

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūrų technikos fakultetas

Mechanikos inžinerijos katedra

Valdas Kinderis

**MAISTO PRAMONĖJE
NAUDOJAMŲ PLIENŲ
ATSPARUMO KOROZIJAI
TYRIMAI**

Perdirbimo pramonės inžinerijos studijų programos
magistro baigiamasis darbas

KLAIPĖDA, 2010

ANOTACIJA

Autorius: Valdas Kinderis

Magistro baigiamojo darbo pavadinimas: Maisto pramonėje naudojamų plienų atsparumo korozijai tyrimai

Plienai AISI 304L ir AISI 316L vieni iš labiausiai naudojamų nerūdijančių plienų maisto pramonės įrenginių gamybai. Atliktos mokslinių tyrimų analizės metu paaiškėjo, kad tam tikrose aplinkose plienai AISI 304L ir AISI 316L praranda atsparumą korozijai. Taip pat teigiama, kad labiau korozijai atsparesnis ir labiau higieniškas nerūdijantis plienas AISI 316L.

Atlikti eksperimentiniai plienų AISI 304L ir AISI 316L atsparumo korozijai tyrimai, laikant bandinius valgomosios druskos bei pieno rūgšties tirpaluose. Po 40 savaičių eksperimentinių tyrimų užfiksuota plieno AISI 304L taškinė korozija. Plieno AISI 316L korozijos židinių nepastebėta. Plienų struktūra ištirta atlikus mikroskopinę analizę.

PAGRINDINIAI ŽODŽIAI: AISI 304, AISI 304L, AISI 316L, korozija, pramonė, plienas.

Author: Valdas Kinderis

Title of master theses: Investigation of corrosion resistance of food industry material

Steel AISI 304L ir AISI 316L among the most used stainless steel in the food production facilities. Completed research analysis showed that in certain environments steels AISI 304L and AISI 316L loses resistance to corrosion. It also shows that more hygienic and more corrosion-resistant stainless steel AISI 316L.

Experimental stainless steel AISI 304L ir AISI 316L corrosion resistance tests were carried out in salt and lactic acid solutions. After 40 weeks was observed in experimental studies of steel AISI 304L pitting corrosion. Steel AISI 316L corrosion focus were observed. Steel structure tested after microscopic analysis.

KEY WORDS: AISI 304, AISI 304L, AISI 316L, corrosion, industry, steel.

TURINYS

ĮVADAS.....	7
1. NERŪDIJANTYS PLIENAI MAISTO PRAMONĖJE.....	8
1.1. Nerūdijantys plienai AISI 304L ir AISI 316L.....	11
1.2. Legiruojančių elementų įtaka nerūdijantiems plienams.....	13
1.3. Nerūdijančių plienų korozijos priežastys.....	14
1.4. Reikalavimai nerūdijantiems plienams maisto pramonėje.....	17
2. MOKSLINIŲ TYRIMŲ APŽVALGA.....	24
3. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI.....	30
3.1. Tyrimų bandinių paruošimas.....	31
3.2. Eksperimentinių tyrimų sąlygos.....	34
3.3. Mikrostruktūros tyrimų metodika.....	35
4. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI.....	38
4.1. Plienų AISI 304L ir AISI 316L korozijos tyrimas.....	38
4.2. Plienų AISI 304L ir AISI 316L mikrostruktūros tyrimas.....	41
5. PLIENŲ AISI 304L IR AISI 316L PALYGINAMOJI ANALIZĖ.....	44
IŠVADOS.....	49
REKOMENDACIJOS.....	49
LITERATŪRA.....	50

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.3.1 pav. Plieno AISI 304L korozijos rūšys ir jų dažnumas	15
1.3.2 pav. Įvairių nerūdijančio plieno rūšių pasiskirstymas pagal atsparumą elektrocheminei korozijai	16
1.4.1 pav. Pieno rūgšties reakcija su geležimi	18
1.4.2 pav. Higienos rizikos įvertinimas	20
1.4.3 pav. Įrenginių valymas: a) nepriimtina konstrukcija, b) priimtina konstrukcija	21
1.4.4 pav. Įrenginių korpuso dalių sujungimas: x) nepriimtinas, a) priimtinas (suvirintas)	21
1.4.5 pav. Įrenginio korpuso suvirinimas: a) nepriimtinas, b) priimtinas (lygus paviršius)	22
1.4.6 pav. Talpų korpuso forma: a) nepriimtina, b) priimtina	22
1.4.6 pav. Įrenginių korpuso kampai ir briaunos: a) nepriimtina, b) priimtina, c) nepriimtina, d) priimtina	23
2.1 pav. Plienu 1Kh13, 2Kh13, 1Kh12N2VMFBA, 15Kh16N2M ir Kh18N10T stipruminių savybių išsidėstymas priklausomai nuo aplinkos poveikio	25
2.2 pav. Plienu grupių stipruminių savybių pasiskirstymo regresijos lygtys ir koreliacijos koeficientai	26
2.3 pav. Plienu grupių santykinio pailgėjimo pasiskirstymo regresijos lygtys ir koreliacijos koeficientai	26
2.4 pav. Mikrografinis plieno AISI 316L paviršiaus vaizdas po 60 dienų korozijos tyrimo: a- nepaveiktas paviršius, b- įzotintas paviršius (trukmė-30 min), c- įzotintas paviršius (trukmė-6 h)	27
2.5 pav. Plieno AISI 304L korozijos židinių mikrografinis vaizdas: a- grūdintas paviršius, b- negrūdintas paviršius	28
2.6 pav. Liekamasis sporų kiekis ant plienų paviršiaus po plovimo	28
2.7 pav. Mikrografinis plienų paviršių vaizdas po plovimo	29
3.1.1 pav. Bandiniai su suvirintais sujungimais korozijos bei mikrostruktūros tyrimams	31
3.1.2 pav. Bandiniai: a-su paveikta ir nepaveikta rūgšties tirpalo siūlėmis; b-su paveikta rūgšties tirpalo siūle; c-su nepaveikta rūgšties tirpalo siūle	32
3.1.3 pav. Tyrimų bandinio forma ir gabaritai	33
3.2.1 pav. Bandiniai: a-skirti laikymui druskos tirpale (13 vnt); b-skirti laikymui pieno rūgšties tirpale (9 vnt)	34
3.3.1 pav. Optinis mikroskopas (KRÜSS® MMB 2200)	36
4.1.1 pav. Bandinių mikrografinis vaizdas po 40 savaičių druskos tirpale: a) AISI 304L,	

b) AISI 316L	38
4.1.2 pav. Bandinių mikrografinis vaizdas po 40 savaičių pieno rūgšties tirpale: a) AISI 304L b) AISI 316L	39
4.2.1 pav. Priešeutektoidinio (a), eutektoidinio (b) ir užeutektoidinio (c) plieno mikrostruktūros schemos	41
4.2.2 pav. Austenitinio virsmo proceso schema	41
4.2.3 pav. Austenitinio plieno bandinių mikrostruktūra: a) AISI 304L, b) AISI 316L	42
4.2.4 pav. Austenitinio plieno bandinių mikrostruktūra ties suvirinimo siūle: a) AISI 304L, b) AISI 316L	42
5.1 pav. Tuščių dėžių keliantysis transporteris	45
5.2 pav. Transporteriams investuojamų pinigų srautai	46
5.3 pav. Sutaupomų pinigų srautai	46
5.4 pav. Pinigų srautai 10 – ies metų laikotarpiu	47
5.5 pav. Palyginamieji pinigų srautai 10 – ies metų laikotarpiu	47

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1. lentelė Nerūdijančio plieno tipai ir jų savybės.	9
1.1.1. lentelė. Nerūdijančių plienų AISI 304L ir AISI 316L cheminė sudėtis	11
1.1.2. lentelė. Nerūdijančių plienų AISI 304L ir AISI 316L žymėjimas	11
1.3.1 lentelė. Korozijos skirstymas pagal suardymo pobūdį.	14
2.1. lentelė. Plieno AISI 304 ir DSS 2101 cheminė sudėtis.	24
2.2 lentelė. Plieno AISI 304 ir DSS 2101 bandymo (chloridų įtaka korozijai) rezultatai.	24
3.1.1 lentelė. Bandinių suvirinimas.	31
3.1.2 lentelė. Bandinių kiekis.	33
3.2.1 lentelė. Eksperimentinių tyrimų sąlygos	34
3.3.1 lentelė. Ėsdinimo medžiagos.	35
3.3.2 lentelė Optinio mikroskopo MMB 2200 techniniai duomenys.	37
4.1.1 lentelė. Korozijos židinių plotų suvestinė.	39

ĮVADAS

Daugeliui pramonės šakų įrenginių gamybai yra naudojamas nerūdijantis plienas. Viena iš pagrindinių šakų – maisto pramonė. Maisto pramonėje daugiausia, dėl savo savybių, naudojami nerūdijantys plienai – tai AISI 304, AISI 304L ir AISI 316L. AISI 316L naudojamumas yra palyginti mažas nei AISI 304 ir AISI 304L, todėl pastarieji užima daugiau nei pusę visų pagaminamų ir naudojamų nerūdijančių plienų rinkos. Nors AISI 316L naudojamas mažiau, tačiau savybės yra geresnės nei AISI 304 ir AISI 304L. Daugumos gamintojų nerūdijančio plieno pasirinkimą lemia kaina. Vienas iš ekonomiškumą nusakančių faktorių yra atsparumas korozijai arba medžiagos/įrenginio tarnavimo laikas įvertinant korozijos įtaką.

Įrengimų gamyboje vienas dažniausiai naudojamų sujungimų – neišardomas sujungimas – suvirinimas. Suvirinant, pasiekama 600-900⁰C temperatūra, kurioje pradeda susidaryti chromo karbidai, o tai mažina plienų AISI 304, AISI 304L ir AISI 316L atsparumą korozijai. Todėl rekomenduojama naudoti kuo mažiau turintį anglies plieną, nes tada sumažėja susidarančių karbidų kiekis. Šiuo požiūriu labiau tinkamas plienas AISI 316L.

Maisto gamybos procesuose naudojamų įrenginių korozijos produktai kenksmingi ir jų sąveika su maisto produktais yra neleistina. Korozijos paveiktas įrenginys pažeidžia nustatytus higienos normų reikalavimus, todėl maisto pramonėje yra nepageidaujamas reiškinys.

Darbo tikslas – nustatyti plienų AISI 304L ir AISI 316L atsparumą korozijai terpėse, kurios analogiškos pieno, daržovių ir mėsos gamybos pramonėje esančioms terpėms.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti mokslinių tyrimų apžvalgą, kuriuose buvo tiriami plienai AISI 304, AISI 304L ir AISI 316L.
2. Išanalizuoti plienų AISI 304L ir AISI 316L atsparumą korozijai, veikiant šių plienų bandinius valgomosios druskos (NaCl) ir pieno rūgšties tirpalais.
3. Palyginti plienus AISI 304L ir AISI 316L tarpusavyje ekonomiškumo požiūriu.

1. NERŪDIJANTYS PLIENAI MAISTO PRAMONĖJE

Plienas – tai geležies, anglies ir kitų elementų lidinys, turintis anglies iki 2,14%. Plieno savybės priklauso nuo cheminės sudėties, anglies kiekio ir terminio apdirbimo. Kuo daugiau pliene yra anglies, tuo plienas yra kietesnis, stipresnis, atsparesnis dilimui, kiekiau užsigrūdina, bet kartu yra trapesnis, sunkiau apdirbamas, blogiau suvirinamas. Mažiau anglies turintis plienas yra plastiškas, minkštas, lengvai deformuojamas, tekinamas, gerai susivirina, bet nesigrūdina ir neatsparus dilimui [1-13 psl.].

Plienas skirstomas [1-14 psl.]:

- a) pagal anglies kiekį;
- b) pagal paskirtį;
- c) pagal cheminę sudėtį;
- d) pagal išoksidinimo laipsnį;
- e) pagal žalingų priemaišų kiekį.

Pagal cheminę sudėtį plienas skirstomas į anglinį ir legiruotąjį. Tokie plienai naudojami mašinų detalių ir metalinių konstrukcijų gamybai [1-19 psl.]:

Anglinis konstrukcinis plienas skirstomas į paprastąjį ir kokybiškąjį. Paprastasis anglinis konstrukcinis plienas turi iki 0,49% anglies, daugiau žalingų priemaišų (sieros, fosforo). Tai pigiausias iš visų rūšių plieno. Iš šito plieno gaminami rūšiniai ir fasoniniai valcuoti ruošiniai: kampuočiai, strypai, juostos, lakštai, viela, vamzdžiai ir kt.; iš ruošinių gaminamos statybinės konstrukcijos ir jų elementai, mašinų detalės. Kokybiškojo anglinio konstrukcinio plieno cheminė sudėtis griežtai reglamentuojama, o žalingų priemaišų yra mažiau nei paprastame pliene. Todėl gaunamos gana stabilios mechaninės savybės – stiprumas, kietumas ir kt. Iš šio plieno dažniausiai gaminamos termiškai ir termochemiškai apdirbamos (gerinant, normalizuojant, įanglinant, grūdinant paviršių) mašinų ir prietaisų detalės [1-20 psl.].

Legiruotas plienas – tai toks plienas, kuriame be įprastinių priemaišų, yra specialiai įdedamų legiruojančių elementų (chromo, nikelio, vanadžio, kobalto, volframo, molibdeno, titano ir kt.), kurie įtakoja plieno savybes, struktūrą, terminio apdirbimo sąlygas. Legiruojant plieną vienu metu keliais elementais, galima gauti norimų mechaninių, cheminių ir fizinių savybių derinį [2-26 psl.].

Legiruotasis plienas, lyginant su angliniu, yra brangesnis, dažnai sunkiai apdirbamas, mažiau laidus šilumai, tačiau jo geresnės mechaninės savybės. Daug legiruotas plienas gali turėti ypatingų fizikinių, cheminių ar mechaninių savybių – nerūdijantis, atsparus karščiui, nemagnetinis ir pan.. Legiruoti plienai gerai įgrūdinami, ypač kai yra vienas iš legiruojančių elementų – boras. Lengvai užsigrūdina alyvoje bei ore, todėl mažiau susikraipo ar sutrūkinėja grūdinant [1-22 psl.].

Legiruotas plienas klasifikuojamas [2-26 psl.]:

1. pagal paskirtį;
2. pagal cheminę sudėtį (legiruojančių elementų kiekį);
3. pagal išgryninimą nuo priemaišų;
4. pagal pagrindinius legiruojančius elementus;
5. pagal savybes.

Nerūdijantis plienas - korozijai, oksidacijai atsparus ir karštyje stiprus plienas – tai geležies, anglies ir chromo lidinys, kurio yra daugiau nei 200 rūšių. Plienas nerūdijantis, kai jame būna anglies ne daugiau kaip 0,12% ir chromo nemažiau kaip 10,5%. Papildomai legiravus nikeliu, molibdenu, siliciu ir padidinus chromo kiekį iki 18-30%, padidėja atsparumas korozijai ir oksidacijai aukštose temperatūrose. Didesnio anglingumo plieną legiravus volframu, vanadžiu, titanu, molibdenu, susidaro karštyje patvarūs ir kieti karbidai, todėl plienas ne tik atsparus korozijai ir oksidacijai, bet ir stiprus karštyje (atsparus valkšnumui) [1-29 psl.].

Didelę nerūdijančių plienų įvairovę įtakoja skirtingos jų savybės, nes vienu savybių plienai atsparesni įvairiose ar tam tikrose aplinkose, o kitų savybių – lengviau mechaniškai apdirbami. Norint užtikrinti plieno atsparumą konkrečioje aplinkoje, reikia tinkamai pasirinkti jo markę, nes plienų techninės charakteristikos priklauso nuo legiruojančių elementų kiekybinių proporcijų.

Svarbiausi nerūdijančio plieno tipai yra feritinis, martensitinis, austenitinis bei austenitinis – feritinis (1.1 lent.) [3], [4].

1.1. lentelė Nerūdijančio plieno tipai ir jų savybės.

Tipas	Savybės
Feritinis	Chromo kiekis 13-25%. Anglies kiekis nedidelis. Pagal savybes išskiriamos dvi grupės: 1) kai sudėtyje chromo yra 13-17%, naudojamas ten kur nereikalingi dideli reikalavimai korozijos atsparumui bei suvirinamumui; 2) kai sudėtyje yra 25-30%, dėl atsparumo aukštoms temperatūroms naudojamas krosnių statyboje ir pan. Abiejų grupių plienas kambario temperatūroje įsimagnetina.
Martensitinis	Chromo kiekis 12-18%. Anglies kiekis 0,3%. Šis plienas gali būti valcuojamas, kalamas, liejamas, bet negalimas suvirinimas. Naudojamas automobilių dalių, siurblių ašių, ratų, peilių gamybai.
Austenitinis	Neturi magnetinių savybių. Tinkamas naudoti apdorojimo procesuose, kuriuose vyksta plastinės deformacijos. Dažniausiai naudojami tipai – AISI 304 ir AISI 316, kurie skiriasi molibdeno (Mo) kiekiu, t.y. AISI 304 jo visiškai nėra, o AISI 316 yra 2,2-2,7%. Didinant Mo kiekį, gerėja atsparumas atskiestoms rūgštims ir chloridams. Kaitinimo ir suvirinimo procesuose įtakos turi anglies kiekis, nes, pavyzdžiui, jei anglies daugiau nei 0,3% - susidaro chromo karbidai (dažniausiai grūdelių pakraščiuose).

Naudojant plieną aplinkoje, kuri nėra agresyvi, o taip pat reikia padidinto atsparumo dilimui, galima rinktis martensitinius nerūdijančius plienus, kurių sudėtyje yra apie 13% chromo bei nemažas kiekis anglies – iki 1%. Tokie plienai yra vieni pigiausių. Vieni iš tokių pramonėje naudojamų plienų yra AISI 440C, kuriame anglies yra iki 1% (suteikia padidinto kietumo), bei AISI 420, kuriame anglies yra 0,15%.

