnosti hladno valjanih nerjavečih jekel

a) Splošno o vplivu hladnega valjanja

Avstenitna Cr — Ni jekla se s hladno predelavo tudi pri malih procentih deformacije močno utrdijo. Ta narastek trdnosti ima dva vzroka:

1. zaradi razpada dela avstenita v martenzit,
2. zaradi hladnega utrjanja nerazpadlega avstenita in verjetno tudi ferita.

Količina razpadlega avstenita v martenzit je močno odvisna od kemične sestave jekla. Poizkusi so pokazali, da niso odločujoči samo procenti vsebnosti posameznega elementa, temveč tudi njihovo medsebojno razmerje.

Posamezni legirni elementi zelo različno vplivajo na razpad avstenita. Tako npr. kažejo nerjaveča jekla z visoko vsebnostjo niklja (z nikljem na zgornjem analiznem intervalu) močnejšo stabilnost avstenita in s tem manjšo hladno utrditev. Elementi, ki podobno vplivajo na povečano stabilnost avstenita so dušik, mangan in ogljik.

Nasprotno pa visoka vsebnost kroma pri enaki vsebnosti niklja zmanjšuje stabilnost avstenita,

tako da pride pri hladnem preoblikovanju do močnejše utrditve zaradi intenzivnejše tvorbe martenzita.

b) Mehanske lastnosti hladno valjanih nerjavečih jekel v odvisnosti od kemične sestave

Nagnjenost avstenita k utrditvi s hladnim valjanjem je odvisna od kemične sestave in zaradi tega je razumljivo, da dobijo nerjaveča jekla različne kemične sestave po hladnem valjanju različne mehanske lastnosti.

To je pokazano v tabeli V, kjer so podane mehanske lastnosti jekel v zavisnosti od različnih stopenj hladne predelave.

c) Vpliv nizkih temperatur na mehanske lastnosti

Temperatura hladnega valjanja vpliva na hitrost razpadanja avstenita. Z zniževanjem temperature obdržimo pri majhnih stopnjah deformacije ugodne mehanske lastnosti. V takem primeru ležijo raztezne lastnosti pri podanih trdnostih višje. Višja razteznost ugodno vpliva na hladno oblikovanje avstenitnih jekel.

V tabeli VI so podani vplivi temperatur hladnega valjanja na mehanske lastnosti pri sobni temperaturi.

Tabela V — Vpliv različne stopnje hladnega preoblikovanja na mehanske lastnosti

JUS	Oznaka jekla		Kem. sestava utežni %				Mehanske lastnosti v zavisnosti od različnih stopenj hl. predelave											
							Trdnost kp/mm ²				0,2 meja kp/mm ²				Raztezek l ₀ = 51 mm %			
							Topl. obd.	Stop. hl. predel. 20 %	30 %	40 %	Topl. obd.	Stop. hl. predel. 20 %	30 %	40 %	Topl. obd.	Stop. hl. predel. 20 %	30 %	40 %
C 4571	1.4300	302	0.09	18.60	8.8	61.9	100.0	118.1	—	26.7	77.3	98.4	—	60.0	22.0	15.0	—	
—	1.4310	301	0.12	17.40	7.2	89.0	117.4	128.0	134.6	27.1	82.3	98.0	113.5	72.0	49.0	40.0	32.0	

Vsi vzorci so vzeti v vzdolžni smeri. Visok raztezek drugega jekla je posledica nizke hitrosti preizkušanja

Tabela VI — Vpliv temperature valjanja na mehanske lastnosti

JUS	Oznaka jekla		C	Kem. sestava utežni %		Temperatura valjanja °C	Stopnja predelave %	Trdnost pri sobni temper. kp/mm ²	Raztezek l ₀ = 51 mm %
	DIN 17007	AISI		Cr	Ni				
Č 4571	1.4300	302	0,11	17,88	9,95	20 -75 -196	60 27 18	125,5 119,0 119,0	6,0 15,0 22,0

Tabela VII — Vpliv hladnega preoblikovanja in temperature preizkušanja na mehanske lastnosti

JUS	Oznaka jekla		Stanje vzorcev	Temperatura preizkušanja °C	Trdnost kp/mm ²	0,2 meja kp/mm ²	Raztezek l ₀ = 51 mm %
	DIN 17007	AISI					
Č 4571	1.4300	302	toplotno obdelan — mehko	+ 20	62,6	23,9	67,0
				- 17,8	87,0	28,1	67,5
				- 51	103,2	31,6	52,0 (1)
Č 4571	1.4300	302	1/2 trdo	+ 20	109,0	105,5	14,0
				- 17,8	113,3	110,0	33,0
				- 51,0	127,0	110,0	38,0

Opomba: (1) Širina vozrača 8,9 mm, vsi ostali vzorci 12,7 mm

Razteznost gašenega Cr — Ni jekla se s padajočo temperaturo (do ca. — 200° C) ne spreminja mnogo, čeprav raztržna trdnost močno naraste. V hladno valjanem stanju izboljša znižanje temperature raztezek, medtem ko trdnost istočasno narašča. Tabela VII prikazuje vpliv nizkih temperatur na mehanske lastnosti toplotno obdelanega mehkega in poltrdega Cr — Ni jekla Č 4571. Povišani raztezek hladno valjanega jekla pri nizkih temperaturah odločilno vpliva na sposobnost upogibanja, vlečenja in podobnih preoblikovalnih postopkov.

d) Vpliv žarjenja za odpravo napetosti na mehanske lastnosti

Iz tabele VIII lahko vidimo, da meja iztezanja hladno valjanega jekla po žarjenju za odpravo napetosti občutno naraste. Istočasno naraste tudi natezna trdnost, medtem ko razteznostne lastnosti ostanejo praktično enake onim v hladno valjanem stanju.

Za žarjenje za odpravo napetosti zadostujejo temperature med 200—370° C. Trajanje žarjenja je razumljivo odvisno od izbrane temperature. V splošnem se smatra, da je potrebno najmanj 2-urno žarjenje. Doseženo povečanje mehanskih lastnosti, ki je za mnoge končne izdelke zadostno, pa je odvisno od kemične sestave in od vrste preoblikovanja.

Jekla, ki so hladno valjana pod 0° C kažejo po žarjenju za odpravo napetosti v splošnem narastek trdnosti. V tabeli IX zbrane vrednosti za Cr — Ni jeklo stabilizirano z niobom (Č 4582) kažejo opazno zvišanje trdnosti.

e) Uporabnost hladno valjanega jekla za hladno preoblikovanje

Pri preoblikovanju je material obremenjen preko meje elastičnosti. Avstenitna jekla se pri tem utrde, zato je potrebno pred vsako nadaljnjo

Tabela VIII — Vpliv žarjenja za odpravo napetosti na mehanske lastnosti hladno valjanih jekel

JUS	Oznaka jekla		Kem. sestava utež. %				Stanje vzorcev	Smer preizk.	0,2 meja kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek l ₀ = 4 d ₀ %							
	DIN 17007	AISI	C	Mn	Cr	Ni												
Č 4571	1.4300	302	0,10	0,50	18,45	8,79	hladno valjano	vzdolžno	92,1	109,0	15,0							
								prečno	91,4	116,8	11,0							
							hladno valjano toplotno obdelano	vzdolžno	108,8	122,0	11,0							
								prečno	103,2	125,8	10,0							
							—	1.4310	301	0,11	1,32	17,15	7,17	hladno valjano	vzdolžno	115,3	137,9	15,0
															prečno	97,0	141,2	10,0
—	1.4310	301	0,11	1,32	17,15	7,17	hladno valjano toplotno obdelano	vzdolžno	126,6	139,2	14,0							
								prečno	119,5	142,0	10,0							