Aplinkose, kuriose reikia didesnio atsparumo korozijai ir nuovargiui, gali būti naudojami feritiniai nerūdijantys plienai, kurių sudėtyje būna iki 0,05% anglies. Pagrindinė šių plienų savybė – magnetiškumas. Jų suvirinamumas nėra geras, formavimas – sunkus. Atsparumas korozijai padidinamas, pridėdant 2% molibdeno (pvz. AISI 444). Feritiniai nerūdijantys plienai gali būti naudojami buitinių prietaisų gamyboje.

Esant padidinto atsparumo korozijai, geresnio suvirinamumo bei plastiškumo reikalavimams, naudojami austenitiniai nerūdijantys plienai, kuriuose yra 8 - 12% nikelio, apie 18% chromo. Šie plienai lengviau formuojami – apdirbami, turi padidintą atsparumą korozijai, todėl labiausiai naudojami maisto pramonėje. Vieni iš labiausiai austenitinių plienų yra naudojami AISI 304 bei AISI 304L. AISI 304L naudojamas labiau, kuomet įrenginių gamybai reikia daugiau suvirintų jungčių. AISI 316L naudojamas agresyviose terpėse, nes turi padidintą atsparumą chloridams bei sulfidų dioksidams dėl pridėto molibdeno - apie 2%. AISI 904L yra vienas iš plienų, kuris ypatingai atsparus įvairioms agresyvioms terpėms ir molibdeno kiekis jame – apie 4%.

1.1. Nerūdijantys plienai AISI 304L ir AISI 316L

Plienai AISI 304L ir AISI 316L naudojami dažniausiai iš legiruotų austenitinių plienų. Bendras šių plienų naudojimo kiekis sudaro apie 90% visų legiruotų plienų [3].

Šie du plienai skiriasi tik molibdeno kiekiu – AISI 304L jo nėra, AISI 316L yra 2,0-2,7% (1.1.1 lent.).

1.1.1. lentelė. Nerūdijančių plienų AISI 304L ir AISI 316L cheminė sudėtis.

Plienai	Cheminė sudėtis							
	C %, maks	Si %, maks	Mn %, maks	Cr %	Mo %	N %	P %, maks	S %, maks
304L	0,03	1,0	2,0	17,5-19,5	0	8-10	0,045	0,03
316L	0,021	0,38	1,80	17,2	2,01	0,041	0,029	0,002

Šie plienai gerai suvirinami, nes suvirinimo darbams rekomenduojama naudoti plieną, kurio sudėtyje anglies yra mažiau nei 0,03%, chromo kiekis – 17-18%, nikelio – 10-12,5% [3].

Legiruoti austenitiniai chromo nikeliniai plienai – AISI 304L ir AISI 316L turi standartizuotą žymėjimą (1.1.2 lent.), [5], [6], [7].

1.1.2. lentelė. Nerūdijančių plienų AISI 304L ir AISI 316L žymėjimas.

Žymėjimas				
AISI (JAV)	DIN (Vokietija)	GOST (Rusija)	JIS (Japonija)	Tarptautinis
304L	1.4307	04X16H10	SUS304L	X2CrNi18-9
316L	1.4404	03X17H13M2	SUS316L	X2CrNiMo17-12-2

Iš viso nerūdijančio plieno kiekio, daugiau nei pusė pagaminama plieno AISI 304L. Tai įtakoja šio plieno cheminių ir fizikinių savybių bei kainos santykis, kuris lemia platų panaudojimą. AISI 304L atsparus įprastinei korozijai, daugeliui cheminių medžiagų, pakankamai plastiškas. Ypatingai tinkamas suvirinamoms konstrukcijoms. Dėl mažesnio anglies kiekio, nei AISI 304, atsparesnis tarpkristalinei korozijai. Gali būti naudojamas iki 425⁰C laipsnių aplinkoje. Dėl sudėtyje nesančio molibdeno, mažėja atsparumas chloridams bei panašių savybių medžiagoms – organinėms, sieros ir druskos rūgštims. Bet galima padidinti atsparumą korozijai modifikavus medžiagos paviršinius sluoksnius. Žinoma, modifikavimas ir papildomi procesai, leidžiantys padidinti atsparumą korozijai, didina gaminio kainą.

Plienas AISI 316L - austenitinis, nesigrūdinantis nerūdijantis plienas. Kaip ir AISI 304L, labai gerai suvirinamas. Molibdenas suteikia padidintą atsparumą korozijai – chloridų bei sulfidų dioksidų aplinkose, atsparus pektinams. Naudojamas pieno produktų įrengimų, balto vyno talpyklų gamybai bei padidintų higienos reikalavimų maisto pramonės šakose – pieno, mėsos ir kt.. Mechaninės savybės, esant aukštai temperatūrai, geresnės nei plienų, neturinčių molibdeno priemaišų.

AISI 304L ir AISI 316L nerūdijančių plienų austenitinę struktūrą lemia feritizuojantys ir austenizuojantys elementai. Feritizuojantys elementai yra chromas (Cr), molibdenas (Mo), titanas (Ti), niobis (Nb), volframas (W), aliuminis (Al), o austenizuojantys – nikelis (Ni), anglis (C), varis (Cu). Manganas padeda austenitui žemoje temperatūroje virsti martensitu. Daug mangano ir azoto turinčius nerūdijančius plienus galima gauti dėl chromo ir nikelio didinamo azoto tirpumo pliene.

Suvirinant, yra svarbus chromo ir azoto kiekis lidinyje, nes gali vykti skirtinga kristalizacija. Suvirinimo metu, terminio poveikio zonos metale, jam auštant, 950 - 500°C temperatūroje išsiskiria karbidai, kurie dažniausiai išsidėsto ties austenitinių grūdelių ribomis - taip mažėja chromo kiekis. Mažėjant chromo kiekiui, didėja korozijos tikimybė.

1.2. Legiruojančių elementų įtaka nerūdijantiems plienams

Kiekvienas legiruojantis elementas suteikia plienui tam tikrų savybių [2-26 psl.].

Chromas. Kietina ir stiprina plieną, didina jo atsparumą korozijai, šiek tiek mažindamas plastiškumą. Esant dideliame chromo kiekiui, plienas nerūdija, ir jo magnetinės savybės yra stabilios.

Manganas. Kai jo daugiau nei 1%, didina atsparumą dilimui, smūginėms apkrovoms ir nemažina plastiškumo.

Molibdenas. Mažina trapumą karštyje, didina tamprumą, stiprumo ribą lenkiant, atsparumą oksidacijai (esant aukštai temperatūrai), gerina antikoroazines savybes.

Nikelis. Suteikia plienui atsparumą korozijai, stiprumą ir plastiškumą, didina grūdinamumą, atsparumą smūgiams, turi įtakos šiluminio plėtimosi koeficiento pokyčiams. Didina plieno tankumą, nes yra geras deoksidatorius.

Silicis. Jei silicio yra 1 – 1,5%, tada jis didina stiprumą, o tąsumas lieka tos pat. Esant didesniame silicio kiekiui, didėja elektrinė plieno varža ir magnetinis skvarbumas. Plienas tampa tampresnis, atsparesnis rūgštims ir nuodegoms.

Volframas. Pliene sudaro labai kietus cheminius junginius – karbidus, kurie staigiai plieną kietina ir daro jį atsparesnį karščiui. Volframas kliudo augti grūdeliams kaitinant, padeda šalinti trapumą atleidžiant.

Kiti elementai.

Vanadis. Plieną kietina ir stiprina, smulkina grūdelius.

Kobaltas. Kai jo daugiau nei 1%, didina atsparumą dilimui, smūginėms apkrovoms ir nemažina plastiškumo.

Titanas. Plieną stiprina ir tankina, turi įtakos smulkinant grūdelius, yra geras deoksidatorius, lengvina apdirbimą ir daro atsparesnį korozijai.

Niobis. Didina atsparumą rūgštims ir turi įtakos mažinant suvirintų konstrukcijų koroziją.

Aliuminis. Didina atsparumą nuodegoms.

Varis. Gerina antikoroazines savybes.

Cezis. Daro stipresnį ir daug plastiškesnį.

Cirkonis. Turi įtakos plieno grūdelių augimui ir dydžiui, galima gauti norimo grūdėtumo plieną.

Lantanas ir neodimis. Gali mažinti akytumą ir sieros kiekį, gerina paviršiaus kokybę, smulkina grūdelius. Šių priemaišų pridedama į nerūdijantį, transformatorinį, nuodegoms atsparų plieną.

Žalingos priemaišos yra šios: siera, fosforas, azotas ir deguonis. Siera greitina plieno mikropleišėjimą aukštoje temperatūroje. Fosforas didina plieno trapumą, ypač žemoje temperatūroje, ir mažina plastiškumą šildant. Azoto įtaka plienui panaši kaip ir fosforo, o deguonies – kaip sieros.

1.3. Nerūdijančių plienų korozijos priežastys

Nerūdijantis plienas, veikiamas aplinkos, gali koroduoti. Korozija – tai medžiagos irimo procesas, kuomet medžiagos elementai, šiuo atveju įvairūs pliene esantys metalai ir ne tik (pvz., anglis), reaguodami su aplinka ir jos elementais, sukuria naujus junginius. Aplinkos sąlygos įtakoja viduje vykstančius struktūrinius pakitimus.

Pagal metalo suardymo pobūdį korozija skirstoma į ištisinę ir vietinę (1.3.1 lent.), [10-13 psl.].

1.3.1 lentelė. Korozijos skirstymas pagal suardymo pobūdį.

Korozijos pobūdis	Savybės
Ištisinė (bendroji)	Tolygioji – metalas vienodai intensyviai koroduoja visame paviršiaus plote.
	Netolygioji – korozijos greitis atskiruose koroduojančio metalo paviršiaus ploteliuose skirtingas.
Vietinė (lokalinė)	Taškinė – susidaro nedideli, tačiau gilūs korozijos židiniai.
	Korozija dėmėmis – kai susidaro negilūs korozijos židiniai metalo paviršiuje.
	Žaizdinė – dėmių pailgėjimas.
	Popaviršinė – prasideda metalo paviršiuje, tačiau korozijos produktai susikaupia metalo viduje. Jos atmaina yra sluoksninė korozija, vykstanti metalo plastinės deformacijos kryptimi.
	Struktūrinė – susijusi su metalo struktūriniu nevienodumu. Jos atmaina yra tarpkristalinė korozija, vykstanti pagal metalo kristalo ribas. Išorinių korozijos požymių praktiškai nėra.
	Plyšinė – suardo metalą kiaurai. Plyšinės korozijos atvejis tarp dviejų metalų dažniausiai būna peilio formos – peilinė korozija (pvz., suvirinant legiruotus plienus).
	Atrankinė – gali būti ištisinės ar vietinės korozijos atvejais, kai suyra vienas metalo lydinio komponentas.
	Įtempties – įtakos turi vienalaikis korozinės terpės ir pastovių ar kintamų mechaninių įtempių poveikis (transkristalinis suirimas).
	Siūlinė korozija – dažyto metalo paviršiui po lako danga būdinga korozijos rūšis.

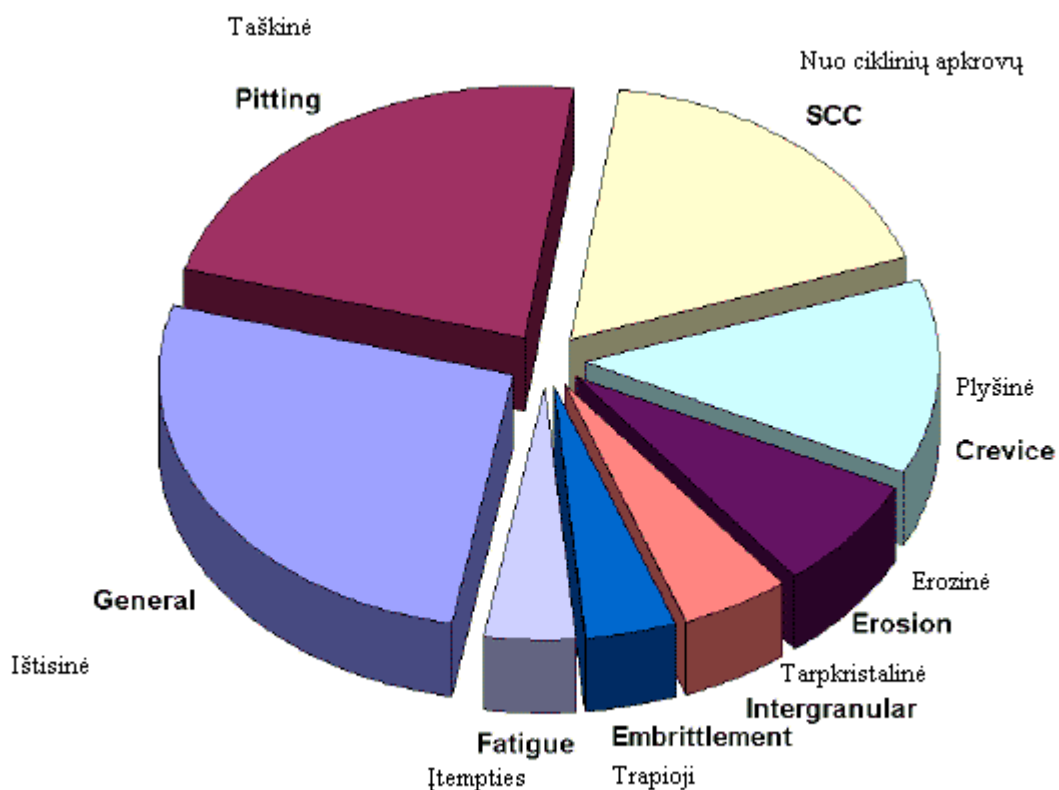
Korozija pagal poveikį skirstoma į cheminę ir elektrocheminę. Plieną veikiant dujomis ir neelektrolitiniais skysčiais, vyksta cheminė korozija. Elektrocheminė korozija vyksta elektrocheminio proceso metu, kuomet susidaro makro-, mikrogalvaniniai elementai [9]. Vandenyje daugelis junginių

disocijuoja į jonus, todėl yra puiki terpė susidaryti elektrolitams. Metalui kontaktuojant su vandeniu, kuriame yra druskų, rūgščių ar šarmų, susidaro elektrocheminės korozijos galimybė.

Dažniausiai pasitaikančios nerūdijančių plienų korozijos rūšys [12]:

- a) ištisinė;
- b) taškinė;
- c) plyšinė;
- d) įtempties;
- e) nuo sulfidų poveikio;
- f) tarpkristalinė;
- g) galvaninė;
- h) kontaktinė.

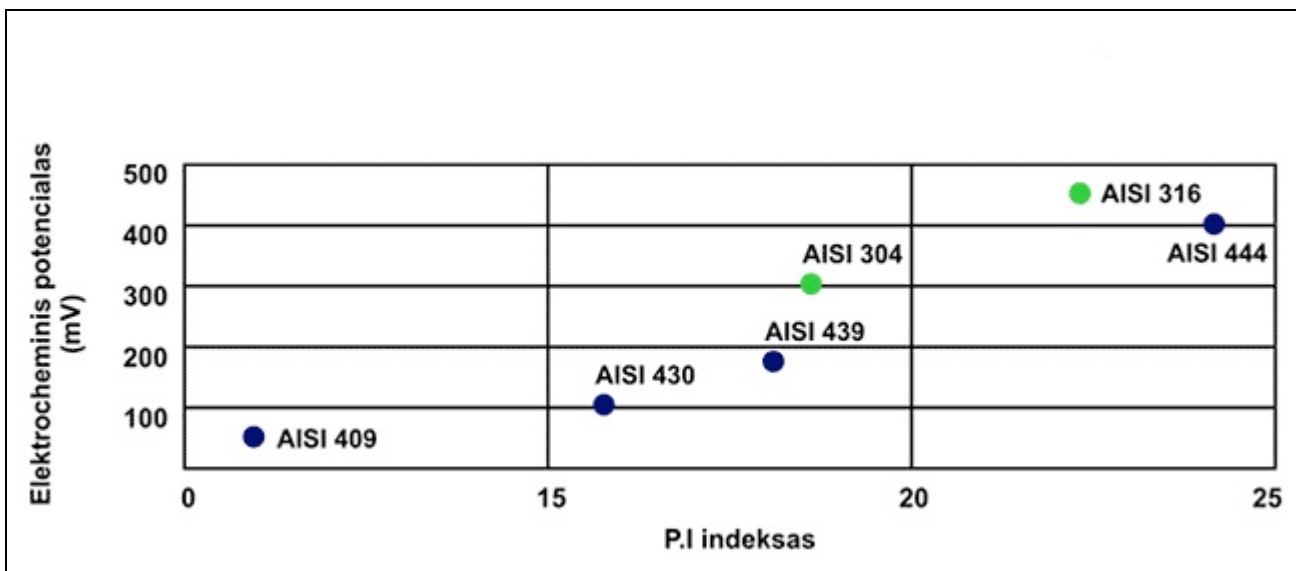
Korozijos rūšys, pasitaikančios gaminiuose iš plieno AISI 304L ir AISI 316L, yra analogiškos kaip ir kitų nerūdijančių plienų gaminių. Tik skiriasi tam tikros rūšies pasitaikymo dažnumas. Plieno AISI 304L dažniausiai pasitaikanti korozijos rūšis yra taškinė ir ištisinė. Taip pat nemažai pasitaiko plyšinės korozijos bei nuo ciklinių apkrovų atsirandančių defektų (1.3.1 pav.), [13].



1.3.1 pav. Plieno AISI 304L korozijos rūšys ir jų dažnumas

Aplinkose, kuriose yra ir oksidatorių (deguonis) ir aktyvatorių – anjonų (Cl^- , Br^- , I^-), dažnai pasireiškia taškinė korozija.

Nerūdijančių plienų atsparumą elektrocheminei korozijai apibūdina vienas iš tokių faktorių kaip elektrocheminis potencialas (matuojamas milivoltais – mV) (1.3.2 pav.), [11].



1.3.2 pav. Įvairių nerūdijančio plieno rūšių pasiskirstymas pagal atsparumą elektrocheminei korozijai

Sąlyginis atsparumas korozijai - P.I. indeksas yra tiesiogiai proporcingas elektrocheminiam potencialui. Didesnis P.I. atitinka didesnį elektrocheminį potencialą. Didesnis elektrocheminis potencialas rodo didesnį nerūdijančio plieno markės atsparumą korozijai. Labiausiai, iš šiuo metu naudojamų plienų, atsparus korozijai yra plienas AISI 316L.

Kai kur yra naudojama formulė, kad būtų galima nustatyti tam tikro plieno atsparumą taškinei korozijai [12]:

$$ATKE = \%Cr + 3,3 \cdot \%Mo + 16 \cdot \%N \quad (2.1)$$

čia: $ATKE$ - atsparumo taškinei korozijai ekvivalentas;

$\%Cr$; $\%Mo$; $\%N$ - elementų (atitinkamai – chromo, molibdeno, azoto) procentinis kiekis.

Taškinės korozijos atsiradimo pagrindinė sąlyga yra elektrocheminio potencialo pasislinkimas į teigiamą pusę nuo korozijos atsiradimo potencialo tam tikros kritinės reikšmės.

Pagrindiniai taškinę koroziją įtakojantys faktoriai – tai metalo prigimtis, paviršiaus būklė, tirpalo pH, tirpalo temperatūra, chlorido jonų koncentracija.

1.4. Reikalavimai nerūdijantiems plienams maisto pramonėje

Viena iš svarbiausių ir didžiausių pramonės šakų yra maisto pramonė. Maisto pramonė turi užtikrinti kokybišką produkciją tam, kad vartotojas būtų patenkintas ir neabejotų dėl savo sveikatos. Todėl kokybę reglamentuoja įvairios direktyvos bei įstatymai. Vienas iš svarbiausių punktų yra maisto higiena. Maisto higiena taip pat neatsiejamas dalykas ir nuo patalpų higienos, ir nuo įrenginių higienos ir kt. Higiena nusakoma įvairiais reikalavimais, kurių laikantis, gerinama gyvenimo kokybė.

Kadangi Lietuva yra Europos sąjungos narė, todėl galioja įvairios europinės direktyvos. Viena iš aktualių direktyvų – tai Europos Bendrijų Tarybų direktyva dėl maisto higienos [14]. Citata iš direktyvos [14] 2-o straipsnio:

„...- maisto higiena, toliau – higiena, tai visos priemonės, būtinos užtikrinti maisto produktų saugą ir jo sveikumą. Priemonės apima visus maisto gamybos etapus nuo pirminės produkcijos (pastaroji apima, pavyzdžiui, derliaus nuėmimą, gyvulių skerdimą ir melžimą), jo ruošimą, perdirbimą, gamybą, pakavimą, laikymą, vežimą, paskirstymą, tvarkymą ir pateikimą parduoti ar tiekiamą vartotojui, ...”.

Citata iš direktyvos [14] priedo 5-o skyriaus:

„Reikalavimai įrenginiams.

Visi reikmenys, priemonės ir įranga, su kuriais liečiasi maistas turi būti švarūs ir:

- a) pagaminti taip ir iš tokių medžiagų bei tinkamai techniškai prižiūrimi, kad visiškai sumažintų bet kokį maisto užteršimo pavojų;
- b) konteineriai ir pakuotės, išskyrus pakartotinai nenaudojamus, turi būti pagaminti taip ir iš tokių medžiagų bei tinkamai prižiūrimi, kad būtų galima juos gerai išvalyti ir, jei būtina, dezinfekuoti, kad jie atitiktų savo paskirtį;
- c) turi būti įrengti taip, kad juos būtų galima iš visų pusių tinkamai išvalyti.”.

Ši direktyva nusako bendrus reikalavimus, o tuo tarpu Lietuvoje konkretni reikalavimai maisto higienai keliami ministerijų įsakymais [15]. Kadangi aktuali yra pieno pramonė, tai jai keliami reikalavimai išdėstyti Lietuvos Respublikos Žemės Ūkio Ministerijos nacionalinių kokybės reikalavimų sąrašė [16]. Kadangi yra svarbi įrenginių darbo aplinka, tai iš reikalavimų galima nustatyti koroziją įtakojančius veiksnius. Citata iš įsakymo [16] trečio skyriaus penkto punkto:

„...“

Titruojamasis rūgštingumas, išreikštas pieno rūgšties proc.	min. 0,3	min. 0,6	min. 0,6	min. 0,6	min. 0,7
---	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

...“

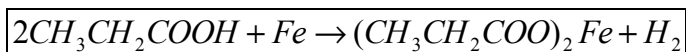
Minėtoje citatoje nurodyta pieno rūgšties koncentracija naudojama/gaunama maisto produktu iš pieno gamybos metu. Bet yra ir agresyvesnių aplinkų, pavyzdžiui atliekų laikyme ar transportavime, tačiau domina atvejai, kuomet įrenginiai tiesiogiai kontaktuoja su maisto produktais.

Įrenginių tiesioginio kontakto su maisto produktu metu negali vykti tokie procesai (citata iš [15]):

„...Įranga, tara, talpyklos ir kiti reikmenys, naudojami maistui tvarkyti ir su kuriais gali liestis maistas, turi būti švarūs, tinkamai techniškai prižiūrimi, atitikti paskirtį. Jie turi būti pagaminti iš tvirtų, nenuodingų, nekeičiančių maisto kvapo bei skonio, nesugeriančių drėgmės ar maisto dalelių, atsparių korozijai, maisto neteršiančių medžiagų, kurias būtų galima valyti bei dezinfekuoti.”

Kadangi, pavyzdžiui, pieno pramonėje pasitaikanti viena iš pagrindinių agresyvių terpių medžiagų yra pieno rūgštis, tai galimas ir įmanomas įrenginio metalo korozijos atvejis, kuomet gali būti pakeista maisto tam tikrų medžiagų koncentracija arba net atsirasti neleidžiamų/draudžiamų medžiagų.

Pieno rūgštis yra organinė rūgštis, susidaranti ir dalyvaujanti įvairiuose biocheminiuose procesuose. Ji gali reaguoti su metalais (1.4.1 pav.) ir sudaryti tam tikrus junginius.



1.4.1 pav. Pieno rūgšties reakcija su geležimi

Pieno rūgšties ir geležies reakcijos metu susidaro $(CH_3CH_2COO)_2Fe$ - pieno rūgšties geležies druska (E585-geležies laktatas) [17]. Pagal reikalavimus šios medžiagos maiste neturi būti. Ten kur leidžiama geležies laktato tam tikra koncentracija - ji gali kisti, o tai įtakoja neatitikimą reikalavimams.

Buvo atlikti plieno AISI 304 korozijos tyrimai, kurių rezultatai pateikti straipsnyje [30] bei pristatyti 7 – osios „Technologijos Mokslo Darbai Vakarų Lietuvoje“ konferencijos metu. Iš rezultatų paaiškėjo, kad plienas AISI 304 neatsparus terpei, kurioje yra chloridų, nes po 42 svaičių eksperimentinių tyrimų, laikant bandinius iš plieno AISI 304 NaCl 4,76% tirpale, užfiksuota taškinė korozija [30]. Tai aktualu korozijos ir higienos normų atžvilgiu, Todėl šiame darbe atlikti plienų AISI 304L bei AISI 316L atsparumo korozijai tyrimai.

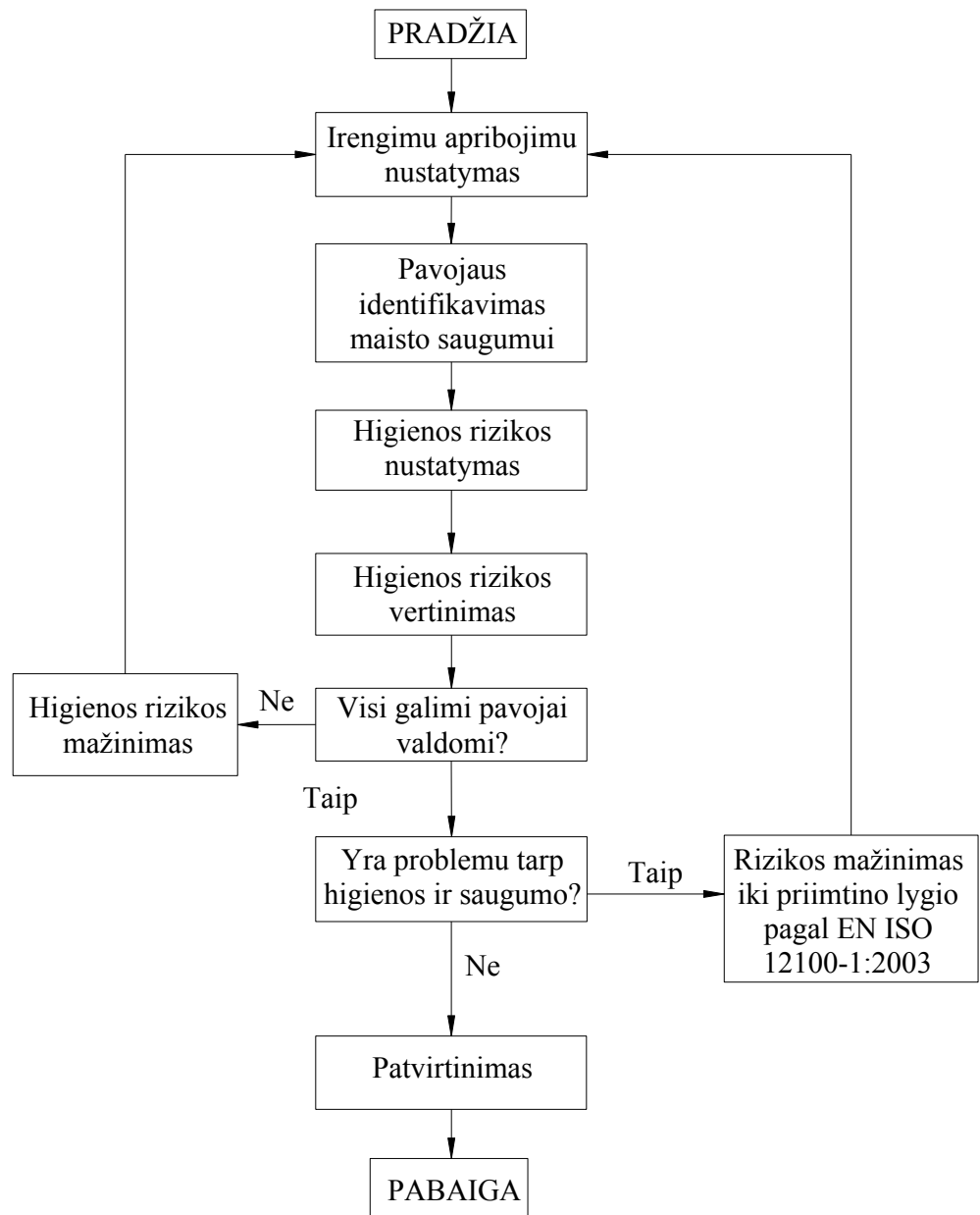
Standarte [31] nurodyti reikalavimai maisto pramonės įrenginiams aprašo tokius etapus:

1. higienos rizikos įvertinimas;
2. įrengimų konstrukcijos medžiagos;
3. įrengimų konstrukcijos dizainas;

Standartu [31] reglamentuojamos tokios maisto pramonės įrengimų grupės:

1. duonos gamybos įrengimai, kepimo krosnys, tešlos gamybos įrengimai:
 - a) kepinų, konditerijos ir tešlos gamybos ir perdirbimo įrengimai;
 - b) krosnys ir kepimo įrengimai.
2. grūdų ir gyvūnų maisto perdirbimo įrengimai;
3. skerdyklų ir mėsos perdirbimo įrengimai:
 - a) skerdimo įrengimai;
 - b) išpjautymo įrengimai;
 - c) virimo katilai;
 - d) rūkymo įrengimai.
4. jūros produktų perdirbimo įrengimai;
5. vaisių ir daržovių perdirbimo įrengimai:
 - a) autoklavai.
6. virtuvių įrengimai;
7. alkoholinių ir nealkoholinių gėrimų įrengimai;
8. pieno pramonės įrengimai;
9. pieno produktų įrengimai;
10. plaktos grietinėlės ir ledų gamybos įrengimai;
11. valgomo aliejaus ir riebalų perdirbimo įrengimai;
12. saldumynų ir šokolado gamybos įrengimai;
13. kavos perdirbimo ir kavos skrudinimo įrengimai;
14. cukraus pramonės įranga;
15. tabako perdirbimo įrengimai;
16. šaldytuvai ir šaldymo kameros/šaldikliai;
17. kiaušinių rūšiavimo įrengimai.

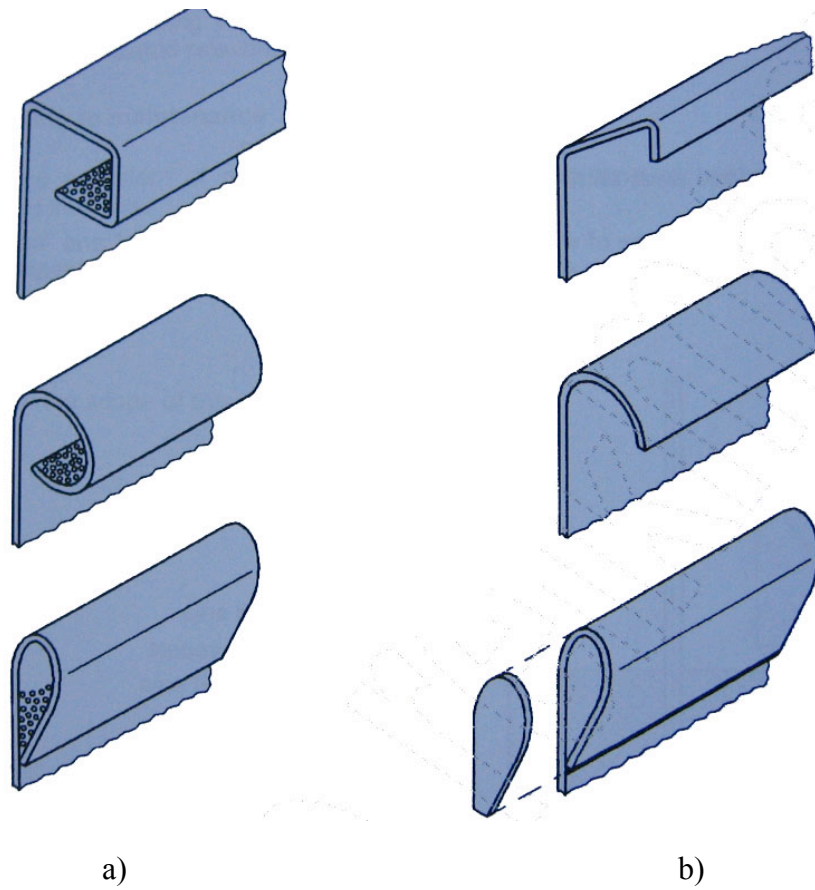
Higienos rizikos įvertinimas vykdomas tokia seka (1.4.2 pav.):



1.4.2 pav. Higienos rizikos įvertinimas

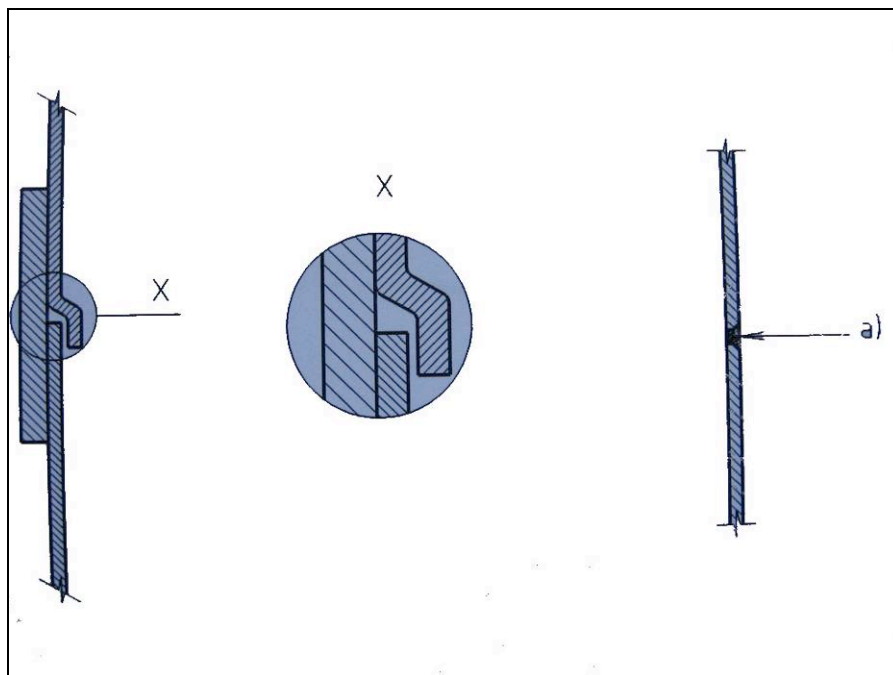
Standarte [31] įrenginiams keliami reikalavimai nurodo koks turi būti įrenginių dizainas, kad būtų galima išvengti rizikos higienai.