Tabela IX — Vpliv hladnega valjanja in žarenja za odpravo napetosti na mehanske lastnosti avstenitnih jekel (vsa jekla so bila predhodno pri -74°C hladno valjana s 40 % redukcijo)

Oznaka jekla		Žarenje za odpravo napetosti	Trdnost kp/mm ²	Raztezek $l_0 = 51\text{ mm}$ %	
JUS	DIN 17007				AISI
		brez žarenja	193,3	4,0	
		100 ur/260° C	201,1	2,2	
		100 ur/430° C	187,3	2,7	
—	1.4310	301	100 ur/540° C	121,6	5,6
		500 ur/260° C	203,9	3,0	
		500 ur/430° C	178,6	5,5	
		500 ur/540° C	116,0	6,7	
		brez žarenja	165,2	5,7	
		100 ur/260° C	175,8	3,0	
		100 ur/430° C	160,3	5,0	
Č 4571	1.4300	302	100 ur/540° C	126,6	6,5
		500 ur/260° C	174,0	3,0	
		500 ur/430° C	156,4	4,5	
		500 ur/540° C	120,2	6,5	
		brez žarenja	133,4	6,2	
		100 ur/260° C	168,7	2,5	
		100 ur/430° C	175,0	3,5	
Č 4582	1.4555	347	100 ur/540° C	135,0	6,2
		500 ur/260° C	165,9	2,7	
		500 ur/430° C	168,3	4,5	
		500 ur/540° C	128,3	6,7	

stopnjo hladne predelave pazljivo proučiti izhodne vrednosti in njihovo povečanje z utrditvijo, da ne prekoračimo preoblikovalnih sposobnosti jekla.

Običajno za hladno predelavo uporabljamo avstenitna jekla v toplotno obdelanem stanju, t. j. v stanju najoptimalnejših preoblikovalnih lastnosti, kajti preoblikovalne lastnosti hladno valjanih jekel so slabe.

Z izboljšanjem poznavanja hladnega preoblikovanja se vedno bolj razvija tudi uporaba hladno valjanih jekel brez končne toplotne obdelave za različne konstrukcije. Posebno v USA je preoblikovanje hladno valjanih jekel že vsakdanja praksa.

Iz tega splošnega razglabljanja lahko zaključimo, da je izbira primerne avstenitnega jekla z določenimi mehanskimi lastnostmi velikega pomena, da dobimo na končnem izdelku primerne lastnosti.

Velikokrat zadostuje, če pri naročilu navedemo standardizirano oznako kvalitete in dobavno stanje. V posebnih primerih pa je priporočljivo posvetovanje s proizvajalcem jekla s predložitvijo potrebne dokumentacije o tehnologiji izdelave končnega izdelka.

PREOBLIKOVALNE LASTNOSTI AVSTENITNIH JEKEL

Splošno o preoblikovanju in primerjava kvalitet med seboj

Za avstenitna jekla karakteristična nizka meja iztezanja in visoka trdnost, omogočata izdelavo kompliciranih oblik s hladno predelavo. Zato imajo avstenitna jekla, kakor je bilo že pojasnjeno, v primerjavi z drugimi materiali, ki so sposobni vlečenja (mehko jeklo, baker, medenina in aluminij) sorazmerno visoko trdnost. Avstenitna jekla so poleg tega pri hladnem preoblikovanju podvržena tudi utrditvi in zaradi tega je potrebna pri oblikovanju večja sila.

Ker so meje iztezanja za vsa avstenitna jekla v toplotno obdelanem stanju nizke, pri izbiri določene kvalitete ne smemo postaviti samo zahteve po čim bolj nizki meji iztezanja ali po čim boljši plastičnosti (raztežku). Velikokrat moramo izbrati tako kvaliteto, ki pri danem (izbranem) postopku preoblikovanja oziroma pri izbrani uporabi doseže pravilno utrditev s plastično predelavo. N. pr. za visoko trdna avstenitna jekla je visoka utrditev zelo zaželena. Isto velja za nekatere konstrukcijske elemente (n. pr. kotne in U profile), ki naj imajo po izdelavi čim višjo možno trdnost.

Za globoko vlečenje pa je na drugi strani zaželena čim manjša utrditev.

Izkušnje so pokazale, da pri nekaterih postopkih preoblikovanja (npr. globokem vlečenju kompliciranih delov, pri stiskanju) dosežene trdnosti normiranih avstenitnih jekel s podano vsebnostjo kroma niso odvisne le od vsebnosti niklja, temveč tudi od vsebnosti ogljika in mangana. Čim bliže je nikelj zgornji meji predpisanega analiznega intervala, toliko lažje se da jeklo preoblikovati. Preoblikovanje je težje, če je vsebnost niklja oziroma niklja in kroma nizka (npr. jeklo normirano po DIN Werkstoff Nr. 1.4310). Razlike v ponašanju posameznih Cr-Ni jekel pri hladnem preoblikovanju so posebno občutne pri večstopenjskem vlečenju.

a) Kvalitete primerne za različne postopke preoblikovanja

V tabeli I predstavljene kvalitete avstenitnih jekel so normirane po kemični sestavi za določene namene uporabe, ne pa za določene postopke preoblikovanja.

Kjer ni podrobneje opisano lahko toplotno obdelana in tudi hladno valjana avstenitna jekla preoblikujemo z enostavnimi postopki, npr. z upogibanjem, robničenjem, profilnim valjanjem, štančanjem.

Za bolj komplicirane postopke npr. globoko vlečenje, stiskanje in podobno, so priporočljiva avstenitna jekla z nizko vsebnostjo ogljika (npr. Prokron 11 ekstra), ali z visokim razmerjem

krom: nikelj. Za najbolj obremenjene postopke pride v poštev le jeklo z 12 % kroma in 12 % Ni (Werkstoff Nr. 1.4307).

Kadar pa je treba izdelati trdnostno najbolj odporne dele naj se uporablja jekla Č 4171, seveda pa moramo stopnjo preoblikovanja obdržati v razumljivih mejah.

b) Preoblikovalne lastnosti jekla s 17 % Cr in 7 % Ni

Ta kvaliteta vsebuje najmanj niklja od vseh Cr-Ni jekel. Tudi razmerje Ni : Cr je nizko in zaradi tega je jeklo močno nagnjeno k hladni utrditvi. Od vseh avstenitnih jekel ima ta kvaliteta najvišjo trdnost. Uporablja se najpogosteje za konstrukcijske elemente (npr. v USA najmasovnejše uporabno jeklo v industriji vozil). Visoke raztezne lastnosti v toplotno obdelanem stanju omogočajo dobro preoblikovalnost. Zaradi kemične sestave se ta kvaliteta hladno utrdi mnogo hitreje od vseh ostalih avstenitnih Cr-Ni jekel.