Įrenginių konstrukcija turi užtikrinti galimybę geram įrenginių plovimui ir valymui bei garantuoti kuo mažesnę maisto likučių kaupimąsi ant įrenginio korpuso (1.4.3 pav.).



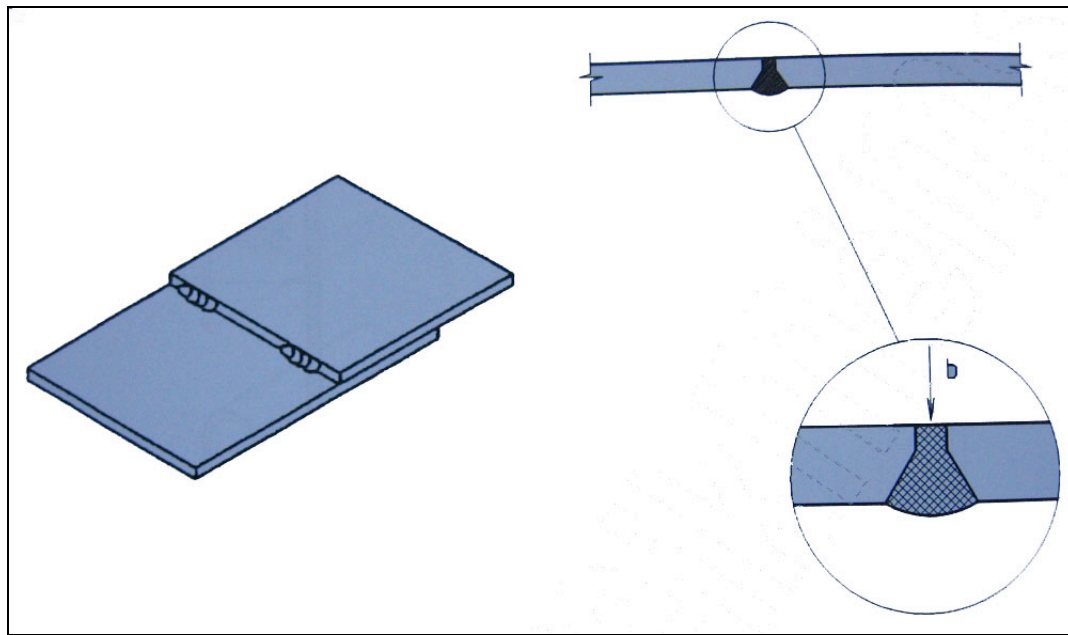
1.4.3 pav. Įrenginių valymas: a) nepriimtina konstrukcija, b) priimtina konstrukcija

Higienos atžvilgiu taip pat rekomenduojami kai kurie įrenginių korpuso dalių sujungimo būdai (1.4.4 pav.).



1.4.4 pav. Įrenginių korpuso dalių sujungimas: x) nepriimtinas, a) priimtinas (suvirintas)

Suvirintiems sujungimas rekomenduojamos suvirinimo vietos (1.4.5 pav.).

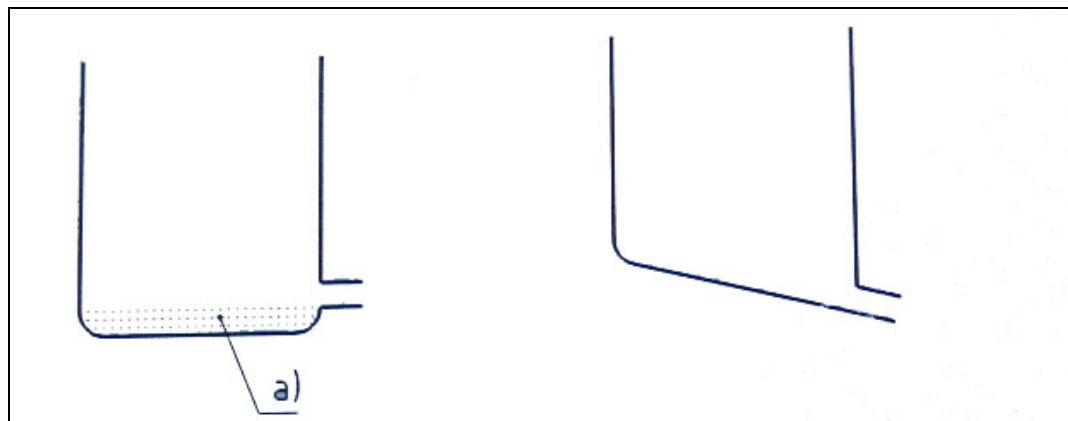


a)

b)

1.4.5 pav. Įrenginio korpuso suvirinimas: a) nepriimtinas, b) priimtinas (lygus paviršius)

Talpų konstrukcija turėtų užtikrinti kuo geresnį jų ištuštinimą (1.4.6 pav.).



a)

b)

1.4.6 pav. Talpų korpuso forma: a) nepriimtina, b) priimtina

Įrenginių korpuso vidiniai kampai ir briaunos taip pat turėtų būti tam tikrų formų bei sujungimų (1.4.7 pav.).

2. MOKSLINIŲ TYRIMŲ APŽVALGA

Plienai AISI 304L ir AISI 316L pasižymi fizikinėmis ir cheminėmis savybėmis, būdingomis austenitinės klasės plienams. Jie plačiai naudojami maisto pramonėje dėl atsparumo vienai ar kitai agresyviai aplinkai, tačiau praktika rodo, jog kai kuriomis sąlygomis atsparumas sumažėja.

Chloridų įtaka skirtingų markių plienams.

Darbe [18] buvo atlikti dviejų plienų – AISI 304 ir DSS 2101 tyrimai, laikant juos terpėje, kurioje buvo chloridų. Šiame darbe buvo siekiama išsiaiškinti, kuris plienas atsparesnis taškinei korozijai ir kas tai įtakoja. Pateikta abiejų plienų cheminė sudėtis (2.1 lent.), [18].

2.1. lentelė. Plieno AISI 304 ir DSS 2101 cheminė sudėtis.

Plienas	Cheminė sudėtis, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Mo
2101	0,02	0,30	6,0	0,016	0,003	21,4	1,5	0,24	0,6
304	0,05	0,64	1,66	0,016	0,004	18,2	9,0	-	-

Buvo gauti chloridų poveikio korozijos intensyvumui bandymo rezultatai (2.2 lent.).

2.2 lentelė. Plieno AISI 304 ir DSS 2101 bandymo (chloridų įtaka korozijai) rezultatai.

Plienas	Bandinių svoris, g	Svoris po korozijos, g	Svorių skirtumas, g
2101	23,354	23,242	0,112
	24,664	25,522	0,142
	24,191	24,094	0,097
304	25,012	24,793	0,219
	24,496	24,311	0,185
	25,055	24,841	0,214

Iš pateiktų rezultatų matome, kad plieno AISI 304 medžiagos korodavo daugiau. Tai paaikškina cheminė abiejų plienų sudėtis bei jos skirtumas. Taigi plienas DSS 2101 yra atsparesnis taškinei

korozijai nei plienas AISI 304. Taip pat šiame darbe [18] buvo pakoreguota atsparumo taškinei korozijai ekvivalentinio skaičiaus radimo formulė:

$$ATKES = \%Cr + 3,3 \cdot \%Mo + 30 \cdot \%N - 1 \cdot \%Mn \quad (2.1)$$

čia: $ATKES$ - atsparumo taškinei korozijai ekvivalentinis skaičius;

$\%Cr$; $\%Mo$; $\%N$; $\%Mn$ - elementų (atitinkamai – chromo, molibdeno, azoto, mangano) procentinis kiekis.

Suvirinimo bei darbo sąlygų įtaka nerūdijančių plienų stipruminėms savybėms.

Nors plienas AISI 304 labiau tinkamas suvirinimui nei kiti plienai, vistiek neišvengiamai būna tarpkristalinės korozijos atvejų. Virinant pasiekama 425-850⁰C temperatūra, kuomet tokiomis sąlygomis susidaro aplink kristalus chromo karbidų [19].

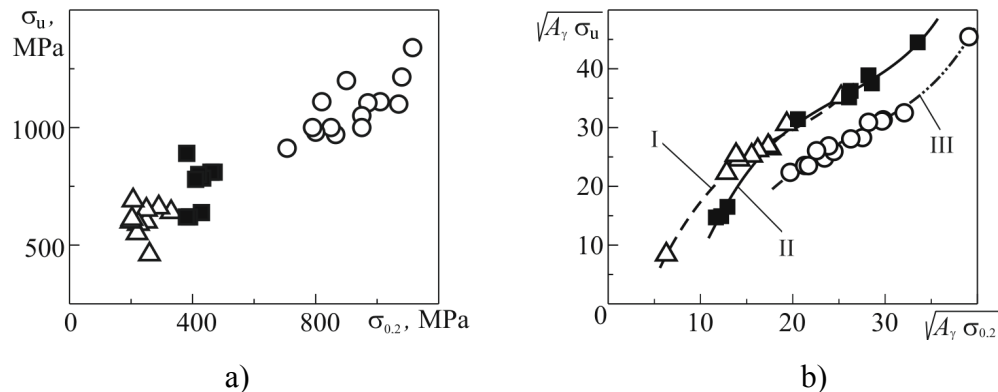
Darbe [26] buvo analizuojami nerūdijantys plienai:

1 – a grupė. Kh5CrNi18, 9, 1Kh18N10T, 00Kh19N23V2T, Kh2CrNiMo18, 08Kh18N10T (su 0.022% N), 08Kh17T, 03Kh21N32M3B, 01Kh18N8G2, 02Kh17N10G2M2.

2 – a grupė. 1Kh13, Kh26N5M2, 03Kh13AN19, 06Kh12G20AN5, 06Kh27N16AG6F, 06Kh14G20AN10M, 08Kh18N10 (su 0.26% N), 06Kh20N16AG6.

3 – ia grupė. 04Kh12N36Yu3TV, 03Kh12N32M3B, 2Kh13, 20Kh14N3M2B, 1Kh12N2VMF, 15Kh16N2M, 02Kh10N9M2T2, Kh17N2Sh, Kh12N2VMFBA, 20Kh11N11MF, 03Kh10N8K4MFD.

Šie plienai skiriasi chemine sudėtimi. Buvo analizuojamos šių plienų mechaninės charakteristikos, juos laikant skirtingose aplinkos sąlygose. Pagrindiniai aplinkos parametrai – aukšta temperatūra (iki 1613°K), drėgmė, sausas oras, alyva. Parametrai buvo derinami tarpusavyje. Gauti rezultatai pateikti grafine išraiška (2.1 pav.).



2.1 pav. Plienų 1Kh13, 2Kh13, 1Kh12N2VMFBA, 15Kh16N2M ir Kh18N10T stipruminių savybių išsidėstymas priklausomai nuo aplinkos poveikio

Pagal gautus duomenis, kiekvienai pateiktai plienų grupei, buvo nustatytos regresijos lygtys bei koreliacijos koeficientai (2.2 pav.).

I.	$y = -20.557 + 6.2008x - 0.2859x^2 + 0.0051x^3,$	$R = 0.9926$	(5.3%);
II.	$y = -49.427 + 8.3238x - 0.2947x^2 + 0.0039x^3,$	$R = 0.9979$	(6.1%);
III.	$y = -50.6 + 7.4697x - 0.2567x^2 + 0.0033x^3,$	$R = 0.9923$	(4.8%).

2.2 pav. Plienų grupių stipruminių savybių pasiskirstymo regresijos lygtys ir koreliacijos koeficientai

Taip pat buvo nustatytas ir santykinio pailgėjimo pasiskirstymas (2.3 pav.).

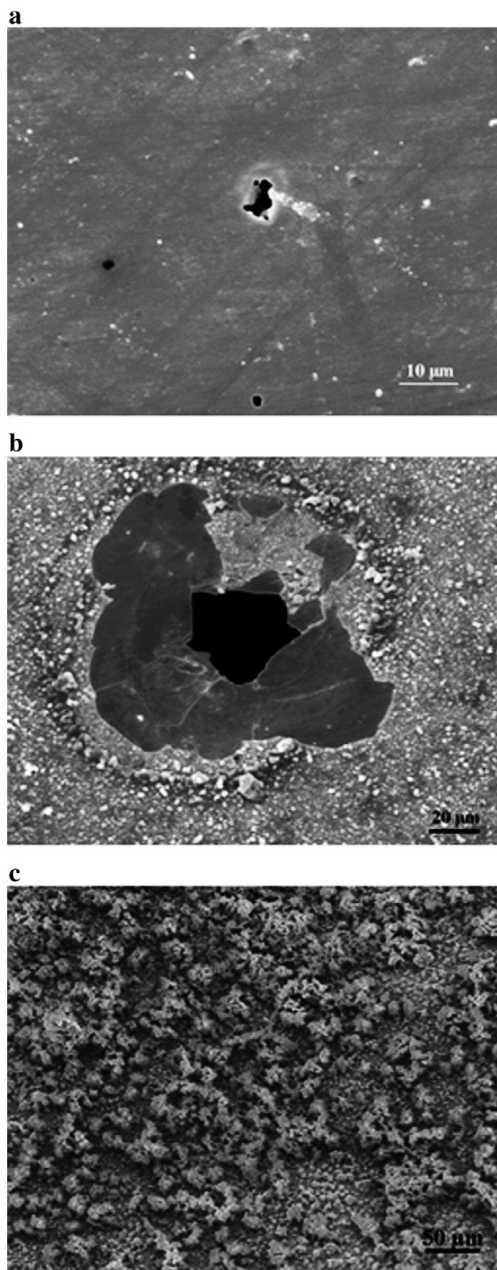
I.	$y = 0.5817 + 0.8701x + 0.0524x^2 - 1.032x^3,$	$R = 0.9976$	(3.8%),
II.	$y = -0.0368 + 3.8437x + 1.2534x^2 - 0.262x^3,$	$R = 0.997$	(6.1%),
III.	$y = -0.7777 + 4.9379x - 0.2635x^2 + 0.1448x^3,$	$R = 0.9979$	(7.8%),

2.3 pav. Plienų grupių santykinio pailgėjimo pasiskirstymo regresijos lygtys ir koreliacijos koeficientai

Pagal gautus duomenis teigiama, kad gauta koreliacija tarp tyrimo rezultatų ir faktinių rezultatų. Pagal koreliacijos koeficientus sprendžiama, jog rezultatų išsidėstymas rodo glaudų ryšį tarp cheminės sudėties ir mechaninių savybių, o tai leidžia numatyti tam tikros cheminės sudėties nerūdijančių plienų elgseną tam tikromis darbo sąlygomis.

Azoto jonų įtaka nerūdijančio plieno AISI 316L korozijos poveikio atsparumui.

Darbe [27] buvo tiriamas nerūdijančio plieno AISI 316L atsparumas korozijai. Plienas - paviršius buvo įzotinamas dviem būdais – skirtingomis įzotavimo proceso trukmėmis. Įzotinimas buvo vykdomas plazminiu būdu. Proceso trukmė – 30 minučių ir 6 valandos. Tyrimo metu gauta mikrografinė paviršiaus informacija (2.4 pav.).

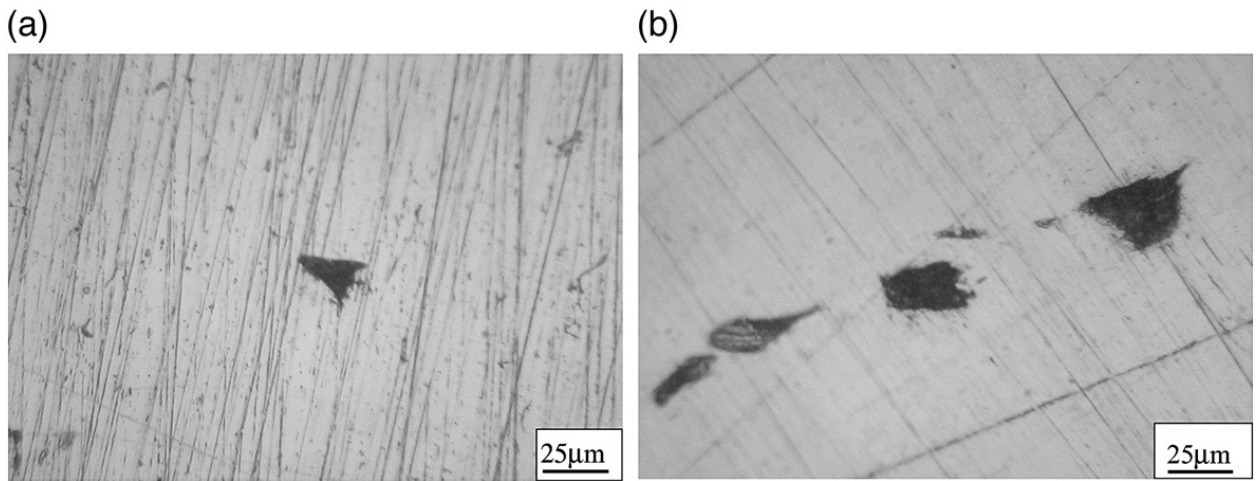


2.4 pav. Mikrografinis plieno AISI 316L paviršiaus vaizdas po 60 dienų korozijos tyrimo: a- nepaveiktas paviršius, b-įzotintas paviršius (trukmė-30 min), c- įzotintas paviršius (trukmė-6 h)

Bandiniai buvo laikomi 5,844% NaCl tirpale kambario temperatūroje 60 dienų. Atlikus korozijos testus, paaiškėjo, kad labiau atsparesnis buvo plienas, kurio įzotavimo trukmė – 30 minučių. Taip pat nustatyta, kad kuo ilgesnė įzotavimo proceso trukmė, tuo didesnis paviršiaus šiurkštumas ir pažeidžiamumas.

Plieno AISI 304L paviršiaus grūdinimo įtaka korozijos poveikio atsparumui.