Kadar to jeklo v toplotno obdelanem stanju večstopenjsko globoko vlečemo, se v prvi stopnji vleče enako dobro kot vsa ostala avstenitna jekla. Zaradi močne hladne utrditve pa moramo izdelke pred nadaljnji stopnjami vlečenja vmesno žariti. Zaradi visoke utrditve je to jeklo izmed vseh avstenitnih jekel najbolj nagnjeno k tvorjenju gub. Poleg tega je to jeklo pri prekoračenju meje preoblikovalnosti (pri približno 50 % deformaciji) nagnjeno občutno bolj k tvorjenju napetostnih risov kakor jekla z višjimi vsebnostmi niklja. Napetostni risi se posebno radi pojavljajo kadar je niklja v jeklu manj kot 7 %. Potegnjeni ali stisnjeni deli lahko tudi pri žarenju za odpravo napetosti ali pri mehkem žarenju tvorijo napetostne rise. Ta tip jekla je torej neprimeren za globoke vleke in velike pritiske. Na drugi strani pa omogoča njegova visoka duktilnost v utrjenem stanju določene preoblikovalne postopke, predvsem robničenje.

c) Preoblikovalne lastnosti normalnega 18/8 jekla

Obnašanje teh vrst jekel (Č 4571 in Prokron normal) je pri običajnih preoblikovalnih postopkih zelo podobno. Vrednost Cr in Ni direktno vplivata na preoblikovalnost jekla. Kakor je bilo že pojasnjeno je obseg hladne utrditve odvisen od kemične sestave jekla. Pri najtežjih preoblikovalnih postopkih je priporočljiva uporaba stabiliziranega avstenitnega jekla z visoko vsebnostjo niklja. V USA za te primere pogosto uporabljajo kvaliteto AISI 305 (glej tabelo I).

d) Preoblikovalne lastnosti stabiliziranih jekel Č 4572 in Č 4582

Preoblikovalne lastnosti stabiliziranih Cr-Ni jekel so nekoliko boljše od nestabiliziranih jekel (Č 4571). Obe omenjeni vrsti jekel imata pri nateznem preizkusu nižjo raztezno kot jeklo Č 4571. Čeprav pripisujejo to znižanje vrednosti

Tabela X — Primerjava preoblikovalnih sposobnosti v odvisnosti od kemične sestave

C	Kemična sestava utež. %					Ocena preoblikovalnih sposobnosti jekla (1)
	Ni	Cr	Mn	Nb	Ti	
0,04	8,5	18,4	0,52	—	0,40	zelo slaba
0,06	10,2	17,6	0,64	—	0,48	dobra
0,045	8,4	17,1	0,55	0,72	—	zelo slaba
0,05	9,8	17,5	0,60	0,87	—	slaba
0,06	11,0	18,5	1,36	0,74	—	dobra
0,05	12,4	18,4	1,26	0,88	—	zelo dobra

(1) Absolutna primerjava ocene obeh kvalitet jekel med seboj ni dopustna

vplivu stabilizirnih elementov moramo poudariti, da pri obeh jeklih preoblikovalne lastnosti občutno dvigne višja vsebnost Ni. V tabeli X so podani podatki preiskav na več vrstah avstenitnih jeklih o vplivu niklja na preoblikovalnost. Jasno lahko opazimo da se preoblikovalne lastnosti jekel Č 4572 in Č 4582 s povečanjem vsebnosti niklja izboljšujejo.

Obe vrsti jekel morata zaradi stabilizirnih dodatkov vsebovati višje količine niklja, da bi dosegli boljše preoblikovalne lastnosti kakor jih ima jeklo Č 4571. Zato se v splošnem smatra, da mora pločevina iz jekla Č 4572 in Č 4582 vsebovati v splošnem 10 % Ni.

e) Preoblikovalne lastnosti ostalih vrst avstenitnih jekel

Molibden vsebujoče kvalitete (Č 4573) imajo nekaj nižje raztezne lastnosti kot normalno Cr-Ni jeklo 18/8. Njihove preoblikovalne lastnosti se približujejo stabiliziranim vrstam jekla (Č 4572 in Č 4582).

Na osnovi izkušenj pa lahko rečemo, da molibden vsebujoče kvalitete v toplotno obdelanem stanju lahko uporabljamo za vse operacije globokega vlečenja. Te kvalitete imajo v posebnih korodirnih sredstvih višjo korozijsko odpornost kakor normalno Cr-Ni jeklo 18/8.

Nerjaveča in kislino odporna jekla sposobna izločitvene utrditve se v USA, posebno v letalski industriji, zelo široko uporabljajo. Pri nas trenutno ta jekla še ne uporabljamo. Te vrste jekel se preoblikujejo v toplotno obdelanem stanju in končno utrdijo. Njihove preoblikovalne lastnosti v toplotno obdelanem stanju odgovarjajo običajnim normiranim jeklom z enakimi kemičnimi sestavami. Utrditve, ki jo običajno izvedejo z žarenjem, omogoča vsakršno kasnejšo predelavo.

Preoblikovalnost nerjavečih avstenitnih krom nikljevih jekel v gašenem stanju

Kakor smo že prej omenili, lahko avstenitna jekla enako dobro ali celo bolje preoblikujemo kakor ostale vlečne materiale. Njihova zelo enakomerna raztezno omogoča tudi najtežje preobli-

kovalne postopke z upogibanjem, raztezanjem oziroma vlečenjem. Na drugi strani povzročajo njihovo močno nagnjenje k hladni utrditvi občutne težave, kadar so izdelki obremenjeni na pritisk. (npr. pri gubah) in se je tem težavam zelo težko izogniti. Zelo često opazimo na delu, ki je bil guban, risavost.

Tvorba gub vodi k močnemu opraskanju površine in k močnejši obrabi orodja. S posebnim orodjem iz specialnih jekel in aluminijastih bronz in z dobrimi mazilnimi sredstvi, se lahko te težave v glavnem izognemo.

Zaradi teh težav je najboljša metoda za preoblikovanje avstenitnih jekel natezanje in ne stiskanje. Kjer je stiskanje neizogibno mora biti špranja med orodji zelo ozka. Poleg tega moramo delati tudi z večjimi pritiski. Za težke preoblikovalne postopke moramo uporabljati večstopenjsko delujoče stiskalnice.

Kljub močnemu nagnjenju k peresnemu povračanju pri hladni utrditvi, lahko dosežemo zelo ozke tolerance pod pogojem, da uporabljamo primerno orodje.

Močno nagnjenje k hladni utrditvi utemeljuje tudi zahtevo, da toplotno obdelana avstenitna jekla po možnosti predelamo v enem vleku in ne v več majhnih vlekkih. Odločno moramo poudariti, da že preoblikovani del zaradi previsoke utrditve ne smemo naprej predelovati brez vmesnega žarenja. Zato moramo v splošnem med dvema toplotnima obdelavama, kljub visoki začetni razteznosti avstenitnih jekel, izvesti samo enostopenjske vendar močne preoblikovalne postopke.

Kakor je bilo že poudarjeno, se trgovska običajna pločevina po zadnjem toplotnem obdelanju poravna. To se izvede z različnimi postopki, katerih skupna značilnost je, da jeklo pretrpi določeno plastično preoblikovalnost. Ker pri tem ravnanju jeklo pretrpi v glavnem neenakomerne napetosti, se lahko na pločevini pojavijo zelo majhne razlike v meji iztezanja. Čeprav v splošnem te razlike pri preoblikovanju ne povzročajo težav, pa se lahko pri velikih ploskvah velikih delov vendar pojavijo težave. V takem primeru priporočamo uporabo toplotno obdelane in neporavnane pločevine, seveda če postopek ne zahteva absolutno ravne pločevine. Preoblikovalne lastnosti avstenitnih jekel so močnejše podvržene tudi vplivom različnih preoblikovalnih hitrosti, kakor ostali materiali. Ta vpliv smo že omenili pri obravnavanju različnih nateznih hitrosti, kjer smo opazili, da z naraščajočo hitrostjo zelo močno pada razteznost. Najmočnejši je ta vpliv pri jeklu Werkstoff N. r. 1.4310 (glej tabeli III). V splošnem lahko rečemo, da se ta tendenca povečuje z zmanjšanjem vsebnosti niklja. Vsa opisana opažanja je treba upoštevati tudi pri praktičnih postopkih. Tako npr. priporočamo za težko in močno preoblikovane dele dvojno delujoče stiskalnice z nizkimi preoblikovalnimi hitrostmi.

Izvedba pločevine in trakov primernih za preoblikovalne postopke

Pločevina in trakovi iz nerjavečih Cr-Ni jekel se lahko izvedejo v naslednjih standardnih izvedbah:

Površina II a: Lužena površina. To pomeni, da je jeklo hladno valjano, toplotno obdelano in luženo. Zaradi hrapave površine se mazilno sredstvo dobro oprijemlje in se zaradi tega da pločevina dobro preoblikovati. (Ameriška oznaka Finish Nr. 1.)

Površina III a: Svetla, hladno valjana izvedba. Hladno valjano jeklo, toplotno obdelano, luženo in končno hladno valjano. Jeklo se lahko dobavlja v različnih stopnjah utrditve in je uporabno tam, kjer se zahteva visoka trdnost in nobena hladna preoblikovalnost.

Površina III b: Mat hladno valjana oblika. Hladno valjano, toplotno obdelano, luženo jeklo se pred končnim žarjenjem hladno valja in ponovno luži. Ta postopek vodi k zvišani razteznosti. Površina je tesna, brez leska in se dobro vleče in stiska. Običajno se končni izdelki iz take površine brusijo. (Ameriška označba Finish Nr. 2 D.)

Površina III c: Gladka, z valjanjem polirana površina. Hladno valjano, toplotno obdelano in luženo jeklo se kot končno fazo hladno valja (dresira).

S končnim hladnim dresiranjem se razteznost nekoliko zmanjša, vendar postane površina gostejša. Ta izvedba je posebno priporočljiva tam, kjer se na končno izdelanih izdelkih ne predvideva nobena nadaljnja površinska obdelava, ali pa se deli po preoblikovanju polirajo, kajti pri tej površini ni potrebno skoraj nobeno brušenje.

Površina IV: Kot osnovni izvor služijo pločevina izdelana po postopku III b. Površina se lahko z različnimi grobimi zrni eno ali dvostransko brusi.

V Ameriki so običajne naslednje izvedbe brušene površine z ozirom na velikost zrna:

Finish Nr. 4: Brušena površina z zrnatostjo 150. Površina je gladka, srebrnkasta in močno reflektirana. Uporablja se tam, kjer pride do izraza dober izgled in visoka korozijska odpornost.

Finish Nr. 6: Brušena in okrtučena površina. Z zrnatostjo 180 brušena površina se s Tampico krtačami končno ogladi. Površina je še finejša, lesk in refleksija sta nekaj nižja kakor pri Finishu Nr. 4.

Finish Nr. 7: Pol zrcalni sijaj. Z zrnatostjo 280 brušena in končno polirana površina. Refleksijska sposobnost take pločevine je zelo visoka.

Kadar se brušena pločevina dalje uporablja, se mora površina pri predelovanju zaščititi proti opraskanju. Običajno se to izvede z lepljenjem mehkega papirja ali obrizganjem s posebnimi laki.

Robovi pločevine morajo v splošnem biti gladki zarada tega se zelo pogosto obrusijo.

V splošnem lahko hladno valjarne trakove iz nerjavečega in kislino odpornega jekla izvedemo

v dveh variantah. Površina III b: hladno valjano, toplotno obdelano in luženo.

Površina III c: hladno valjano, toplotno obdelano, brušeno in končno hladno valjano (dresirano).

Izvedba površine po postopku III b odgovarja tudi za pločevino. Tudi po postopku III c izdelani trakovi in pločevina so si slični v pogledu gladkosti in sijaja. V splošnem pa lahko trdimo, da mora biti pri enaki izvedbi površina pri trakovih kvaliteto boljša kakor pri pločevini.

Kadar se trakovi razrežejo v plošče in dobavljajo v brušenem stanju, se oznaka za trak izenači z oznako za pločevino. Kvaliteta brušenih trakov in pločevine mora v glavnem zadržati enak nivo za obe obliki.

Pri mnogih preoblikovalnih postopkih je stanje površine manjšega pomena čeprav vpliva pri posebnih postopkih na vlečne lastnosti (npr. pri dvostopenjskih stiskalnicah). Pri teh posebnih postopkih ima hrapava površina prednost pred gladko iz naslednjih vzrokov:

1. trenje med oblico, držalom in rondelo je večje,
2. boljše oprijemanje mazila,
3. bolj natančno je možno naravnati držalo.

Pri dvostopenjskih stiskalnicah je naloga držala preprečiti gubanje. Pri prenizkih delovnih pritiskih držala se lahko pod držalom in v obliki naredi guba zaradi radialnih napetosti in natezanja. Delovni pritisk držala mora biti pri gladki površini večji kot pri hrapavi, če hočemo v obeh primerih doseči enakomerno vlečenje. Materiali z gladko površino so nagnjeni tudi k popačenju oblike zaradi notranjih napetosti, če je delovni pritisk držala prenizek, ali pa se površina ogrebe, če je pritisk previsok.

Največja neprijetnost hrapave površine je visoka obraba orodja ter visoki stroški končne obdelave, če je treba izdelke še naknadno brusiti.

Za preoblikovanje je enakomerna mat površina oznake III b najprimernejša. Pri tej izvedbi se dopolnjujeta dobra razteznost s površino, ki je za preoblikovanje in poznejše brušenje in poliranje najprimernejša.

Napetostni risi in žarjenje za odpravo napetosti

Napetostni risi se lahko pojavijo tudi več dni po oblikovanju in to predvsem na izdelkih, ki so pretrpeli velike deformacije. Risi, ki nastanejo med preoblikovanjem se običajno pojavljajo na tistih delih izdelkov, kjer so bile napetosti tako visoke, da je bila prekoračena natezna trdnost materiala.

Vzroki napetostnih risov, ki pri nerjavečih jeklih nastopajo po preoblikovanju, še niso popolnoma pojasnjeni. Nekateri trdijo, da lahko napetostne rise pojasnimo kot posebno obliko napetostne korozije. Vzroki in narava te korozije še do danes niso popolnoma pojasnjeni, vendar moramo upoštevati pri tem nekatera dejstva. Nagnjenje k napetostni risavosti je mnogo večje pri navzočnosti

mazil kot če preoblikovanje opravimo brez mazil. Vsekakor pa je potrebno pri tem dodatno obravnavati še tudi druge teorije za pojasnjevanje teh pojavov. Namen tega sestavka ni, da bi razpravljali o tem. Pozneje bodo opisane le metode, ki z gotovostjo preprečijo nastajanje napetostnih risov.

a) Splošno o napetostni risavosti

Po izkušnjah predelovalcev nastopajo napetostni risi najpogosteje pri globokem vlečenju in stiskanju. Pri stiskanju napetostno risavost lahko preprečimo, če uporabljamo jekla z višjo vsebnostjo niklja, ki so manj nagnjena k hladni utrditvi.

Vplive posameznih postopkov preoblikovanja je zelo težko določiti. S stališča geometrije lahko rečemo, da je cilindrična oblika manj nagnjena k napetostni risavosti od pravokotne tudi če uporabljamo enako kvaliteto jekla. Napetostni risi se pojavijo predvsem na ostrih robovih in na prirobnih delih izdelkov. Lahko trdimo, da na takih mestih nastopijo zelo visoke napetosti in sicer 80–90 % vseh tistih napetosti, ki so uporabljene za deformacijo. Cilindrični deli postanejo občutljivi za napetostno risavost, če je redukcija premera runde, na primer izdelka, večja od 50 %.

Nagnjenost k napetostni risavosti se zmanjša pri avstenitnih jeklih s povečano stabilizacijo avstenita, to je z večjim razmerjem Cr : Ni. Tako npr. kaže jeklo Č 4571 večjo nagnjenost k napetostni risavosti kot jeklo Č 4572 ali Č 4582. Zato priporočamo pri izbiri jekla posvetovanje s proizvajalcem jekla, da se skupno določi pravilna kemična sestava jekla, ki bi omogočala tudi težke preoblikovalne postopke brez pojavov, ali z malim pojavom napetostne risavosti.