Darbe [28] buvo tiriamas nerūdijančio plieno AISI 304L atsparumas korozijai, paviršių grūdinant ir laikant tam tikroje aplinkoje. Tyrimo rezultatai parodyti grafine išraiška (2.5 pav.).

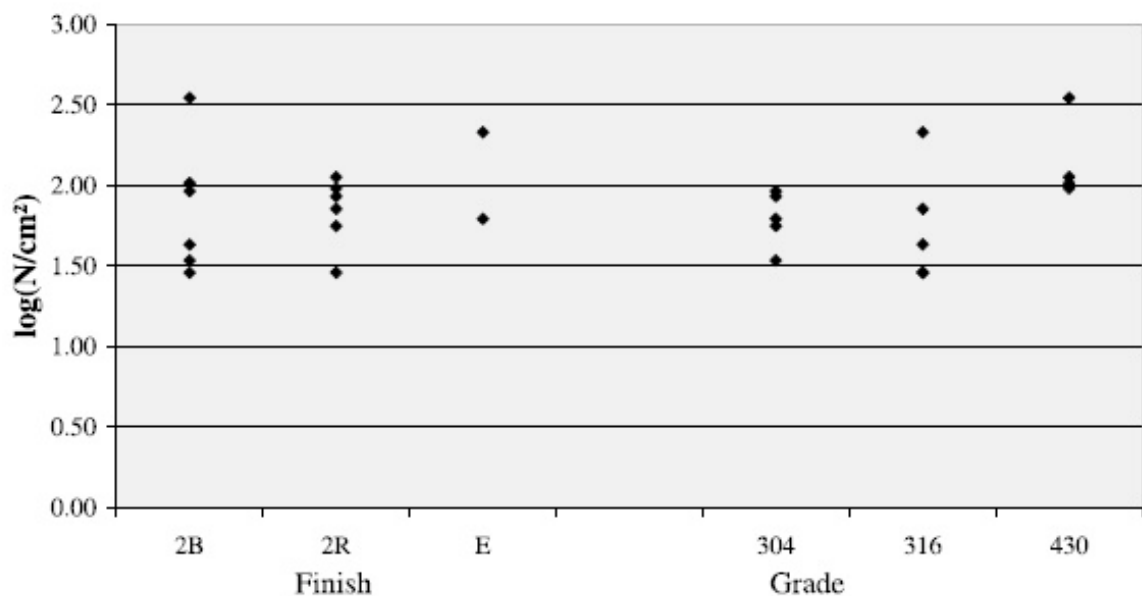


2.5 pav. Plieno AISI 304L korozijos židinių mikrografinis vaizdas: a-grūdintas paviršius, b-negrūdintas paviršius

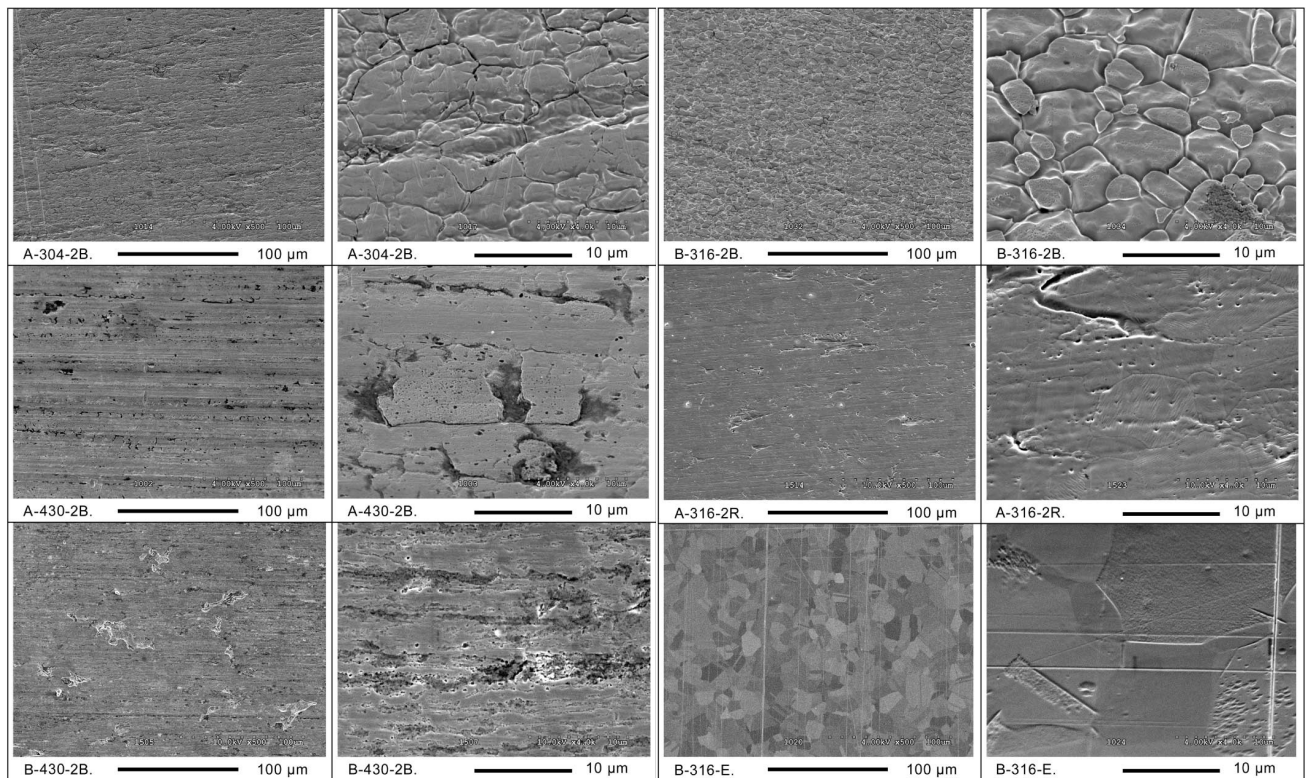
Bandiniai buvo laikomi 3,5% NaCl tirpale, prieš tai vieno iš jų paviršių grūdinant elektrochemine indukcija. Laikymo sąlygos: 50°C temperatūra, trukmė – 25 minutės, palaikoma įtampa – 1,5 V. Pagal gautus rezultatus teigiama, kad korozijos židinių aptikta ant abiejų plieno AISI 304L bandinių. Ant grūdinto plieno bandinio aptikti mažesni ir mažiau įsiskverbę į pagrindinį metalą korozijos židiniai. Taigi grūdinimas elektrochemine indukcija pasiteisina metalų apsaugoje nuo korozijos.

Nerūdijančių plienų higieniškumas maisto pramonėje.

Darbe [29] buvo tiriamas nerūdijančių plienų AISI 430, AISI 304 ir AISI 316 higieniškumas. Buvo tikrinamas sporų „*Bacillus cereus*” paplitimas metalų paviršiuje po metalų įprastinio darbo režimo laikotarpio ir plovimo. Rezultatai pateikti grafinėmis išraiškėmis (2.6 pav.), (2.7 pav.).



2.6 pav. Liekamasis sporų kiekis ant plienų paviršiaus po plovimo



2.7 pav. Mikrografinis plienų paviršių vaizdas po plovimo

Pagal gautus rezultatus teigiama, kad nustatytas liekamasis vidutiniškas sporų kiekis ant nerūdijančių plienų paviršių po plovimo. Atlikus mikrografiinę analizę, nustatytos sporų sanaupos ir židiniai. Bendros išvados – nerūdijantis plienas AISI 430 mažiau higieniškas nei AISI 304 ir AISI 316, dėl didesnio aptikto susikaupusių sporų kiekio.

3. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Siekiant ištirti plienų AISI 304L ir AISI 316L bei jų suvirintų sujungimų atsparumą korozijai, buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai. Korozijos tyrimai atlikti laikantis standartų, kurie reglamentuoja tyrimo atlikimo tvarką. Metalų ir jų lydinių taškinės korozijos įvertinimą reglamentuoja standartas - LST EN ISO 11463:2008 [20]. Metalų ir jų bandinių korozijos bandymų bendruosius principus reglamentuoja standartas - LST ISO 11845:1997 [21]. Mikrostruktūros tyrimai reglamentuojami mikrografinio grūdėlio dydžio nustatymo standartu LST EN ISO 643:2003 [22] ir mikrografinio plieno nemetalinių intarpų kiekio nustatymo standartu LST EN 10247:2007 [23].

3.1. Tyrimų bandinių paruošimas

Nerūdijančio plieno korozijos tyrimui pasirinkti AISI 304L ir AISI 316L plienų bandiniai. Tyrimo bandiniai pagaminti iš lakštų, kurių storis 1.5 mm (AISI 304L, AISI 316L) ir 0.7 mm. (AISI 316L). Bandinių forma bei dydis parenkami atsižvelgiant į mikroskopo darbinės dalies (padėklo/platformos) dydį bei į ėsdinimo galimybę (3.1.1 pav.)



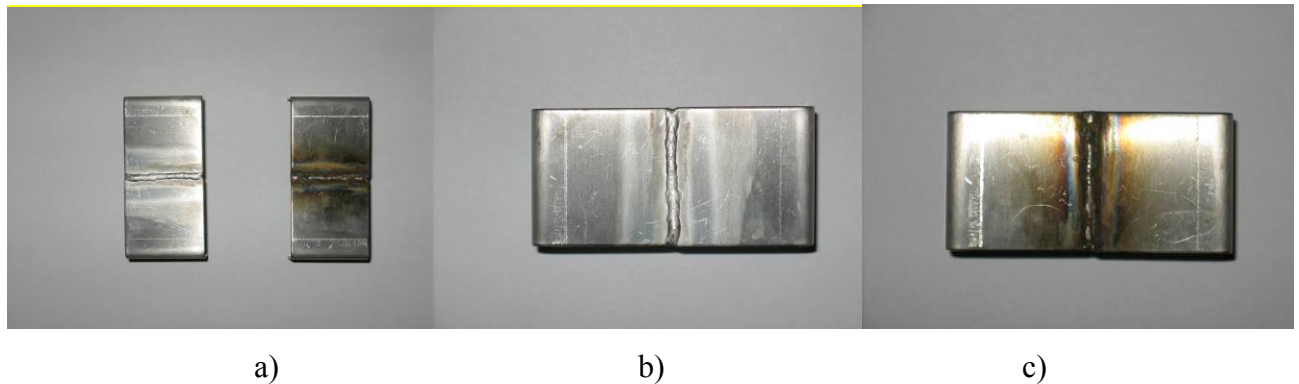
3.1.1 pav. Bandiniai su suvirintais sujungimais korozijos bei mikrostruktūros tyrimams

Bandinių sujungimai suvirinti pagal LST EN ISO 15609-1:2005 standartą dviem būdais: elektrolankiniu TIG įranga apsauginėse dujose (Ar, He mišinyje) nelydžiuoju elektrodu ir elektrolankiniu MIG/ MAG įranga – apsauginėse dujose (Ar, He mišinyje) lydžiuoju elektrodu (3.1.1 lent.), [24].

3.1.1 lentelė. Bandinių suvirinimas.

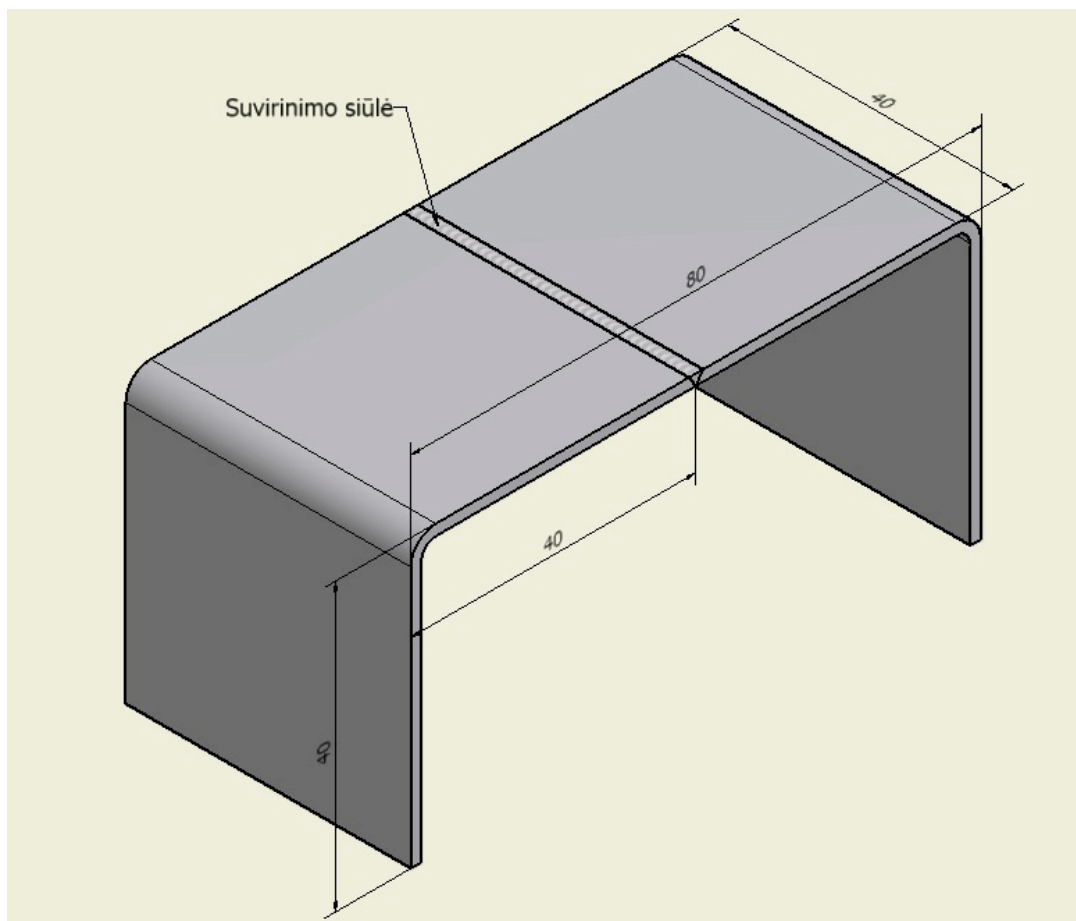
Suvirinimo būdas	Aprašymas
TIG	Suvirinimas volframiniais elektrodais inertinėse dujose. Elektrodas nelydus, todėl dažnai virinama su pridėtinu metalu – viela, kurios sudėtis artima suvirinamam plienui. Pagrindinis inertinių dujų elementas – argonas (Mison Ar: Ar 100%, <0,03% NO).
MIG/MAG	Tai mechanizuotas suvirinimas aktyviose/inertinėse dujose (Ar, He). Elektrodas būna lydus, su flisu. Flisas gali būti tiekiamas ar patalpintas elektrodo viduje – tai užtikrina suvirinimo proceso stabilumą, deoksidaciją.

Laikantis higienos (įrenginiams) reikalavimų [14, 15, 16, 17, 25, 31], suvirintas siūles būtina apdoroti. Siūlės apdorojamos jas šlifuojant, smėliuojant arba veikiant rūgštimis ir jų tirpalais. Todėl kai kurių suvirintų bandinių siūlės paveiktos tam tikros sudėties rūgšties tirpalu, norint pašalinti po suvirinimo ant perkaitintos zonos susidariusius šlakus ir kt. (3.1.2 pav.).



3.1.2 pav. Bandiniai: a-su paveikta ir nepaveikta rūgšties tirpalo siūlėmis; b-su paveikta rūgšties tirpalo siūle; c-su nepaveikta rūgšties tirpalo siūle

Mikrostruktūros tyrimų atlikimo standartuose nėra griežtai nurodomos bandinių formos, svarbiausias punktas – tinkamas tiriamo bandinio paviršiaus paruošimas. Todėl, įvertinęs įrenginio darbinės dalies gabaritus, parinkau tam tikrą bandinio dydį (3.1.3 pav.). Forma parinkta atsižvelgiant į patogumą dirbant su bandiniu bei į tiriamų paviršių kiekį (3.1.3 pav.)



3.1.3 pav. Tyrimų bandinio forma ir gabaritai

Parinktas bandinių kiekis nurodytas 3.1.2 lentelėje.

3.1.2 lentelė. Bandinių kiekis.

Bandinių medžiaga	Lakšto storis, mm	Suvirinimas	Siūlės apdorojimas, veikiant rūgštimi	Kiekis
AISI 304L	1.5	MIG/MAG	Taip	2
			Ne	2
		TIG	Taip	3
			Ne	3
AISI 316L	1.5	MIG/MAG	Taip	1
			Ne	1
		TIG	Taip	2
			Ne	2
	0.7	MIG/MAG	Taip	-
			Ne	-
		TIG	Taip	3
			Ne	3
Viso:				22

3.2. Eksperimentinių tyrimų sąlygos

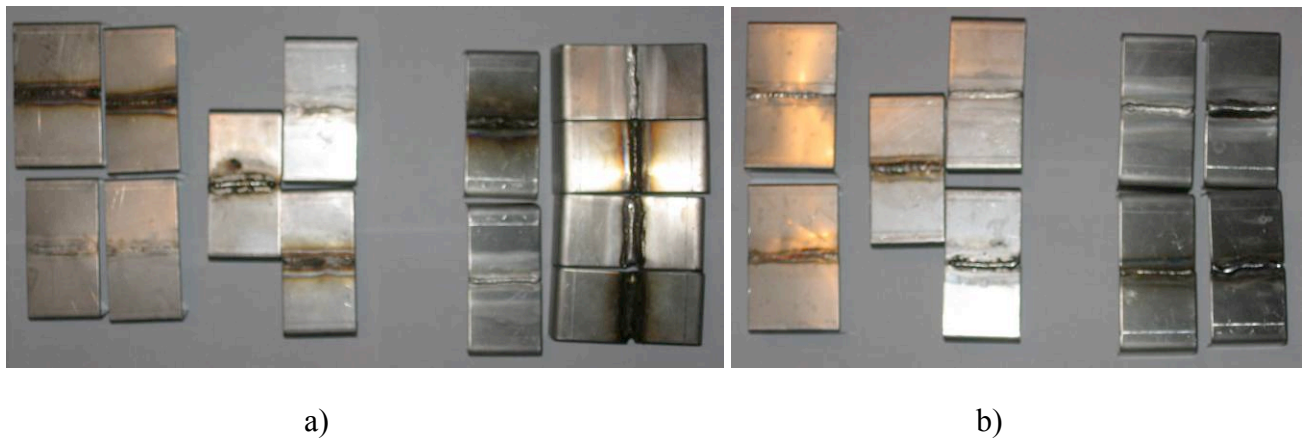
Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti skirtingose aplinkos terpėse (3.2.1 lent.).