V primeru, kadar se ne uporabljajo kvalitete sposobne za globoki vlek, se da s primernimi prijemi pojav napetostne risavosti zmanjšati ali odstraniti. Vlečeni izdelki s prirobnicami so manj nagnjeni k risavosti kot enaki izdelki brez prirobnic. Če se izdelek ne žari za odpravo napetosti temveč se uporabi v hladno utrjenem stanju, je priporočljivo odpadni del izdelka odrezati z visokoturno žago ali rezno ploščo, ker se predeli z najvišjimi notranjimi napetostmi pri tem ogrejejo in s tem znižajo nagnjenost k risavosti. Nagnjenost k napetostni risavosti raste z naraščajočo globino vlečenja in z zmanjšanjem radija na robovih.

Napetostna risavost se lahko pojavi tudi pri prehitrem ogrevanju na temperaturo žarjenja za odpravo napetosti. V tem primeru je vzrok risavosti prekrivanje delovanja toplotnega raztezanja in notranjih napetosti, in ne samo zaradi notranjih napetosti, kot nekateri napačno mislijo.

Enostavni deli z debelino stene do 3 mm se lahko običajno izpostavijo direktno temperaturi žarenja. Deli z večjo ali neenakomerno debelino sten se morajo počasi in enakomerno hitro ogrevati. Zato je najbolje take dele ogrevati skupno s pečjo.

b) Napetostna korozija

Napetostna korozija nastopi takrat, kadar delujejo istočasno napetosti in korozivni vplivi. Pomembno pri tem je, da tudi nizke napetosti v nekaterih korodivnih medijih občutno narastejo in povzročijo interkristalno risavost. Take nizke napetosti se lahko pojavijo po hladnem ravnanju izdelkov, po žarjenju za odpravo napetosti, po gašenju v vodi, po brušenju ali varjenju. Tudi prirezovanje polizdelkov, obrezovanje vogalov, žigosanje številok ali oznak in vsi drugi vzroki, ki povzročajo koncentracijo napetosti lahko povzročijo v nekaterih korodivnih medijih napetostno korozijo.

POSTOPKI PO PREOBLIKOVANJU

Zarjenje (gašenje) in žarjenje za odpravo napetosti po preoblikovanju

Da bi se med preoblikovanjem nastale napetosti odstranile, se morajo izdelki po hladnem preoblikovanju čimprej toplotno obdelati pri ca. 1050° C, ali pa odžariti za odpravo napetosti. Pri težjih postopkih predelave je nujno potrebno vmesno žarjenje pred nadaljnjim deformiranjem.

a) Temperature žarjenja (gašenja)

Avstenitna Cr—Ni jekla se žarijo običajno pri temperaturah nad 1000° C. V tabeli XI so zbrane običajno uporabljive temperature žarjenja. Žarjenje pod 900° C je treba odločno prepovedati, ker se do 900° C izločeni karbidi ne raztopijo zopet popolnoma v jeklu, kar povzroča zmanjševanje sposobnosti za nadaljnjo predelavo.

Nasprotno pa ni priporočljivo prekoračenje predpisanih temperatur, ali predolgo zadržanje na temperaturah žarjenja, ker nastopi pri nekaterih nestabiliziranih kvalitetah (npr. Č 4571) pojav naraščanja zrn, kar povzroči hrapavo površino. Poleg tega prekoračenje temperature in predolgo žarjenje povzročita premočno škajanje jekla.

Tabela XI — Temperature žarjenja (gašenja) za avstenitna Cr-Ni jekla

JUS	Oznaka jekla			Temperatura žarenja z gašenjem v vodi za ≥ 2 mm in na zraku ≤ 2 mm v °C
	DIN 17007	AISI	Interna Z. J.	
—	1.4307	—	—	1000—1050
Č 4571	1.4300	302	—	1050—1100
—	1.4310	301	—	1050—1100
—	1.4301	304	Pr11 norm.	1000—1050
Č 4572	1.4541	321	—	1020—1070
Č 4582	1.4550	347	—	1020—1070
Č 4573	1.4401	316	—	1050—1100
Č 4574	1.4571	—	—	1020—1070
Č 4583	1.4580	—	—	1020—1070
—	1.4436	—	Pr11Mo3	1050—1100
—	1.4573	—	Pr11Mo3Ti	1020—1070
—	1.4583	—	Pr11Mo3Nb	1020—1070
—	1.4306	304L	Pr11leks.	1000—1050
—	—	305	—	1020—1070

b) Toplotna obdelava in izločanje karbidov (senzibilizacija)

Da dosežemo dobro razteznost in preoblikovalnost avstenitnih Cr-Ni jekel moramo izvesti ohlajanje s temperatur žarjenja čim hitreje in sicer z gašenjem v vodi ali na zraku. Zaradi tega hitrega ohlajanja zadrže ta jekla avstenitno strukturo. Poleg tega je s tem onemogočeno izločanje kompleksnih karbidov, ki povzročajo magnjenje jekla k posebni vrsti korozije imenovane interkristalna korozija.

Karbidi se izločajo ali pri počasnem ohlajanju ali pri žarjenju v temperaturnem intervalu od 430—900° C. Nagnjenost k izločanju je odvisna od vsebnosti ogljika v jeklu in od temperature žarjenja.

Način ohlajanja je odvisen od teže in oblike izdelkov. V vsakem primeru pa mora biti hitrost ohlajanja tolikšna, da pade temperatura od temperature žarenja do 430° C (to je spodnja temperaturna meja izločanja karbidov) v največ treh minutah). Če se upoštevajo te zahteve se s hitrim ohlajanjem na zraku ali v vodi, odvisno od debeline sten izdelka, popolnoma izognemo izločanju karbidov.

Nevarnost izločanja karbidov lahko preprečimo z znižanjem vsebnosti ogljika v jeklu. Zaradi teh zahtev so v zadnjem času razvili proizvajalci jekla z manj kot 0.03 % C. V takih jeklih se v kritičnem temperaturnem območju ne izločajo (ali pa v zanamrljivo majhni količini) karbidi in zaradi tega npr. zavarjene konstrukcije iz teh jekel ni treba naknadno toplotno obdelati, kar je pri drugih kvalitetah pogosto nujno potrebno, ker se v prehodnih toplotnih conah izločajo karbidi, ki povzročajo interkristalni razpad jekla.

Vpliv izločanja karbidov na preoblikovalnost je zelo odvisen od uporabljenih postopkov. Pri vlečenju, močnem upogibanju in podobnih postopkih postane površina bolj groba. Če je poleg tega jeklo še grobo zrnato, se površina celo lahko natrga.

c) Ponovno raztapljanje karbidov

Kadar imamo v jeklu že izločene karbide jih lahko raztopimo v osnovni strukturi jekla samo z žarjenjem in gašenjem. To toplotno obdelavo moramo izvesti preden izdelke izpostavimo korozivnemu mediju, ki povzroča interkristalno korozijo.

V mnogih primerih pa zaradi oblike in velikosti izdelkov tak način toplotne obdelave ni mogoč. Te težave, kakor tudi dejstvo, da se mnogi izdelki uporabljajo v za izločanje karbidov občutljivem temperaturnem intervalu med 430 in 900° C so bili osnovni vzrok pri nadaljnjem razvoju Cr-Ni jekel, ki so stabilizirana s Ti (Č 4572) ali Nb/Ta (Č 4582). Delovanje teh dveh elementov je v tem, da zaradi višje afinitete do ogljika, kakor jo ima krom večeta prosti ogljik v stabilne karbide. Zaradi tega ne pride do izločanja kromovih karbidov in z njim

vezane osiromašitve okolice kristalnih mej na kromu, kar je osnovni vzrok za pojav interkristalne korozije.

V splošnem zadostuje za stabilizacijo s Ti minimalno 5 x toliko Ti kot je C v jeklu. V primeru stabilizacije z Nb/Ta mora biti razmerje proti ogljiku minimalno 8:1.

V primeru kadar je Cr-Ni jeklom zaradi povečanja korozijske odpornosti dodan molibden in so temperature uporabe izdelkov take, da zahtevajo stabiliziranje, se tudi pri teh jeklih uporabljajo Ti in Nb/Ta v enakem razmerju. Molibden sicer zadržuje izločanje karbidov, ne prepreči pa ga nikoli in je zato stabiliziranje neobhodno potrebno.

d) Stabilizirana Cr-Ni jekla pri varjenju

Pri varjenju, neodvisno po kakšnem postopku je izvedeno, pridejo neke cone v bližini šiva na temperature, pri katerih se izločajo karbidi, to je med 430 in 900° C. Dimenzije zavarjenega materiala in metode varjenja določajo čas, ko je jeklo izpostavljeno kritičnim temperaturam (kritičnim za izločanje karbidov) in s tem določajo obseg izločanja. Problemu izločanja karbidov pri varjenju se lahko izognemo z izbiro stabiliziranih ali nizkoogljčnih (pod 0,03 % C) kvalitet. Taka izbira jekla pa je opravičljiva le takrat, kadar izdelkov ni mogoče žariti ali pa, če so korozijski mediji, kjer bodo izdelki vgrajeni tako močni, da moramo imeti izločkov prosto jeklo oziroma varjene spoje.

c) Karbidi, korozija in žarjenje

Pri obravnavanju vpliva izločenih karbidov je treba posvetiti pozornost moči korozijskih medijev. Znano je, da na primer točkasto zavarjene dele iz jekla Č 4571 atmosfera korozijsko ne napade. Zavarjena oprema iz tega jekla se uporablja npr. v industriji žita brez korozijskih problemov. Dejstvo je, da obstaja mnogo šibkih korozijskih medijev v katerih ni problemov s korozijo, čeprav so konstrukcijski elementi izdelani z varjenjem avstenitnih jekel z vsebnostjo do 0,12 % C, ki niso stabilizirani, ali pa elementi po izdelavi niso toplotno obdelani.

Težko je o teh problemih dati posplošena navodila. Priporočljivo je posvetovanje s proizvajalcem jekel in skupno izbrati jeklo prave kvalitete.

f) Sigma faza

Posebna oblika izločkov, ki lahko nastopi pri avstenitnih jeklih je tako imenovana sigma faza. Nastane v temperaturnem intervalu med 450 in 900° C. Hitrost izločanja je zavisna od kemične sestave jekla, temperature in časa. Sigma faza je zelo trda, nemagnetna in kompleksne kemične sestave.

Osnovni vpliv sigma faze je zmanjšanje vlečnosti jekla. Zaradi tega raztržna trdnost in trdota občutno narasteta. Jeklo, ki zaradi napačne termične obdelave vsebuje izločeno sigma fazo ne moremo hladno preoblikovati. Nastajanje sigma faze pospešujejo feritotvorni elementi, kakor so

Cr, Si, Nb, Ti, Ta in Mo; medtem, ko jo avstenitotvorni elementi Ni, Mn, N in C zavirajo. Pri jeklih, ki jih v tem sestavku obravnavamo se sigma faza pojavlja najbolj pogosto pri nizkoogljčnih kvalitetah in pri kvalitetah z Mo in Mo ter Nb, vendar šele po daljših časih žarjenja v kritičnem temperaturnem intervalu.

Sigma fazo lahko odstranimo iz strukture vseh jekel z žarenjem pri temperaturah nad 1050° C in hitrim ohlajevanjem po žarjenju.

g) Žarjenje za odpravo napetosti po preoblikovanju

Za odstranitev napetosti je priporočljiva toplotna obdelava pri temperaturah nad 1000° C z hitrim ohlajevanjem. V posebnih primerih pa se ta način toplotne obdelave ne da izvesti, ali pa se zaradi trdnostnih lastnosti ne sme izvesti. V tem primeru se priporoča žarjenje za odpravo napetosti pri nižjih temperaturah. Pri nekaterih preoblikovalnih postopkih lahko nastopajo na končnem izdelku zelo visoke napetosti, ki se z žarjenjem v temperaturnem intervalu med 260 in 430° C z končnim ohlajevanjem na zraku lahko odstranijo. Pri običajnem žarjenju za odpravo notranjih napetosti pri 320° C (s časom zadržanja od 1/2 do 2 uri) lahko pride do ponovnega močnega pojava konic napetosti. To se zelo često pojavlja pri jeklu Werkstoff Nr. 1.4310. V primeru, da uporabljamo stabilizirane kvalitete (Č 4572 in Č 4582) gremo lahko s temperaturo žarjenja do 870° C. Pri tem pa hitro ohlajevanje ni neobhodno potrebno.

Že prej je bilo poudarjeno, da pri žarjenju za odpravo notranjih napetosti pri nizkih temperaturah meja 0,2 % pri avstenitnih jeklih naraste. (glej tabelo IX). Pri tem pa je treba ponovno poudariti, da pri temperaturah nad 430° C, kakor je že bilo pojasnjeno, pride do izločanja karbidov in da so višje temperature dovoljene le pri nizkoogljčnih in stabiliziranih jeklih.

Žarjenje za odpravo napetosti je priporočljivo za znižanje napetosti tudi pri delih, ki bodo kasneje obrezani ali posamezni deli odstranjeni.

Če so temperature žarjenja za odpravo napetosti sorazmerno visoke n.pr. 400° C je tudi pričakovati, da napuščni filmi niso tako lahko odstranljivi, kakor tisti, ki nastanejo pri nižjih temperaturah žarjenja.

h) Obratovalni predpisi za žarjenje

Predvsem moramo poudariti, da dosežemo najboljše rezultate pri žarjenju v pečeh, ki delajo z oksidacijsko atmosfero. V oksidacijskih pogojih nastane škaja, ki se da z luženjem mnogo lažje odstraniti.

Redukcijska atmosfera (atmosfera brez prebitka kisika) povzroča v splošnem tvorbo zelo tankih škaj, ki so tesne za prevod plinov in se zaradi tega zelo tesno prilegajo površini. To povzroča pri naknadnem luženju Cr-Ni jekel močan

odpor delovanju kislin. V takem primeru se mora pogosto nastalo škajo predhodno mehansko obdelati s peskanjem.

Ker naogličenje površine občutno vpliva na korozijsko odpornost, se moramo atmosferi, ki naogličuje popolnoma odpovedati. Iz istega vzroka moramo tudi mazila in ostanke olja in ostalih organskih substanc, pred žarjenjem popolnoma odstraniti.

V primeru, da uporabljamo oblice, ki vsebujejo mnogo cinka, ki se lahko pri oblikovanju delov prime površine izdelkov, se mora ta cink pred žarjenjem popolnoma odstraniti.

Odstranitev je možna z raztopino 18—30 % solitrne kisline in 1—3 % fluorovodikove kisline. Normalno traja raztapljanje pri sobnih temperaturah 20—45 minut. Za skrajšanje časa luženja se lahko temperatura lužine dvigne na 65° C.

Tudi kadar se uporabljajo svinčene oblice, se morajo izdelki pred žarjenjem očistiti in sicer v 15—20 % solitrni kislini, pri temperaturi 60—80° C.