3.2.1 lentelė. Eksperimentinių tyrimų sąlygos

Bandiniai (nerūdijančio plieno markė)	Temperatūra (°C)	Aplinkos terpė	Eksperimentinio tyrimo laikas (sav.)
AISI 304L	ne mažiau +20	druskos tirpalas	40
AISI 304L	ne mažiau +20	0.6 proc. pieno rūgšties tirpalas	40
AISI 316L	ne mažiau +20	druskos tirpalas	40
AISI 316L	ne mažiau +20	0.6 proc. pieno rūgšties tirpalas	40

Eksperimento sąlygos parinktos atsižvelgiant į problemos aktualumą bei tyrimo atlikimo galimybes. Kadangi problematiškiausia yra maisto pramonės šaka - pasirinktos terpės, kuriose būtų chloridų bei pieno rūgšties (organinės rūgšties). Bandymai atlikti dviejose terpėse: druskos tirpalas (4.76 proc. koncentracijos druskos tirpalas) ir rūgšties tirpalas (iki 0.6 proc. pieno rūgšties koncentracijos).

Druskos tirpale laikomi iš viso 13 bandinių, o pieno rūgšties tirpale – 9 bandiniai (3.2.1 pav.).



3.2.1 pav. Bandiniai: a-skirti laikymui druskos tirpale (13 vnt); b-skirti laikymui pieno rūgšties tirpale (9 vnt)

3.3. Mikrostruktūros tyrimų metodika

Mikrostruktūros tyrimai atliekami optiniu mikroskopu, stebint specialiai paruoštus metalų ir jų lydinių bandinių paviršius (mikrošlifus). Kadangi metalai yra neskaidrūs kūnai, tai apie jų sandarą sprendžiama pagal atspindžio šviesą. Per mikroskopą matoma metalo atspindžio šviesa yra vadinama mikrostruktūra. Mikroanalizė leidžia nustatyti metalų bei jų lydinių struktūros grūdelių dydžius, lydinių struktūrinių dedamųjų skaičių, jų kiekius ir išsidėstymą, struktūros pokyčius, įvykusius terminio, termocheminio, mechaninio arba kitokio apdorojimo metu, metalo defektus (šlako intarpus, poras, įtrūkimus ir kt.) ir nemetalinius intarpus metale (oksidas, sulfidus, fosfidus, nitridus ir kt.).

Mikrošlifas paruošiamas bandinių paviršius šlifuojant abrazyvais. Šlifavimas pradedamas naudojant stambiagrūdį švitrinį popierių, kuris palaipsniui vis keičiamas smulkesnių grūdelių švitriniumi. Nušlifavus smulkiagrūdžiu švitriniumi mikrošlifas poliruojamas. Poliruojama besisukančiais 250–500 mm skersmens diskais, aprauktais zamšu, fetru arba minkšta medžiaga. Poliruojant disko paviršius nuolat drėkinamas poliravimo skysčiais. Jį sudaro aliuminio, chromo ir kitų oksidų miltelių vandens suspensijos. Poliravimas laikomas baigtu, kada šlifo plokštuma įgyja veidrodinį blizgesį ir žiūrint pro mikroskopą joje nematyti įbrėžimų. Tiek šlifuojant švitriniumi, tiek poliruojant, bandinio negalima stipriai spausti, kad proceso metu mikrošlifas neįkaistų ir jo paviršius neoksiduotųsi. Baigus poliruoti, bandinys plaunamas vandeniu ir džiovinamas karštu oru.

Norint išryškinti metalo struktūrą, poliruotą plokštumą reikia ėsdinti. Priklausomai nuo metalų cheminės sudėties bei tyrimo tikslų, jų struktūrai išryškinti naudojami įvairūs rūgščių, šarmų bei druskų tirpalai (3.3.1 lentelė). Ėsdinimo medžiagos nevienodai intensyviai reaguoja su metalo struktūros grūdeliais ir jų ribomis su skirtingomis lydinių struktūrinėmis dedamosiomis.

3.3.1 lentelė. Ėsdinimo medžiagos.

Pavadinimas	Sudėtis	Naudojimas
Nitalis	1–5 cm ³ (0,99%-4,76%) HNO ₃ 100 cm ³ (99,01%-95,24%) etilo spirito	Geležies lydiniams, cinko ir alavo lydiniams.
CH₃CO₂CH₃–Br	30 cm ³ (75%) metilo oktano 10 cm ³ (25%) bromo tirpalo	Ketui.
HNO₃–HF	8 cm ³ (7,14%) azoto rūgštis 4 cm ³ (3,57%) fluoro vandenilio rūgštis 100 cm ³ (89,29%) distiliuoto vandens	Austenitiniams karščiui atspariems plienams, gausiai legiruotiems manganiniams plienams.

3.3.1 lentelės tęsinys.

C6H2(NO2)3OH-Cl	4 cm ³ (3,81%) pikrino rūgštis 1 cm ³ (0,95%) druskų rūgštis 100 cm ³ (95,24%) etilo spirito	Martensitiniam korozijai atspariems plienams.
HCl-HNO3	40 cm ³ (36,36%) druskų rūgštis 30 cm ³ (27,28%) azoto rūgštis 40 cm ³ (36,36%) distiliuoto vandens	Feritiniam korozijai atspariems plienams.
FeCl₃-HCl	5 cm ³ (4,35%) geležies chlorido 10 cm ³ (8,70%) druskų rūgštis 100 cm ³ (86,95%) etilo spirito	Vario lydiniam.
H₃PO₄	25 cm ³ (25%) ortofosforo rūgštis 75 cm ³ (75%) distiliuoto vandens	Aliuminio lydiniam.

Plienų AISI 304L ir AISI 316L bandinių struktūrai išryškinti buvo naudojama ėsdinimo medžiaga, kurią sudaro azoto rūgštis (7,14%), fluoro vandenilio rūgštis (3,57%) ir distiliuotas vanduo (89,29%). Pagal ankstesnius plieno AISI 304 atliktus tyrimus [30], pradinė ėsdinimo trukmė gali būti 30 sekundžių, kol poliruotas paviršius pasidaro matinis. Baigus ėsdinti, šlifas nuplaunamas vandeniui ir džiovinamas. Paskui ėsdintas paviršius apžiūrimas per optinį mikroskopą. Jei struktūra matoma neaiškiai, ėsdinimą galima kartoti. Ėsdinimo trukmės intervalas gali būti 10 sekundžių.

Bandinių struktūros tyrimui buvo naudojamas optinis mikroskopas MMB 2200 (3.3.1 pav.), [10].



3.3.1 pav. Optinis mikroskopas (KRÜSS® MMB 2200)

Mikroskopo optinė sistema sudaryta iš dviejų glaudžiamųjų lęšių: objektyvo (trumpo židinio nuotolio lęšio, prieš kurį dedamas daiktas) ir okuliario (ilgo židinio nuotolio lęšio, pro kurį žiūrima). Stebimas daiktas dedamas netoli objektyvo – tarp jo pagrindinio židinio ir taško, nutolusio dvigubu

židinio nuotoliu. Objektivas sukuria tikrąjį padidintą ir apverstą daikto atvaizdą. Jis susidaro tarp okuliario ir jo pagrindinio židinio. Okuliaras savo ruožtu sukuria menamąjį ir padidintą atvaizdą, kurį mato akis. Mikroskopo techninės galimybės (3.3.2 lentelė) leidžia atlikti tyrimus ir gauti pakankamą informaciją.

3.3.2 lentelė Optinio mikroskopo MMB 2200 techniniai duomenys.

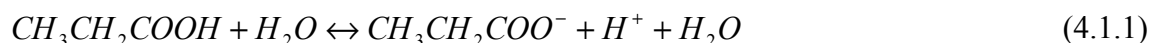
Okuliarių didinimas	10 x ir 12,5 x
Lęšiai	10 x, 20 x, 40 x ir 100 x
Padidinimas	Nuo 100 iki 1250
Filtrai	Žalias, geltonas, mėlynas, pilkas
Mikrometro okuliaras	10 x, mastelio dalijimas 180
Maitinimo šaltinis	230 V
Srovės stiprumas	1A
Apšvietimas	Lempa (6V, 30W), šviesos ryškumo kondensatorius
Platformos judėjimo diapazonas	76 x 50 mm
Foto/Video	Foto adapteris su okuliaru Video adapteris su okuliaru
Svoris	17 kg grynasis svoris

4. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI

4.1. Plienų AISI 304L ir AISI 316L korozijos tyrimas

Nerūdyjantys plienai, šiuo atveju AISI 304L ir AISI 316L, naudojami maisto pramonėje dėl savo pasyvumo tiesiogiai kontaktuojant su maisto produktais. Bet įrenginiams dirbant aplinkose, kuriose pasitaiko druskų bei rūgščių, jų atsparumas korozijai mažėja. Atsparumas korozijai dar labiau mažėja, kuomet įrenginių darbo aplinkose vyrauja drėgnos bei kintančių temperatūrų darbo sąlygos.

Eksperimentinių tyrimų metu, nerūdijančių plienų AISI 304L ir AISI 316L bandiniai laikyti 4,76 proc. valgomosios druskos bei 0,6 proc. pieno rūgšties tirpaluose, +20°C temperatūroje. Tirpaluose vykstantys elektrolitų disociacijų į jonus procesai aprašomi cheminėmis lygtimis:

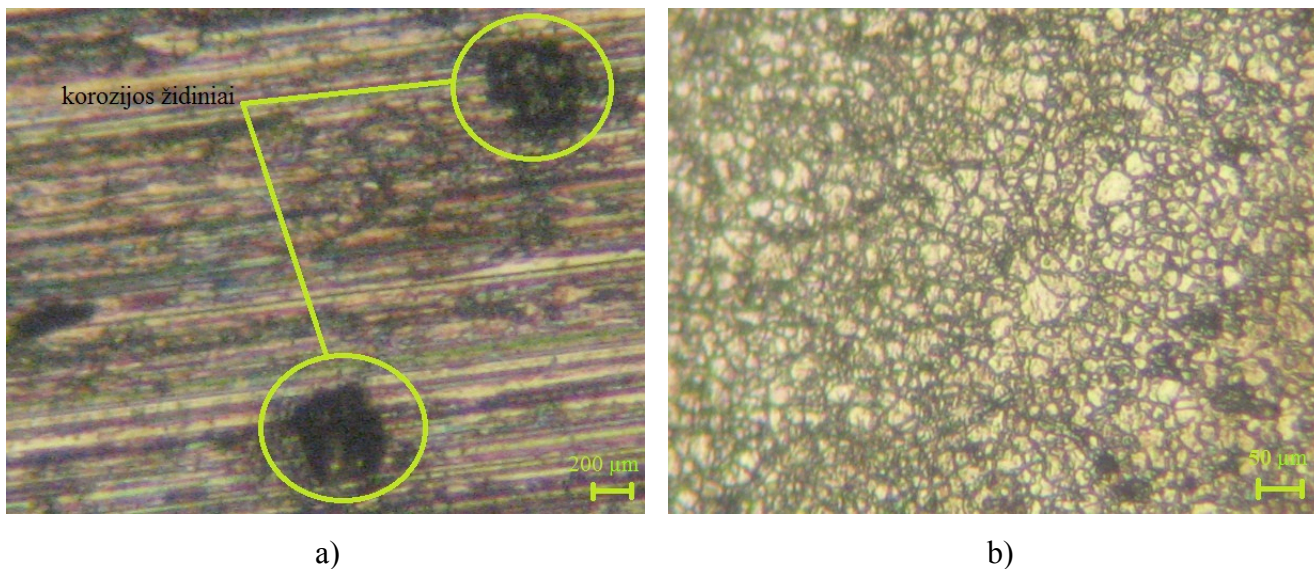


čia: pieno rūgšties disociacija vyksta abiem kryptimis, susidarant laktato anijonams ($CH_3CH_2COO^-$) ir vandenilio katjonams (H^+).

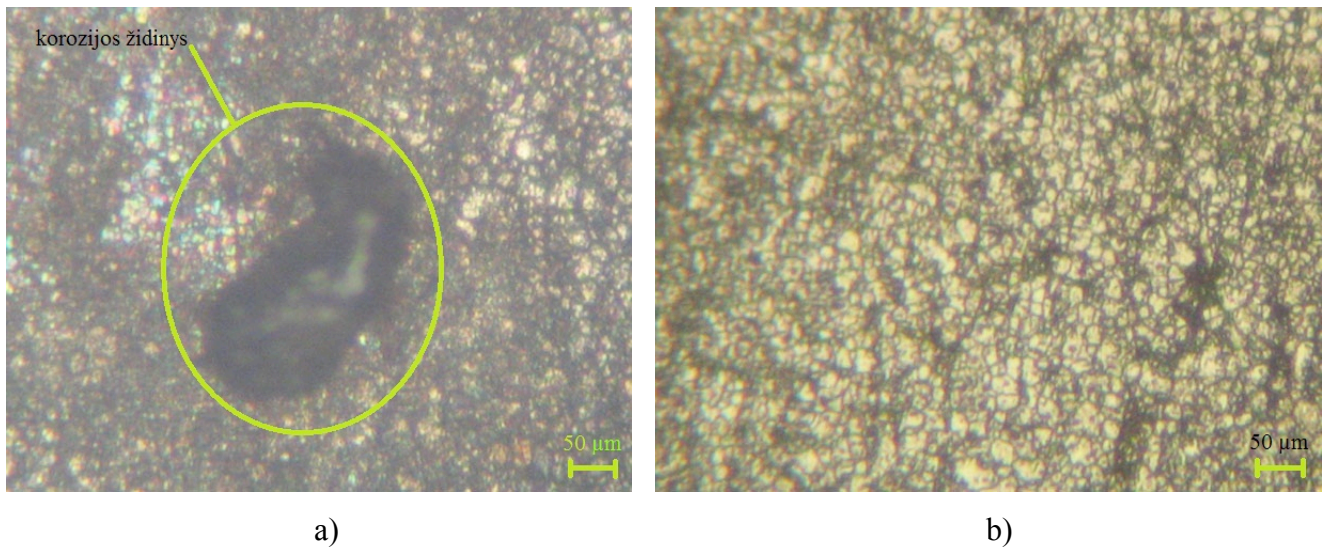


čia: druskos disociacija vyksta viena kryptimi, susidarant chloro anijonams (Cl^-) ir natrio katjonams (Na^+).

Po 40 savaičių tyrimų minėtomis sąlygomis, atlikta bandinių mikroskopinė analizė (4.1.1 pav.), (4.1.2 pav.).



4.1.1 pav. Bandinių mikrografinis vaizdas po 40 savaičių druskos tirpale: a) AISI 304L, b) AISI 316L



4.1.2 pav. Bandinių mikrografinis vaizdas po 40 savaičių pieno rūgšties tirpale: a) AISI 304L, b) AISI 316L

Atlikus mikroskopinę analizę, AISI 304L bandinių paviršiuje užfiksuoti korozijos židiniai. AISI 316L bandinių paviršiuje ryškių korozijos požymių nepastebėta.

Daugelis korozijos židinių yra netaisyklingo „apskritimo“ formos, todėl tokių plotelių plotas gali būti apskaičiuotas pagal apskritimo ploto formulę (4.1.1). Kiti židiniai yra elipsės formos ir jų plotas skaičiuojamas, naudojantis elipsės ploto formule (4.1.2).

$$S = \pi R^2 \quad (4.1.1)$$

čia: S - skritulio plotas, mm^2
 R - skritulio spindulys, mm .

$$S = \pi ab \quad (4.1.2)$$

čia: S - elipsės plotas, mm^2
 a – elipsės didysis pusašis, mm
 b – elipsės mažasis pusašis, mm .

Apskaičiuotas korozijos židinių plotas (4.1.1 lent.).

$$S_1 = \pi R^2 = 3,14 \cdot 0,025^2 = 0,0018 mm^2; S_2 = \pi R^2 = 3,14 \cdot 0,023^2 = 0,0016 mm^2 - 4.1.1 a pav.$$

$$S = \pi ab = 3,14 \cdot 0,024 \cdot 0,0125 = 0,0009 mm^2 - 4.1.2 a pav.$$

4.1.1 lentelė. Korozijos židinių plotų suvestinė.

Nr.	Plotas, mm^2	Nr.	Plotas, mm^2	Nr.	Plotas, mm^2	Nr.	Plotas, mm^2	Nr.	Plotas, mm^2
1.	0,0018	3.	0,0009	5.	0,0017	7.	0,0011	9.	0,0012
2.	0,0016	4.	0,0019	6.	0,0018	8.	0,0016	10.	0,0020

Iš apskaičiuotų korozijos židinių parametrų, galima įvertinti vidutinį židinio plotą:

$$\bar{S} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{n} \quad (4.1.3)$$

čia: \bar{S} - plotų vidurkis, mm^2

S_i – diskretusis dydis - plotas, mm^2

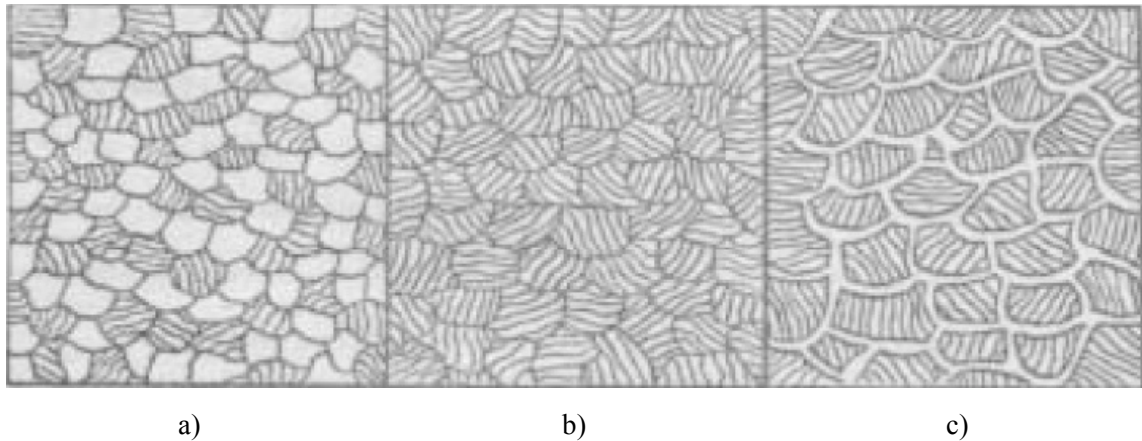
n – bandinių skaičius.

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{0,0018 + 0,0016 + 0,0009 + 0,0019 + 0,0017 + 0,0018 + 0,0011 + 0,0016 + 0,0012 + 0,0020}{10} = \\ &= 0,0014 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Išvados. Atlikus nerūdijančių plienų AISI 304L ir AISI 316L korozijos tyrimą, nustatyta, jog plienas AISI 304L neatsparus korozijai 4,76 proc. druskos bei 0,6 proc. pieno rūgšties tirpaluose. Galima vertinti, kad plienas AISI 316L yra atsparesnis korozijai maisto pramonėje pasitaikančiose agresyviose terpėse negu AISI 304L. Apskaičiuotas vidutinis korozijos židinių plotas - $0,0014 \text{ mm}^2$.

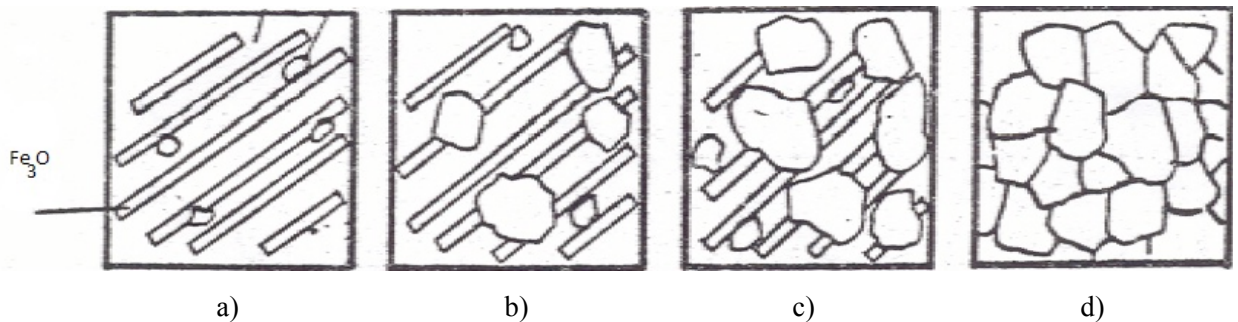
4.2. Plienų AISI 304L ir AISI 316L mikrostruktūros tyrimas

Plienai AISI 304L ir AISI 316L yra priešeutektoidiniai plienai, nes tokiuose plienuose esančios anglies koncentracija yra ribose nuo 0,025 iki 0,8%. Po lydymo tokiems plienams auštant, austenitas alotropiškai virsta feritu. Kadangi anglies tirpumas ferite mažas, tai šio virsmo metu anglis koncentruojasi austenito fazėje. 727°C temperatūroje likusiame austenite jau yra 0,8% C ir jis eutektoidinės reakcijos metu virsta perlitu. Todėl temperatūrose, žemesnėse negu 727°C, priešeutektoidinių plienų struktūrą sudaro feritas ir perlitas (4.2.1 pav., a), [3].



4.2.1 pav. Priešeutektoidinio (a), eutektoidinio (b) ir užeutektoidinio (c) plieno mikrostruktūros schemas

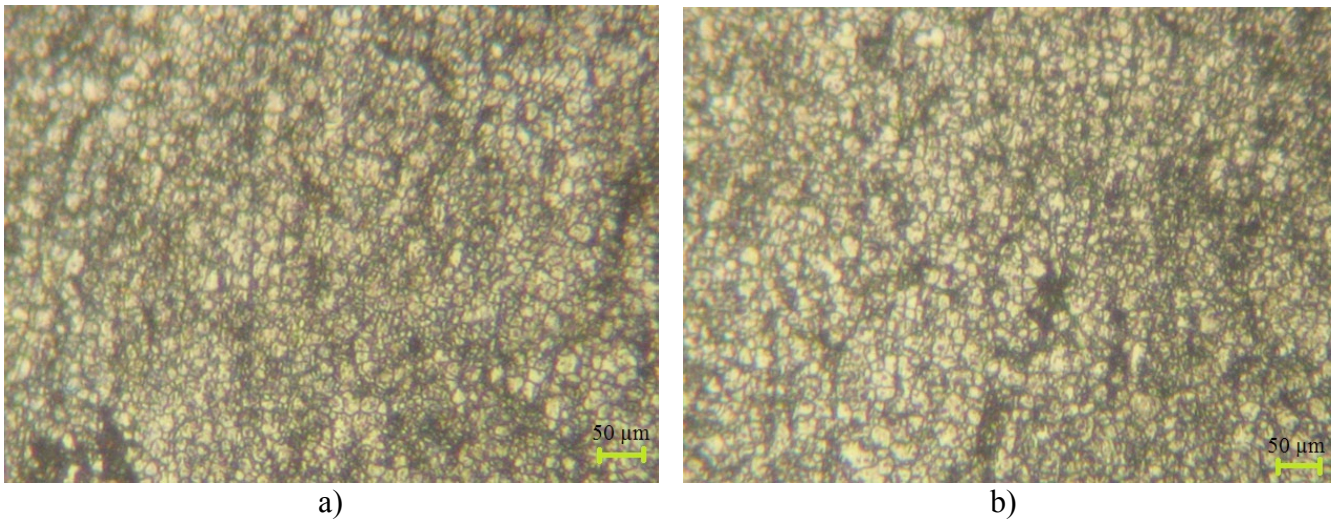
Priešeutektoidiniame pliene, pasibaigus perlito virsmui į austenitą, struktūroje lieka perteklinio ferito. Kaitinant priešeutektoidinį plieną nuo kritinės temperatūros, perteklinis feritas virsta austenitu (4.2.2 pav.), [3]. Dėl šių priežasčių priešeutektoidinio plieno austenito homogenizacija baigiasi tik virš kritinės temperatūros.



4.2.2 pav. Austenitinio virsmo proceso schema

Plienai AISI 304L ir AISI 316L yra smulkiagrūdžiai. Smulkiagrūdžiai plienai technologiškumo atžvilgiu yra geresniai negu stambiagrūdžiai, nes jie nejautrūs perkaitinimui, apdorojant termiškai, nebūtina labai tiksliai išlaikyti temperatūrinį režimą, tinkamesni termocheminiam apdorojimui.

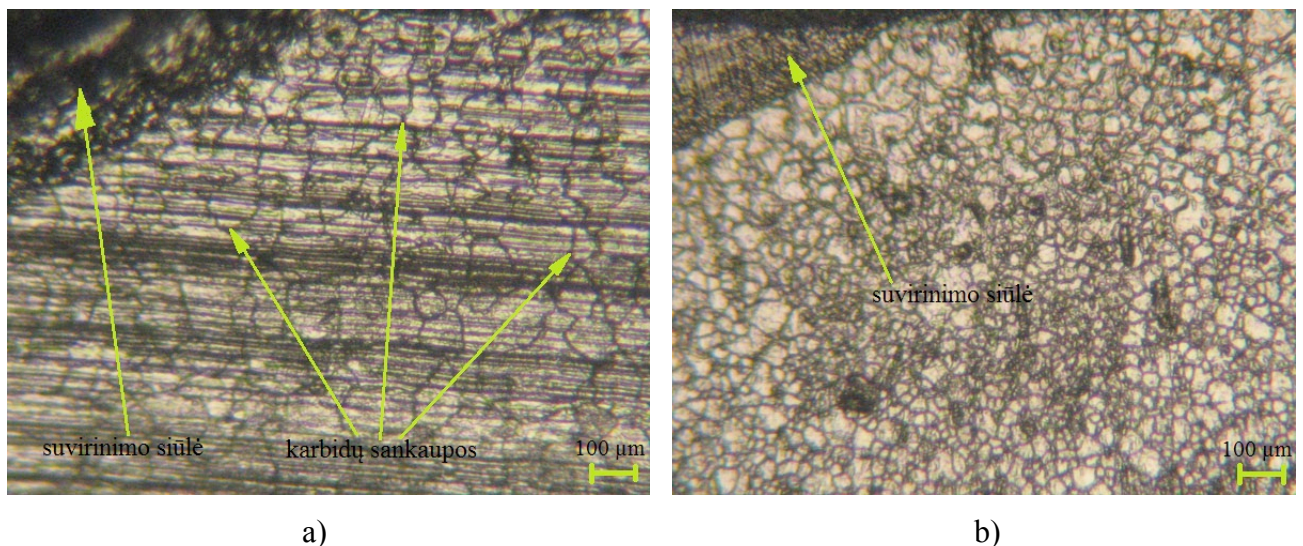
Atliekant mikrostruktūros tyrimus, buvo analizuojami AISI 304L ir AISI 316L bandiniai, kurie, norint išryškinti struktūrą, buvo poliruojami – ruošiami mikrošlifai ir ėsdinami HNO₃–HF rūgštimi (4.2.3 pav.).



4.2.3 pav. Austenitinio plieno bandinių mikrostruktūra: a) AISI 304L, b) AISI 316L

Palyginus teorinę ir grafinę – mikrostruktūros tyrimo informaciją, galima teigti, jog plienų AISI 304L ir AISI 316L bandinių mikrostruktūra yra austenitinė, smulkiagrūdė. Taip pat galima pastebėti, kad AISI 316L mikrostruktūros grūdėliai smulkesniai negu AISI 304L, o tai parodo AISI 316L didesnę technologiškumą.

Buvo minėta, kad suvirinimo metu, terminio poveikio zonos metale, jam auštant, 950 - 500°C temperatūroje išsiskiria karbidai, kurie dažniausiai išsidėsto ties austenitinių grūdelių ribomis - taip mažėja chromo kiekis. Mažėjant chromo kiekiui, didėja korozijos tikimybė ir mažėja atsparumas statinėms bei dinaminėms apkrovoms. Todėl buvo atliekami mikrostruktūros tyrimai ties suvirinimo siūle (4.2.4 pav.).



4.2.4 pav. Austenitinio plieno bandinių mikrostruktūra ties suvirinimo siūle: a) AISI 304L, b) AISI 316L

Iš gautų rezultatų galima pastebėti, jog ryškesniai struktūriniai pakitimai matomi plieno AISI 304L suvirinimo terminio poveikio zonoje – karbidų sankaupos ties grūdelių ribomis.

Išvados. Atlikus nerūdijančių plienų AISI 304L ir AISI 316L mikrostruktūros tyrimą, nustatyta, kad minėtų plienų struktūra – austenitinė. Abiejų plienų austenitiniai grūdeliai – smulkiagrūdžiai. Taip pat galima teigti, jog AISI 316L grūdeliai smulkesniai ir yra technologiškesnis nei AISI 304L. Suvirinant labiau pažeidžiama plieno AISI 304L mikrostruktūra – pastebėtos karbidų sankaupos ties grūdelių ribomis.

5. PLIENŲ AISI 304L IR AISI 316L PALYGINAMOJI ANALIZĖ

Maisto pramonėje naudojami įvairūs įrenginiai, kurie dirba įvairiomis sąlygomis. Dažniausiai įrenginiai gaminami iš nerūdijančių plienų AISI 304 ir AISI 304L. Kadangi šie plienai kai kuriose darbo aplinkose nėra atsparūs korozijai, dažnai pasitaiko įrengimų korozijos atvejų. Todėl įrengimai periodiškai atnaujinami arba keičiami naujais. Tai įtakoja įmonių pelną bei produkcijos kokybę, nes keičiant ar atnaujinant įrenginius, padaugėja išlaidų (sumažėja pelnas) bei nukenčia produkcijos kokybė – būtent dėl korozijos.

Daugeliu atvejų įrenginiai atnaujinami ar keičiami naujais vos tik pastebėjus korozijos požymius, nes tai įtakoja maisto higienos ir kokybės normas. Mechaninių charakteristikų požiūriu įrenginiai gali dirbti toliau, nes tai rodo ankstesniai tyrimai [30] – atsiradus korozijos požymiams, mechaninės charakteristikos nepakinta. Žinoma, įrenginiams dirbant nuolat – kuomet vyksta nepertraukiama gamyba, įrenginių eksploatacijos laikas trumpėja, nes mechaninės charakteristikos (pvz. stipruminės savybės) turi tiesioginę priklausomybę nuo korozijos – plečiantis korozijai didėja įrenginio avarijos tikimybė. Todėl svarbi korozijos prevencija ir užtikrintas įrenginių veikimas. Tokiu atveju viena iš priemonių – įrenginių medžiagos parinkimas. Įrenginių gamybai naudojami plienai AISI 304 ir AISI 304L galėtų būti pakeičiami kitu ar kitais nerūdijančiais plienais, pavyzdžiui AISI 316L.

Maisto pramonėje nerūdijantis plienas AISI 316L nenaudojamas tokiu mastu kaip AISI 304L, nes viena iš pagrindinių priežasčių – kaina. Todėl AISI 316L renkamosi tik vienetinių detalių ar vienetinių įrengimų gamybai. Toliau pateikiama gamybos ir realizacijos kaštų palyginamoji analizė, priklausomai nuo pasirinktos medžiagos.

Viena iš maisto pramonės šakų, kurioje pasitaiko korozijos atvejų, yra mėsos pramonė. Mėsos pramonėje įrengimų įvairovė gana didelė. Įrengimų darbo sąlygos taip pat įvairios – agresyvios terpės, kintanti temperatūra, drėgmė. Darbo sąlygas įtakoja žaliavos apdirbimo etapai ir įrengimai. Pagrindinės įrengimų grupės yra:

1. skerdimo įranga;
2. išpjauستymo įranga;
3. perdirbimo įranga;
4. sanitarinė/higieninė įranga.

Nagrinėjamas įrenginys priklauso išpjauستymo įrangos grupei – tai tuščių dėžių keliantysis transporteris (5.1 pav.).



5.1 pav. Tuščių dėžių keliantysis transporteris

Šis įrenginys priklauso transporterių pogrupiui. Pagrindinė funkcija – transportavimas. Darbo sąlygos – drėgmė ir kintanti temperatūra. Faktinis eksploatavimo laikas – 2 metai. Po šio laikotarpio transporteris keičiamas nauju arba atnaujinamas, t.y. keičiama tik korozijos pažeista dalis – dažniausiai darbinės dalies korpusas.

Transporterio, kaip ir daugelio gaminių, savikainą sudaro medžiagų, pagaminimo (darbo jėgos) ir energijos kaštai. Savikaina yra kintama, nes priklauso nuo medžiagų kainos rinkoje.

Išanalizavus transporterio sudėtines dalis bei reikalingų detalių ir medžiagų kainas rinkoje, suskaičiuota savikaina:

1. Transporteris, pagamintas naudojant nerūdijantį plieną AISI 304L: 7.514,30 Lt
2. Transporteris, pagamintas naudojant nerūdijantį plieną AISI 316L: 7.884,09 Lt

Savikainų skirtumas S:

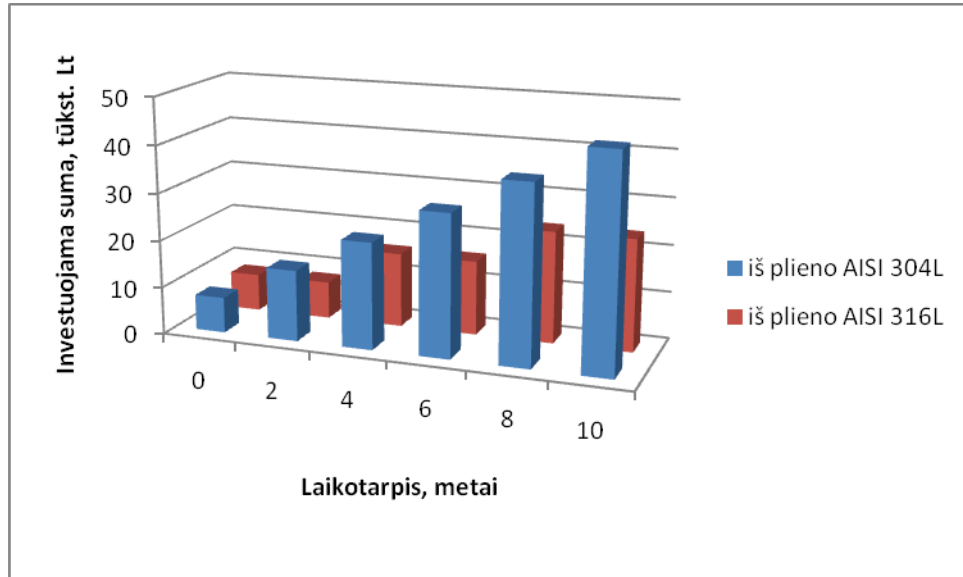
$$S = 7884,09 - 7514,30 = 369,79 \text{ Lt}$$

Pagrindinės transporterio konstrukcijos sudėtinės dalys gaminamos naudojant nerūdijantį plieną. Yra papildomų dalių – specialūs guoliai, motoreduktorius ir kiti, kurie taip pat sudaro didžiąją dalį savikainos, todėl gautas skirtumas nėra didelis. Skirtumas didėtų, didėjant įrenginyje naudojamam nerūdijančio plieno kiekiui bei kainos sudarymo procentui.