Poudariti je treba, da ni nujno, da atmosfera peči, ki pri nelegiranih oziroma nizko legiranih jeklih povzroči razogličenje, povzroči isti efekt tudi pri avstenitnih Cr-Ni jeklih.

Če želimo dele zadržati absolutno brez škaje, moramo žarenje opraviti v zaščitnih atmosferah (v suhem krakanem amoniaku ali v suhem vodiku). Na ta način se lahko žarijo deli z visokim sijajem brez tvorbe napuščnih filmov.

Postopki za odpravo škaje

Luženje mora biti zelo pazljivo izvedeno, ker v nasprotnem primeru nastopijo težave pri nadaljnji predelavi in kar je še pomembnejše, zmanjša se korozijska obstojnost jekel.

a) Opis lužilnih kopeli

Najpogosteje se uporabljajo za luženje razredčene mešanice običajnih trgovskih kvalitet solitrne, fluorovodikove in žveplene kisline. Koncentracija in temperatura lužilnih raztopin je odvisna od oblike škaje, katera je odvisna od kemične sestave jekel in različnih postopkov termične obdelave. Za luženje v svetu najpogosteje uporabljajo mešanice solitrne, fluorovodikove, žveplene in solne kisline.

Hladno oblikovani in kasneje žarjeni izdelki se lužijo drugače kot toplo oblikovani ali varjeni.

Pri hladno oblikovanih in kasneje žarjenih delih je postopek razdeljen v dve fazi: predluženje in končno luženje. Običajno predlužilne kopeli sestavljajo:

A.	
solitna kislina (50 %)	10—25 ut. %
voda	ostanek
temperatura kopeli	20—60° C
čas luženja	ca. 60 minut

B.	
solitna kislina (50 %)	10—30 vol. %
fluorovodikova kislina	2,5—3 vol. %
voda	ostanek
temperatura kopeli	20—40° C
čas luženja	ca. 15 min.

Lužina B. se lahko v nekaterih primerih uporablja kot lužina za končno luženje.

Med predluženjem in končnim luženjem se izdelki izperejo z vodo. Za končno luženje se uporabljajo lahko naslednje lužine.

C.	
solna kislina (33 %)	50 vol. %
solitna kislina (50 %)	5 vol. %
voda	ostanek
temperatura kopeli	30—50° C
čas luženja	10—20 min.

Za luženje zvarov in toplo oblikovanih delov se uporabljajo običajno raztopina B ali pa naslednja raztopina:

D.	
solna kislina (33 %)	10—15 vol. %
solitna kislina (50 %)	5 vol. %
žveplena kislina (koncentrirana)	10—12 vol. %
voda	ostanek
temperatura kopeli	20—40° C
čas luženja	5—10 minut

Pri elektrolitskem luženju se po pazljivem predhodnem luženju z raztopinami B ali C uporablja lužina naslednje sestave:

E.	
solna kislina (33 %)	20 vol. %
solitna kislina (50 %)	5 vol. %
fosforna kislina (90 %)	5 vol. %
voda	ostanek
temperatura kopeli	70—90° C
čas luženja	kratak čas, največ nekaj minut

V vseh fazah luženja, posebno pa po končnem luženju se morajo izdelki iz nerjavečih in kislino-odpornih avstenitnih jekel takoj temeljito oprati v vodi, ker drugače ostanki kisline na površini povzročajo rumenorjave lise.

V USA priporočajo za luženje avstenitnih krom nikeljevih jekel predvsem naslednje lužine:

F.

solitna kislina (70 %)	10—25 vol. %
fluorovodikova kislina (50 %)	2—4 vol. %
voda	ostanek
temperatura kopeli	do 65° C
čas luženja	min. 10 min.

Priporoča se mešanje lužine

Za slabo oprijemljivo škajo (ali okside) ima raztopina 10—15 vol. % solitrne kisline in 1 vol. % fluorovodikove kisline. Temperatura luženja je do 65° C. Pri trdo prijemajoči škaji mora biti razmerje solitrne kisline proti fluorovodikovi manjše, ker solitna kislina omejuje delovanje fluorovodikove. Poleg tega večji delež solitrne kisline ne povzroča tako velike izgube kovine med luženjem kakor manjši delež. Normalno vsebujejo lužilne kopeli 25 % solitrne kisline in 2 % fluorovodikove kisline ter obratujejo pri temperaturi ca. 65° C. Ta mešanica kislin pa zahteva stalno kontrolo razmerja obeh kislin. Če je razmerje solitrne proti fluorovodikovi kislini manjše od 10, se lahko pojavi posebna oblika korozije, tako imenovana točkasta korozija (pitting).

G.

žveplena kislina z inhibitorjem (93 %)	8—10 vol. %
voda	ostanek
temperatura kopeli	70—80° C

čas luženja 10—45 minut pri
trdi škaji tudi daljši časi
Priporoča se mešanje lužine

Nekateri predelovalci in proizvajalci avstenitnih jekel smatrajo za zelo učinkovit naslednji postopek luženja:

Predluženje v raztopini G, po predluženju temeljito izpiranje izdelkov, končno luženje v mešanici F in po luženju zopet temeljito izpiranje izdelkov z vodo.

Drug možen način luženja je postopek z raztaljenimi alkalijami, ki nagrizejo samo škajo, ne pa tudi osnovnega materiala. Ti postopki pridejo sicer v poštev za toplo valjane trakove in pločevino. Zaradi zanimivosti in popolnosti pa vseeno na kratko omenjamo bistvo postopka po fazah.

A.

1. faza — predobdelava materiala v raztaljenem natrijevem hidroksidu, 1—20 % (normalno 5—10 %), z dodatkom oksidnih soli, kot so nitrati, klorati, peroksidi, bikromati, manganati, in permanganati. To je tako imenovano Hookerjeva kopel).

2. faza — po predobdelavi se material hitro ohladi v vodi in temeljito očistiti s pranjem.

3. faza — luženje v razredčeni žvepleni kislini (8—11 vol. % žveplene kisline z inhibitorjem) pri 70—80° C 1—2 minuti. Po luženju spiranje s tekočo vodo.

4. faza — luženje 6—10 minut v 7 % solitni kislini z dodatkom 1 % fluorovodikove kisline. Po luženju temeljito spiranje s tekočo vodo.

B.

1. faza — predobdelava v raztaljenem natrijevem hidroksidu z dodatkom 1,5—2 % natrijevega hidrida, pri temperaturi 400—430° C; 10—15 minut. (postopek po Du Ponte de Nemours et Co).

2. faza — material hitro ohladiti v vodi in temeljito očistiti s pranjem.

3. faza — luženje v razredčeni žvepleni kislini (8—11 vol. % 96% žveplene kisline z inhibitorjem), pri temperaturi 70—80° C, 1—2 minut. Po luženju spiranje s tekočo vodo.

4. faza — končno luženje 6—10 minut v mešanici 7 % solitrne kisline z 1 % fluorovodikove kisline. Po luženju je treba material temeljito oprati.

Kakor je bilo že poudarjeno, je sestava škaže, ki se tvori na avstenitnih nerjavcih jeklih med predelavo, (varjenjem), ali pri toplotni obdelavi, odvisna ne samo od kemične sestave jekla temveč tudi od atmosfere v žarilni peči, od časa in temperature žarjenja. Ker je delovanje lužin odvisno v veliki meri od vrste škaže, je treba pred redno proizvodnjo opraviti poizkusno žarjenje in luženje v manjšem obsegu, da lahko nato na podlagi dobljenih rezultatov določimo najoptimalnejši tehnološki postopek.

b) Splošna pravila luženja

Lužilne kopeli se ne smejo uporabljati do zadnje možnosti, t. j. do popolne izčrpanosti lužine. V lužilnih kopelih, ki vsebujejo solno kislino nastane pri luženju železov klorid, ki povzroča točkasto korozijo (Pitting) in neenakomerno luženje.