Priimu sąlygas, jog:

1. transporteris iš plieno AISI 304L keičiamas kas 2 metai, o transporteris iš AISI 316L – kas 4 metus (atsižvelginat į tyrimus);
2. nagrinėjamas 10 – ies metų laikotarpis;
3. transporteris keičiamas, o ne atnaujinamas (dėl kitų sudėtinių dalių susidėvėjimo).

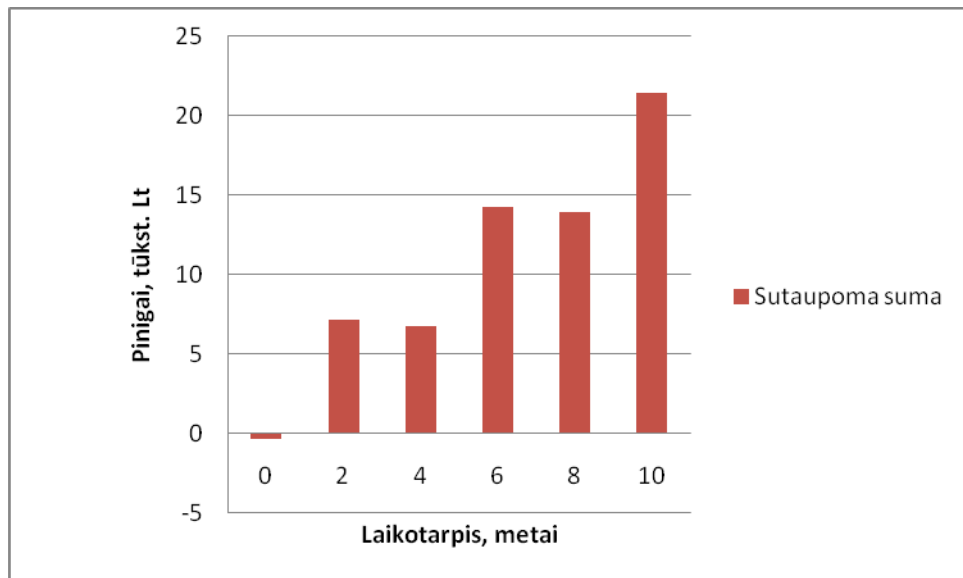
Tuomet galiu įvertinti nagrinėjamo laikotarpio išlaidas abiejų transporterių atžvilgiu (5.2 pav.).



5.2 pav. Transporteriams investuojamų pinigų srautai

Galima pastebėti, kad suminis investicijų srautas per visą 10 – ies metų laikotarpį sparčiau didėja naudojant transporterį, pagamintą iš plieno AISI 304L.

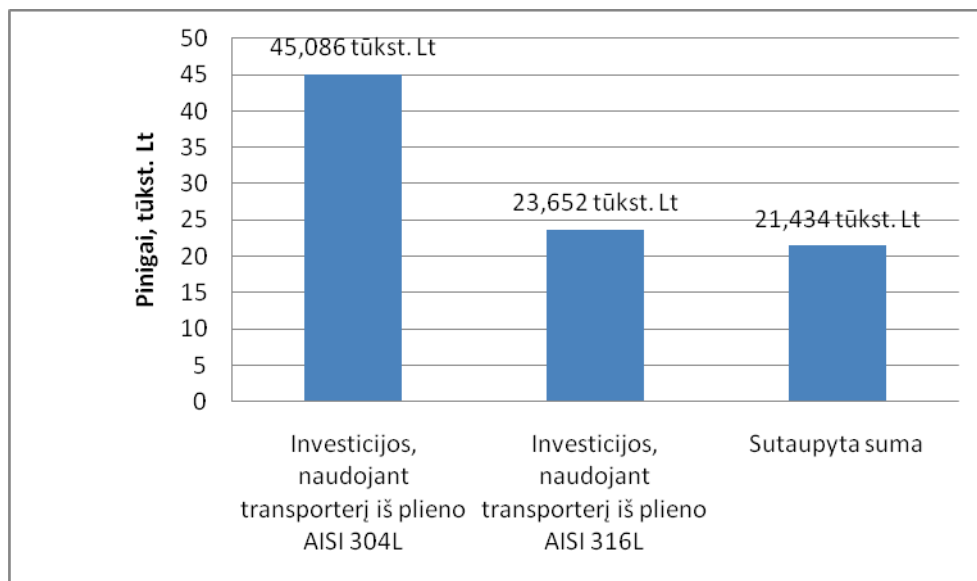
Palyginus investicijas, galima nustatyti sutaupomas lėšas (5.3 pav.).



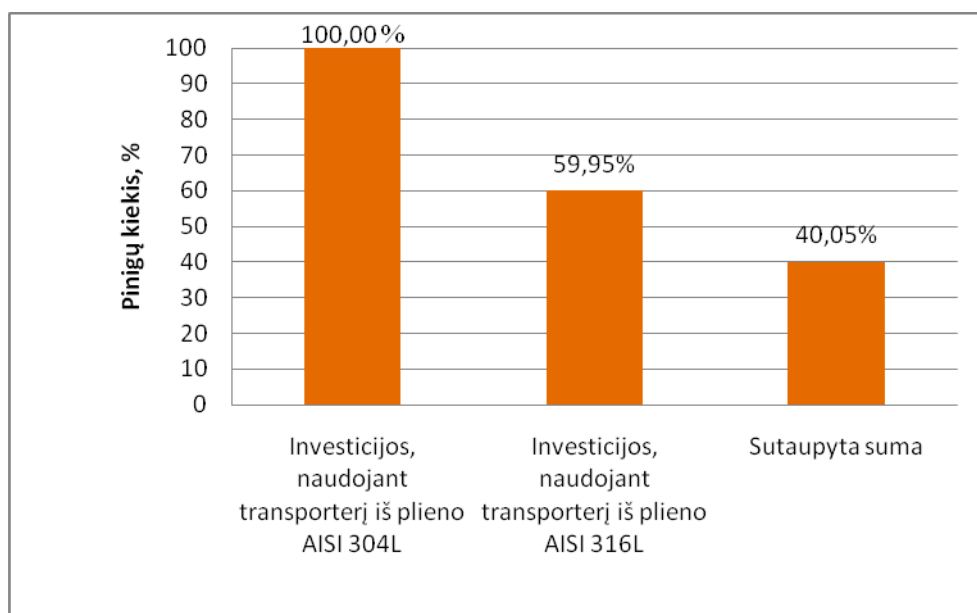
5.3 pav. Sutaupomų pinigų srautai

Per pirmąjį 2 – iejų metų laikotarpį, investuojama daugiau naudojant transporterį, pagamintą iš AISI 316L. Kitais periodais investicijos mažėja ir sutaupomų lėšų suma kintamai didėja.

Palyginame pinigų srautus per 10 – ies metų laikotarpį (5.4 pav.).



5.4 pav. Pinigų srautai 10 – ies metų laikotarpiu



5.5 pav. Palyginamieji pinigų srautai 10 – ies metų laikotarpiu

Palyginus transporterių naudojimą abiem atvejais – kai gaminamas iš plieno AISI 304L ir AISI 316L, galima teigti, kad sutaupoma investuojamų lėšų (21.433.53 Lt), jeigu pasirenkama transporterio medžiaga AISI 316L. Žinoma, neįvertinti ir kiti faktoriai (pvz. amortizacija), kurie galėtų įtakoti ekonominį vertinimą, tačiau tendencija, kad priimtesnis naudojimas transporterio iš plieno AISI 316L, išlieka. Įvertinant ir kitus faktorius, gali mažėti tarp lyginamųjų variantų investuojamų pinigų sumos arba atsipirkimo laikotarpis.

Išvados. Palyginus realaus įrenginio – tuščių dėžių transporterio atvejus, kai būtų gaminamas iš nerūdijančio plieno AISI 304L arba AISI 316L, galima teigti, kad per 10 – ies metų laikotarpį investicijos į įrangos atnaujinimą mažinamos, naudojant transporterį iš plieno AISI 316L. Investicijų sumažėjimas išreiškiamas sutaupomu pinigų kiekiu, lyginant su investuojama suma (100%), naudojant transporterį iš plieno AISI 304L. Naudojant transporterį iš plieno AISI 316L investuojama 59,95% ir tuo pačiu sutaupoma 40,05% visos sumos, kurios reikėtų renkantis transporterį iš plieno AISI 304L. Todėl galima rekomenduoti rinktis plienus, kurių savybės geresnės, nei plieno AISI 304L. Šiuo atveju rekomenduojama rinktis labiau korozijai atsparesnį nerūdijantį plieną AISI 316L. Taip būtų gerinamas ne tik įrenginio tarnavimo laikas, bet ir produkcijos kokybė, taupomos lėšos. Be to, dėl AISI 316L technologiškumo, pagerėtų įrenginio gamybos procesas.

IŠVADOS

1. Atlikus mokslinių tyrimų apžvalgą ir analizę nustatyta, kad chloridų aplinkoje atsparumas korozijai mažėja tu plienų, kurių cheminėje sudėtyje yra mažiau molibdeno ir chromo. Veikiant nerūdijančių plienų paviršius, juos įzotinant (AISI 316L) ir grūdinant (AISI 304L), didinamas atsparumas korozijai – mažėja korozijos židinių plotas ir įsiskverbimo gylis. Plienai AISI 304 ir AISI 316 higieniškesniai negu plienas AISI 430.
2. Eksperimentinių tyrimų metu, laikant plienų AISI 304L ir AISI 316L bandinius 40 savaitių druskos tirpale (4.76 proc. koncentracijos druskos tirpalas) ir pieno rūgšties tirpale (iki 0.6 proc. pieno rūgšties koncentracijos), užfiksuota plieno AISI 304L taškinės korozijos židinių. Apskaičiuotas vidutinis korozijos židinių plotas - $0,0014\text{mm}^2$. AISI 316L bandinių paviršiuje ryškių korozijos požymių nepastebėta. Galima teigti, kad plienas AISI 316L yra atsparesnis korozijai maisto pramonėje pasitaikančiose agresyviose terpėse negu AISI 304L.
3. Atlikus nerūdijančių plienų AISI 304L ir AISI 316L mikrostruktūros tyrimą, nustatyta, kad minėtų plienų struktūra – austenitinė. Abiejų plienų austenitiniai grūdeliai – smulkiagrūdžiai. Suvirinant labiau pažeidžiama plieno AISI 304L mikrostruktūra – pastebėtos karbidų sankaupos ties grūdelių ribomis.
4. Palyginus realaus įrenginio – tuščių dėžių transporterio atvejus, kai būtų gaminamas iš nerūdijančio plieno AISI 304L arba AISI 316L, bei priėmus tam tikras sąlygas, galima teigti, kad per 10 – ies metų laikotarpį investicijos į įrangos atnaujinimą mažinamos, naudojant transporterį iš plieno AISI 316L. Investicijų sumažėjimas išreiškiamas sutaupomu pinigų kiekiu, lyginant su investuojama suma (100%), naudojant transporterį iš plieno AISI 304L. Naudojant transporterį iš plieno AISI 316L investuojama 59,95% ir tuo pačiu sutaupoma 40,05% visos sumos, kurios reiktų renkantis transporterį iš plieno AISI 304L. Todėl galima rekomenduoti rinktis geresnių savybių plienus. Šiuo atveju rekomenduojama rinktis labiau korozijai atsparesnį nerūdijantį plieną AISI 316L.

REKOMENDACIJOS

Norint užtikrinti ilgalaikį ir stabilų įrenginių veikimą bei gaminamos produkcijos kokybę, reiktų naudoti įrenginius, pagamintus iš atsparesnių agresyvioms terpėms nerūdijančių plienų. Įrenginiams dirbant agresyvių terpių ir nedidelių apkrovų sąlygomis, siūloma rinktis korozijai atsparesnį plieną, kurio sudėtyje būtų molibdeno. Tokiose sąlygose dirbančius įrenginius rekomenduojama gaminti iš nerūdijančių plienų AISI 316L (Mo 2,01%), AISI 317 (Mo 3,0-4,0%). Įrenginius, dirbančius agresyvių terpių ir padidintų apkrovų sąlygomis, rekomenduojama gaminti iš nerūdijančių plienų, turinčių padidintą chromo kiekį – AISI 446 (Cr 23,0-27,0%), AISI 314 (Cr 23,0-26,0%), AISI 310S (Cr 24,0-26,0%), AISI 310 (Cr 24,0-26,0%), AISI 309S (Cr 22,0-24,0%), AISI S32304 (Cr 23,0%, Mo 0,3%).

LITERATŪRA

1. Žvinys J., Šniuolis R. Inžinerinės medžiagos. Kaunas: Technologija, 2002. 107 p.
2. Saročka A. Konstrukcinės medžiagos ir jų apdirbimas. Vilnius: Spauda, 2006. 164 p.
3. Juodelis V., Bendikas J., Valiulis A.V. Metalotyros pagrindai. Vilnius: Technika, 2004. 159 p.
4. Nerūdijantys plienai. <http://www.aco.lt/Produkter/Materialer/Rustfrit%20St%C3%A5l.aspx>.
5. Nerūdijančio plieno standartų palyginimas. <http://www.antera.lt/lt/plienas/standartai>.
6. <http://www.metalinisvilkas.lt/lt/index.php?section=4&subsection=42>.
7. Nerūdijantys plienai. <http://www.steelmedia.com/stainless-steel-balls.htm>.
8. Nerūdijančio plieno markės.
http://italinox.lt/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=80.
9. What Makes Stainless "Stain-less". <http://www.estainlesssteel.com/corrosion.shtml>.
10. Aušrienė M. Metalų korozija ir sauga. Klaipėda: KU leidykla, 2002. 137 p.
11. Metalų korozija.
http://www.italinox.lt/index.php?option=com_content&task=view&id=8&Itemid=10.
12. Nerūdijantis plienas. Atsparumas korozijai. <http://www.azom.com/details.asp?articleID=1177>.
13. Metalų korozija. <http://corrosion-doctors.org/Localized/Introduction.htm>.
14. Tarybos direktyva 93/43/EEB. 1993 birželio 14 d. Dėl maisto produktų higienos. Europos Bendrijų Taryba. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31993L0043:LT:HTML>.
15. Lietuvos Respublikos Sveikatos Apsaugos ministro įsakymas. Dėl Lietuvos higienos normos HN 15:2003 „MAISTO HIGIENA“ tvirtinimo. 2003 m. liepos 1 d. Nr. V-392. Vilnius. http://www3.lrs.lt/pls/inter2/dokpaieska.showdoc_l?p_id=215364.
16. Maisto sauga ir kokybė. Nacionaliniai kokybės reikalavimai. Pieno produktai. <http://www.zum.lt/lt/zemes-ukio-ministerija/maisto-sauga-ir-kokybe/nacionaliniai-kokybes-reikalavimai/pieno-produktai/>.
17. Geležies laktatas. <http://www.food-info.net/lt/e/e585.htm>.
18. Wei Z., Laizhu J., Jincheng H., Hongmei S. Study of mechanical and corrosion properties of a Fe–21.4Cr–6Mn–1.5Ni–0.24N–0.6Mo duplex stainless steel. Materials Science and Engineering. Vol. 497, No. 1-2. 2008: pp. 501-504.
19. Corrossion problems associated with stainless steel. <http://www.mcnallyinstitute.com/04-html/4-1.html>.
20. Metalų ir lydinių korozija. Taškinės korozijos įvertinimas (ISO 11463:1995).
21. Metalų ir lydinių korozija. Bendrieji korozijos bandymo principai (ISO 11845:1995).

22. Plienas. Mikrografinis grūdelio dydžio nustatymas (ISO 643:2003).
23. Mikrografinis plieno nemetalinių intarpų kiekio nustatymas naudojant standartinius vaizdus (EN 10247:2007).
24. Metalų suvirinimo procedūrų aprašas ir patvirtinimas. Suvirinimo procedūrų aprašas. 1 dalis. Lankinis suvirinimas (ISO 15609-1:2004).
25. Maisto saugos vadybos sistemos. Bet kuriai maisto gamybos grandinės organizacijai keliami reikalavimai (ISO 22000:2005).
26. Vytvyts'kyi V. I. Correlation dependences between the mechanical characteristics of corrosion-resistant steels. *Materials Science*. Vol. 43, No. 1. 2007: pp. 53-61.
27. Nosei L., Farina S., Ávalos M., Náchez L., Gómez B.J., Feugeas J. Corrosion behavior of ion nitrated AISI 316L stainless steel. Instituto de Física Rosario. 2007: pp. 1044-1050.
28. Li Zh., Shang J., Liu W., Fei B. Electrochemically induced surface annealing without electrolyte immersion and its influence on pitting resistance. *Materials Science and Engineering*. 2008: pp. 4830-4833.
29. Jullien C., Benezech T., Carpentier B., Lebret V., Faille C. Identification of surface characteristics relevant to the hygienic status of stainless steel for the food industry. *Food Engineering*. 2002: pp.77-87.
30. Janutėnienė J., Kinderis V., Kiškienė D., Lengvinas A. Nerūdijančių plienų korozijos tyrimai. Klaipėdos universitetas, Mechanikos inžinerijos katedra. Klaipėda: Klaipėdos universiteto 1-kl., 2010. 5 p.
31. Maisto perdirbimo mašinos. Pagrindinės sąvokos. 2 dalis. Higienos reikalavimai (LST EN 1672-2:2005+A1:2009).