V mnogih primerih je ekonomičneje škajo s posebnim luženjem razrahljati in jo potem z mehaničnim postopkom s krtačenjem ali močnimi vodnimi ali parnimi curki odstraniti in izdelke z vročo vodo temeljito očistiti. V primeru, da je odstranitev nepopolna, je treba proces ponoviti. Če se škaja kljub ponavljanju ne da dobro odstraniti je temu edini vzrok neprimerna, t. j. reduktivna atmosfera pri toplotni obdelavi.

Preostala škaja ali majhni železni delčki vtisnjeni v površino so lahko kali za rjavenje ali drugo obliko korozije. Zaradi te možnosti se morajo izvesti primerni postopki kontrole. Če vizuelni pregled ne zadošča (in to je največkrat primer) je treba kontrolo izvesti z občutljivejšimi metodami, običajno s kemičnimi.

c) Peskanje

Peskanje, ki je za ogljikova in legirana jekla običajna metoda čiščenja površine od škaže, se pri

avstenitnih Cr-Ni jeklih redkeje uporablja. V kolikor pa se vseeno uporablja, je treba upoštevati sledeče.

(1) Uporabljati se mora čist, železa prost pesek. V napravah, kjer se poleg avstenitnih jekel peskajo tudi druge kvalitete jekel, se mora pesek za avstenitna jekla vskladiščiti v posebnih komorah.

(2) Velikost zrn in pritisk udarca morata biti tako izbrana, da se škaže ne vtiska v jeklo temveč samo drobi.

(3) Če se iz kakršnegakoli vzroka uporablja jeklen pesek, se morajo izdelki ali jeklo po peskanju obvezno lužiti, tako da se odstranijo vse sledi vtisnjene železa. Ostrorobi pesek se ne sme uporabljati v nobenem primeru.

(4) Na splošno samo peskanje ne zadostuje za popolno odstranitev škaže in zato običajno peskanju sledi še luženje v eni izmed prej omenjenih lužin.

(5) Kot končna faza tudi po luženju pa je priporočljivo izdelke oprati s potapljanjem v razredčeni solitrni kislini, da se s tem odstranijo še zadnji železni delci s površine, ki bi sicer lahko kasneje povzročali rjavenje ali korozijo.

d) Elektropoliranje

Kakor je že bilo pojasnjeno glede izvedbe kvalitete površine, se da površina oznake III B in predvsem III C dobro brusiti in polirati. V posebnih primerih se lahko izvede tudi elektropoliranje. Pri tem postopku se avstenitno jeklo anodno vključi v tokokrog, tako da pride do odtapljanja kovine s površine. V praksi so razviti mnogi postopki elektropoliranja o katerih pa v tem prispevku ne bomo razpravljali.

e) Pasiviranje

Uporabnost pasiviranja avstenitnih jekel z reagiranjem površine z močnimi oksidativnimi reagenti je v tem, da se izboljša korozijska obstojnost izdelkov.

Po proizvodnih izkušnjah v USA o pasiviranju avstenitnih jekel so prednosti tega postopka naslednje:

Prva naloga pasivizacije s solitrno kislino je v tem, da se nerjaveča kislinoodporna avstenitna

jekla kemično očistijo predvsem železnih delcev, ki se skoraj vedno med predelavo vtisnejo v površino.

Precej manj pomembno je delovanje pasiviranja na odebelitev zaščitnega oksidnega filma, ki izboljšuje korozijsko odpornost jekla. Ugotovljeno je, da se pravilno očiščena površina avstenitnih jekel že na zraku in v mnogih drugih medijih takoj ali v zelo kratkem času sama pasivira v takem obsegu, da umetno pasiviranje največkrat ni potrebno. Le v naslednjih primerih je pasiviranje potrebno izvesti:

(1) Če so bile pri mehanskem čiščenju z jekleno volno, jeklenimi krtačami, s peskanjem ali iz mazil nanešene na površino tuje nezaželene kovine.

(2) Kadar mora imeti površina najvišjo korozijsko obstojnost, t.j. kadar ležijo korozijski pogoji na meji korozijske obstojnosti za predpisano kvaliteto. Pasiviranje površine se doseže z različnimi koncentracijami kisline, primernimi temperaturami in časom. Pasiviranje s solitrno kislino je npr. možno pri koncentracijah od 20—40 vol. %. Izpostavljenost delovanju pri temperaturi 55—70°C traja 30—60 minut. Po pasiviranju s solitrno kislino se mora obvezno izvesti pranje z vročo čisto vodo.

Premočno koncentrirane kisline je treba v vsakem primeru opuščati. Tako npr. 65 ut. % solitna kislina pasivira pri sobni temperaturi tudi v površino vtisnjene železne delce in je s tem preprečen osnovni namen pasiviranja, t.j. očiščenje površine železnih delcev.

Elektropolirane dele ni treba posebej pasivirati, ker se že s postopkom poliranja izvede samopasiviranje površine.

Literatura

1. DIN 17006 in DIN 17007
2. Stahl — Eisen Werkstoff Blatt 400—60
3. AISI (American Iron and Steel Institute) norme
4. JUS norme
5. Stainless and Heat — Resisting Steels for Modern Industry — izdano United States Steel Corporation Pittsburgh/Pa 1940
6. Watter, M., Lincoln, R. A.: Strength of Stainless Steel Structural Members as Function of Design. Prva izdaja Pittsburgh/Pa 1944
7. Ergang, R.: Huppertz, P. H.: Bänder, Bleche, Rohre 1961 stran 433—440
8. Podatki internih raziskav RO — Ž. J.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Zweck dieses Artikels ist einige Grundlagen über die qualitative und technologische Besonderheiten der nichtrostenden und säurebeständigen Cr-Ni Stähle, den Fachleuten welche sich mit der Verarbeitung dieser Stähle befassen, zu geben. Damit möchten wir unseren Kunden eine entsprechende und richtigere Auswahl der inländischen Stahlsorten ermöglichen, den ausländischen Stahlsorten eine äquivalente inländische Stahlqualität zu

bestimmen, die Grundbegriffe der metallurgischen und physikalischen Erscheinungen, welche die Verarbeitung dieser Stähle bis zu den Endprodukt begleiten zu erläutern und die Schwierigkeiten zu beschreiben, welche bei der richtigen und falschen Verarbeitung hervortreten.

Und zuletzt deuten wir noch auf die Art für die Beseitigung dieser Schwierigkeiten.

SUMMARY

The paper has intention to give the basic conception about the quality and technological specialities of stainless austenitic Cr-Ni steels to the experts who use and manufacture these steels. This article should help customers to chose the most adequate and correct home-made steels, to determine which home-made steels are

equivalent to the foreign steels, to make clear the basic concepts about metallurgical and physical phenomena which accompany the manufacturing of these steels to the final products, to describe the difficulties at the proper and improper manufacturing, and to show how to overcome these difficulties.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель статьи дать основные понятия о качественных и технологических особенностях нержавеющей и кислотостойких аустенитных Cr-Ni сталей специалистам которые заняты с потреблением и переработкой этих сталей.

Цель статьи также дать покупателем необходимые сведения для правильного и самого подходящего выбора домашних сортов

сталей, выбрать и определить зарубежным сортам стали соответствующие домашние сорта, выяснить основные понятия металлургических и физических особенностей которые сопутствуют переработку этих сталей до конечного изделия, описать затруднения которые наступают при правильной и неправильной переработки и указать направление на основании которого затруднения удастся элиминировать.